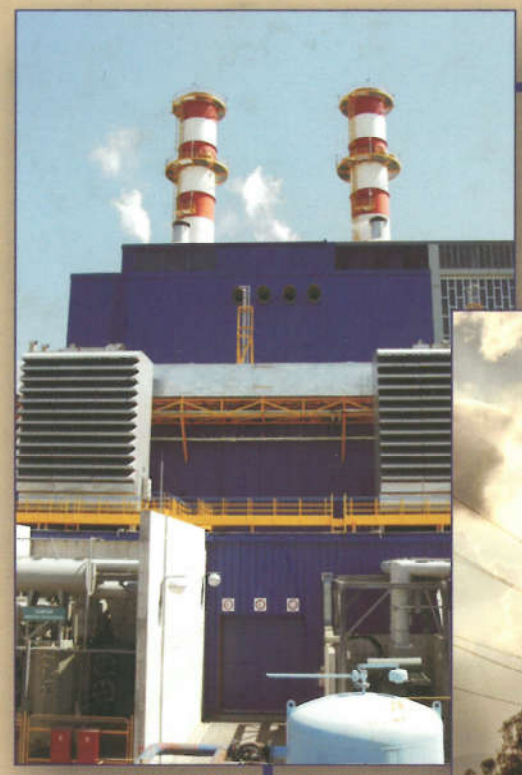
Božo Udovičić

ELEKTROENERGETSKI SUSTAV











Kigen

UDŽBENICI SVEUČILIŠTA U SPLITU

MANUALIA UNIVERSITATIS STUDIORUM SPALATENSIS



Izdavač
Kigen d.o.o. Zagreb

Za izdavača
Nenad Lihtar

Urednik
dr. sc. Mladen Zeljko

Recenzenti
Prof. dr. sc. Vladimir Mikuličić
Prof. dr. sc. Sejid Tešnjak
Prof. dr. sc. Matislav Majstrović
Marijan Kalea, dipl. ing.

Lektura
Fikret Cacan

Grafički urednik
Nedjeljko Zarić

Dizajn naslovnice
Damir Brčić

Fotografije na naslovnici
Ivan Sušec

Tisak
GZH d.o.o., Zagreb

Senat Sveučilišta u Splitu prihvatio je ovo djelo kao udžbenik Sveučilišta u Splitu odlukom broj 01-1-1/14-2005. od 28. listopada 2005. godine.

Ni jedan dio ove knjige ne smije se umnožavati bez prethodne suglasnosti Izdavača i Autora.

CIP - Katalogizacija u publikaciji
Nacionalna i sveučilišna knjižnica - Zagreb

UDK 621.31(075.8)
620.9:621.31>(075.8)

UDOVIČIĆ, Božo
Elektroenergetski sustav / Božo Udovičić. - Zagreb : Kigen, 2005.

Bibliografija. - Kazala.

ISBN 953-6970-18-X
I. Elektroenergetski sustav -- Udžbenik

450628059

ISBN 953-6970-18-X

Božo Udovičić

ELEKTROENERGETSKI SUSTAV

Kigen

Zagreb, 2005.

Zahvala

Zahvaljujem se članovima Hrvatske elektroprivrede, a posebno Ivanu Mravku i Ivici Toljanu na inicijativi za pisanje knjige neophodno potrebene stručnjacima elektroprivrede, kao i na otkupu izvjesnog broja primjeraka.

Također se zahvaljujem recenzentima Marijanu Kalei, Matislavu Majstroviću, Vladimiru Mikuličiću i Sejidu Tešnjaku na savjesno obavljenim recenzijama, te izvršenim korekcijama s kojima je knjiga dobila na kvaliteti.

Dugujem zahvalu i svom dugogodišnjem suradniku Mladenu Zeljku za pruženu pomoć pri pisanju i opisivanju modela navedenih u knjizi.

Predgovor

Nakon velikih promjena koje su uslijedile u posljednjih dvadeset godina na području energetike, a posebno elektroenergetike, pokazala se potreba za pisanjem jedne knjige koja bi obuhvatila sve segmente i promjene (tehnološke, organizacijske i ekonomske) elektroenergetskog sustava od pojave oblika energije do korisnih oblika energije.

Zadatak je elektroenergetskog sustava da osigura kvalitetnu isporuku električne energije uz minimalne troškove u elektroenergetskom sustavu. Tehnološki proces u elektroenergetskom sustavu započinje osiguranjem dovoljnih količina prirodnih oblika energije, nastavlja se proizvodnjom električne energije i završava se prijenosom i razdiobom električne energije do konačnih potrošača. Iz navedenoga slijedi da je opskrba potrošača električnom energijom, a time i sigurnost opskrbe, rezultat zajedničkog rada svih dijelova elektroenergetskog sustava.

Dakle, iz istodobnosti proizvodnje i potrošnje električne energije može se kazati da je elektroenergetski sustav živi organizam, pa se, prema tome elektroenergetski sustav ne može dijeliti, jer jedan dio (proizvodnja, prijenos i razdioba) bez drugoga ne može raditi i egzistirati.

Iz navedenih spoznaja može se zaključiti da je tržište u elektroenergetskom sustavu znatno osjetljivije i složenije od klasičnog tržišta, jer se moraju zadovoljiti sve tehničko-ekonomske specifičnosti elektroenergetskog sustava.

Izgradnjom i korištenjem elektroenergetskog sustava dolazi do zagađenja okoliša pa je potrebno u svim etapama rada voditi o tome računa. Problemi zaštite okoliša su vrlo kompleksni, međusobno povezani i uvjetovani, a osim toga iziskuju velika financijska sredstva što u konačnici povećava cijenu električne energije.

U knjizi su obrađeni suvremeni pogledi i problemi elektroenergetskog sustava, a potkrijepljeni su novim računalnim alatima (prilagođenim i korištenim u rješavanju elektroenergetskih problema u svijetu) kojima se koriste u Energetskom institutu "Hrvoje Požar" u Zagrebu.

U Zagrebu, svibanj 2005. Autor

Sadržaj

1. Energija i energetski sustav **1**
1.1 Značenje i pojavni oblici energije 1
1.2 Odakle energija 3
1.2.1 Energija od Sunca 4
1.2.2 Energija iz Zemlje 5
1.2.3 Energija gravitacije 6
1.2.4 Izvori energije 6
1.3 Početak iskorištavanja energije 7
1.4 Klasifikacija oblika energije 8
1.4.1 Prirodni oblici energije 8
1.4.2 Pretvorbe i pretvorbeni oblici energije 9
1.4.3 Korisni oblici energije 11
1.5 Temeljne značajke i zalihe prirodnih oblika energije 13
1.5.1 Temeljne značajke i zalihe neobnovljivih prirodnih oblika energije 13
1.5.2 Postanak, značajke, vrste i zalihe ugljena i treseta 15
1.5.3 Postanak, značajke i zalihe nafte i plina, uljnih škriljavaca i bitumenoznog pijeska 21
1.5.4 Nuklearna goriva 26
1.5.5 Postanak, obilježja i zalihe geotermičke energije 30
1.6 Temeljna obilježja obnovljivih prirodnih oblika energije 33
1.6.1 Vodne snage, njihova rezerva i iskorištenost 33
1.6.2 Nastajanje i zalihe biomase i bioplina 36
1.6.3 Energija vjetra i njezine značajke 38
1.6.4 Temeljna obilježja energije Sunčeva zračenja 41
1.6.5 Plima i oseka, energija struja i valova te toplinska energija oceana 45
1.7 Energetski sustav i energetska bilanca 48
1.8 Osnovne mjerne jedinice u energetici 50
1.9 Značaj i uloga energije u razvitku društva 51
1.9.1 Tendencije razvoja potrošnje energije i mogućnosti njezina zadovoljenja 57
1.10 Korištenje energije i zaštita okoliša 59

2. Električna energija i elektroenergetski sustav **63**
2.1 Specifičnosti elektroenergetskog sustava 63
2.2 Potrošnja električne energije 68
2.3 Dnevni dijagram opterećenja 70
2.3.1 Karakteristične veličine dnevnog dijagrama opterećenja 70
2.3.2 Podjela dnevnog dijagrama opterećenja 71
2.3.3 Krivulja trajanja opterećenja 74
2.3.4 Varijacije potrošnje i varijacije značajki potrošnje tijekom godine 74

2.4 Osnovna uloga i zadaci rasklopnih postrojenja, prijenosnih i razdjelnih mreža u elektroenergetskom sustavu 75
2.4.1 Uloga rasklopnih postrojenja, prijenosnih i razdjelnih mreža u elektroenergetskom sustavu 75
2.4.2 Vrste rasklopnih postrojenja 76
2.4.3 Prijenosne i razdjelne mreže 77
2.4.4 Naponske razine, presjeci i snage prijenosa 81
2.4.5 Gubici snage i energije u električnim mrežama 84
2.4.6 Problem jalove snage i energije u električnim mrežama 86
2.4.7 Problemi stabilnosti 87
2.4.7.1 Stabilnost napona 87
2.4.7.2 Stabilnost kuta 88
2.5 Izvori električne energije 93
2.5.1 Zadaci i uloga izvora električne energije u elektroenergetskom sustavu 93
2.5.2 Osnovna obilježja elektrana 93
2.5.3 Značajke i vrste hidroelektrana 94
2.5.4 Princip rada crpno-akumulacijskog postrojenja 96
2.5.5 Potrebni volumen akumulacijskih bazena crpno-akumulacijskog postrojenja 99
2.5.6 Hidroelektrane na plimu i oseku 101
2.5.7 Vrste i značajke termoelektrana 102
2.5.8 Nuklearne elektrane i nuklearne reakcije 106
2.5.9 Nuklearna fisija 108
2.5.10 Nuklearna fuzija 114
2.5.11 Vjetroelektrane 118
2.5.12 Neposredne pretvorbe oblika energije u električnu energiju 120
2.5.12.1 Moguće neposredne pretvorbe 120
2.5.12.2 Solarne elektrane 121
2.5.12.3 Neposredna pretvorba kemijske energije u električnu energiju ... 124
2.5.12.4 Neposredna pretvorba toplinske energije u električnu energiju ... 125
2.5.12.5 Fotoelektrokemijska pretvorba 129

3. Godišnja elektroenergetska bilanca (GEEB) 131
3.1 Osnovna shema elektroenergetske bilance 131
3.2 Sigurnost opskrbe potrošača i potrebno vrijeme za remont agregata u termoelektranama 131
3.3 Kratkoročno predviđanje potrošnje električne energije (ALFoS) 133
3.3.1 Osnovne postavke 133
3.3.2 Pristup problemu predviđanja potrošnje električne energije 134
3.3.3 Model sektorskog predviđanja potrošnje električne energije 134
3.3.3.1 Sektori potrošnje električne energije 135
3.3.3.2 Kalendarska obrada dana u godini 135
3.3.3.3 Godišnja potrošnja električne energije za narednu godinu 136
3.3.3.4 Opis krivulje opterećenja 138

3.3.3.5 Broj ekvivalentnih radnih dana u godini predviđanja 145
3.3.3.6 Određivanje prosječnih satnih opterećenja (potrošnje) za iduću godinu 146
3.3.4 Potrebni ulazni podaci 146
3.4 Proračun moguće proizvodnje hidroelektrana (APHyPS) 147
3.4.1 Osnovne postavke 147
3.4.2 Proizvodnja protočnih hidroelektrana 150
3.4.3 Metodološki pristup problemu korištenja sezonskih akumulacijskih bazena 151
3.4.3.1 Metoda progresivne optimizacije 152
3.4.3.2 Formiranje mrežnog modela akumulacijskih hidroelektrana 156
3.4.3.3 Faktor pretvaranja potencijalne energije vode u električnu energiju 157
3.4.3.4 Označavanje elemenata mrežne sheme 158
3.4.3.5 Matrica povezanosti i matrica faktora pretvaranja 158
3.4.3.6 Redukcija mrežne sheme na jednostavne grane 160
3.4.4 Punjenje akumulacijskih bazena 160
3.4.5 Pražnjenje akumulacijskih bazena 162
3.4.6 Proračun reguliranog protoka i proizvodnje za pojedinu akumulacijsku hidroelektranu 163
3.5 Određivanje remonta agregata u termoelektranama (APMaS) 164
3.5.1 Uvod 164
3.5.2 Opis problema 165
3.5.2.1 Nepoznanice 166
3.5.2.2 Ograničenja 166
3.5.2.3 Funkcija cilja 167
3.5.3 Osnove heurističkog algoritma 167
3.5.3.1 Maksimiziranje pouzdanosti rada elektroenergetskog sustava 168
3.5.3.2 Kriterij ujednačavanja rezerve: Heuristično pravilo 1 169
3.5.3.3 Kriterij ujednačavanja neisporučene snage (LOLP): Heuristično pravilo 2 170
3.5.3.4 Kriterij ujednačavanja EUE-a (neisporučene energije) 171
3.5.3.5 Kriterij za određivanje rasporeda remonta hidroagregata: Heuristično pravilo 5 173
3.5.3.6 Kriterij minimiziranja troškova goriva 174
3.5.3.7 Upute za grupiranje agregata 174
3.5.3.8 Kriterij za eliminiranje suvišnih kombinacija 175
3.5.3.9 Kriterij minimiziranja troškova remonta 176
3.5.3.10 Postupak pretraživanja 177
3.6 Simulacija prilika u elektroenergetskom sustavu (APCoS) 179
3.6.1 Postavke modela 179
3.6.2 Potrošnja električne energije 180
3.6.2.1 Aproksimacija krivulje trajanja opterećenja 180
3.6.2.2 Utjecaj temperature 182
3.6.3 Tretman hidrologije 183
3.6.4 Probabilistička simulacija proizvodnje pojedine elektrane 184
3.6.4.1 Osnove koncepta probabilističke simulacije 184

3.6.5 Anagažiranje elektrana unutar krivulje trajanja opterećenja 190
3.6.5.1 Rotirajuća rezerva 193
3.6.6 Redukcije potrošnje električne energije 194

4. Vrednovanje elektrana u elektroenergetskom sustavu 197
4.1 Metodološki pristup 197
4.2 Energetsko-ekonomska vrijednost elektrana 198
4.3 Planiranje izgradnje novih elektrana 200

5. Razvoj elektroenergetskog sustava 205
5.1 Općenito o razvoju 205
5.2 Metode planiranja u elektroenergetskom sustavu 208
5.2.1 GDP (brutto domaći proizvod) kao glavni indikator za dugoročna predviđanja potrošnje 211
5.2.2 Nezavisne metode predviđanja potrošnje električne energije 212
5.2.3 Zavisne metode dugoročnog predviđanja potrošnje električne energije 214
5.2.4 MAED Model (Model za analizu energetske potrošnje) 214
5.2.5 Napomene uz metode za dugoročno predviđanje potrošnje električne energije 215
5.3 Metode i modeli za planiranje izgradnje elektroenergetskog sustava 216
5.4 Planiranje dugoročne elektroenergetske bilance (model SIPRA) 216
5.4.1 Planiranje izgradnje elektroenergetskog sustava 217
5.4.2 Način izbora elektrana i postrojenja za izgradnju 218
5.5 Temeljne postavke i obilježja WASP modela 219
5.5.1 Krivulja trajanja opterećenja za model WASP 220
5.5.2 Tretman neraspoloživosti termoelektrana 222
5.5.3 Tretman hidroelektrana i vjerojatnosti hidrologije 223
5.5.4 Raspodjela remonta termoagregata 224
5.5.5 Razina rezerve u sustavu 227
5.5.6 Sigurnost opskrbe potrošnje (vjerojatnost nedostatka snage LOLP i neisporučena energija - EUE) 228
5.5.7 Ekonomski proračuni u WASP modelu 231
5.5.8 Uvažavanje ekoloških ograničenja 231
5.6 Model SIPRA (Simulacija planova razvoja) 235
5.6.1 Opća struktura i mogućnosti programskog paketa 235
5.6.2 Opis osnovnih funkcija programa 236
5.6.3 Elektroenergetska bilanca 236
5.6.4 Potrošnja električne energije 237
5.6.5 Hidroelektrane 237
5.6.6 Crpno–akumulacijska postrojenja 238
5.6.7 Termoelektrane i nuklearne elektrane 239
5.6.8 Termoelektrane–toplane 240
5.6.9 Troškovi proizvodnje termoenergetskih postrojenja 241

5.6.10 Remont termoelektrana ... 242
5.6.11 Nezadovoljena potrošnja ... 242
5.6.12 Sigurnost opskrbe potrošača ... 243
5.6.13 Ekonomski odnosi ... 244
5.6.14 Funkcija cilja ... 244
5.6.15 Predselekcija elektrana ... 246
5.6.16 Energetsko – tehnička ograničenja ... 248
5.6.17 Simulacija ... 249

6. Planiranje korištenja elektroenergetskog sustava ... 253
6.1 Temeljne postavke pri iskorištavanju elektroenergetskog sustava ... 253
6.2 Zadaci kod korištenja elektroenergetskog sustava ... 254
6.3 Planiranje korištenja elektroenergetskog sustava ... 254
6.3.1 Godišnja planiranja ... 257
6.3.2 Mjesečna planiranja ... 258
6.3.3 Tjedna planiranja ... 259
6.3.4 Dnevna planiranja ... 260
6.4 Vođenje elektroenergetskog sustava ... 260
6.5 Analiza ranijeg rada elektroenergetskog sustava ... 261

7. Zagađenje okoliša uvjetovano izgradnjom i radom postrojenja ... 263
7.1 Uvod ... 263
7.2 Utjecaj izgradnje i rada hidroelektrana na okoliš ... 263
7.3 Utjecaj izgradnje i rada konvencionalnih termoelektrana na okoliš ... 265
7.4 Utjecaj izgradnje i rada nuklearnih elektrana na okoliš ... 268
7.5 Utjecaj izgradnje i rada novih izvora električne energije na okoliš ... 273
7.6 Utjecaj prijenosnih i razdjelnih mreža na okoliš ... 275

8. Paritet cijena energenata i temeljne postavke za tarifne sustave ... 277

9. Globalizacija, restrukturiranje i liberalizacija tržišta električne energije ... 283

10. Organizacija i problemi slobodnog tržišta električne energije u Hrvatskoj ... 293
10.1 Polazne postavke za slobodno tržište električne energije ... 293
10.2 Direktiva Europske unije za električnu energiju ... 293
10.3 Uvođenje slobodnog tržišta električne energije u Hrvatskoj ... 317

11. Informacijski sustav i baza podataka ... 329
11.1 Općenito o bazi podataka ... 329
11.2 Uloga i zadaci informacijskog sustava ... 330
11.2.1 On-line funkcije ... 331
11.2.2 Off-line funkcije ... 331
11.3 Razmatranje potreba korisnika vezanih na bazu podataka ... 332
11.4 Zahtjevi za bazom podataka ... 333
11.5 Raspoloživost, pouzdanost i opravdanost baze podataka ... 333

1

Energija i energetski sustav

1.1 Značenje i pojavni oblici energije

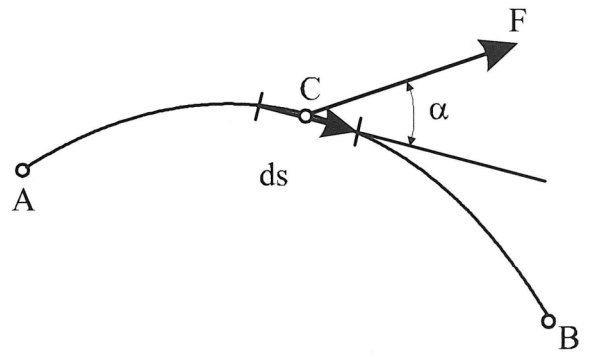
Energija je bila i bit će pokretač svih funkcija i aktivnosti živih bića i kretanja tvari na Zemlji. Zato se može reći: Energija je sposobnost obavljanja rada.

Pođe li se od definicije da je energija sposobnost obavljanja rada, bit će potrebno nešto iscrpnije objasniti značenje riječi energija. Energija se pojavljuje u prirodi, tehnici i industriji u različitim oblicima koji se pretvaraju jedan u drugi po načelu održanja (očuvanja) energije: ona se ne može poništiti niti stvoriti već samo promijeniti svoj oblik. Rad je svladavanje sile na putu. To drugim riječima znači da se energija pretvara u rad. Znači, da bi se moglo raditi potrebno je raspolagati s energijom. Rad je količina energije izmijenjene između sustava i okoline (drugih sustava). On ne uključuje energiju izmijenjenu posredstvom toplinske energije. Mehanički je rad prijelazni oblik energije koji se javlja samo u trenucima kada mehanička energija i/ili unutrašnja kalorička energija, posredstvom sile, prelaze sa sustava na sustav, a površinom je jednak umnošku komponente sile u smjeru puta i prevaljenog puta. Prema tome, može se pisati da je (slika 1.):

$$\mathrm{d}W = F\mathrm{d}s\cos\alpha \tag{1}$$

gdje je α kut koji zatvaraju vektori sile (F) i duljine puta (ds).

Da bi se mogao obaviti neki rad, tijelu bi trebalo dovesti najmanje toliku količinu energije koliko bi iznosio obavljeni rad, ili bi u tijelu morala biti upravo tolika količina nagomilane energije.



Slika 1. Definicija mehaničkog rada

Energija se pojavljuje u dva osnovna oblika (slika 2.): u nagomilanom i prijelaznom obliku. Za prijelazni je oblik energije karakteristična kratkotrajnost pojave, i to se pojavljuje samo onda kada oblik nagomilane energije prelazi s jednog tijela na drugo odnosno kad

energija mijenja oblik. Prema navedenome, treba poznavati nagomilani oblik energije, koji se pojavljuje kao potencijalna, kinetička, unutarnja energija i energija mirovanja.

Potencijalna se energija može izraziti kao:

$$W_p = mg\,(h_2 - h_1) \tag{2}$$

gdje je m – masa tijela, g – ubrzanje Zemljine sile teže, h_2 – razina na kojoj se nalazi tijelo mase m i h_1 – razina do koje se giba tijelo mase m (referentna razina).

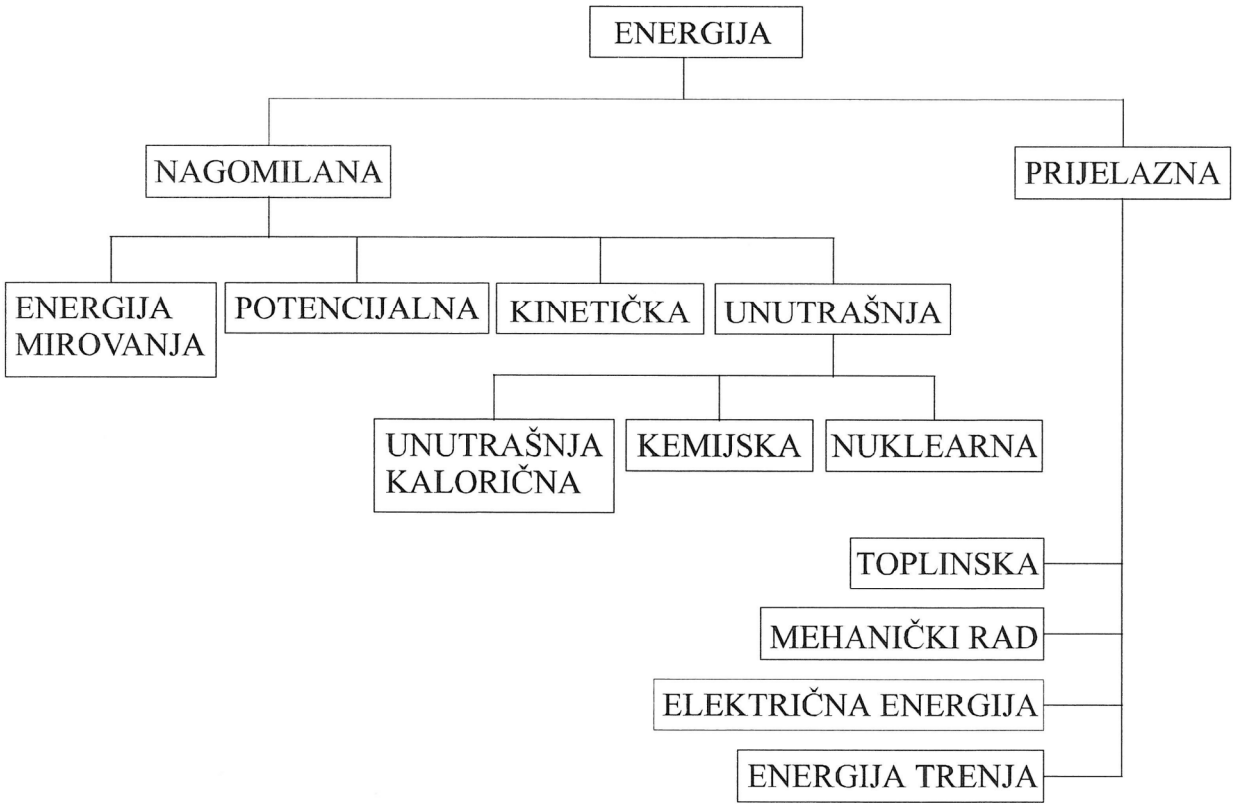
Potencijalna je energija posljedica međusobne privlačnosti Zemljine mase i mase tijela (m) koja je iznad Zemlje, a u Zemljinu gravitacijskom polju.

Ako se tijelo mase m želi ubrzati od brzine v_1 do brzine v_2, treba utrošiti rad, a taj rad, nagomilan u masi tijela koje se giba, nazivamo kinetičkom energijom. Prema tome, kinetička se energija može izraziti jednadžbom:

$$W_{k_i} = \frac{1}{2}m\left(v_2^2 - v_1^2\right). \tag{3}$$

I potencijalna i kinetička energija mogu se nagomilati i u najsitnijim dijelovima tijela. Molekule plinova u stalnome su gibanju i među njima djeluju privlačne i odbojne sile, što znači da postoje kinetičke i potencijalne energije koje se pretvaraju jedna u drugu. I molekule krutih tijela titraju oko svojih srednjih položaja pa i tu postoje kinetička i potencijalna energija, kao i njihove pretvorbe. Među atomima također djeluju sile, pa i tu postoje oba navedena oblika energije.

Unutarnja energija tvari jest energija koncentrirana na razini molekula i jezgri atoma.



Slika 2. Pojavni oblici energije

Ipak postoji razlika između energije nagomilane među molekulama i energija nagomilanih među atomima. Unutrašnju energiju na razini molekula obično nazivamo unutraš-

njom kaloričkom energijom, jer se dovođenjem ili odvođenjem topline mijenja brzina gibanja molekula, a time i nagomilana energija. Prva uporaba unutrašnje kaloričke energije za obavljanje rada zabilježena je kod prvih parnih strojeva (Stevensonova raketa), gdje je unutrašnja kalorička energija (toplina) uporabljena za ekspanziju u klipu. Kretanje klipa iskorišteno je za pokretanje (stavljanje u stanje gibanja) parnoga stroja. Unutrašnja energija na razini atoma naziva se kemijskom energijom, jer se energija mijenja promjenom kemijskog spoja. Kao izrazit primjer primjene kemijske energije mogu se navesti izgaranja goriva u prisutnosti zraka, akumulator itd. Unutrašnja energija na razini jezgara naziva se nuklearnom energijom. Razlikuju se nuklearna energija spajanja jezgara (energija fuzije) i nuklearna energija razbijanja jezgre (energija fisije).

Pojam energije sjedinjuje različite situacije u kojima se obavlja koristan rad. Budući da sposobnost za obavljanje rada sjedinjuje sve oblike energije, razumno je koristiti se tom sposobnošću kao mjerom količine energije. Hoće li mjera potencijalne energije ovisiti o radu koji je bio potreban da nastupi energetska promjena, ili će ovisiti o korisnome radu koji će se dobiti u povratnoj energetskoj promjeni? Da bi se dobio odgovor na postavljeno pitanje treba analizirati pravila pretvorbe energije u rad, rada u energiju i jednog oblika energije u drugi. Primjerice, za mehaničku energiju (suma kinetičke, gravitacijske potencijalne, elastične potencijalne i rotacijske energije sustava ili tijela) iznos rada potrebnog za nastajanje energetske promjene ne može biti veći od iznosa koji se dobije u obrnutoj energetskoj promjeni. Ili, ako je za stavljanje nekog tijela u gibanje potrebna jedna jedinica rada (dati mu jedinicu kinetičke energije) tada se od tijela u gibanju ne može dobiti više od jedne jedinice rada.

Navedene su činjenice temelj za pravilo o očuvanju energije, koje kaže da je zbroj svih energetskih ulaza (uključujući rad) jednak zbroju svih energetskih izlaza (uključujući svaki izvršeni rad). Drugim riječima, energija se nikada ne stvara niti uništava, ona samo prelazi iz jednog oblika u drugi. To pravilo provjeravano je mnogo puta i vrlo je važno u znanosti i tehnologiji. Ovdje možemo istaknuti da postoje dvije mogućnosti pristupa principu očuvanja energije. Prvi je pristup da se taj princip može primijeniti kada su prepoznati svi ulazi i svi izlazi energije, a drugi pristup da se i "masa" može smatrati energijom.

$$W = mc^2 \tag{4}$$

W – energija,
m – masa,
c – brzina svjetlosti.

Drugi se pristup primjenjuje kad se energija dobiva iz nuklearnog goriva. Nuklearna je energija naziv za unutrašnju energiju nagomilanu u tvari na razini atomskih jezgara. Njezin se iznos mijenja s promjenom sastava jezgara. Razlikuje se nuklearna reakcija spajanja jezgara lakih atoma (nuklearna energija fuzije) i nuklearna energija razbijanja jezgara teških atoma (nuklearna energija fisije).

1.2 Odakle energija

Energija koja nam je na raspolaganju dolazi od Sunca, zatim od energije koja se nalazi u Zemlji, te od energije koja je posljedica gravitacijskih sila Sunca, Mjeseca i Zemlje.

1.2.1 Energija od Sunca

Sunce se sastoji od goleme količine toplih plinova. Jake gravitacijske sile velikom brzinom ubrzavaju atome plinova prema središtu Sunca. To gibanje podiže unutrašnju temperaturu i tlak (na približno 10^7 K i približno 10^{14} Pa), pri čemu trga elektrone iz atoma i miješa jezgre i elektrone u plazmu. U takvim okolnostima zbiva se termonuklearna fuzija vodika, a kao rezultat te fuzije oslobađa se velika količina energije, nastaje helij i dolazi do nestanka mase. Energija koja tako nastaje u središtu Sunca protuteža je unutrašnjim gravitacijskim silama. Ako se reakcija fuzije uspori, gravitacijske sile ponovno ubrzaju atome prema središtu, a nakon toga se povećavaju reakcije fuzije te se ponovno uspostavlja ravnoteža.

Energija koja nastaje fuzijom unutar Sunca prenosi se prema površini a odatle zrači u Svemir, što znači da i temperatura od 10^7 K, koja je u središtu Sunca, prema površini pada. Uz pretpostavku da je prosječna temperatura na površini Sunca 5 760 K (danas je ta pretpostavka i dokazana) može se, primjenom znanstvenih metoda, izračunati energija Sunčeva zračenja.

Od ukupne energije Sunčeva zračenja samo mali dio dolazi na Zemlju. Od ukupne pak godišnje energije koja se uputi prema Zemlji ($1{,}5\times10^9$ TWh) približno 30 posto reflektira se u svemirski prostor, a približno 70 posto dolazi na Zemlju ($1{,}05\times10^9$ TWh). Prema navedenim brojkama, godišnja energija Sunčeva zračenja veća je od ukupnih zaliha ugljena i nafte.

Uz navedene podatke o temperaturi i tlaku koji vladaju u središtu Sunca, treba navesti još neke podatke koji mogu dati bolju sliku o veličini Sunca. Sunce je jedna od zvijezda galaksije koja se kroz svemir kreće brzinom od 20 km/s a istodobno se okreće oko svoje osi u intervalu od mjesec dana. Promjer Sunca iznosi približno $1\ 400\times10^6$ m, a masa mu je približno $1{,}99\times10^{30}$ kg (za ilustraciju, ona je približno 333 000 puta veća od mase Zemlje). Srednja je gustoća Sunca približno 1 400 kg/m^3, a prosječna je udaljenost Sunca od Zemlje $1{,}495\times10^{11}$ m.

Veći dio Sunčeve energije pretvara se posredno procesima nastajanja energije (fotosinteza, isparavanje i strujanje), a manji dio služi kao izravan izvor energije (Sunčevo zračenje). Energija iz Zemlje i energija gravitacije izravno služe kao izvori energije.

Fotosinteza je proces pomoću kojega se Sunčeva energija isijavanja pretvara u kemijsku energiju biljaka, a u davnim vremenima i u jednostavnije oblike životinja. Prestankom njihova biološkog života, supstance biljaka i životinja raspadale su se do ostataka koji su zadržali kemijsku energiju. Kroz milijune godina taj se ostatak nagomilao u nekim predjelima zemlje, koji su zbog kasnijih tektonskih poremećaja došli na različite dubine pod zemlju. Te ostatke nazivamo fosilnim gorivima, a proizvode fotosinteze koji se danas dobivaju nazivamo hranom, drvetom i biomasom.

Isparavanje je proces u kojemu pri dovođenju topline nastaje promjena agregatnog stanja vode (iz vode u paru). Sunčeva energija koja dolazi na Zemlju uzrokuje isparavanja vode na površini mora, rijeka i jezera, ali i na površinama tla i iz biljaka. Podizanjem od zemlje para se hladi i kondenzira pa u obliku oborina ponovno dolazi na zemlju gdje se stvaraju potoci i rijeke. Voda koja teče tim potocima i rijekama ima potencijalnu energiju u odnosu prema morskoj razini.

Strujanje nastaje kao posljedica razlika temperature bilo zraka (vjetar), bilo vode (morske struje). Stvaranje i kretanje morskih valova posljedica je strujanja zraka (vjetra). Energija vjetra i energija morskih struja kinetička je energija, a energija morskih valova potencijalna i kinetička energija.

1.2.2 Energija iz Zemlje

Zemlja je, kao i Sunce, sastavljena od istih osnovnih tvari. Vjeruje se da su Zemlja i još neki planeti nastali od Sunca, i to tako da je nekom kataklizmom Sunce izbacilo čestice toplih plinova koje su se počele vrtjeti oko Sunca i polako se hladile. Jasno je da se to dogodilo prije nekoliko milijarda godina. Hlađenje Zemlje počinje na površini i ide prema središtu, a toplina ide od središta prema površini. Hlađenjem Zemlje postupno nastaje Zemljina kora, kontinenti, mora, biljni i životinjski svijet. Kruti dio Zemljine kore debeo je do 50 km.

Osnovni podaci za određivanje sadržaja energije Zemlje su:

- promjer $12{,}75 \times 10^6$ m,
- masa 6×10^{24} kg,
- srednja gustoća 5 500 kg/m^3,
- površina $510{,}675 \times 10^{12}$ m^2,
- površina kopna $149{,}630 \times 10^{12}$ m^2,
- površina mora $361{,}045 \times 10^{12}$ m^2,
- prosječna udaljenost od Sunca $149{,}5 \times 10^9$ m,
- prosječna udaljenost od Mjeseca 0,384 365×10^9 m,
- prosječna debljina Zemljine kore 40 000 – 50 000 m,
- prosječna gustoća Zemljine kore 3 000 kg/m^3,
- prosječna gustoća jezgre 8 500 kg/m^3.

Različitim istraživanjima došlo se do spoznaje da se Zemljina jezgra sastoji od rastaljene materije s temperaturom od 5 500 K i vrlo velikog tlaka – 345×10^9 Pa.

Od svojeg nastajanja pa i danas površina Zemlje mijenja se pod utjecajem unutrašnjih (endogenih) i vanjskih (egzogenih) sila, kao i pod utjecajem radioaktivnog raspada teških elemenata koji se nalaze u Zemljinoj kori. Promjene na Zemljinoj kori teku neprekidno i polagano. Očit dokaz aktivne unutrašnjosti Zemljine kore, odnosno endogenih sila, jesu vulkani i potresi, dok egzogene sile razaraju površinu, a djeluju preko razlike temperatura, razlike tlakova, preko tekuće vode, valova, vjetra, leda, biljnog i životinjskog svijeta, te napokon i čovjeka.

Prosječni temperaturni gradijent Zemlje iznosi 1 K za svaka 33 m, dok je prosječni temperaturni gradijent Zemljine kore 0,3 K na svaka 33 m, ali mjestimično može biti znatno viši ili niži. Visoki temperaturni gradijenti postoje u područjima jakih seizmičkih aktivnosti. Prosječna dnevna količina energije koja se dnevno dovodi na površinu Zemlje iznosi $5{,}4 \times 10^3$ kJ/m^2, pa kad se uzme u obzir površina Zemlje, dobiva se vrlo velika količina energije u iznosu od $2{,}8 \times 10^{15}$ kJ na dan ili približno $0{,}27 \times 10^6$ TWh godišnje.

Za mogućnost iskorištavanja topline iz Zemlje bitan je toplinski gradijent, jer se toplinska energija može iskoristiti samo ako postoji potrebna razlika u temperaturi. Prema današnjim mogućnostima i spoznajama toplina Zemlje mogla bi se iskoristiti:

- u primjeni toplinskih crpki,
- kao izvori vruće vode i pare,
- kao energija suhih stijena.

1.2.3 Energija gravitacije

Treći izvor energije koji se pojavljuje na Zemlji posljedica je gravitacijskih sila koje djeluju između Sunca, Mjeseca i Zemlje, a utječu na razinu vode u moru.

Promjena razine mora na Zemlji (promjena potencijalne energije mora) posljedica je privlačnih sila Sunca, Mjeseca i Zemlje. Dizanje razine mora (plima) i spuštanje razine mora (oseka) različito je u raznim dijelovima Zemlje i ne poklapa se s cikličkim promjenama na Zemlji (dan, noć, mjesec itd). Obično se javljaju dvije plime i dvije oseke u tijeku Mjesečeva dana i one se nazivaju poludnevnima, za razliku od jednodnevnih kod kojih se u tijeku Mjesečeva dana pojavljuju samo jedna plima i jedna oseka. Razlika između plime i oseke varira od nekoliko centimetara do 16 metara.

1.2.4 Izvori energije

Kako je već opisano, tri su osnovna izvora energije:

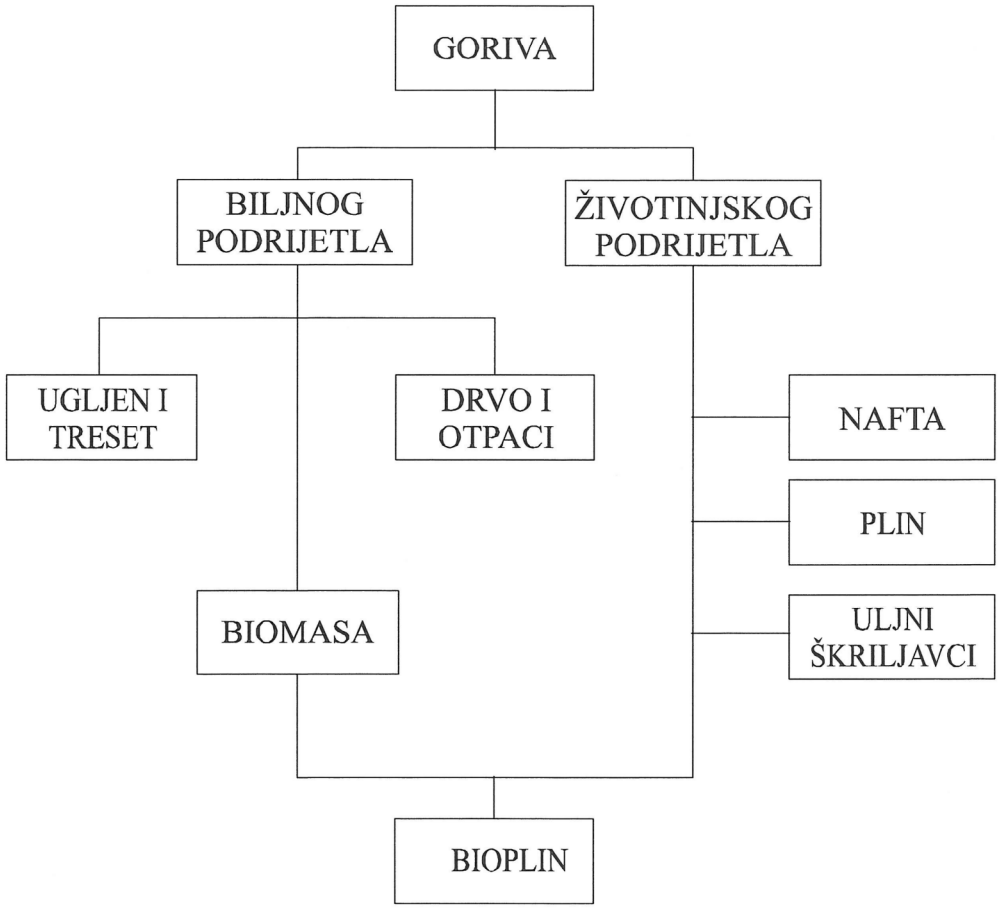
- energija od Sunca,
- energija iz Zemlje,
- energija gravitacije.

Nakon što su navedena značenja fotosinteze, strujanja i isparavanja, te oblika energije što ih stvaraju, može se zaključiti da su prirodni oblici energije:

- energija Sunčeva zračenja,
- energija goriva,
- energija hrane,
- energija vodotoka,
- energija vjetra,
- energija morskih struja i valova,
- energija plime i oseke,
- energija nuklearnih goriva,
- energija vrućih izvora,
- energija topline Zemlje (kopna i mora),
- energija vulkana.

S obzirom na postanak, goriva mogu biti biljnog i životinjskog podrijetla, pa je potrebna i podjela unutar njih. Prema slici 3, postoje goriva biljnog podrijetla (ugljen i treset, drvo i biomasa), goriva životinjskog podrijetla (nafta, plin i uljni škriljavci), te gorivo biljnog i životinjskog podrijetla (bioplin). Poznato je da unutar pojedinih vrsta goriva postoje daljnje podjele.

Od svih navedenih izvora energije, prema današnjim spoznajama i tehnologijama, samo se energija vulkana ne može iskoristiti za podmirenje energetskih potreba. Ostali izvori energije mogu se iskoristiti, ali njihova uporaba ovisi i o ekonomičnosti uporabe i o raspoloživosti pojedinih izvora energije. Bez energetskih pretvorba mogu se u korisne svrhe uporabiti samo toplina Sunčeva zračenja, vrući izvori i toplina Zemlje, a svi se ostali izvori energije mogu korisno uporabiti samo preko energetskih pretvorba.



Slika 3. Shematski prikaz postanka i podjele goriva

1.3 Početak iskorištavanja energije

Hlađenjem Zemlje počinje razvoj biljnog i životinjskog svijeta, a postupnom evolucijom i čovjeka. Prema tome, čovjek se najprije počeo koristiti energijom Sunca (zahvaljujući njoj se i razvio), a dugo nakon toga energiju iz Zemlje, da bi se tek u drugoj polovici 20. stoljeća počeo koristiti energijom koja je posljedica gravitacijskih sila (plimu i oseku). Prvi ljudi obožavali su Sunce, jer su tvrdo vjerovali da ovise o njemu.

Zapravo, čovjekova egzistencija počivala je na biološkom ciklusu, koji Sunce održava, a čovjek ga nije razumio. Naš život i danas ovisi o tome istom ciklusu, samo što smo naučili bolje se njime koristiti.

Sunčeva energija ima temeljnu ulogu u rastu vegetacije. Tajanstvenom katalitičkom akcijom klorofila Sunčeva je energija uhvaćena i spremljena u biljke kao potencijalna kemijska energija. Čovjek se koristi vegetacijom kao hranom i kao gorivom. Životinje se također koriste vegetacijom kao hranom da bi dale čovjeku hranu i mehaničku energiju. Danas čovjek ovisi o energiji jednako kao i njegovi prethodnici, samo s tom razlikom što troši mnogo više energije, ne iz tekućeg vegetacijskog ciklusa, nego iz energije spremljene u Zemlji kroz milijune godina u obliku fosilnih goriva, vrućih izvora ili iz energije nuklearnih goriva.

Svi su navedeni izvori konačni bez obzira na razinu potrošnje. Njihovo trajanje ovisi o

razini potrošnje. Današnji razvijeni svijet ne može bez velikih količina energije, dok drugi dio svijeta (nerazvijeni i manje razvijeni) također žele viši životni standard, a time i veću potrošnju energije. Može se očekivati da će potrošnja svih oblika energije rasti, iako će se razvijeni dio svijeta neko vrijeme održati na današnjoj razini potrošnje. Za nekoliko desetaka godina sadašnji (da ih nazovemo "konvencionalni") izvori energije bit će iscrpljeni i, ako se ne budu razvile nove tehnologije za iskorištenje (danas još ekonomski neopravdanih uporaba) novih izvora, kriza energije bit će trajna.

Realno gledano, problem energije ima šire razmjere, on je svjetski problem, jer se nijedna zemlja ne može razvijati društveno-ekonomski izolirano, pa ni energetski. Iscrpljenje pojedinog oblika energije može utjecati na cijene preostalih oblika energije, a one na cijene ostalih dobara. Da bi se mogao planirati razvoj društva, prijeko je potrebno planirati razvoj potrošnje svih oblika energije, te mogućnosti njezina zadovoljenja bilo postojećim, bilo novim izvorima energije. Svako planiranje i svaka procjena obavljaju se na osnovi mnogih pretpostavka, pa će ono biti toliko kvalitetno koliko budu kvalitetne i učinjene pretpostavke. Prema navedenome, da bi se čovječanstvo moglo razvijati, bit će potrebno na vrijeme osigurati dovoljne količine energije a, da bi se to moglo ostvariti, pred znanstvenicima različitih profila velike su obveze u pronalaženju novih tehnologija za bolje iskorištavanje današnjih izvora energije i za početak iskorištavanja novih izvora energije.

1.4 Klasifikacija oblika energije

U danas uobičajenoj raspodjeli susrećemo se sljedeći oblici energije: prirodni, pretvorbeni i korisni.

1.4.1 Prirodni oblici energije

Prirodni su oblici energije oni koji se pojavljuju u prirodi ili se nalaze u njoj. Svi prirodni oblici energije ne mogu se rabiti u prirodnom obliku za dobivanje korisnog oblika energije. Većina se prirodnih oblika energije pretvara u pretvorbene oblike i kao takvi služe za dobivanje korisnih oblika energije, a s obzirom na njihovu obnovljivost mogu se podijeliti u dvije skupine:

a) prirodni oblici koji se ne obnavljaju,

b) prirodni oblici koji se obnavljaju.

U prvu se skupinu ubrajaju: ugljen i treset, nafta, zemni plin, uljni škriljavci, nuklearna goriva, Zemljina unutarnja toplina koja se pojavljuje na površini (vrući izvori), te unutarnja toplina Zemlje. Za ugljen, naftu i zemni plin vrlo čest je zajednički naziv "fosilna goriva". Drugoj skupini pripadaju: drvo i otpaci, biomasa, bioplin, vodne snage, energija vjetra, energija plime i oseke, energija morskih struja i valova, toplina mora i energija Sunčeva zračenja (energija Sunca u užem smislu).

Između prirodnih oblika energije koji se obnavljaju i onih koji se ne obnavljaju postoje razlike u stalnosti, mogućnostima skladištenja i transporta, ali i glede potrebnih investicija za izgradnju postrojenja za njihovo vađenje, pretvorbu i uporabu, te potrebnih troškova za njihov pogon i održavanje.

Mogućnost prilagodbe potrebama, bolja mogućnost skladištenja i transporta u prirodnom obliku, te manje investicije koje su pri tome potrebne razlozi su zbog kojih se danas više rabe neobnovljivi oblici energije. Za praktično iskorištavanje prirodnih oblika energije nije mjerodavno samo njihovo postojanje, nego i tehnička mogućnost i ekonomska opravdanost

njihova iskorištavanja. S obzirom na te zahtjeve, prirodni oblici energije mogu se podijeliti u ove skupine:

a) oblici energije za koje nije tehnički riješen način iskorištavanja (unutarnja toplina Zemlje, fuzija lakih atoma, morske struje i valovi);

b) oblici energije za koje je tehnički riješen način iskorištavanja, ali je njihovo iskorištavanje ipak (prema današnjoj spoznaji) ekonomski neopravdano (uljni škriljavci, toplina mora, Sunčevo zračenje, vjetar, plima i oseka);

c) oblici energije za koje je tehnički riješen način iskorištavanja i to iskorištavanje ekonomski opravdano (ugljen i treset, nafta, plin, drvo i otpaci, biomasa, bioplin, fisija teških atoma, vrući izvori i vodne snage).

Od prirodnih oblika energije samo se vrući izvori i energija Sunčeva zračenja mogu neposredno upotrijebiti, primjerice za grijanje prostorija. Za upotrebu svih drugih prirodnih oblika energije treba prirodni oblik energije pretvoriti u neki drugi, pogodniji oblik. Unatoč tome postoji mišljenje da se gorivo (ugljen i treset, nafta, plin, drvo i otpaci, biomasa i bioplin), može neposredno iskorištavati, jer se potrošačima može dostaviti u prirodnu obliku. Ipak se ono prilikom upotrebe mora pretvoriti u drugi energetski oblik. Gorivo, naime, izgara u ložištima, a pri tome se kemijska energija preko unutarnje energije izgaranja plinova pretvara u toplinu.

Prema fizikalnim svojstvima, prirodni se oblici energije mogu podijeliti na nosioce:

a) kemijske energije: drvo i otpaci, ugljen i treset, sirova nafta, zemni plin, uljni škriljavci, biomasa, bioplin;

b) nuklearne energije: nuklearna goriva;

c) potencijalne energije: vodne snage, plima i oseka, morski valovi;

d) kinetičke energije: vjetar, energija morskih struja i valova;

e) toplinske energije: geotermička, toplinska energija mora;

f) energija zračenja: Sunčevo isijavanje.

1.4.2 Pretvorbe i pretvorbeni oblici energije

Kako je već navedeno, prirodni oblici energije vrlo se rijetko bez pretvorba, mogu iskoristiti kao oblici energije, pa je za njihovu upotrebu najprije potrebno obaviti pretvorbe u pogodniji oblik energije. Pretvorbe prirodnih oblika poželjne su i zbog toga što je vrlo često tehnički i gospodarski povoljnije koristiti se pretvorbenim oblicima, ili zbog manjeg i jednostavnijeg transporta.

Međutim, često se događa da se već pretvoreni oblik energije mora pretvoriti da bi se dobio korisni oblik energije. Imajući u vidu navedene vrste prirodnih oblika energije, mogu se očekivati ove kombinacije pretvorbi oblika energije:

- prirodnih oblika energije u prikladnije oblike energije,
- kemijske energije u unutarnju termičku energiju,
- nuklearne energije u unutarnju termičku energiju
- unutarnje termičke energije u mehaničku,
- potencijalne energije vode u mehaničku energiju,
- mehaničke energije u električnu energiju,
- električne energije u mehaničku i u potencijalnu energiju vode,
- neposredne pretvorbe u električnu energiju,
- kinetičke energije u mehaničku energiju.

Temeljne energetske pretvorbe ostvaruju se izgaranjem, nuklearnim reakcijama, s pomoću gorivih ćelija, energije živih bića i fotoćelija. Navedenim energetskim pretvorbama dobivaju se oblici energije koji se ne mogu uporabiti kao korisni oblici (osim topline pri izgaranju i misaone energije kod energije živih bića), nego moraju doživjeti još jednu ili više pretvorba.

Energija koja se dobiva izgaranjem (osim energije za toplinu), energija živih bića (osim misaone) energija nuklearnih reakcija, potencijalna energija vodotoka, energija vjetra, morskih struja i valova, energija plime i oseke, te energija vrućih izvora (osim energije za toplinu) služe kao energija za pogon. Budući da su posrijedi različiti oblici energije za pogon, bit će potrebne i različite pretvorbe tih oblika energije u korisne oblike.

Pretvorbom energije zračenja preko fotoćelija dobiva se električna energija, a ona se dalje pretvara u korisne oblike energije (toplina, energija za kemijske procese, mehanička energija i energija za rasvjetu). Pretvorbom energije goriva pomoću gorivih ćelija također se dobiva električna energija, a ona se pretvara u druge korisne oblike.

Najčešći oblici pretvorba prirodnih oblika u pretvorbene oblike energije:

a) isplinjavanje – pretvorba prirodnog oblika energije u kvalitetniji oblik;

b) rasplinjavanje – kemijska pretvorba prirodnog oblika energije u prikladnije oblike;

c) izgaranje – proces pretvorbe kemijske energije u unutarnju energiju;

d) destilacije (rafinerije) – pretvorbe sirove nafte u derivate (rafinerijski plin, ukapljeni plin, laki i teški derivati);

e) degazolinaže – pretvorbe u kojima se odvajaju laki od teških ugljikovodika;

f) nuklearne reakcije – pretvorbe nuklearne energije u unutarnju energiju nosilaca energije:

g) turbinske pretvorbe – pretvorbe potencijalne energije (vodotoka te plime i oseke), kinetičke energije (vjetar i morski valovi), geotermičke i toplinske energije mora u mehaničku energiju;

h) zračenje – Sunčevo isijavanje i zračenje topline iz geotermičke energije (vrući izvori).

Pretvorbe prirodnih oblika energije ne mogu se uvijek uporabiti kao korisni oblici energije, pa ih je vrlo često potrebno pretvoriti još jednom ili više puta kako bi se dobili najpogodniji oblici energije za upotrebu.

Za ilustraciju mogućih slučajeva pretvorba navode se ovi primjeri:

1. Pretvorba se pretvorbenih oblika energije pojavljuje u slučajevima kada se pretvorbom prirodnih oblika dobivaju toplinska i mehanička energija. Vrlo često toplinska se energija pretvara u mehaničku (termoelektrane: kotao – turbina), a mehanička u električnu (elektrane: turbina – generator).

2. Pretvorba se prirodnih oblika u korisne oblike energije pojavljuje pri upotrebi kemijske energije (gorive ćelije, toplinska energija za grijanje, kuhanje i pripremu tople vode), pri upotrebi potencijalne i kinetičke energije (mlinsko kolo, natapanja u poljoprivredi) i kao električna energija dobivena magnetohidrodinamskim (MHD) generatorima ili termoelektričnim elementima.

3. Najčešće se pretvorbeni oblici energije pretvaraju u korisne oblike energije. Tako se toplinska energija pretvara u mehaničku i električnu energiju.

4. Može se dogoditi da se korisni oblik energije pretvara u prirodan oblik energije. To je slučaj kad rade crpno-akumulacijska postrojenja. Tada se električna energija pretvara u potencijalnu energiju vode, koja se kasnije pretvara u mehaničku energiju, a mehanička se ponovno pretvara u električnu energiju.

Fizikalni oblik	Izvori energije	Pretvorbe energije
Kemijska energija	Ugljen i treset Nafta Zemni plin Drvo i otpaci Biomasa Bioplin	Isplinjavanje Rasplinjavanje Izgaranje Destilacije Degazolinaže
Nuklearna energija	Nuklearna goriva	Nuklearne reakcije
Potencijalna energija	Vodne snage Plima i oseka	Turbinske pretvorbe
Kinetička energija	Vjetar Morske struje i valovi	
Toplinska energija	Toplina mora Vrući izvori Unutarnja toplina Zemlje	Prijelaz topline
Energija zračenja	Sunčevo zračenje	Fotoćelije Sunčani kolektori

Iz navedenih je pretvorba vidljivo da se mogu pojaviti i različite kombinacije pretvorba pa zbog toga uvijek treba slijediti tok oblika energije od njegove pojave do njegove potrošnje.

Prema nevedenome, u nastavku se navode pojedini nosioci energije te odgovarajući izvori i načini pretvorba.

1.4.3 Korisni oblici energije

Sva živa bića troše hranu da bi se održala na životu. Hrana je izvor energije koja je nužna za održavanje osnovnih funkcija, kao što su tjelesna temperatura, rad srca itd.

Na početku razvoja čovjek je najveći dio vremena trošio na prikupljanje hrane. Nakon toga se počinje koristiti prirodnim osobinama Sunca, Zemlje i njezine atmosfere te vlastitom snagom započinje obrađivati zemlju da bi osigurao dovoljne količine hrane za sebe.

Prve "udobnosti" što ih čovjek doživljava u svojem razvoju nastaju pojavom vatre, jer se otada mogao grijati i pripremati hranu. Sljedeća udobnost javlja se početkom upotrebe energije životinja za obradu zemlje i za otkrivanje novih prostora. Sada je čovjek bez mnogo napora i trošenja vlastite energije mogao znatno brže upoznavati i aktivirati nove prostore.

Nakon upotrebe energije izgaranja i životinjske energije čovjek se počinje koristiti obnovljivim prirodnim oblicima energije: energijom vjetra za pogon jedrenjaka i mlinova te energijom vode za pogon mlinova i za navodnjavanje.

Slijedi pronalazak parnoga stroja koji uvelike zamjenjuje čovjekovu energiju i ostale do tad poznate oblike energije, zatim slijede pronalasci motora s unutrašnjim sagorijevanjem, električne energije i njezina prijenosa na veće udaljenosti i na kraju do upotrebe nuklearne energije. Suvremeni je čovjek do 1973. godine nekontrolirano trošio neobnovljive prirodne oblike energije (prije svega naftu i ugljen) ne vodeći mnogo računa o budućim naraštajima.

Nakon 1973. polako se dolazi do spoznaje da se trošenje energije treba bolje planirati i racionalnije se njome koristiti, te da se energija mora čuvati (koliko je to moguće) sve dok se ne pronađu novi, neiscrpni izvori energije.

Potrošači se za svoje potrebe koriste toplinskom i mehaničkom energijom, energijom za kemijske procese te energijom za rasvjetu.

Opskrba se potrošača toplinske energije danas osigurava:

a) parom i vrelom vodom,

b) izgaranjem na ložištima,

c) električnom energijom.

Para ili vrela voda (kao nosioci unutrašnje energije) služe za dovod toplinske energije, u prvome redu u industriji, te u domaćinstvima koja imaju centralna grijanja i centraliziranu pripremu tople vode. Za takvu vrstu opskrbe potrošača toplinskom energijom treba imati izmjenjivače topline (radijatori i sl). Nedostatak je tog načina dovođenja topline potrošačima ograničena temperatura nosioca energije, pa su najviše temperature koje se mogu postići nekoliko stotina K. U nekim se industrijama kao nosioci topline mogu pojaviti pomiješane para i vrela voda, što ovisi o tehnološkom postupku.

Dovođenjem toplinske energije potrošačima neposrednim se izgaranjem goriva u pojedinačnim ložištima osigurava znatan dio energije za kuhanje, grijanje i pripremu tople vode u kućanstvima, poslovnim prostorijama te u manjim industrijama.

Potrebnu toplinsku energiju potrošači mogu dobiti i pomoću električne energije koja se u otpornim i indukcijskim pećima pretvara u toplinsku energiju. Takav se način osiguranja toplinske energije primjenjuje uglavnom u kućanstvima i u nekim industrijskim granama.

Opskrba se potrošača mehaničkom energijom danas osigurava:

a) električnom energijom,

b) toplinskom energijom,

c) potencijalnom i kinetičkom energijom,

d) sunčanim kolektorima.

Električnom se energijom uglavnom podmiruju potrebe za mehaničkom energijom u industriji, djelomično u transportu (željeznica i gradski cestovni promet), te u kućanstvima. U ostalom se transportu za dobivanje mehaničke energije upotrebljava toplinska energija dobivena u motorima s unutrašnjim izgaranjem, te manje u parnim turbinama. Katkad se prigodom osiguranja potrebne mehaničke energije pojavljuju pretvorbe toplinske energije u mehaničku, nakon toga mehaničke u električnu i, napokon, električne u mehaničku (dizel – električna lokomotiva, brodski pogoni). Potencijalna i kinetička energija rabile su se od davnina za dobivanje mehaničke energije, i to pomoću mlinskog kola (potencijalna) i vjetrenjača (kinetička). Danas se ti oblici energije rabe manje i u slabije razvijenim zemljama.

Za dobivanje energije za kemijske procese danas se isključivo rabe koks i električna energija, ili pak obje vrste zajedno. Umjesto koksa može se rabiti zemni plin ili teško loživo ulje. Osim kemijske energije u redukcijskim pećima (visoke i lučne peći) kao popratni se oblik energije pojavljuje i toplinska energija.

Kao energija za rasvjetu (osim za rasvjetu u užem smislu, tu se obično uključuje i energija za telekomunikacijske, audio-vizualne, računalske, elektromedicinske i slične uređaje) danas se isključivo upotrebljava električna energija. U krajevima gdje nema električne energije petrolej, a za gradsku se rasvjetu (više zbog tradicije) upotrebljava i plin.

1.5 Temeljne značajke i zalihe prirodnih oblika energije

Pod zalihama neke iskoristive materije razumijeva se dovoljna koncentracija koja je nastala djelovanjem geoloških i fizikalno-kemijskih činitelja. Svi su, naime, kemijski elementi raspodjeljeni u i na Zemlji, ali se samo njihova koncentracija može označiti kao zaliha.

Kad se govori o zalihama prirodnih oblika energije, treba znati da se jedan dio prirodnih oblika energija obnavlja, drugi se dio ne obnavlja. Zbog toga su, prilikom utvrđivanja zaliha oblika energije, kriteriji i metode različiti kad se radi o obnovljivim i neobnovljivim oblicima energije.

1.5.1 Temeljne značajke i zalihe neobnovljivih prirodnih oblika energije

Većinu oblika energije koji se ne obnavljaju možemo nagomilati (uskladištiti) u obliku u kojemu se pojavljuju u prirodi (ugljen i treset, nafta, zemni plin, uljni škriljavci, nuklearno gorivo), dok se energija vrućih izvora i unutrašnja toplina Zemlje moraju uporabiti kako se pojavljuju, pri čemu treba istaknuti da potrošač diktira njihovu pojavu, za razliku od pojave obnovljivih izvora energije.

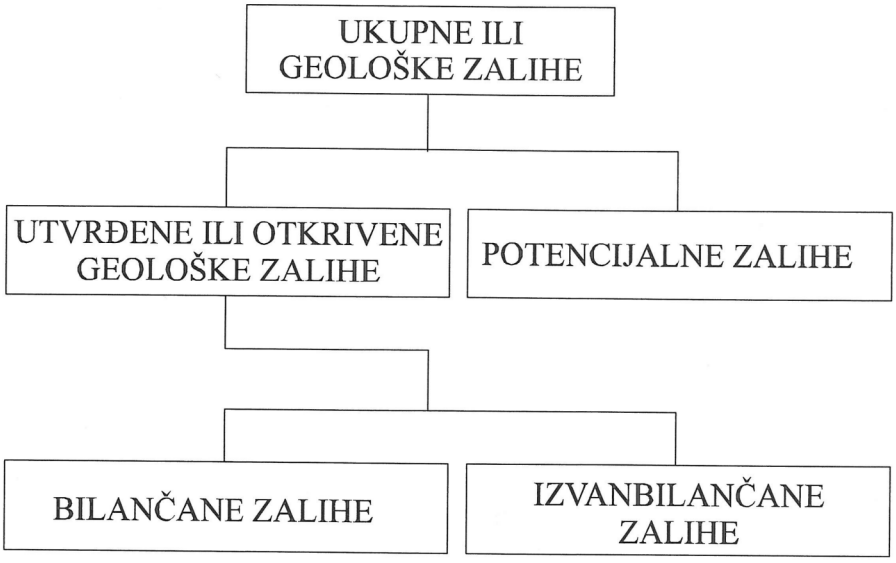
Zahvaljujući mogućnosti uskladištenja, prirodni oblici energije koji se ne obnavljaju mogu se iskorištavati prema potrebama i bez većih teškoća transportirati u svojemu prirodnom obliku. To napose vrijedi za fosilna i nuklearna goriva, koja danas čine znatan dio međunarodne trgovine. Vrući izvori i unutrašnja energija Zemlje mogu se, s obzirom na tehničko stanje, prenositi na veće udaljenosti samo nakon pretvorbe u električnu energiju.

Najveći se dio zaliha neobnovljivih prirodnih oblika energije nalazi ispod Zemljine površine, a manji dio na površini. Upravo stoga što je veći dio njih ispod Zemljine površine, utvrđivanje zaliha nije jednostavno ni jednoznačno.

Za većinu je neobnovljivih prirodnih oblika energije postupak utvrđivanja zaliha vezan za bušenja Zemljine kore, pa se prema broju i gustoći bušotina procjenjuju zalihe.

S obzirom na činjenicu da se neobnovljivi prirodni oblici energije nalaze u Zemljinoj kori, njihove su zalihe ograničene, ma kako velike bile, pa će, teoretski gledano, jednoga dana ipak biti iscrpljene. Trajanje zaliha ovisit će u prvome redu o intenzivnosti iskorištavanja.

U literaturi se mogu susresti vrlo različite podjele s obzirom na prikazivanje zaliha. U našoj zemlji obvezna je shema prikazivanja zaliha prema slici 4.



Slika 4. Shematski prikaz određivanja zaliha

Utvrđene ili otkrivene geološke zalihe dijele se na bilančne i izvanbilančne zalihe. Bilančne su zalihe one utvrđene u ležištu, koje se mogu dobivati postojećom tehnikom i tehnologijom uz isplativu upotrebu. Stupanj isplativosti vađenja i prerade bilančnih zaliha mora biti u skladu s općeprihvaćenim ekonomskim i društvenim kriterijima, a može biti i različit ovisno o tržišnim, tehničko-tehnološkim, društveno-ekonomskim i drugim čimbenicima. U izvanbilančne zalihe uvrštavaju se mase u ležištu koje se ne mogu isplativo iskoristiti s postojećom tehnikom i tehnologijom vađenja i prerade, bilo da su to izvađene količine u bilančnim ležištima, bilo da su posrijedi napuštena ležišta, bilo pak da isplativo dobivanje nije moguće postići zbog male količine, male debljine sloja, velike dubine itd.

Potencijalne zalihe utvrđuju se na osnovi geoloških i geofizičkih podataka i djelomično provedenih istražnih radova, odnosno određenom analogijom prema ispitanim sličnim područjima uz primjenu statističke metode (na temelju teorije vjerojatnosti) i analitičko-sintetičke metode. Potencijalne zalihe služe za planiranje temeljnih geoloških istraživanja i one se ne razvrstavaju u klase. Potencijalne zalihe s povećanim istraživanjem i dodatnim bušenjem prelaze u utvrđene zalihe. U praksi se, međutim, može dogoditi i obrnuto – da povećanjem istraživanja utvrđene zalihe prijeđu u kategoriju potencijalnih zaliha.

Ukupne ili geološke zalihe sastoje se od utvrđenih i potencijalnih zaliha.

Prema tome, kad su posrijedi zalihe neobnovljivih prirodnih oblika energije, treba uvijek istaknuti o kojim se zalihama radi. U literaturi se obično navode bilančne i ukupne zalihe.

Kada se pak govori o zalihama ugljena, obično se zalihe navode u tonama ekvivalentnog ugljena (1 tona ekvivalentnog ugljena je 29,307 GJ). To je potrebno zbog toga što ima vrlo mnogo nijansa ugljena u svakoj vrsti ugljena (kamenog, mrkog i lignita), a svaka je od njih druge ogrjevne moći i drugog sastava. Svođenjem svih vrsta ugljena na ekvivalentni ugljen jednostavnije se i lakše pojedine vrste ugljena mogu uspoređivati međusobno, a i s drugim oblicima energije.

1.5.2 Postanak, značajke, vrste i zalihe ugljena i treseta

Različitim ispitivanjima vrsta ugljena zaključeno je da je ugljen najvećim dijelom postao od posebne grupe biljaka, i to onih koje su rasle u močvarama. Prema tome, močvarna je vegetacija dala građu za stvaranje ugljena, i to u onim vremenima kada su postojali optimalni uvjeti za razvoj takve vegetacije.

U prirodi se stalno zbiva proces izumiranja biljnih organizama. Izumrla biljna tvar tijekom vremena nagomilava se na nekom drugom mjestu kamo ju je donijela voda ili vjetar. Nagomilana izumrla biljna masa podliježe procesima raspadanja koji se zbivaju na različite načine, ovisno o uvjetima sredine.

Izmjena biljne organske tvari i njezino pretvaranje u ugljen (treset, lignit, mrki i kameni ugljen) odigrava se pod utjecajem bioloških, fizikalno-kemijskih i geoloških čimbenika. Tijekom proteklog vremena u različitim vremensko-geološkim razdobljima nastajale su karakteristične promjene, a s tim promjenama mijenjao se i biljni svijet koji je davao građu za stvaranje ugljena. Osim tih promjena, mijenjali su se i uvjeti nagomilavanja biljne građe i intenzitet činitelja koji su djelovali na izmjenu početne građe.

Procesi raspadanja i potpunog uništenja biljnih ostataka odvijaju se u sredinama s dovoljnom količinom kisika i postojanjem mikroorganizama. Prema tome, da se biljna tvar ne bi potpuno uništila, bilo je potrebno da se pretvaranje biljne tvari u ugljen obavlja bez prisutnosti kisika i mikroorganizama, a to znači da se pretvaranje zbivalo u mirnoj stajaćoj vodi.

Postanak raznih vrsta ugljena najviše ovisi o temperaturama i tlakovima, te o kemijskim značajkama i količini vode kod kojih se obavlja pougljenjivanje u geološkim uvjetima. Bit pougljenjivanja svodi se prije svega na obogaćivanje materije ugljikom, a sve većim osiromašenjem vodika, kisika, dušika i sumpora.

Značajkaka je pougljenjivanja također sve manji sadržaj huminske kiseline, te stvaranje ugljikdioksida (CO_2) i metana (CH_4).

Uz ugljik (C), vodik (H), kisik (O) i dušik (N) u ugljenima se vrlo često mogu susresti: fosfor (P), kalcij (Ca), željezo (Fe), te magnezij (Mg). Ako se ugljen promatra kao gorivo, treba naglasiti da, osim navedenih elemenata koji se pojavljuju u elementarnu stanju ili u kemijskim spojevima, postoje uz dušik negorivi dijelovi vode i pepela. Sastav goriva određuje se kemijskom analizom, a obično se navode podaci o masenom udjelu pojedinih elemenata u ugljenu. Navodeći masene udjele u relativnim veličinama, može se napisati da je:

$$c + h + o + n + s + p + ca + fe + mg + w + a = 1 \tag{5}$$

gdje su: c udio ugljika, h vodika, o kisika, n dušika, s sumpora, p fosfora, ca kalcija, fe željeza, mg magnezija, w vlage i a pepela.

Kao osnovne značajke (uz elementarni sastav) pojedinih vrsta ugljena pojavljuju se donja i gornja ogrevna moć, količina hlapljivih sastojaka, količina vlage i količina ugljika u postotku suhe supstance, te količina pepela.

Gornjom ogrjevnom moći naziva se količina topline koja se oslobodi potpunim izgaranjem (oslobađanjem kemijske energije) 1 kg ugljena, uz uvjet da se produkti izgaranja nakon izgaranja ohlade do temperature koju su gorivo i zrak imali prije izgaranja, pri čemu se pretpostavlja da se sva vodena para kondenzirala. Vodena para u produktima izgaranja nastala je izgaranjem vodika iz goriva i od vlage koja je bila u njemu.

Pri određivanju ogrjevne moći nije dovoljno samo uzeti da produkti izgaranja imaju jednaku temperaturu prije i nakon izgaranja, već se mora voditi računa i o agregatnom stanju. To posebno vrijedi za vodu koja se može pojaviti u sva tri agregatna stanja (kruto – led, tekuće – voda i plinovito – vodena para).

Za promjenu agregatnoga stanja vode iz tekućeg u plinovito bilo bi potrebno potrošiti određenu količinu topline da bi voda isparila. Ta količina topline naziva se toplina isparavanja. Obrnuto, ako se količina vodene pare kondenzira (voda prelazi iz plinovitog u tekuće agregatno stanje) oslobađa se količina topline kondenzacije vode.

Donja ogrevna moć razlikuje se od gornje samo za toplinu kondenzacije vode. Da bi se dobio odnos između gornje i donje ogrjevne moći, treba odrediti toplinu potrebnu za isparavanje vode pri temperaturi za koju se utvrđuje ogrjevna moć goriva.

Ako se primjerice promatra izgaranje 1 kg vodika pri temperaturi od 273K i uz prepostavku da je u plinovima izgaranja voda u tekućem stanju, tada se oslobađa toplina:

$$h_g = 142,2\ MJ/kgH_2\ . \tag{6}$$

Toplina isparavanja vode nastale izgaranjem 1 kg vodika iznosi 22,34 MJ/kg H_2, a dobivena je iz spoznaje da izgaranjem 1 kg vodika nastaje 8,937 kg vode i da je toplina isparavanja vode pri 273 K 2,5 MJ/kg. Množenjem navedenih veličina dobiva se toplina isparavanja vode pri izgaranju 1 kg vodika. Prema tome, donja ogrevna moć vodika pri 273 K iznosi:

$$h_d = 142,2 - 22,3\ MJ/kgH_2\ . \tag{7}$$

Obično u krutim gorivima postoji i određena količina vode (vlage) pa je, u tom slučaju, uz izgaranje vodika i kondenzaciju vode koja nastaje pri izgaranju vodika, potrebno uključiti i toplinu za isparavanje (ili kondenzaciju) vode koja se nalazi u gorivu. Jednadžba za izračunavanje donje ogrevne moći:

$$h_d = h_g - 2,5\,(8,937h + w)\ MJ/kg \tag{8}$$

gdje je h postotni udio vodika, a w postotoni udio vlage u gorivu.

Kod analize gornje i donje ogrevne moći treba istaknuti da pri korištenju goriva ni donja ni gornja ogrjevna moć ne predstavljaju stvarnu količinu topline koja se može iskoristiti, jer se iz tehničko-tehnoloških razloga ne dopušta hlađenje plinova izgaranja na temperaturu okoliša.

Iz navedenoga izlazi da sadržaj vlage u ugljenu smanjuje njegovu ogrjevnu moć. Prema svojem podrijetlu postoje dvije vrste vlage, koje se nazivaju gruba i higroskopska vlaga. Gruba vlaga dolazi u ugljen iz okoliša prilikom vađenja ugljena te pri transportu i skladištenju, pa se sušenjem na zraku može smanjiti udio grube vlage u ugljenu. Higroskopska vlaga nalazi se u parama ugljena pa se često naziva i unutrašnja vlaga. Ona uglavnom ovisi o svojstvima ugljena, a može se odstraniti zagrijavanjem na temperaturu višu od 373 K.

Količina hlapljivih sastojaka ovisi o vrsti ugljena, a oni se pojavljuju u obliku plinova ili para pri ugrijavanju bez pristupa zraka. Što je veći udio hlapljivih sastojaka, potreban je veći volumen prostora za izgaranje uz bolji dovod zraka kako bi se postiglo potpuno izgaranje.

Sadržaj pepela određuje se kao količina neizgorivih sastojaka po kg ugljena. Sastav pepela bitno utječe na njegovo vladanje prilikom izgaranja, jer o sastavu ovisi temperatura taljenja pepela, a to se opet odražava na upotrebljivost ugljena i na konstrukciju ložišta.

Količina ugljika u postotku suhe supstancije glavno je obilježje kvalitete ugljena, a dobiva se nakon odbijanja hlapljivih supstancija i pepela.

Nema općeprihvaćene podjele na vrste ugljena, pogotovo za ugljen slabije kvalitete. Uobičajena je podjela, koju vodi statistika Ekonomske komisije Ujedinjenih naroda za Europu, na kameni ugljen i lignit. Negdje se mogu susresti podjele na kameni ugljen i mrki ugljen. Prema dogovoru, kamenim se ugljenom naziva ugljen kojemu je gornja ogrjevna moć jednaka ili veća od 23,87 MJ/kg, pri čemu se ne uzima u obzir količina pepela, što znači da se ogrjevna moć određuje po kilogramu tvari u koju nije uključen iznos pepela.

Iako se statistike Ujedinjenih naroda vode samo za kameni ugljen i lignit, mnoge zemlje koje imaju više mrkog ugljena i lignita posebno iskazuju zalihe, potrošnju i proizvodnju za mrki ugljen, a posebno za lignit. Pri takvoj podjeli obično se pretpostavlja da je lignit ugljen kojemu je gornja ogrjevna moć do 12,56 MJ/kg, a iznad te ogrjevne moći govori se o mrkom ugljenu.

Iznosi ogrjevnih moći, sadržaj vlage, hlapljivi sastojci i sadržaj ugljika za pojedine vrste ugljena navode se u nastavku:

Vrsta ugljena	Ogrjevna moć MJ/kg	Sadržaj vlage u postocima	Hlapljivi sastojci u postocima	Sadržaj ugljika u postocima
lignit	do 12,6	31 - 60	51 - 60	65 -70
mrki ugljen	12,7 - 23,9	11 - 30	46 - 50	71 - 80
kameni ugljen	24 - 37,7	do 10	4 - 45	81 - 98

Vrlo se često mogu susresti podjele kamenog ugljena na podvrste (ovisno o sadržaju hlapljivih sastojakak), i to: antracit od 10 posto, mršavi ugljen 11-14 posto, kovački ugljen 15-19 posto, masni ugljen 20-28 posto, plinski ugljen 29-35 posto i plameni ugljen s više od 35 posto hlapljivih sastojaka.

Treset je najmlađe fosilno gorivo i ne možemo ga smatrati ugljenom. Sastoji se od ostataka biljaka, a nastao je od tresetišta iz daleke prošlosti kada je močvarna voda ili materijal drugih biljaka izolirao ostatke biljaka od zraka. Nalazimo ga ondje gdje su, u specifičnim uvjetima (pod utjecajem vode, topline, tlaka i bez zraka), naslage uginulog bilja pougljenile pod naslagama mulja ili mirujuće vode, a obično ga više ima u močvarnim područjima s hladnom i vlažnom klimom. Slojevi treseta razlikuju se po starosti i po biljnoj vrsti od koje su nastali. Slabiji su treseti u kompaktnijoj masi s više ugljika i manje vlage. Debljina nalazišta kreće se u dosta velikom rasponu, a računa se da je prosječna debljina nalazišta između 9 i 12 m. Treset je obično na malim dubinama (1-7 metara), a prije početka vađenja treseta područje se mora odvodniti da bi se treset slegnuo i očvrsnuo.

Izvađeni treset ima velik postotak vlage (do 80 posto) i ne može se odmah uporabiti kao gorivo, pa se izvađeni treset mora najprije sušiti na zraku. Osušeni treset obično ima do 25 posto vlage. Osim velikog postotka vlage (zbog čega je treset slabo gorivo), u tresetu vrlo često ima i dušika (oko dva posto).

Ogrjevna je moć treseta vrlo različita, a u velikoj je ovisnosti o sadržaju vlage i pepela. I sadržaj pepela varira u širokim omjerima jednako kao i sadržaj vlage. Prosječna ogrjevna moć za treset kreće se od 9,5 do 17,5 MJ/kg. Zbog svoje male ogrjevne moći transport se treseta ne isplati pa se zato treset obično upotrebljava samo blizu nalazišta za kućanstva, termoelektrane ili pak gnojivo.

Zbog svojih svojstava treset se ne smije skladištiti na slobodnom prostoru bez krova, na suncu ili kiši, jer će se u vrlo kratkom vremenu pretvoriti u beskorisnu masu.

Za sve energetske rezerve presudna je mogućnost ekonomičnog iskorištavanja, a ono ovisi o više čimbenika: o količini, koncentraciji (udio tvari u nekom volumenu ili nekoj težini građe koju treba preraditi), o dubini smještaja, debljini slojeva, proizvodnim troškovima, udaljenosti nalazišta od potrošača itd.

Zalihe ugljena određuju se na osnovi geoloških istraživanja i tijekom samog vađenja ugljena. Svakako, riječ je samo o procjenama, jer se konačno točno stanje može utvrditi

tek kad se izvadi posljednja količina ugljena. Procjena zaliha podvrgnuta je promjenama, jer ovisi o opsegu istražnih radova.

Dosadašnjim bušenjima i istraživanjima utvrđene su zalihe ugljena u pojedinim zemljama. Ovdje treba istaknuti da je razina istraživanja i utvrđivanja zaliha vrlo različita, a time i utvrđene zalihe. U razvijenim zemljama provedena su brojnija i iscrpnija istraživanja pa je tu i postotak utvrđenih zaliha znatno veći nego u nerazvijenim zemljama. Podaci o geološkim rezervama i u razvijenim i u nerazvijenim zemljama znatno se manje razlikuju od utvrđenih zaliha, jer način utvrđivanja geoloških zaliha manje ovisi o istraživanjima, a više o geološko-morfološkim uvjetima.

Zalihe ugljena mogu se uzeti samo kao orijentacija, jer kako je već navedeno u mnogim zemljama treba provesti još mnogo istraživanja da bi se s većom sigurnošću moglo govoriti o zalihama.

U tablici 1. navode se: utvrđene, potencijalne i geološke zalihe kamenog ugljena po kontinentima, krajem dvadesetog stoljeća.

	Utvrđene zalihe	**Potencijalne zalihe**	**Ukupne zalihe**
		10^9 t. ekv. ugljena	
Afrika	72	144	216
Amerika bez SAD-a	11	109	120
Azija bez bivšeg SSSR-a	144	1423	1567
Europa bez bivšeg SSSR-a	18	430	588
Oceanija	46	503	549
bivši SSSR	130	2480	2610
SAD	214	1072	1286
Svijet	**775**	**6161**	**6936**

Tablica 1. Zalihe kamenog ugljena po kontinentima

Najveće zalihe mrkog ugljena i lignita nalaze se u područjima između 35. i 70. stupnja sjeverne zemljopisne širine (tablica 2.). I za mrki ugljen i lignit prikazane su zalihe kao i za kameni ugljen, krajem dvadesetog stoljeća.

	Utvrđene zalihe	Potencijalne zalihe	Ukupne zalihe
		10^9 t. ekv. ugljena	
Afrika	1	1	2
Amerika bez SAD-a	6	293	299
Azija bez bivšeg SSSR-a	16	22	38
Europa bez bivšeg SSSR-a	86	13	99
Oceanija	15	111	126
bivši SSSR	72	1952	2024
SAD	90	1447	1537
Svijet	**286**	**3839**	**4125**

Tablica 2. Zalihe mrkog ugljena i lignita po kontinentima

Način vađenja ugljena ovisi u prvome redu o geološkim uvjetima. S obzirom na nalazište ugljena, razlikuju se dvije vrste:

- jamsko ili podzemno vađenje ugljena,
- površinsko vađenje ugljena.

Kada su slojevi ugljena na većim dubinama, ekonomičnost vađenja takvog ugljena ovisit će u prvome redu o kvaliteti ugljena, o dubini na kojoj se ugljen nalazi, o debljini i nagibu slojeva, o svojstvima okolne građe, o mogućnostima pojave plinova i dotoka vode, te o tektonskim poremećajima.

Razlike između jamskog i površinskog načina vađenja ugljena u prvome su redu u pripremnim radovima (manji pripremni radovi pri površinskom vađenju ugljena), mnogo manja ulaganja novca i, treće fleksibilnost proizvodnje pri površinskom vađenju. Osim navedenoga, pri površinskom vađenju ugljena treba mnogo manje ljudskoga rada, a znatno više mogu se rabiti strojevi. Iz navedenoga lako se zaključuje kako prirodni uvjeti presudno utječu na ekonomičnost iskorištavanja nalazišta ugljena. Veći dio kamenog ugljena dobiva se jamskom proizvodnjom, a veći dio mrkog ugljena i lignita površinskom proizvodnjom. No, ima primjera gdje se i kameni ugljen dobiva površinskom proizvodnjom, a mrki ugljen jamskom proizvodnjom. Dosad su ostvarene sljedeće proizvodnje ugljena u nekim karakterističnim godinama.

	1950.	1960.	1970.	1980.	1985.
Afrika	30	43	60	122	173
Amerika bez SAD-a	21	16	22	38	78
Azija bez bivšeg SSSR-a	122	546	545	792	979
Europa bez bivšeg SSSR-a	555	593	502	498	506
Oceanija	17	22	46	78	126
bivši SSSR	167	305	360	494	566
SAD	505	391	550	710	743
Ukupno	**1417**	**1916**	**2085**	**2732**	**3171**

Tablica 3. Proizvodnja kamenog ugljena po kontinentima u 10^6 tona

	1950.	1960.	1970.	1980.	1985.
Afrika	-	-	-	-	-
Amerika bez SAD-a	-	2	8	17	10
Azija bez bivšeg SSSR-a	-	6	16	60	76
Europa bez bivšeg SSSR-a	-	473	596	693	846
Oceanija	-	18	24	33	36
bivši SSSR	-	138	169	198	160
SAD	-	3	5	42	60
Ukupno		**640**	**818**	**1043**	**1188**

Tablica 4. Proizvodnja mrkog ugljena i lignita po kontinentima u 10^6 tona

Najveća količina svih vrsta ugljena upotrebljava se za dobivanje topline bilo kao korisnog oblika energije bilo kao pretvorbenog oblika energije pomoću procesa izgaranja. Izgaranjem se ugljen najčešće upotrebljava za proizvodnju električne energije (termoelektrane i termoelektrane-toplane), za proizvodnju pare i vrele vode u industriji (toplane i kotlovnice), za potrebe kućanstava (grijanje, kuhanje i sanitarna voda) te za potrebe ostalih potrošača (komunalne organizacije, ustanove, obrt itd.). Manji dio svih vrsta ugljena upotrebljava se u prirodnom obliku za kemijske procese te za proizvodnju gradskog plina.

Budući da mrki ugljen i ligniti sadrže relativno malu toplinsku energiju, međunarodna je trgovina mrkim ugljenom i lignitom gotovo zanemariva (eventualno u susjedne zemlje u neposrednoj blizini nalazišta), dok je svjetska trgovina kamenim ugljenom znatna zbog većeg sadržaja topline u masi ugljena pa su specifični troškovi transporta za istu masu automatski niži.

Najveći su izvoznici kamenog ugljena SAD, Kanada, Australija, Oceanija, Južnoafrička Republika, Rusija i ZND te Poljska, a najveći uvoznici Japan, Republika Koreja, Francuska, Italija, Danska i Belgija.

Podaci o rezervama treseta vrlo su nepotpuni i nepouzdani i mnoge ih zemlje ne objavljuju. Najpoznatije zalihe treseta nalaze se na području bivšeg SSSR-a, zatim u Finskoj, Poljskoj, SAD-u i Švedskoj. Znatnija je pak proizvodnja treseta u bivšem SSSR-u i Irskoj, a u ostalim su zemljama i zalihe i proizvodnja vrlo mali.

1.5.3 Postanak, značajke i zalihe nafte i plina, uljnih škriljavaca i bitumenoznog pijeska

Sirova nafta i prirodni plin smjese su različitih ugljikovodika, čije se molekule sastoje uglavnom od ugljika (C) i vodika (H), a katkad od spojeva s dušikom (N), kisikom (O) i sumporom (S). Pri određenim tlakovima i temperaturama pojedini spojevi prelaze iz plinovitoga u tekuće agregatno stanje i obrnuto. U nalazištima mogu biti u plinovitom, tekućem pa i u krutom stanju.

Sirova nafta i prirodni plin nastali su od bjelančevina, masti i ugljikohidrata kao ostatka niskorazvijenih biljnih i životinjskih planktona i bakterija koje su živjele u vodi ili u moru. Ti se organski ostaci u posebnim geokemijskim uvjetima procesom bituminiziranja mogu pretvoriti u sirovu naftu ili u prirodni plin. Taj se proces odvija u mirnoj vodi s malim količinama kisika.

Zbog nestašice zraka organske se tvari raspadaju i djelovanjem bakterija masti se pretvaraju u lakše ugljikovodike, polaznu supstancu za stvaranje ugljikovodika koji čine sirovu naftu i prirodni plin. Pri tome, osim bakterija, prisutno je i katalitičko djelovanje spojeva u tlu. Glina i silikatni spojevi kao katalizator ubrzavaju taj proces, pogotovo pri nižim tlakovima i nižim temperaturama. S obzirom na činjenicu da organske tvari čine samo mali dio ukupnoga taloga, sedimentno se stijenje, koje nastaje od taloga, može smatrati nosiocem nafte i plina. U njemu su nafta i plin raspršeni u sitnim porama pa ih ima od 5 do 5000 g po toni. Takvo stijenje u kojemu su raspršeni sirova nafta i prirodni plin taložilo se u svim geološkim razdobljima, napose u onima toplijim, kad je u vodama bujao život. To osobito vrijedi za područja s izmiješanom slatkom i morskom vodom, uz relativno malu morsku dubinu.

S vremenom sedimenti postaju stijenje, a nafta i plin se cijede iz slojeva u kojima su nastali i skupljaju u poroznim slojevima smještenim među nepropusnim slojevima. Nalazišta nafte ili plina nisu poput ugljena u slojevima, već su to samo slojevi više ili manje impregnirani naftom ili plinom.

Nafta i plin se uglavnom sastoje od parafinskih (alkalnih), naftenskih (cikloparafinskih) i aromatskih ugljikovodika. Olefinskih je ugljikovodika u nafti vrlo malo, dok je njihov sadržaj znatan u produktima prerade nafte.

Ugljikovodici u nafti i produktima prerade nafte međusobno se razlikuju po broju ugljikovih atoma, po načinu svojega vezivanja i po zasićenosti vodikom. Dva su temeljna načina vezivanja atoma ugljika, i to lančani i prstenasti, pri čemu valencije ugljika mogu biti sve povezane s vodikom (zasićeni ugljikovodici) ili su valencije ugljika samo djelomice vezane s vodikom (nezasićeni ugljikovodici).

U nastavku će se ukratko navesti elementarne značajke pojedinih ugljikovodika.

Parafinski ugljikovodici zasićeni su vodikom s ravnim ili razgranatim lančanim vezama. Opća je formula parafina:

$$C_n H_{2n+2} \tag{9}$$

gdje je n prirodni broj.

Parafinski ugljikovodici zbog zasićenosti vodikom vrlo su stabilni spojevi pa se zbog svoje stabilnosti teže raspadaju od ugljikovodika ostalih grupa. Međutim, uza stanovite uvjete atom vodika može se zamijeniti atomom drugog elementa ili skupinom atoma.

Parafinski ugljikovodici, osim glavnog (obično ravnog) lanca, mogu imati i bočne lance. Takvi ugljikovodici nazivaju se izomernim parafinima. S povećanim brojem ugljikovih atoma broj izomera naglo raste.

Naftenski (cikloparafinski) ugljikovodici zasićeni su vodikovim atomima s prstenastim vezama među atomima ugljika. Opća je formula za naftenske ugljikovodike:

$$C_n H_{2n-2k} \tag{10}$$

gdje je n prirodni broj ($k = 0, 1, 2, ...$); za $k = 0$ postoji samo jedan prsten, a za $k = 1$ dva prstena itd.

Cikloparafini (naftenski ugljikovodici) mogu imati i bočne lance, koji se mogu vezati na različitim mjestima pa je zato moguć velik broj izomera.

Aromatski ugljikovodici imaju prstenastu strukturu, a opća im je formula:

$$C_n H_{2n-6k} \tag{11}$$

gdje je $k = 1, 2, 3...$ broj prstenova u jezgri.

Aromatski ugljikovodici mogu umjesto jednog vodikova atoma imati alkilne, metilne, etilne i propil-grupe. Iako su aromati nezasićeni spojevi, zbog svoje prstenaste građe pokazuju znatnu stabilnost. Naziv su dobili po dosta ugodnu mirisu (aromi). U većoj ili manjoj količini ima ih u svim naftama molekula šest prstenasto povezanih ugljikovih atoma na kojima je vezano ukupno šest atoma vodika (C_6H_6). Navedenih šest ugljikovih atoma grade jezgru molekule pod imenom "benzenov prsten", koji se nalazi u svim aromatičnim spojevima.

Olefinski ugljikovodici ili alkeni nezasićeni su ugljikovodici koji grade molekule u obliku lanca, kao i parafini. Prema broju nezasićenih valencija razlikujemo monolefine (s jednom dvostrukom vezom) i diolefine (s dvjema dvostrukim vezama). Zbog nezasićenosti olefini su nestalni spojevi pa se lako vezuju s drugim spojevima, odnosno elementima, posebno s kisikom. Kao i parafini, mnogi olefini grade izo-spojeve. Među sobom olefini se razlikuju za po jednu CH_2-grupu. Olefini se mogu polimerizirati, tj. s više molekula istoga spoja preko nezasićenih valencija spaja se u velike molekule polimera.

Opća je formula za alkene:

$$C_n H_{2n-k} \tag{12}$$

$k = 0, 2, 4, 6\ i\ 8$.

Alkeni s jednom dvostrukom vezom imaju $k = 0$, dok se alkeni s jednom trostrukom vezom nazivaju alkinima ili acetilenima. Prvi iz grupe alkina jest acetilen (C_2H_2 ili CH≡CH).

Osim kemijskog sastava (formule), te gornje i donje ogrjevne moći, za ugljikovodike je zanimljivo poznavati vrelište i specifičnu gustoću. Vrelištem ugljikovodika naziva se ona temperatura kod koje pojedini ugljikovodik prelazi iz tekućeg u plinovito stanje, dok se specifičnom gustoćom naziva omjer mase (težine) plina i volumena koji zaprema taj plin.

Gotovo uvijek u nalazištima se zajedno pojavljuju nafta i plin. Omjer plina i nafte u pojedinom nalazištu u prvome redu ovisi o tlaku pod kojim se oni nalaze.

Ugljikovodika u nafti ima u svim trima agregatnim stanjima, ali najveći dio čine tekući ugljikovodici u kojima su otopljeni plinoviti i kruti ugljikovodici. Različita nalazišta nafte imaju različite sastave i različit broj ugljikovodika. Procjenjuje se da u nafti ima više od tri tisuće različitih ugljikovodika.

Pojedinih skupina ugljikovodika ima u nafti u različitim omjerima, koji nisu posve isti ni za isto nalazište. Ugljikovodici pojedinih grupa nalaze se u nafti u kontinuiranom nizu, ali pojedine nafte (zbog različita postanka) ne sadrže najlakše spojeve pojedinih grupa. Glavni sastavni dio nafte jesu cikloparafini (naftenski ugljikovodici), a udio se alkena (parafinski

ugljikovodici) i aromatskih ugljikovodika mijenja u širokim granicama. Kao značajke pojedinih vrsta nafte vrlo se često daju podaci o udjelu pojedinih grupa ugljikovodika.

Osim ugljikovodika, nafta sadrži različite spojeve ugljikovodika sa sumporom, dušikom i kisikom. Ima i spojeva asfaltno-smolastih obilježja, s većim brojem atoma, atoma ugljika i kisika, koji su nastali oksidacijom ugljikovodika. Ima ih u ostacima pri preradi nafte ili u težim derivatima, a nafti i derivatima daju tamnu boju.

Prirodni je plin smjesa plinova u kojoj su najvažniji ugljikovodici. Osim plinovitog metana (CH_4), dolaze etan (C_2H_6), propan (C_3H_8), butan (C_4H_{10}), kao i teži ugljikovodici. Pri atmosferskom tlaku teži su ugljikovodici u tekućem agregatnom stanju, a za propan i butan potreban je nešto veći tlak. Uz ugljikovodike, u prirodnom se plinu mogu pojaviti i drugi plinovi: dušik, ugljik-dioksid, sumpor-dioksid i helij. Navedeni plinovi smanjuju ogrjevnu moć prirodnoga plina.

Nafta i plin nalaze se u sedimentnim naslagama, pa su ta područja zanimljiva za dobivanje nafte i plina. S debljinom sedimentnih slojeva povećava se mogućnost nastajanja (postojanja) nafte i plina. Danas poznati najdeblji sedimentni slojevi nalaze se u Meksičkom zaljevu (do 20 000 m debljine), te s obiju strana mlađih planinskih masiva (Rocky Mountains, Ande, Alpe, Kavkaz i Himalaja) sedimentne naslage koje dosežu debljinu 5 do 10 tisuća metara.

S povećanom dubinom najčešće se pojavljuju nalazišta sve lakših ugljikovodika, što je posljedica povećanih tlakova i povišenih temperatura. S povišenim tlakom i temperaturama s vremenom teže molekule ugljikovodika prelaze u lakše. Osim toga, u većim je dubinama brtvljenje bolje, što omogućuje održanje plina i pri visokom tlakovima. Prema tome, većina zaliha nafte bila bi u gornjim dijelovima sedimentnih slojeva.

Uljni su škriljavci sedimentno stijenje s većim ili manjim sadržajem organske tvari koja je raspršena u stijenama u obliku mikroskopski sitnih čestica. Ta se organska tvar naziva ulje ili kerogen. Uljni su škriljavci nastali u velikim i plitkim jezerima ili u plitkim morima. Pretpostavlja se da su ugljikovodici ostaci alga, peluda i sitnih voštanih spora koji su postojali u suptropskim klimatskim uvjetima i koji su se nataložili te bili prekriveni nanosom. Tako stvoreni slojevi tektonski su mirovali milijunima godina. Izdizanjem tla i djelovanjem erozije oni su se pojavili na površini. U središnjim dijelovima starih jezera nailazi se na slojeve debele i do nekoliko stotina metara. Naslage nastale u plitkim morima najčešće su tanje (do 30 m), a sadrže manje organske tvari.

Bituminozni je pijesak smjesa pijeska, mineralne građe, vode i bitumena. Svako zrno pijeska prekriveno je bitumenom. Bituminozni je pijesak, prema nekim mišljenjima, ostatak prirodno ishlapjele nafte, a druga pretpostavljaju da je to mlađi stadij formiranja nafte.

Ugljikovodici u uljnim škriljavcima sliče vosku, a od njih se destruktivnom destilacijom mogu proizvesti plinoviti i tekući ugljikovodici. Prije prerade bitumena od bituminoznog pijeska treba ih odijeliti grijanjem.

Uljni škriljavci i bituminozni pijesak najčešće su neposredno ispod površine tla u slojevima, slično kao ugljen.

Sadržaj ulja, odnosno bitumena u takvim škriljavcima i u pijesku, iznosi od samo nekoliko litara do 600 L/t u najbogatijim nalazištima. Budući da je za dobivanje ulja potrebna toplina, a to znači energija, za svako se nalazište zahtijeva proračun opravdanosti dobivanja ugljikovodika od uljnih škriljevaca i bituminoznog pijeska.

Metode za utvrđivanje ukupnih zaliha nafte i plina mnogo su nepouzdanije nego metode utvrđivanja zaliha ugljena, jer je ugljen ostao na mjestu postanka (ako se zanemare tektonski poremećaji) i njegova se nalazišta, praktički neporemećena, katkad protežu na površini od više stotina kilometara. Ugljikovodici nasuprot tome, zbog svojega tekućeg i plinovitog agre-

gatnog stanja, obično napuštaju stijenje u kojima su nastali i najčešće se skupljaju u relativno malim količinama na pojedinim mjestima u gornjim dijelovima sedimentnih slojeva.

Od svih metoda koje se primjenjuju za utvrđivanje zaliha nafte i plina, najpouzdanija je i najskuplja metoda bušenja, pa se često kaže: "Da bismo bili sigurni u nalazište nafte i plina, valja načiniti bušotinu ...", što je i temeljno pravilo kod istraživača nalazišta nafte i plina. Sve su ostale metode, a njih je u posljednje vrijeme vrlo mnogo, manje ili više nepouzdane, pa se za ocjenu zaliha uzimaju u obzir podudarni rezultati dobiveni pomoću više metoda. Iz navedenih činjenica izlaze trajni napori za ponovna bušenja i istraživanja na svim potencijalnim nalazištima, a budući da je bušenja uvijek relativno malo, nameće se i zaključak da je poznavanje ukupnih zaliha nafte i plina relativno slabo, i u pojedinim područjima i u svijetu u cjelini.

Prema spoznajama krajem dvadesetog stoljeća, ukupne bi, dosad iskorištene i još i utvrđene, zalihe nafte bile (tablica 5.):

	Utvrđene zalihe 10^9 tona	**Ukupne zalihe 10^9 tona**	**Iskorišteno do 1.1.1985. 10^9 tona**
Afrika	7,5	45,8	5,3
Sjeverna Amerika	5,5	46,0	20,9
Južna Amerika	11,7	26,8	8,9
Istočna Europa sa bivšim SSSR-om i Kinom	11,4	84,2	11,9
Zapadna Europa	3,3	13,2	1,5
Azija i Australija	2,5	16,1	2,6
Srednji Istok	54,2	117,7	19,3
Antartik	-	4,0	-
Ukupno	**96,1**	**353,8**	**70,4**

Tablica 5. Ukupne zalihe nafte

Ukupne zalihe prirodnoga plina, ovisno o procjenama i raspoloživoj literaturi, kreću se u širokom rasponu, jer za mnoge zemlje ne postoje podaci ili su različito procijenjeni, dok su utvrđene zalihe prilično pouzdane. U nastavku (tablica 6.) navode se podaci o zalihama prirodnoga plina.

	Utvrđene zalihe 10^9 tona	Ukupne zalihe 10^9 tona	Iskorišteno do 1.1.1985. 10^9 tona
Afrika	8 630	310	5 880
Sjeverna Amerika	9 940	1 550	4 300
Južna Amerika	49 450	20 440	8 330
Istočna Europa sa bivšim SSSR-om i Kinom	1 200	660	1 150
Zapadna Europa	96 300	8 475	38 170
Azija i Australija	7 300	2 540	5 510
Srednji Istok	4 430	580	7 240
Antartik	33 400	1 375	25 610
Ukupno	**210 650**	**35 930**	**96 190**

Tablica 6. Ukupne zalihe prirodnog plina

Prema procjeni US Geological Surveya, svjetske su zalihe uljnih škriljavaca tolike da bi se od njih moglo dobiti približno 500 milijardi tona kerogena, što je više i od vrlo optimističnih procjena u vezi s rezervama sirove nafte. Međutim, prema istoj procjeni, struktura je rezerva uljnih škriljavaca prema sadržaju ulja sljedeća:

84 posto	20	do	40 L/t
15 posto	40	do	100 L/t
1 posto	100	do	400 L/t

Danas se, međutim, ne mogu točnije odrediti zalihe ulja u uljnim škriljavcima i u bituminoznom pijesku, jer za većinu država nema sigurnih podataka. Istraživanja tih izvora energije nisu, naime, dosad bila intenzivna. Neka su nalazišta otkrivena u istraživanju nafte i zemnoga plina. Utvrđivanje sadržaja ugljikovodika, osim toga, nije jednostavno, jer oni nisu jednolično raspodijeljeni u slojevima.

Nafta se u prirodnom obliku ne upotrebljava neposredno kao gorivo, već je u rafinerijama treba preraditi u derivate. Naftni su derivati takvi oblici energije koji se mogu primijeniti u strojevima i postrojenjima potrošača, pa stoga treba imati na umu da se, kad govorimo o potrošnji nafte, misli i podrazumijeva potrošnja naftnih derivata. I nafta i njezini derivati predmet su svjetske trgovine, jer se prostorni (zemljopisni) raspored potrošnje nafte i naftnih derivata ne poklapa s prostornim rasporedom proizvodnje nafte.

Osnovni su naftni derivati: rafinerijski plin, ukapljeni plin, benzini (specijalni ili tehnički benzini, motorni benzini i avionski benzini), petrolej (gorivo za mlazne motore, za rasvjetu i za motore), plinska ulja (vrlo lako, lako, srednje i teško), loživa ulja (ekstra lako, lako, srednje i teško), te neenergetska potrošnja (maziva, motorna ulja i kruti produkti prerade nafte). Kao gorivo za proizvodnju električne energije rabe se loživa ulja, plin i uljni škriljavci.

1.5.4 Nuklearna goriva

Prema današnjim saznanjima tehnike, tehnologije i znanosti, prirodnim nuklearnim fisijskim gorivima smatraju se uran (U) i torij (Th), a prirodnim nuklearnim fuzijskim gorivima deuterij (D) i litij (Li).

Za upotrebu nuklearnih goriva treba osigurati mogućnost kontrolirane fisijske, odnosno fuzijske lančane reakcije. Danas se s uspjehom provodi fisijska lančana reakcija, a primjena fuzijske reakcije očekuje se u prvoj polovici 21. st.

Fisijska lančana reakcija može se ostvariti ako bar jedan od slobodnih neutrona uzrokuje novu fisiju. Naime, prigodom fisije U-235 oslobađaju se neutroni koji mogu izazvati raspad drugih jezgara U-235. Pri raspadu U-235 oslobađa se u prosjeku 2,5 neutrona, a, osim toga, pri raspadu jezgre U-235 dio se nuklearne energije pretvara u toplinsku.

Prema tome, tehnička važnost raspada jezgre U-235 nije samo u mogućnosti pretvorbe nuklearne u toplinsku energiju – što se postiže i drugim tipovima nuklearnih reakcija – već u tome što se može održavati lančana reakcija, jer se raspadom jezgara stvaraju uvjeti za nove raspade.

Izotop urana U-235 jedino je nuklearno gorivo koje se pojavljuje u prirodi. No, budući da njega u prirodnom uranu ima samo 0,7 posto, dugoročni razvitak iskorištavanja nuklearne energije utemeljen na raspadu jezgara (nuklearna fisija) osniva se na takozvanim umjetnim nuklearnim gorivima: plutoniju (Pu-239) i izotopu urana (U-233).

Plutonij se dobiva od U-238, koji je glavni sastojak prirodnog urana (99,3 posto). Ako se, naime, U-238 zrači neutronima, što se normalno događa u reaktoru, neutroni prodiru u jezgru U-238, pa nastaju ove reakcije:

$$^{238}_{92}U + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{239}_{92}U^{y} \rightarrow ^{239}_{92}U \xrightarrow[25,5\,\mathrm{min}]{\beta^-} ^{239}_{93}Np \xrightarrow[2,3dana]{\beta^-} ^{239}_{94}Pu\,. \qquad (13)$$

Prema tome, nakon što U-238 prihvati neutron (n) postaje U-239, jer mu se poveća broj nukleona (gornji broj prije kemijskog simbola), a broj mu se protona ne mijenja (donji broj prije kemijskog simbola). Broj nukleona jednak je zbroju neutrona i protona. U-239 emitira y-zrake, a nakon emisije elektrona (β-zračenje) povećava se broj protona uz nepromijenjen broj nukleona, jer je jedan neutron gubitkom naboja postao proton. Nakon emisije elektrona nastaje neptunij (Np-239). Spomenuto β-zračenje ima vrijeme poluraspada 25,5 min (oznaka ispod strelice). Emisijom još jednog elektrona neptunij prelazi u plutonij (Pu-239), koji je praktički stabilan, jer mu je vrijeme poluraspada 24000 godina.

Izotop urana U-233 dobiva se jednako, ali od torija (Th-232), a preko reakcija prikazanih relacijom:

$$^{232}_{90}Th + ^{1}_{0}n \rightarrow ^{233}_{90}Th^{y} \rightarrow ^{233}_{90}Th \xrightarrow[25,5\,\mathrm{min}]{\beta^-} ^{233}_{91}Pa \xrightarrow[27,4dana]{\beta^-} ^{233}_{92}U\,. \qquad (14)$$

Prema tome, Th-232 prelazi u Th-233, a on u protaktinij (Pa-233), koji konačno prelazi u U-233. Treba istaknuti da za dobivanje umjetnih nuklearnih goriva treba sagraditi reaktore na bazi U-235, u kojima se – osim pretvorbe nuklearne u toplinsku energiju – proizvode i umjetna nuklearna goriva.

Kod nuklearne reakcije energija se najvećim dijelom pojavljuje kao kinetička energija novih izotopa, zatim kao kinetička energija neutrona i energija zračenja. Samo mali dio nuklearne energije pretvara se u unutrašnju termičku energiju. Da bi se pokazalo kako to i nije mala energija, navodi se primjer U-235. U-235 ima 235 jedinica mase, a u energiju se pretvara samo 0,216 jedinica mase ili približno 0,1posto, što daje energiju 82×10^9 J.

Za razliku od fisije, u nuklearnoj se fuziji slabo vezane lake jezgre spajaju u teže, pri čemu dolazi do defekta mase. Najvažnije reakcije fuzije jesu reakcije među jezgrama deuterija H (D) i tricija H (T), a mogu se pojaviti i različite kombinacije.

U prirodi se nalaze dva vodikova izotopa. Laki vodik, s jednim protonom, i teški vodik (deuterij) s jednim protonom i jednim neutronom. Tricij kao izotop vodika ne postoji u prirodi (ima jedan proton i dva neutrona), a dobiva se spajanjem deuterija s neutronom.

Količine energije koje nastaju spajanjem jezgara rezultat su stvaranja defekta mase koji se lako izračunava ako se za deuterij, tricij, vodik i helij uvrste masene vrijednosti. Poznato je da jedinica mase odgovara energiji 931 MeV, a dobije se na tako da se masa ($1{,}6597 \times 10^{-27}$ kg) izrazi kao kinetička energija mc^2, gdje je c (3×10^8 m/s) brzina svjetlosti. Dakle, jedinici mase odgovara energija od $1{,}6597\ 10^{-27} \times 9 \times 10^{16} = 1{,}5937\ 10^{-19}$ J. Iz navedenoga izlazi:

$$1\ jedinica\ mase = \frac{1,5973 \cdot 10^{-9} J}{1,6201 \cdot 10^{-19} J} eV = 0,931 \cdot 10^9 eV = 931 MeV\ . \qquad (15)$$

Osim navedenih, mnogo je i drugih nuklearnih reakcije u kojima se nakon spajanja dviju jezgara oslobađa energija. Prema današnjim spoznajama, navedene su reakcije najvažnije pri uočavanju mogućnosti ostvarenja fuzije.

Da bi nastala fuzija jezgara, jezgre moraju imati dovoljno veliku kinetičku energiju kojom bi se svladale sile među jezgrama koje su pozitivno nabijene. Taj je problem sve izraženiji što su jezgre teže, pa se zato zasad istražuje fuzija najlakših jezgara. Veća kinetička energija postiže se povećanjem temperature i zbog toga treba postizati vrlo visoke temperature.

Izotop vodika tricij (T) radioaktivan je nuklid s vremenom poluraspada od 12,3 godine. Tricija nema u prirodi pa su za fuziju važne i reakcije u kojima se on proizvodi, a najčešće su ove:

$$^6Li + n \rightarrow T + {}^4_2He + 4,8 MeV\ , \qquad (16)$$

$$^7Li + n \rightarrow T + {}^4_2He + n - 2,5 MeV\ . \qquad (17)$$

Uz postojanje visokih temperatura, za odvijanje nuklearne reakcije treba imati i dovoljno veliku gustoću plinova kako bi se osigurao dovoljan broj spajanja u jedinici vremena. Slijedi da je potrebna znatna količina toplinske energije da bi se postigle visoka temperatura i potrebna gustoća.

Za postizanje pozitivne energetske bilance (energija dobivena fuzijom mora biti veća od toplinske energije) potrebno je određenu temperaturu (više od 10^8 K) održavati dovoljno dugo pri dovoljno velikoj gustoći plazme (neutralne smjese pozitivnih i negativnih iona).

Za gorivo u fisijskim reakcijama potrebni su uran i torij, a za fuzijske reakcije deuterij i litij. Urana i torija ima gotovo svuda u Zemljinoj kori, ali je za eksploataciju ekonomski isplativa ruda koja ima određenu koncentraciju. Za uranov oksid (U_3O_8) donja je granica 0,05 do 0,1 posto, za uran (U) 0,04 do 0,09 posto, a za torij (Th) ta je donja granica 0,1 posto. Najpoznatije rude od kojih se danas dobiva uran jesu: uranit, branerit, enksenit i kornalit, a za dobivanje torija monazit, torit i branerit.

Urana ima i u morskoj vodi u koncentraciji približno 3,33+0,8 u g po litri. Ta je koncentracija stalna, pa bi se moglo utvrditi da urana u morskoj vodi ima približno 4,2 10^9 tona. More bi bilo najveći izvor urana kad bi bilo moguće i ekonomski opravdano njegovo dobivanje.

Više minerala sadrži torij u količinama koje imaju neku praktičnu važnost. Za eksploataciju danas dolaze u obzir samo monazit, torit i branerit. Monazit je najvažniji mineral za dobivanje metala iz skupine lantanida (rijetke zemlje), a u njegovoj preradi torij se dobiva kao nusprodukt.

Deuterij je izotop vodika koji čini 0,15 posto prirodnog vodika. Ima ga u vodi, a već i time može se utvrditi da postoji u velikim količinama. Današnjim tehnologijama (elektrolizom, destilacijom i kemijskom zamjenom) ekonomski se isplati odvojiti deuterij, kroz tešku vodu (D_2O). Budući da se teška voda upotrebljava kao moderator u termičkim reaktorima, danas se u većem opsegu proizvodi u Kanadi, SAD i na području bivšeg SSSR. Prema tome, teška je voda osnovna sirovina za dobivanje deuterija, a time su i zalihe deuterija goleme.

Budući da tricija (T) nema u prirodi, a može se proizvesti bombardiranjem litija (^6Li) neutronima (rezultat je reakcije nastajanje tricija i helija, te oslobađanje određenih količina topline), i litij (^6Li) može se smatrati osnovnim gorivom za fuzijske nuklearne reakcije.

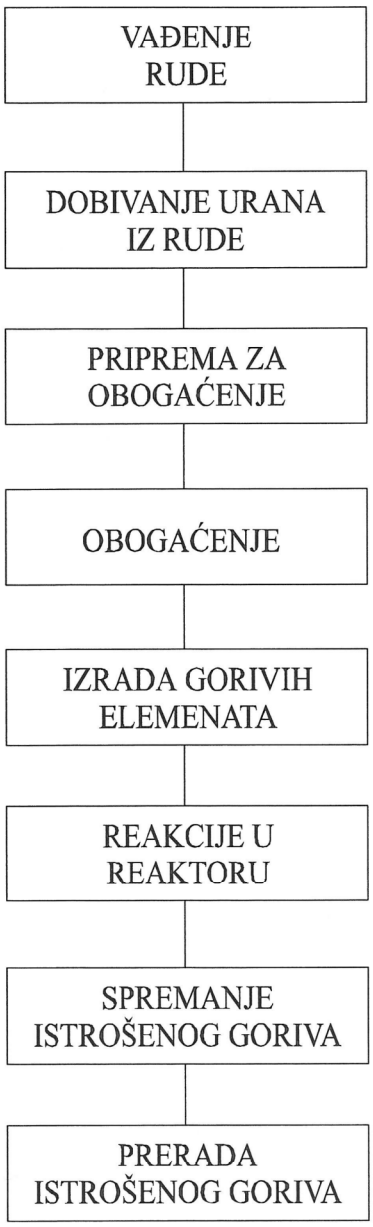
U prirodnome litiju ima 7,24 posto ^6Li, a u fuzijskim reaktorima moći će se uporabiti i prirodni i obogaćeni litij. U morskoj vodi ima ga znatno više nego urana, a dobiva se od različitih minerala pegmatita.

Troškovi nuklearnih goriva ovise u prvome redu o koncentraciji goriva u rudi te o veličini nalazišta. Može se dogoditi da kod malih zaliha rude s relativno većim sadržajem nuklearnog goriva troškovi budu veći nego prilikom nuklearnog goriva u velikim nalazištima s relativno manjim sadržajem goriva, jer se na velikom nalazištu može bolje i djelotvornije iskoristiti mehanizacija u dužem razdoblju.

Istraživanja zaliha nuklearnih goriva i njihove procjene ovise u prvome redu o troškovima specifične proizvodnje. Naime, kako je već navedeno, koncentracija nuklearnih goriva kreće se u velikom rasponu pa tako i cijena njihova vađenja. Stoga je uobičajeno da se daju procjene goriva uz istodobno navođenje gornje granice proizvodnih troškova.

Za razliku od drugih vrsta goriva, kod nuklearnog se goriva treba mnogo više brinuti o njegovu dobivanju, upotrebi i odlaganju, jer je posrijedi radioaktivni materijal.

Shema pripreme goriva, njegove upotrebe i odlaganja prikazana je na slici 5, a obično se to naziva "ciklusom goriva". Za iskorištavanje fisijske energije korisnik treba ovladati ciklusom goriva ili da usluge za ciklus goriva osigura u drugim zemljama. Najčešća je u praksi kombinacija, tj. zemlja korisnik ovlada jednim dijelom iz ciklusa goriva, a drugi dio osigurava uslugama drugih zemalja. Naime, neke etape u gorivom ciklusu, kao što su obogaćenje ili prerada goriva, tehnološki su vrlo teški i skupi pothvati.



Slika 5. Shema pripreme i trošenja nuklearne energije

Uranova ruda može se vaditi površinskim ili jamskim kopom, pa je vađenje urana vrlo slično vađenju ugljena uz dodatnu opasnost od radioaktivnog zračenja. U novije se vrijeme uran pokušava pridobiti metodom "ispiranja", jer se njome izbjegava iskop rude, a tim se postupkom mogu koristiti i nalazišta siromašnija uranom.

Iz dobivene uranove rude u sljedećem se koraku mehaničkim i kemijskim postupcima dobiva uranov oksid U_3O_8. Pri svim tim postupcima razvijaju se radioaktivni plinovi, a time i opasnost od radioaktivnosti.

Nakon dobivanja uranova oksida potrebno ga je provesti u uranov heksafluoroid UF_6, što se smatra pripremnom etapom za obogaćivanje. Postrojenja za pretvorbu uranova oksida u uranov heksafluorid vrlo su skupa, a danas već postoje u nekoliko zemalja. Pri samoj konverziji odstranjuju se nečistoće do razine potrebne nuklearne čistoće.

Teškovodni i grafitom moderirani reaktori mogu se koristiti prirodnim uranom koji sadrži samo 0,7 posto izotopa U-235, a lakovodni reaktori (njih je danas mnogo više u pogonu) ne mogu se koristiti prirodnim uranom, nego im je potreban uran obogaćen od 1,7 do 3,5 posto. Obogaćenje se danas obavlja uglavnom fizikalnim metodama.

Istrošenost je goriva različita, a ovisi o obogaćenju goriva i o tipu reaktora. Nakon vađenja goriva iz reaktora ono je vrlo intenzivno radioaktivno. Zato se takvo gorivo odlaže u posebne bazene s vodom koja služi kao zaštita od radioaktivnosti i kao rashladno sredstvo, i ondje se čuva do trenutka kada ide u preradu (dobivanje urana i plutonija) ili dok se ne nađe neko tehničko-ekonomsko rješenje za njegovu trajnu i sigurnu pohranu.

1.5.5 Postanak, obilježja i zalihe geotermičke energije

Geotermička energija najvećim je dijelom energija polaganoga prirodnog raspadanja radioaktivnih elemenata (u prvome redu urana, torija i kalija) koji se nalaze u Zemljinoj kori. Osim radioaktivnim raspadom, toplina se u Zemljinoj kori stvara i na druge načine: egzoenergijskim kemijskim reakcijama, kristalizacijom i skrućivanjem rastopljenih tvari, te trenjem pri kretanju tektonskih masa. Geotermička energija nije neiscrpna, ali su njezine količine toliko velike, pogotovo kad se računa s energijom nagomilanom u vrućim suhim stijenama, da se – s obzirom na energetske potrebe čovječanstva – može smatrati neiscrpnom.

Temperatura na površini Zemlje najviše ovisi o zračenju Sunca. Temperaturni gradijent, povišenje temperature po kilometru dubine, neposredno uz površinu tla iznosi približno 30 K/km, ali on postaje sve manji što je udaljenost od površine tla veća. Prosječni temperaturni gradijent, ovisno o dubini, i iznos temperatura na tim dubinama iznose:

Dubina ispod kore u km	Temperaturni gradijent u K/km	Temperatura u K
10	18 -22	493 -523
20	12 -18	633 -723
30	10 -12	963 -1133

Tablica 6a. Temperaturni gradijent

Visoki temperaturni gradijenti postoje u područjima jakih seizmičkih aktivnosti. Na površini Zemlje prosječni je tijek geotermičke energije približno 0,06 W/m^2. Pojava topline na površini, koja je posljedica provedbe topline kroza Zemljinu koru, različita je u pojedinim područjima i iznosi približno 3,3-7,5 kJ/m^2 na dan. Ako se uzme u račun površina Zemlje, lako se može zaključiti da je posrijedi vrlo velika energija koja sama od sebe dolazi na površinu Zemlje, ali se ne može iskoristiti budući da je gustoća energije vrlo mala, a temperatura na Zemljinoj površini praktički jednaka temperaturi okoliša. Za mogućnost iskorištavanja geotermičke energije bitan je toplinski gradijent, jer se toplinska energija može iskoristiti samo ako postoji temperaturna razlika.

Kad se, dakle, govori o iskorištavanju geotermičke energije, ne misli se na energiju koja na površinu dopire provođenjem, nego na energiju koja je nagomilana u unutrašnjosti Zemljine kore bilo u obliku vruće vode i pare, bilo u suhim stijenama.

Za praktično iskorištavanje geotermičke energije treba iskoristiti prirodno kruženje vode ili stvoriti uvjete za takvo kruženje. Osnovni se princip sastoji u tome da se voda s površine dovodi u dublje slojeve, u njima se ugrije i tako ugrijana ponovno pojavljuje na površini.

Voda ili vodena para, koja se pojavljuje u izvorima vruće vode ili vodene pare u dublje je slojeve s površine dospjela kroz vodopropusne slojeve. Prolaskom kroz te slojeve na većim dubinama ona se ugrije preuzimajući toplinu nagomilanu u Zemljinoj unutrašnjosti.

Pretpostavlja se da je u stijenama nagomilano znatno više energije nego što je može preuzeti voda koja struji kroz porozne slojeve. Budući da su u većim dubinama stijene sve manje porozne te budući da s dubinom raste i temperatura stijena, može se računati da u većim dubinama Zemljine kore postoje velike mase suhih stijena u kojima su nagomilane znatne količine energije. U te stijene voda s površine ne može prodrijeti prirodnim putem pa one ne sudjeluju u stvaranju izvora, vruće vode ili vodene pare.

Do danas nije tehnički riješeno iskorištavanje energije akumulirane u suhim stijenama, a ni energije u vodi u velikim dubinama.

Da bi se iskoristila energija akumulirana u suhim stijenama, treba dovoljno duboko ispod površine razdrobiti suho stijenje kako bi se dobila dovoljno velika površina za prijelaz topline između stijena i vode koja se kroz umjetno stvorenu bušotinu dovodi među raspucano stijenje. Ugrijana se voda kroz drugu bušotinu dovodi među raspucano stijenje. Zatim se ugrijana voda kroz drugu bušotinu odvodi na površinu i u obliku pare iskorištava za pogon parnih turbina. Tu se pojavljuje problem kako razdrobiti stijene u količini koja će biti dovoljna za pogon kroz vijek trajanja postrojenja.

Kad bi se i razdrobila potrebna količina stijena, ostaje pitanje raspodjele strujanja vode među zdrobljenim stijenama, o čemu ovisi prijelaz topline sa stijena na vodu.

Mogućnost iskorištavanja energije ovisi o temperaturi pa je stoga zanimljiva procjena sadržaja energije u Zemljinoj kori ovisno o dubini bušenja, odnosno o temperaturama. Ako bi se procijenio sadržaj topline pri bušenju na dubinu od 3 km, tada bi bile sadržane sljedeće količine topline u ovisnosti o temperaturama:

	373 K	**373 - 423 K**	**423 - 473 K**	**više od 523 K**	**Ukupno**
Afrika	17 700	1 100	200	30	19300
Južna Amerika	15 700	2 800	800	4	19304
Sjeverna Amerika	24 300	4 100	1 100	70	29570
Srednja Amerika	600	300	100	6	1 006
Azija	25 600	2 700	700	43	29043
Istočna Europa	22 900	900	200	13	24013
Zapadna Europa	5 100	200	100	4	5 404
Oceanija	11 110	900	600	30	12630
Svijet	123 000	13 000	3 800	200	140 000
Udio u zalihama	**87,9 posto**	**9,0 posto**	**3,0 posto**	**0,1 posto**	**100 posto**

Tablica 7. Procjene zaliha geotermičke energije po kontinentima u 10^{10} T. ekv. ugljena

Iz navedenih se podataka uočava da su posrijedi velike količine energije (približno 140 puta veće zalihe energije nego zalihe u ugljenu), a one su znatno manje nego zalihe koje se nalaze u području do dubine 10 km (približno 3 000 puta), do koje se danas bez većih problema obavljaju bušenja.

Najveći dio nositelja geotermičke energije ima temperaturu nižu od 383 K, a vrlo mali dio temperaturu višu od 423 K.

Sve dok se ne pronađe pogodno tehničko-ekonomsko rješenje za iskorištavanje energije nagomilane u suhim stijenama tople vode koja se nalazi u velikim dubinama, kao energetski izvor dolaze u obzir samo topla voda i para koje se pojavljuju na manjim dubinama.

Geotermička je energija poznata već tisućama godina, ali je uglavnom iskorištavana radi liječenja.

Danas se geotermička energija u više od 50 zemalja iskorištava za potrebe grijanja i pripremu tople vode, za proizvodnju električne energije, za potrebe poljoprivrede i industrije, te za lječilišne i rekreacijske potrebe.

U ovisnosti o temperaturi i sastavu termalnih voda geotermičku se energiju može izravno ili posredno koristiti za potrebe grijanja. Izravna je uporaba znatno jednostavnija i jeftinija, ali je zbog agresivnog kemijskog sastava geotermičke vode najčešće neizvediva. Posredno se grijanje ostvaruje preko izmjenjivača topline specijalne konstrukcije, koja omogućava redovita čišćenja od nataloženih tvari u geotermičkoj vodi.

Naravno da na mogućnost eksploatacije nekog akvifera za centralno grijanje utječu i značajke potrošača, ali i značajke geotermalnog izvora. Potrošača karakteriziraju gustoća toplinskog opterećenja, godišnji raspored potreba, sistem grijanja te udaljenost od akvifera, a izvor geotermičke energije potencijalni kapacitet i izdašnost bušotine, temperatura i tlak na ustima bušotine, agresivnost vode, broj bušotina i njihov međusobni utjecaj i sl. Zbog ekonomskih je razloga transport geotermičke vode ograničen na radijus od 5 km od bušotine. Troškovi su bušenja veliki i to veći što je ležište geotermičke vode dublje.

Velik dio izvora vruće vode ili vodene pare ima preniske temperature (ispod 423 K) za proizvodnju vodene pare takvih karakteristika koje su potrebne za proizvodnju električne energije. Računa se da je samo mali dio od ukupno iskoristive geotermičke energije upotrebljiv za proizvodnju električne energije.

Prva elektrana na geotermičku energiju za proizvodnju električne energije puštena je u rad godine 1913. u Italiji snage 250 kW i njezina se snaga nije bitno povećavala sve do 1935. Naime, tridesetih godina ovoga stoljeća znatnije se poboljšava tehnologija bušenja i brzo se povećava proizvodnja u Larderellu. Znatno kasnije elektrane na geotermičku energiju grade se na Novom Zelandu, u SAD, Japanu, bivšem SSSR i na Islandu.

Kako je već spomenuto, temperatura vrućih izvora mora biti dovoljno visoka (najmanje 423 K), da bi se postigao koliko-toliko povoljan stupanj djelovanja, ako se želi uporabiti vodena para iz tih izvora neposredno za pogon parne turbine.

U nas dosad nije posebno istraživana mogućnost iskorištavanja geotermičke energije u energetske svrhe, ali postoje brojni podaci u vezi s bušotinama načinjenim pri istraživanju nafte i plina. Na osnovi tih podataka mogu se procijeniti srednji temperaturni gradijenti na pojedinim područjima:

Panonsko područje 50 K/km,
Jadransko podmorje 25 K/km,
Dinaridi 15 K/km.

Maksimalna temperatura utvrđena u sjevernom dijelu Panonskog područja doseže do 423 K na dubini od približno 3 000 m. Rezultati dosadašnjih istraživanja upućuju na zaključak da bi se u Panonskom području moglo očekivati postojanje vrućih voda s temperaturom do 393 K na dubinama 2 000 do 2 500 m. To znači da u tom području ne treba očekivati vruće vode s višim temperaturama, pa ni mogućnost proizvodnje električne energije pomoću geotermičke energije.

1.6 Temeljna obilježja obnovljivih prirodnih oblika energije

Krajem prošlog i početkom ovog stoljeća mnogo se piše, raspravlja i preporučuje korištenje obnovljivih oblika energije za proizvodnju električne energije, pa će se zbog toga nešto više kazati o svakom obnovljivom prirodnom obliku energije.

Prirodni oblici energije koji se obnavljaju ne mogu se s vremenom istrošiti, jer se neprestano obnavljaju (isparavanjem vode stvaraju se oblaci, a iz njih oborine, koje se slijevaju u vodotoke i mora itd.), iako je moguće potpuno iskoristiti potencijale nekih prirodnih obnovljivih oblika energije. To se događa primjerice gradnjom toliko hidroelektrana na nekom vodotoku da na njemu nije više moguće sagraditi nijednu novu hidroelektranu. U tom je slučaju u nekom vremenskom intervalu ograničena samo količina energije, ali zbog toga iskorištavanje nije vremenski ograničeno uz pretpostavku da se obnavljaju postrojenja za energetsko iskorištavanje.

Mogućnosti prirodnih oblika energije koji se obnavljaju s vremenom se mijenjaju, što znači da je snaga tih energetskih izvora funkcija vremena i da nije konstantna. Te promjene mogu biti vrlo brze (snaga vjetra ovisi o trećoj potenciji njegove brzine), brze (snaga plime i oseke razmjerna je koti morske razine, intenzitet zračenja Sunca ovisi o dijelu dana i o naoblaci) polagane (vodne su snage razmjerne količini vode koja protječe vodotokom) i vrlo polagane (toplina mora).

Većinu prirodnih oblika energije koji se obnavljaju nije moguće uskladištiti u obliku u kojemu se pojavljuju u prirodi (vjetar, plima i oseka, zračenje Sunca) pa ih treba iskoristiti u trenutku kad se pojavljuju. Jedino se može uskladištiti voda u vodotocima (akumulacijski bazeni). Zbog promjenljivosti snage takvim se prirodnim oblicima energije ne mogu zadovoljiti potrebe potrošača, jer se one najčešće ne poklapaju s mogućnostima iskorištavanja, pa su potrebni drugi oblici energije da bi se uskladile potrebe i proizvodnja. Vrlo je važna spoznaja da se od prirodnih oblika energije koji se obnavljaju u svojemu prirodnom obliku, na veće udaljenosti mogu prevesti samo drvo, otpaci i biomasa.

1.6.1 Vodne snage, njihova rezerva i iskorištenost

Sunčana energija koja dopire do Zemljine površine izaziva isparavanje vode (mora, jezera i rijeka), tla i bilja. U obliku vodene pare voda se diže do određenih visina na kojima se oblikuju oblaci. Vodena se para kondenzira i pada na Zemlju u obliku oborina.

Ukupna snaga oborina procjenjuje se na $4{,}04 \cdot 10^{10}$ W. Vrlo mali dio toga potencijala može se iskoristiti. Pretpostavlja se da se, teoretski, može iskoristiti samo 0,010 do 0,015 posto. Ovaj teoretski potencijal računa se kao totalni energetski potencijal riječnih tokova koji odgovaraju morskoj razini s prosječnom godišnjom mogućom proizvodnjom od $64{,}22 \cdot 10^{12}$ kWh (World Energy Conference, München 1980). Bolji podatak od "teoretskog potencijala" jest "tehnički upotrebljivi potencijal hidroenergije" koji u sebe uključuje neraspoloživost velikih riječnih tokova, napose onih blizu ušća. Tehnički potencijal manji je od polovice teoretskog potencijala. Treći je stupanj "ekonomski potencijal" koji sadrži sve hidroenergetske izvore koji se smatraju ekonomičnima u usporedbi s alternativnim izvorima električne energije u vrijeme odabira za gradnju. Međutim, treba istaknuti da navedena klasifikacija (teoretski, tehnički i ekonomski hidropotencijal), odnosno vrijednosti navedenih triju hidropotencijala nisu konstantne veličine, nego se s vremenom mijenjaju u ovisnosti o novim istraživanjima, razvoju tehnologija, i napokon, o cijenama alternativnih raspoloživih izvora za gradnju.

Mogući iskoristivi svjetski potencijal vodnih snaga procjenjuje se na prosječnu godišnju proizvodnju 48 220 TWh, a tehnički iskoristivi potencijal na 19 390 TWh. Pregled potencijala (tablica 8.) po kontinentima i ostvarena proizvodnja krajem prošlog stoljeća:

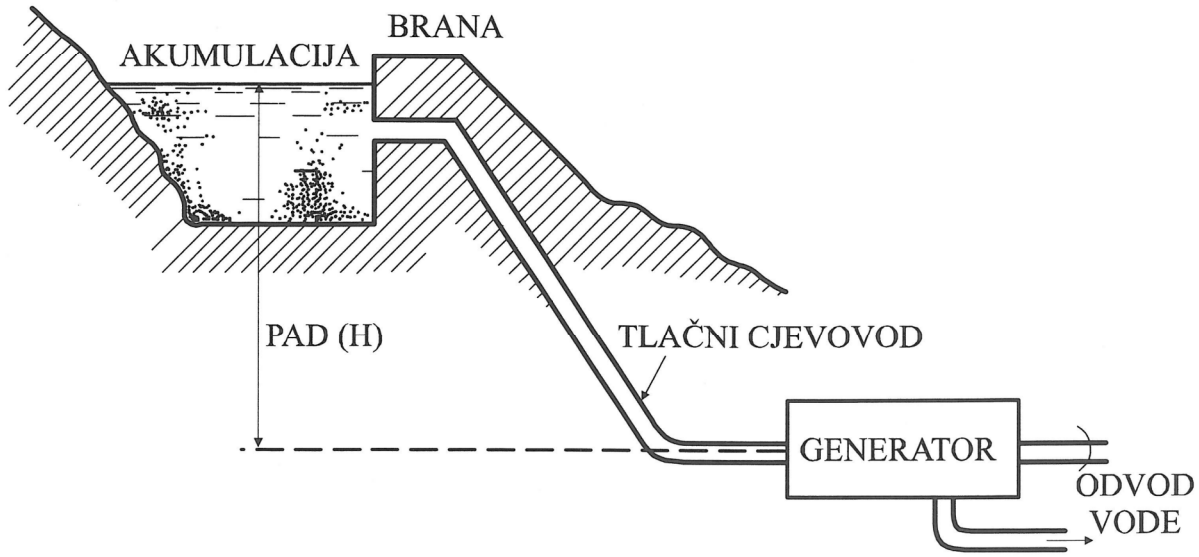
	Potencijal		
	Mogući iskoristivi TWh	**Tehnički TWh**	**Proizvedeno u TWh**
Afrika	10 118	3 140	72
Amerika bez SAD-a	9 253	5 000	577
Azija bez bivšeg SSSR-a	16 486	5 340	362
Istočna Europa	230	130	30
Zapadna Europa	4 130	1 300	407
Oceanija	1 500	390	36
Bliski istok	38	25	11
SAD	2 525	1 875	341
bivši SSSR	3 940	2 190	220
Svijet	**48 220**	**19 390**	**2 056**

Tablica 8. Pregled potencijala po kontinentima i ostvarena proizvodnja

Mnoge procjene tehnički iskoristivih potencijala vodnih snaga međusobno se vrlo razlikuju. Razlike u procjeni pojavljuju se ili zbog toga što sve zemlje nisu uključene u procjenu, ili pak zbog toga što u nekima od njih prilike nisu dovoljno istražene.

Navedena procjena mogućega iskoristivog potencijala osniva se na podacima Svjetske konferencije za energiju i čini približno 75 posto teoretskog potencijala, dok tehnički iskoristivi potencijal iznosi približno 30 posto teoretskog potencijala, a ostvarena je proizvodnja približno 3,5 posto teoretskog, odnosno približno 10,6 posto tehnički iskoristivog potencijala.

Osnovni princip iskorištavanja hidropotencijala odnosno proizvodnje električne energije u hidroelektrani prikazan je na slici 6. Voda na visokoj razini često spremljena iza brane ima pad H. Njezina gravitacijska potencijalna energija pretvara se u kinetičku energiju koja tjera vodne turbine. Turbinom se kinetička energija pretvara u mehaničku energiju vrtnje. Rotirajuća osovina turbine goni generator koji proizvodi električnu energiju.



Slika 6. Shematski prikaz glavnih dijelova hidroelektrane

Snaga koja se dobiva ovisi, dakle, o sili gravitacije, o količini vode, o neto-padu na kojemu se voda koristi i o stupnju djelovanja agregata. Dakle:

$$P = 9,81\eta QH\ (kW) \tag{18}$$

Snaga će se dobiti u kW ako se za Q uvrsti m^3/s, a za pad (H) u metrima.

Budući da protok u određenoj hidroelektrani može oscilirati u velikim rasponima, treba nešto kazati o snazi i proizvodnji hidroelektrana. Instalirana je snaga nazivna snaga hidroelektrane, a dobiva se kada hidroelektrana radi s instaliranim protokom i uz pretpostavku da su svi dijelovi hidroelektrane sposobni za pogon. Raspoloživa snaga jest snaga koju hidroelektrana može proizvesti u nekom trenutku, polazeći od stvarnog stanja u hidroelektrani, a uz raspoloživi dotok i pad vode. Uz snagu hidroelektrane, drugo osnovno obilježje jest moguća proizvodnja. Obično se moguća proizvodnja izražava kao srednja godišnja proizvodnja u kWh (MWh, GWh i TWh), a ona se dobiva kao aritmetička sredina mogućih godišnjih proizvodnja u promatranom dužem nizu godina. To je potrebno raditi zato što količina vode koja protječe vodotokom u jedinici vremena nije konstantna, već ovisi o oborinama, o topljenju snijega i o količini vode koja podzemnim putovima dotječe u vodotok. Obično se tako polazi od srednjeg satnog, a preko dnevnog, tjednog i mjesečnog srednjeg protoka dolazi se do srednjeg godišnjeg protoka. S obzirom na to da veličina srednjih protoka i njihov raspored tijekom godine mogu biti vrlo različiti, za određivanje moguće proizvodnje potrebno je se koristiti protocima za veći broj godina kako bi se dobio višegodišnji prosjek. Pod pojmom moguća proizvodnja podrazumijeva se maksimalna proizvodnja koja se može ostvariti uz upotrebu maksimalne količine vode i uz najpovoljnije uvjete, uzimajući pritom u obzir veličinu gradnje hidroelektrane. Pri računanju moguće proizvodnje hidroelektrane treba računati samo s neto-protocima (bez vode koja se uzima za druge korisnike prije upotrebe u hidroelektrani), te uzeti u obzir postojanje akumulacijskih bazena prije zahvata hidroelektrane. Naime, postojanjem akumulacijskih bazena osigurava se akumulacija vode u vlažnijim razdobljima godine, kako bi se spriječilo prelijevanje vode kad je prirodni dotok veći od instaliranog protoka, a akumulirana bi se voda iskorištavala u sušnijim razdobljima i tako bi se povećala moguća proizvodnja hidroelektrane. Pri računanju moguće proizvodnje

u hidroelektrani pretpostavlja se da su svi dijelovi postrojenja sposobni za pogon i da nema nikakvih drugih ograničenja.

Svaka mogućnost gradnje hidroelektrane (tehnički iskoristivi potencijal) za upotrebu vodnih snaga ne mora biti i ekonomski opravdana. Ako je ekonomski opravdana (rentabilna) gradnja elektrana za iskorištavanje hidroenergetskog potencijala, riječ je o ekonomski iskoristivom potencijalu. Iznos ekonomskih iskoristivih vodnih snaga ovisi o razvitku tehničkih mogućnosti gradnje, o kriterijima za određivanje ekonomičnosti izvora i o cijenama goriva za pogon termoelektrana, a svi ti elementi mijenjaju se razvojem tehnike i potrošnje električne energije.

U nekim zemljama koje su do maksimuma iskoristile svoj hidropotencijal (Švicarska) može se dogoditi (samo na prvi pogled) da je ekonomski iskoristivi potencijal veći od tehnički iskoristivog potencijala. Takva je situacija posljedica izgradnje crpno-akumulacijskih postrojenja čija je proizvodnja pribrojena proizvodnji hidroelektrana.

Crpno-akumulacijsko postrojenje jednom je hidroelektrana u kojoj se za proizvodnju električne energije iskorištava potencijalna energija vode (turbinski pogon), koja je akumulirana u gornjemu akumulacijskom bazenu, a drugi put je potrošač, i to kada se voda iz donjeg akumulacijskog bazena crpi u gornji akumulacijski bazen. Iskoristivost je takvoga postrojenja približno 70 posto. Promatrajući bilančno, crpno-akumulacijsko postojenje jest potrošač električne energije, ali u krajnjoj liniji takvo postrojenje može biti vrlo korisno u elektroenergetskom sustavu ako se voda crpe u razdobljima malih opterećenja kad postoje neiskorišteni kapaciteti za proizvodnju električne energije i kad se crpljenjem akumulirana voda iskorištava za turbinski pogon u razdobljima velikih opterećenja. Takvim se pogonom može uštedjeti na gradnji konvencionalnih elektrana i bolje se mogu iskoristiti sagrađene elektrane.

Vodni tokovi i rijeke u velikoj većini zemalja svijeta smatraju se narodnim (javnim) dobrom, pa je njihovo iskorištavanje (pa i za proizvodnju električne energije) pod nadzorom vlada određenih zemalja. Zbog različitih pojedinačnih interesa pri iskorištavanju hidropotencijala može se dogoditi da je uporaba hidropotencijala za proizvodnju električne energije prihvatljiva za dio društva (energetiku), a neprihvatljiva za drugi dio društva (vodoprivredu, poljoprivredu, promet).

1.6.2 Nastajanje i zalihe biomase i bioplina

Povijesno, čovjekov se razvoj može izravno utvrditi preko sustava biološke konverzije, početno preko nabave hrane, zatim hrane za životinje, građe za kuće i energije za kuhanje i grijanje. Početak industrijskih aktivnosti slijedio je razvoj poljoprivrede i šumarstva do njihovih današnjih razina. Obnovljeno isticanje sistema biološke pretvorbe javlja se zbog činjenice da se solarna energija može izravno pretvoriti u pohranjivo gorivo (hrana i energija), a druge metode upotrebe solarne energije zahtijevaju odvojen sustav pohrane energije. Ugljikohidrati se mogu reducirati u vrlo poželjna goriva kao što su alkohol, vodik ili metan, a proces se može primijeniti izravno na organske otpadne tvari koje nastaju proizvodnjom hrane ili drva.

Biomasa se može definirati kao svi tipovi životinjskih i biljnih tvari koji se mogu pretvoriti u energiju. To uključuje drveće i grmlje, trave, alge, vodene biljke, poljoprivredne i šumske ostatke i sve oblike otpadaka. Procjene o tome koliko se svjetskih potreba za energijom zadovoljava biomasom variraju od 6 do 13 posto. Među zemljama u razvoju biomasa je najvažniji izvor energije, posebno u kućanstvima, iako neke lokalne industrije kao primjerice pekare, ciglane i proizvodnja pare ovise o drvu kao ogrjevu. Devet desetina populacije u siromašnim područjima oslanja se na drvo kao svoj glavni izvor goriva i premda se u hladnijim regijama

upotrebljava i za grijanje, kudikamo je najvažnija energetska potreba za kuhanje. Energija za kuhanje čini približno 50 posto upotrebe goriva u ruralnim područjima i do 90 posto u toplijim područjima.

Količine biomase proizvedene u svijetu vrlo su velike. Neto godišnja proizvodnja organskih tvari ima energetsku vrijednost od nekih $3{,}1 \cdot 10^6$ PJ, što je deset puta više od godišnje potrošnje energije u svijetu. Samo u šumama proizvodnja biomase triput je veća od godišnje svjetske potrošnje. Procjene potencijalnih resursa biomase već postojećih u šumama svijeta $1{,}8 \cdot 10^7$ PJ, istog su reda veličine kao i poznate svjetske zalihe nafte i plina.

Od ukupne površine kopna ($130 \cdot 10^6$ km^2) velik je dio šumovit 31 posto ($40 \cdot 10^6$ km^2), a pod šumama je približno 21 posto ($28 \cdot 10^6$ km^2). Međutim, velik dio tih šuma čine prašume koje se danas uglavnom ne iskorištavaju.

Podaci o šumskim područjima i područjima pod šumama navode se u nastavku (tablica 9.):

	Šumska područja 10^6km^2	**Područja pod šumama 10^6km^2**
Afrika	8,0	1,9
Amerika bez SAD-a	11,1	9,4
Azija bez bivšeg SSSR-a	5,3	4,0
Istočna Europa	0,4	0,3
Zapadna Europa	1,3	1,1
Oceanija	1,9	0,8
SAD	3,2	2,8
bivši SSSR	9,2	7,7
Svijet	**40,3**	**28,0**

Tablica 9. Šumska područja i područja pod šumama

Godišnji prirast šuma ovisi o klimatskim prilikama. Postoje različite procjene ukupnoga godišnjeg prirasta drveta i one se međusobno znatno razlikuju.

Prema raspoloživim podacima, koji se bitno razlikuju od izvora do izvora podataka te prema provedenim nužnim korekcijama izradom godišnjih bilanca za Svijet, Europu, SAD i bivši SSSR, u nastavku se navode ostvarene potrošnje drveta i drvnih otpadaka za neke godine u milijunima tona ekvivalentnog ugljena (tablica 10.).

Godina	Svijet	Evropa	SAD	bivši SSSR	bivša Jugoslavija
1900.	530,0	–	–	–	–
1918.	–	–	–	–	1,2
1950.	357,0	18,0	4,6	16,5	2,2
1960.	412,0	19,0	4,4	26,0	2,0
1970.	451,0	22,6	5,1	28,8	1,9
1973.	470,0	18,4	4,8	27,8	1,8
1980.	550,0	19,7	7,1	25,9	2,1
1985.	524,0	17,2	4,5	24,5	2,3

Tablica 10. Potrošnja drveta i drvnih otpadaka (u 10^6 T. E.U.)

Bioplin je gorivi plin koji proizvode mikrobi kad organske tvari, kao što su vodene trave ili organski otpaci u sistemima kanala, anaerobno fermentiraju unutar određenog pojasa temperatura, sadržaja vlage i kiselosti. Može se uporabiti kao kvalitetno gorivo za kuhanje, rasvjetu i proizvodnju energije. Njegov je kemijski sastav 60-70 posto metana s ugljičnim dioksidom i tragovima drugih plinova. Kina je niz godina najveći svjetski korisnik sustava bioplina i proizvodnja bioplina postala je opsežno kontrolirana metoda odlaganja otpada, dajući gnojivo i poboljšavajući zdravlje na selu uz osiguranje obnovljivoga izvora energije. Godine 1983. bilo je u radu između 5 i 6 milijuna jedinica s bioplinom i približno 60 specijalnih instituta za bioplin u provincijama.

Indija također ima znatno iskustvo u razvoju bioplinskih sistema i neke zemlje svoje konstrukcije sada osnivaju na kineskim i indijskim sustavima. Primjerice, više od 100 postrojenja na kravlji izmet načinjeno je u Nepalu, bioplin se upotrebljava kao zamjena za dizelsko gorivo u Botswani, a postoje planovi za razvoj 300 000 jedinica u ruralnom Tajlandu. Među industrijskim zemljama Rumunjska, s brojnim farmama svinja, služi se bioplinom za pogon u eksperimentalnom autobusu. U krajevima s umjerenom klimom stanje s bioplinom manje ohrabruje, ali pažljivo ukupno projektiranje sustava može prebroditi taj problem. Prototipna jedinica za mljekarsko stado od 320 krava dovršena je u Kentu 1979 godine. Električna energija proizvodi se Fordovim dizelskim generatorom modificiranim za sagorijevanje plina inicirano iskrom, s kontinuiranom maksimalnom snagom približno 25 kW. Nekoliko manjih jedinica radilo je u drugim krajevima Velike Britanije i svijeta.

1.6.3 Energija vjetra i njezine značajke

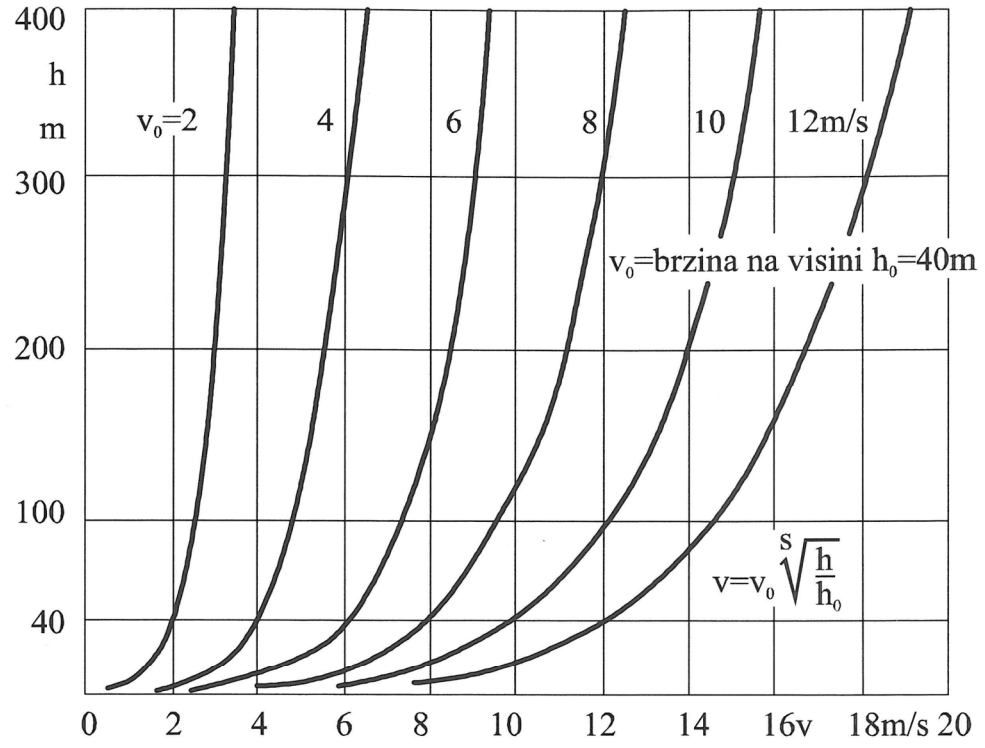
Vjetar je posljedica različitoga zagrijavanja atmosfere i površine Zemlje djelovanjem Sunčeva zračenja. Dva su načina gibanja zraka: vertikalno i horizontalno. Pri vertikalnom gibanju mase zraka idu u visinu, dok horizontalno gibanje zraka nastaje zbog razlika tlaka.

Energija je vjetra kinetička energija, a budući da je kinetička energija:

$$W = \frac{1}{2}mv^2 \tag{19}$$

(gdje je m masa, a v brzina), ona će biti razmjerna masi i kvadratu brzine. Iz toga slijedi da poznavanje brzine vjetra ima osnovnu važnost za ocjenu mogućnosti iskorištavanja vjetra u energetske svrhe.

Naime, poznato je da se brzina vjetra brzo mijenja, pa je stoga potrebno mjeriti brzinu kako bi se mogle odrediti krivulje frekvencija. Također je poznato da se brzina vjetra povećava s visinom iznad tla. Može se približno računati da je omjer brzina razmjeran petom korijenu iz omjera visina nad zemljom. Na slici 7. prikazana je ovisnost brzine vjetra o visini iznad površine tla, pri čemu se kao osnovica uzima brzina na visini od $h_0 = 40\ m$.



Slika 7. Ovisnost brzine vjetra o visini iznad površine

Ako se masa zraka koji struji izrazi volumenom (V) u jedinici vremena (m^3/s) s r njegova gustoća (kg/m^3), a s v njegova brzina (m/s), snaga strujanja zraka dobiva se iz izraza:

$$P = \frac{1}{2} pVv^2 \ (W) \tag{20}$$

U tom slučaju snaga se dobiva u vatima (W). Gustoća zraka iznosi približno 1,25 kg/m^3, a volumen u jedinici vremena može se pisati kao umnožak površine (A) i brzine (v), pa se izraz za snagu može pisati:

$$P = 0,625Av^3 \cdot 10^{-3} \ (kW) \tag{21}$$

gdje je A površina u m^2.

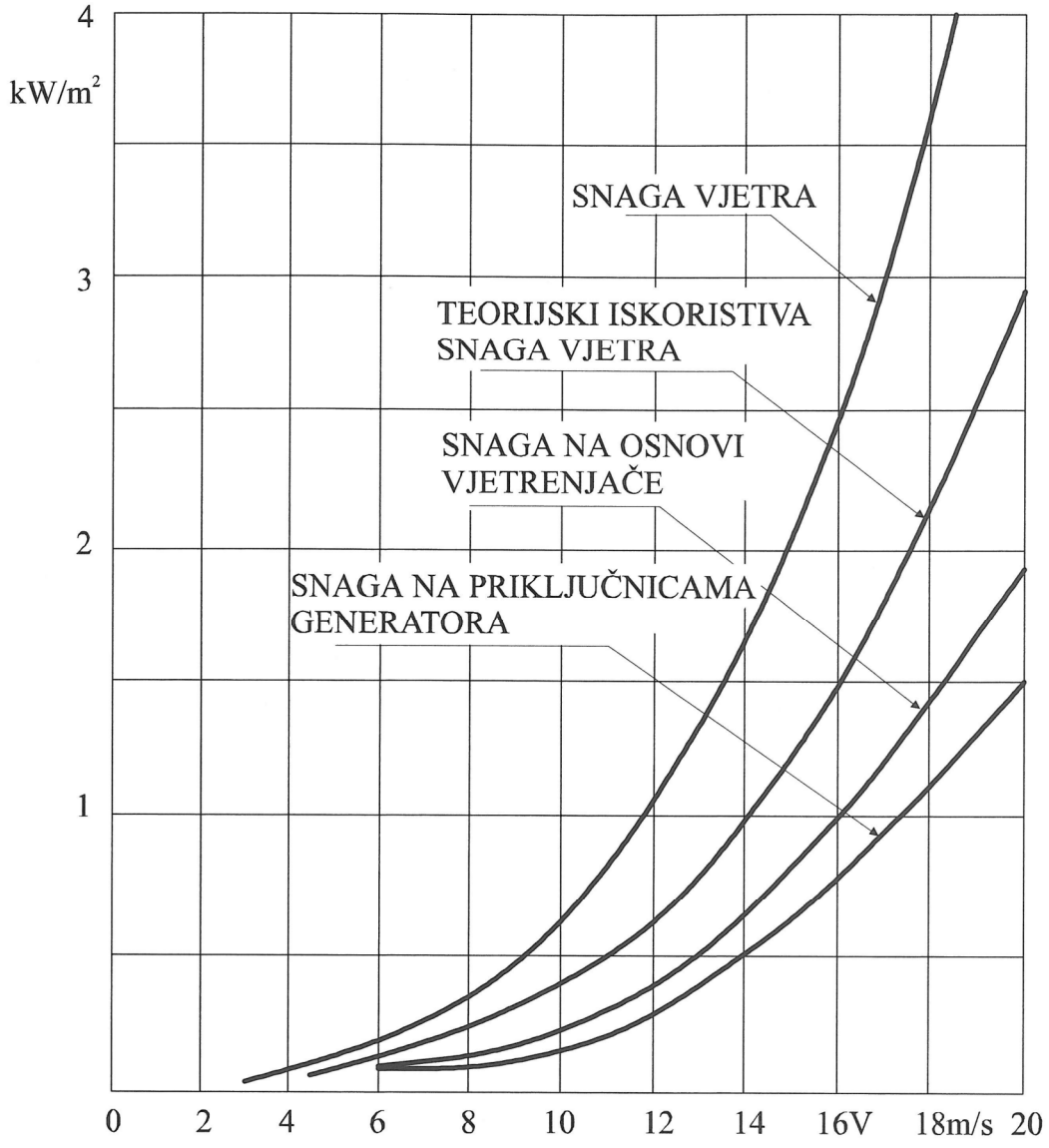
Navedena je snaga maksimalna teoretska snaga. Naime, ukupna kinetička energija zraka ne može se sva iskoristiti, jer zrak mora dalje strujati da bi načinio mjesta onome koji dolazi. Moguće je, dakle, iskorištavati energiju koja odgovara razlici brzina. Za pretvorbu kinetičke energije zraka u mehaničku energiju služe zračne turbine. Njihov pogon omogućuje razlika kinetičkih energija zraka koje odgovaraju brzinama ispred zračne turbine i iza nje.

Maksimalnu snagu koja se može dobiti pogonom s pomoću zračne turbine izračunao je Betz 1927. godine i ona iznosi 16/27 odnosno 0,59259 od teoretske maksimalne moguće snage.

Ako se pretpostavi da zračna turbina ima stupanj djelovanja 0,65, a električni generator stupanj djelovanja 0,80, dobiva se električna snaga:

$$P_{el} = 0,193 A v^3 \cdot 10^{-3} \ (kW) \tag{22}$$

U postrojenju navedenih karakteristika može se samo približno 31 posto kinetičke energije vjetra pretvoriti u električnu energiju.



Slika 8. Ovisnost specifične snage (kW/m^2) o brzini vjetra

U praksi se obično daju značajke specifičnih snaga (kW/m^2) po metru četvornom, ovisno o brzini vjetra (slika 8.), a jednako se tako, umjesto površine u jednadžbi za određivanje snage gotovo uvijek upotrebljava promjer zračne turbine pa izraz za električnu snagu glasi:

$$P_{el} = 0,152 \cdot D^2 v^3 \cdot 10^{-3} \ (kW) \tag{23}$$

uz pretpostavljene stupnjeve djelovanja turbine i generatora.

Teoretske količine na opisan način dobivene energije procjenjuju se na približno $2,5 \cdot 10^{12}$ TWh godišnje, pri čemu se pretpostavlja uporaba vjetra do najviših slojeva atmosfere. Zbog

ograničene mogućnosti gradnje tornjeva (s obzirom na njihovu visinu) dolazi i do ograničenih mogućnosti upotrebe energije vjetra. Procjenjuje se da se zbog tog ograničenja može iskoristiti samo približno 10^4 TWh godišnje. Međutim, ovdje treba istaknuti da se procjene približno moguće upotrebe energije vjetra kreću u vrlo velikom rasponu, a nastaju zbog različitih pretpostavka o visini tornjeva i o minimalnoj korisnoj brzini vjetra.

Zračne se turbine obično postavljaju na tornjevima. Njihova je visina obično veća od polumjera što ga opisuje vrh elise, kako bi se na taj način što bolje iskoristila pojava da se brzina vjetra povećava s visinom iznad površine tla. Za svaki konkretan slučaj (lokaciju) može se odrediti optimalna visina tornja, jer s visinom rastu i troškovi za njegovu gradnju.

Zračna se turbina – da bi se što bolje iskoristila energija vjetra – uvijek mora postaviti tako da krug koji opisuje elisa turbine bude okomit na smjer vjetra, za što nema tehničkih problema.

Regulacija broja okretaja postiže se smanjivanjem ili povećavanjem aktivnih ploha na koje djeluje vjetar.

Vjetar kao izvor energije upotrebljava se već stoljećima. U Aleksandriji i u Grčkoj bilo je mlinova na pogon vjetrom već 2000. g. pr. n. e., a od 8. stoljeća vjetar se upotrebljava za pogon mlinova i navodnjavanje u sjeverozapadnoj Evropi. Prvi vjetrogenerator prikazan je 1876. u Philadelphiji na Svjetskoj tehničkoj izložbi, da bi od 1880. do 1941. u SAD bilo sagrađeno približno šest milijuna malih eolskih elektrana. Osim tih malih uređaja, u razdoblju od tridesetih do pedesetih godina prošloga stoljeća projektiran je i sagrađen cijeli niz eolskih elektrana veće snage u SAD, bivšem SSSR-u, Engleskoj, Danskoj, Francuskoj i Njemačkoj. Nakon toga, zbog jeftine energije zamire zanimanje za eolske elektrane sve do početka sedamdesetih, kada se ono ponovo budi u tim istim zemljama. Danas se u SAD komercijalno proizvode male aeroelektrane do 10 kW električne snage, koje se primjenjuju na udaljenijim poljoprivrednim farmama i vikend-kućama, te u određenim specijalnim namjenama, kao što su meteorološke stanice na nepristupačnim položajima i sl.

S obzirom na to da je iskorištenost maksimalne snage generatora relativno mala, a pogon za vrijeme malih brzina vjetra nemoguć, za istu proizvodnju električne energije bila bi potrebna višestruko veća gradnja vjetroelektrana nego, recimo, klasične termoelektrane. Nadalje, elektrane sa zračnim turbinama mogu smanjiti potrošnju goriva u ostalim tipovima elektrana, ali ne mogu ili mogu vrlo malo smanjiti gradnju ostalih tipova elektrana, jer ne mogu jamčiti proizvodnju u razdobljima koja su kritična u elektroenergetskom sustavu. U Njemačkoj, koja danas vodi po korištenju energije vjetra u svijetu, bilo je krajem 2003. godine u pogonu 14.600 megavata instalirane snage vjetroelektrana.

1.6.4 Temeljna obilježja energije Sunčeva zračenja

Energija Sunčeva zračenja rasprostire se po površini Zemlje ovisno o geografskoj širini, godišnjem dobu i dužini dana. Kad se govori o iskorištenosti Sunčeva zračenja kao izvora energije, uvijek se misli na energiju zračenja koja dopire do Zemljine površine.

Energija zračenja koja dopire do vanjskog ruba atmosfere, ovisno o udaljenosti Zemlje od Sunca, iznosi 1 307 do 1 399 W/m^2 na plohu koja je okomita na smjer zračenja. Srednja vrijednost Sunčeva zračenja na okomitu plohu naziva se "solarna konstanta" i iznosi:

$$\bar{E}_0 = 1367,7 \ \left(W/m^2\right) \tag{24}$$

izvan atmosfere pri srednjoj udaljenosti Zemlje od Sunca.

Intenzitet Sunčeva zračenja mijenja se tijekom godine zbog promjena udaljenosti Zemlje od Sunca. Vrijednost Sunčeva zračenja na okomitu plohu, za bilo koju udaljenost Zemlje od Sunca, može se dobiti iz izraza:

$$E_0 = \bar{E}_0 \left(r/R\right)^2 \tag{25}$$

gdje je:

$\bar{E}_0$-solarna konstanta,

r - srednja udaljenost Zemlje od Sunca,

R - stvarna udaljenost Zemlje od Sunca.

Udaljenost Zemlje od Sunca (R) mijenja se iz dana u dan, a budući da promjene kroz jedan dan nisu velike, pa se razmak (R) za pojedini dan može smatrati konstantom Sunčeva zračenja (za bilo koji dan u godini) površine okmite na smjer zračenja, može se približno prikazati izrazom:

$$E_{0(n)} = \varepsilon_n \cdot \bar{E}_0 \left(1 + 0,034 \cos \frac{360° n}{365}\right) \tag{26}$$

gdje je n broj dana brojen od 1. siječnja, a ε_n odgovarajući ekscentricitet gibanja Zemlje oko Sunca.

Da bi se moglo proračunati zračenje Sunca na horizontalnu plohu, treba poznavati: deklinaciju Sunca (d), satni kut Sunca (w_s) i kut visine Sunca (a).

Deklinacija Sunca (d) kut je između spojnice središta Zemlje sa središtem Sunca i ravnine u kojoj leži ekvator. Deklinacija se mijenja od –23,45° (21.XII) do +23,45° (21.VI), a s pomoću aproksimativne formule može se izračunati za bilo koji dan u godini:

$$d = 23,45° \sin \left(360° \frac{248 + n}{365}\right) \tag{27}$$

gdje je n broj dana, počevši od 1. siječnja.

Satni je kut sunca (w_s) vrijeme izraženo s pomoću kuta i računa se od Sunčeva podneva ($w_s = 0$), pa je prema tome pozitivnog predznaka za poslije podne, a negativna predznaka prije podne. Satni kut računa se tako da se razlika između Sunčeva podneva i nekog drugog Sunčeva vremena pomnoži sa 15°.

Kut visine Sunca (a) je kut između Sunčevih zraka i horizontalne plohe, a računa se prema izrazu:

$$\sin \alpha = \sin \varphi \sin \delta + \cos \delta \cos \omega_s \tag{28}$$

gdje je δ zemljopisna širina promatranog mjesta.

Ukupna dnevna količina energije koja se dobije ozračenjem horizontalne plohe po jedinici površine računa se prema izrazu:

$$W_0 = \frac{86\,400}{\pi} \bar{E}_0 \left(1 + 0,034 \cos \frac{360° n}{365}\right) \left(\frac{2\pi}{360} \omega \sin \varphi \sin \delta + \sin \omega_s \cos \varphi \cos \delta\right) \tag{29}$$

Prosječna mjesečna energija Sunčeva zračenja u nekom mjesecu dobiva se kao aritmetička sredina dnevnih energija za sve dane u promatranom mjesecu.

Pri prolazu kroz atmosferu dio Sunčeva zračenja apsorbiraju plinovi (kisik, vodena para, ugljik-dioksid), dio se reflektira (na molekulama plinova, česticama prašine), a dio se reemitira. Prema tome, smanjenje energije izravnoga Sunčeva zračenja pri prolazu kroz atmosferu ovisi o atmosferskim prilikama (vedro, poluoblačno, oblačno), o zagađenosti atmosfere i o nadmorskoj visini. Dio energije Sunčeva zračenja gubi se kroz atmosferu, pa maksimalni dotok energije do Zemljine površine iznosi u prosjeku 920 W/m^2 na plohu okomitu na smjer zračenja. Energija Sunčeva zračenja zbog Zemljine rotacije raspoređuje se po cijeloj površini

Zemlje, pa dnevno sa Sunca dolazi prosječno 230 W/m^2, odnosno 5,52 kWh/m^2 energije, a to ovisi o trajanju insolacije (zemljopisna širina, godišnja dob), o naoblaci, o zagađenosti atmosfere itd. Iz navedenih podataka, a uzimajući u obzir površinu Zemlje (510,1·10^6 km^2), lako se može zaključiti da su posrijedi goleme količine energije koja je posljedica Sunčeva zračenja (približno 10^9 TWh godišnje).

Iako se radi o golemim količinama energije Sunčeva zračenja, ipak se u doglednoj budućnosti ne može očekivati znatnije zadovoljenje energetskih potreba iz energije Sunčeva zračenja. Znatniji su problemi pri upotrebi energije Sunčeva zračenja: mala gustoća energetskog toka, oscilacija intenziteta zračenja u tijeku dana, ovisnost zračenja o klimatskim uvjetima, intenzitet zračenja u pravilu se ne poklapa s intenzitetom potrošnje, nemogućnosti nagomilavanja energija, kao i njezina (danas) neekonomičnost u usporedbi s ostalim izvorima energije.

U meteorologiji se zračenje Sunca mjeri na vodoravnu plohu i za mnoga mjesta postoje takvi podaci. Na vodoravnu plohu, osim izravna Sunčeva zračenja, dolazi i dio raspršenoga (difuznog) Sunčeva zračenja te dio reflektiranog zračenja. Prema tome, za ukupno zračenje se može pisati:

$$E = E_i + E_d + E_r \tag{30}$$

gdje je:

E_i - izravno Sunčevo zračenje,

E_d - raspršeno – difuzno zračenje,

E_r - reflektirano zračenje.

Mjerenje i proračune Sunčeva zračenja treba obavljati prema stvarnome Sunčevom vremenu, a ne prema mjesnom vremenu. Budući da je Zemlja podijeljena na 24 vremenske zone koje nisu potpuno pravilno provedene, zbog toga se može dogoditi da se stvarno Sunčevo vrijeme dosta razlikuje od mjesnog vremena, što, u većini situacija, nije slučaj ondje gdje su razlike vrlo male, gotovo zanemarive.

Ako se poznaje mjesno vrijeme izlaska i zalaska sunca, Sunčevo podne određuje se tako da se vremenu izlaska Sunca doda polovica trajanja Sunčeva dana.

Iz navedenoga može se zaključiti da se datum maksimalnog odnosno minimalnog trajanja insolacije ne poklapa s datumom najranijega, odnosno najkasnijeg izlaska Sunca. Tako primjerice u nas Sunce najranije izlazi 17. lipnja, a najkasnije zalazi 24. lipnja, dok najkasnije izlazi 2. siječnja, a najranije zalazi 12. prosinca.

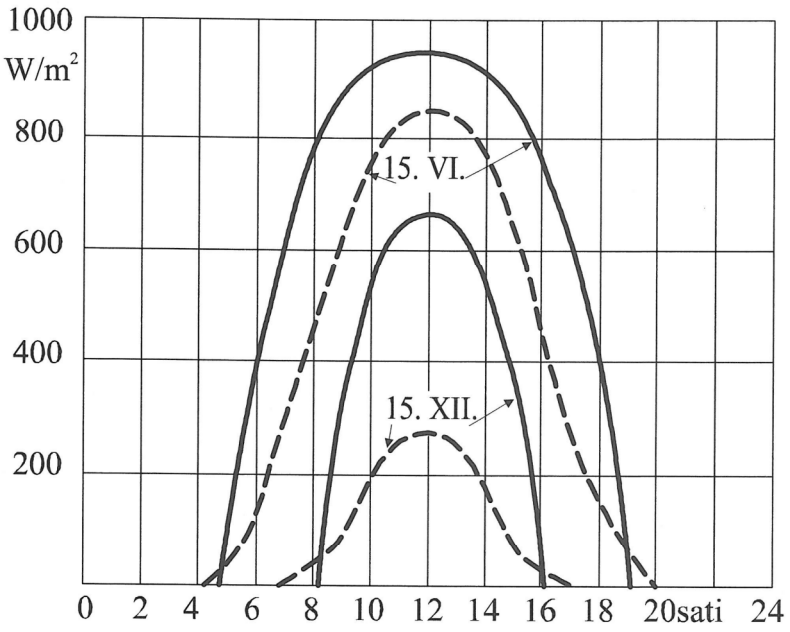
Ako su plohe na koje dolazi Sunčevo zračenje postavljene okomito ili pod nekim kutom prema Zemlji, one će biti kraće obasjane Suncem od vodoravnih ploha. Tako primjerice u Zagrebu moguće trajanje insolacije na vodoravnu plohu iznosi 4 470 sati na godinu, a 4 060 sati godišnje na plohu postavljenu pod kutom 45° prema jugu.

Stvarno trajanje insolacije, međutim, znatno je kraće zbog oblaka, magle i zagađenosti atmosfere. Prosječno stvarno trajanje insolacije u Zagrebu (za razdoblje od god. 1889. do 1970.) iznosi 1 952 sata godišnje na vodoranu plohu, a 1 735 sati godišnje na plohu nagnutu pod kutom 45° prema jugu. Stvarno je trajanje insolacije na nekom mjestu u funkciji vremena kroz koje se mjerilo, pa je u kraćim vremenskim intervalima iz neposredne prošlosti trajanje insolacije još kraće djelomice zbog veće zagađenosti atmosfere. Tako je stvarna insolacije u Zagrebu za razdoblje godine 1950. do 1971. iznosila 1 806 sati godišnje na vodoravnu plohu, što je približno 7,5 posto niže od insolacije kroz razdoblje od 1889. do 1970. godine.

Gubitak je Sunčeva zračenja u atmosferu to veći što je put sunčanih zraka kroz atmosferu duži. Put je duži što je Sunce bliže horizontu. Pri relativno suhoj i čistoj atmosferi gubici kroz atmosferu iznose približno 300 W/m^2 neposredno nakon izlaska Sunca i u podne približno 90 W/m^2 u ljetnim mjesecima i približno 120 W/m^2 u zimskim mjesecima. Osim toga, zračenje

se u prolazu kroz atmosferu raspršuje. I gubitak zbog raspršivanja najveći je neposredno nakon izlaska Sunca (približno 600 W/m^2), a najmanji kad je Sunce najviše iznad horizonta (zimi približno 240 W/m^2, a ljeti približno 140 W/m^2). Gubici prolaza Sunčevih zraka kroz atmosferu i gubici raspršivanja povećavaju se s povećanom vlažnošću i onečišćenošću atmosfere.

Snaga zračenja koja dopire do Zemljine površine, a mogla bi se iskorištavati, mijenja se tijekom dana i godine te ovisi i o položaju plohe na koju dopire zračenje. Na slici 9. nacrtani su podaci snage zračenja na vodoravnu i okomitu plohu za grad Zagreb.



Slika 9. Snaga ukupnog zračenja Sunca na okomitu (puna linija) i horizontalnu (crtkanu liniju) plohu pri vedrom vremenu na 59° sjeverne geografske širine

Potencijalna je energija zračenja maksimalna energija koja dopire do površine Zemlje kroza suhu i čistu atmosferu, a ovisi o zemljopisnoj širini i nadmorskoj visini. Ona postaje manja sa smanjenjem nadmorske visine (Sunčeve zrake prolaze duži put) i s povećanjem zemljopisne širine (upadni kut zračenja postaje manji).

Za istu nadmorsku visinu i za iste meteorološke uvjete potencijalna energija zračenja za 43° zemljopisne širine iznosi približno 2 500 kWh/m^2 godišnje, a na zemljopisnoj širini 46° približno 2 400 kWh/m^2 godišnje. Ako se pretpostavi da je maksimalna snaga zračenja 0,9 kW/m^2 i kad bi ta snaga kroza cijelu godinu bila konstantna, tada bi se godišnje moglo dobiti 7 884 kWh/m^2. Prema tome, potencijalna iskorištenost Sunčeva zračenja na 43° zemljopisne širine iznosi 31,7 posto, a na 46° zemljopisne širine 30,4 posto.

Uspoređujući stvarnu prosječnu energiju zračenja (uvijek je posrijedi zračenje na vodoravnu plohu) ostvarenu na 46° (1 157,1 kWh/m^2) i na 43° (1 486,7 kWh/m^2) s potencijalnom energijom zračenja, onda na 46° stvarna energija zračenja iznosi približno 49 posto, a na 43° približno 60 posto od potencijalne energije zračenja.

Ako se pretpostavi da je maksimalna snaga zračenja za prosječnu vlažnu i mutnu atmosferu 0,85 kWh/m^2, u tom bi se slučaju na 46° iskoristilo samo 15,5 posto, na 43° 20 posto od

teoretske maksimalno moguće iskorištenosti snage kroz godinu (0,85 kWh/m^2·8 760 h/god = 7 446 kWh/m^{2}god).

Izravno iskorištavanje Sunčeva zračenja danas se svodi uglavnom na dobivanje topline preko zagrijanih medija i za neposrednu pretvorbu u električnu energiju.

Toplinska se energija iz Sunčeve energije može dobiti s pomoću aktivnih i pasivnih sustava. U pasivnim se sustavima upotrebljava prirodna cirkulacija zagrijanih medija (obično vode ili zraka), a u aktivne sustave uključeni su posebno izrađeni kolektori i crpke koje omogućuju prisilnu cirkulaciju medija koji prenosi toplinu.

Izravnom pretvorbom Sunčeva zračenja s pomoću solarnih ćelija može se dobiti (proizvesti) električna energija.

Samo dio dozračene energije može biti apsorbiran, dio se reflektira, a dio energije prolazi kroz ozračeno tijelo. Prema tome, samo se apsorbirana energija može pretvoriti u toplinsku energiju, a reflektiranu i propuštenu energiju apsorbirat će tijela u okolišu.

1.6.5 Plima i oseka, energija struja i valova te toplinska energija oceana

Kad se govori o energiji mora, obično se misli na energiju koju sadrže morske struje i valovi, plima i oseka, te o energiji koja je posljedica termičkih razlika i različitog saliniteta.

Plima i oseka su posljedica Sunčeva i Mjesečeva djelovanja na vodu u oceanima. Amplitude plime i oseke ovise o položaju obaju nebeskih tijela i Zemlje. Amplituda i učestalost različite su na pojedinim obalama pa je stoga uvijek potrebno isticati o kojoj se obali radi. Tako je primjerice na obalama Atlantskog oceana vremenski razmak između dviju plima 12 sati i 25 minuta, na Tahitiju 12 sati, a na obalama Indonezije pojavljuje se samo jedna plima u 24 sata. Amplitude plime iznose od nekoliko centimetara do nekoliko metara, a na nekim mjestima i više od 14 metara.

Ako se promatra amplituda plime na nekom mjestu, lako će se moći zaključiti da ona nije uvijek jednaka. Ona se mijenja (na istočnoj obali Atlantika u zaljevu La Rance) u dosta široku rasponu, ovisno o međusobnu položaju Sunca, Mjeseca i Zemlje, što uvjetuje oscilacije među kojima se obično razlikuje: vrlo visoka plima koja se pojavljuje za vrijeme proljetnog i jesenskog ekvinocija, visoka plima koja se pojavljuje dvaput u tijeku 29,5 dana jedan ili dva dana nakon mladog i punog mjeseca, te niska plima koja se također pojavljuje dvaput u tijeku 29,5 dana jedan ili dva dana nakon prve i druge Mjesečeve četvrti.

Procjenjuje se da ukupna energija plime i oseke iznosi približno 23 000 TWh godišnje. No, za praktično tehničko-ekonomsko iskorištavanje plime i oseke danas je na raspolaganju mali dio ukupnog potencijala. Najveći dio energije plime i oseke odnosi se na one dijelove mora gdje su amplitude manje od jednog metra, što je nedovoljno za ekonomično iskorištavanje.

Za energetsko iskorištavanje plime i oseke treba odabrati pogodno mjesto na obali na kojoj je amplituda između plime i oseke dovoljno velika i gdje postoje mogućnosti stvaranja akumulacijskog bazena gradnjom brane. Plima i oseka mogu se iskorištavati pomoću turbina koje rade samo u jednom smjeru, zatim turbina koje mogu raditi u oba smjera, te napokon, tako da se turbina koja može raditi u oba smjera izgradi i kao crpka. Trećim načinom postiže se najbolja iskorištenost potencijalne energije plime i oseke. Iskorištena potencijalna energija ovisi o produktu pada i količine vode koja protječe kroz turbine, jer se voda u akumulacijski bazen ili iz akumulacijskog bazena može iskorištavati uz veće ili manje padove, odnosno uz polaganije ili brže sniženje razine u bazenu. Može se pronaći optimalan način propuštanja količine vode kroz turbine i utjecaja promjene pada, tako da se postigne maksimalna proizvodnja električne energije.

Iskorištavanjem plime i oseke ne može se postići pogon bez prekida, a time ni konstantna snaga. Ta činjenica, kao i spoznaja da se, u slučaju crpljenja vode, energija za crpljenje mora uzeti iz elektroenergetskog sustava, pokazuje da je nemoguća izolirana proizvodnja električne energije na toj osnovi. Prema tome, takve se elektrane moraju uključivati u velike elektroenergetske sustave u kojima druge elektrane imaju znatno veću snagu (nekoliko desetaka puta) i proizvodnju od tih elektrana.

Teoretska maksimalna energija jednog ciklusa plime i oseke može se izračunati prema jednadžbi:

$$W_{\max} = \rho g \, H^2 S \ (W_s) \tag{31}$$

u kojoj su:

ρ – gustoća vode (ρ = 1 000 kg/m^3),

g – ubrzanje Zemljine sile teže (g = 9,81 m/s^2),

H – srednja amplituda plime u m,

S – površina bazena u m^2.

Takva se proizvodnja ne može ostvariti zbog postojanja gubitaka u turbini i zbog toga što za vrijeme plime raste razina mora uz istodobno smanjenje razine vode u bazenu i obratno. Do danas je sagrađena samo jedna značajnija hidroelektrana na plimu i oseku u Francuskoj (La Rance) snage 240 MW i godišnje proizvodnje približno 608 GWh, a 64 GWh treba za crpljenje vode. Zanimljivo je usporediti moguću godišnju proizvodnju s teoretskom mogućom proizvodnjom (3 060 GWh), iz čega se može zaključiti da je iskorištenost energije nešto manja od 20 posto.

Postoji više značajnijih projekata u pripremi za gradnju hidroelektrana na plimu i oseku u Velikoj Britaniji, Sjedinjenim Američkim Državama, bivšem Sovjetskom Savezu, Argentini, Kini i Južnoj Koreji, Australiji itd.

Oceanske su struje snažne s golemim količinama vode, s važnim utjecajem na klimu, a posljedica su vjetra na morskoj površini i razlike temperatura. Dubina morskih struja ograničena je na nekoliko stotina metara, a takve se struje obično nazivaju vodoravnima i kreću od ekvatora. Poznate su ove struje:

a) ekvatorijalne, koje idu prema istoku u Sjevernoj hemisferi,

b) suptropske, koje idu prema istoku i stvaraju cijeli sustav istočnih struja. Najpoznatije su Golfska struja u sjevernom Atlantiku i Kurošiva u sjevernom Pacifiku,

c) subarktičke, koje također idu prema istoku, s većim ili manjim razlikama.

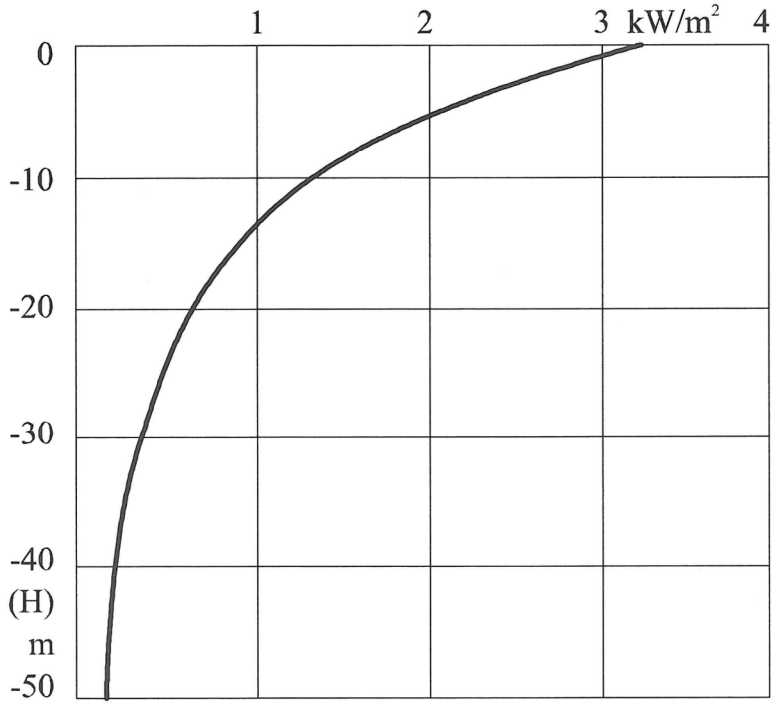
Prema današnjim mogućnostima i spoznajama, morske struje u energetici treba poimati kao jednu od mogućnosti za dobivanje energije. Energija je rasprostranjena po morskoj struji pa je u stvarnosti raspršena, a njezin iznos ovisi o količini vode, brzini kretanja vode i o valovima struje. Promjenljivost gibanja velikih morskih struja, kao što su Golfska i Kurošiva, znatno je manja nego što je promjenljivost količina vode u tokovima rijeka na kopnu. Količina je protoka vode približno 80×10^6 m^3/s za Golfsku struju i približno 55×10^6 m^3/s za struju Kurošiva. Te su količine vode znatno veće nego što su protoci svih rijeka na Zemlji zajedno. U nekim zonama brzina je gibanja vode znatno veća od 2,5 m/s. Veliki je nedostatak iskorištavanju morskih struja, među ostalim nedostacima, i promjenljivost toka struje pa je time potrebno pri njihovu korištenju za proizvodnju energije koristiti se metodama izvedenima iz metoda za iskorištavanje energije vjetra.

Za iskorištavanje morskih struja mogli bi se rabiti reverzibilni propeleri s malom snagom po m^2 (koja je jednaka $1/2 \ \rho v^3$), što bi pri brzini od 2 m/s davalo približno 4 kW/m^2. Za dobivanje većih snaga trebalo bi graditi veće propelere, a njihova ugradnja otežava pomorski promet i vrlo je kompliciranо njihovo održavanje i stavljanje u pogon. Pri korištenju manjih

struja, zbog veće promjenljivosti njihova toka, iskoristivost korištenja se kreće od 5-10 posto, a znatnije korištenje velikih struja imalo bi kao posljedicu promjenu klimatskih uvjeta. U doglednoj budućnosti ne bi trebalo očekivati dobivanje električne energije iz morskih struja.

U nekim zonama oceana u kojima je vjetar jak, zbog djelovanja vjetra na površinu vode stvaraju se veći morski valovi. Valovi se razlikuju po visini, dužini i brzini, pa i energija valova ovisi o tim veličinama. Svaki val nosi potencijalnu energiju uzrokovanu deformacijom površine i kinetičku energiju koja nastaje zbog gibanja vode.

Energija vala naglo pada s dubinom vala (slika 10.) pa na dubini od 50 m iznosi samo 2 posto od energije neposredno ispod površine. Snaga valova procjenjuje se na 2×10^9 kW, čemu odgovara snaga od 10 kW na 1 m valne linije. Ta snaga varira ovisno o zemljopisnom položaju, od 3 kW/m na Mediteranu, do 90 kW/m na sjevernom Atlantiku.



Slika 10. Prikaz razdiobe snage morskih valova po dubini (H) ispod morske površine

Energija valova obnovljiv je izvor, ona u tijeku vremena varira (više i većih valova ima u zimskom razdoblju) i ima slučajni karakter.

Svakako da će, zbog lakšeg dovođenja energije potrošačima na kopno, biti jednostavnije iskorištavati energiju valova neposredno uz obalu, iako je energija valova na pučini znatno veća.

Velika Britanija i Japan dvije su zemlje u kojima se mnogo radi na pronalaženju tehničko-ekonomskih mogućnosti iskorištenja energije morskih valova.

Danas su u osnovi poznata tri načina iskorištavanja energije valova i to preko plutača, pomičnog klipa i njihalica ili lopatica. Nijedan od navedenih načina za upotrebu energije valova ne može danas ekonomski konkurirati konvencionalnim izvorima električne energije.

Iskorištavanje toplinske energije mora u energetske svrhe ima vrlo mnogo pristaša i protivnika, a oni su podijeljeni s obzirom na mogućnosti tehničkog razvoja u dobivanju energije i pri tom velikih nepoznanica. Još daleke 1881. godine načinjena je prva toplinska crpka,

vrlo ograničene djelatnosti, koja se u radu koristila razlikom u toplini površinskih i dubinskih voda.

Količinu termalne energije vrlo je teško procijeniti, i to zbog dubinskih strujanja, količina tih strujanja i njihovih brzina, te zbog saliniteta i radioaktivnog raspada koji se događa u vodenim masama.

Salinitet se izražava u g/l, a vrijednost mu se kreće od 32 g/l u polarnoj zoni do 37 g/l u tropskoj zoni. Temperatura na površini mora kreće se od 272 K na Antarktiku do 302 K u ekvatorijalnoj zoni. Srednja temperatura mora iznosi približno 276,9 K (za 1370×10^6 hm^3 vode), a u nastavku se navode procijenjene količine vode u različitim temperaturnim intervalima.

Temperatura	277 K	277 K<T>283 K	283 K<T>293 K	T>293 K
Volumen 10^6 hm^3	1 046	221	80	23

Tablica 10a.

Zanimljivo je navesti i podatke o površini pojedinih oceana koji imaju temperaturu višu od 298 K.

Ocean	Atlantski	Indijski	Pacifik	Ostali	Ukupno
Površina 10^6 hm^2	18	28	66	14	126

Tablica 10b.

Prijelaz iz toplih površinskih slojeva u hladnije vode može po dubini biti vrlo brz. Sloj tople vode varira od nekoliko metara do 10 metara, a u tropskim i ekvatorijalnim područjima može biti od 200 do 400 metara.

Raspodjela temperatura mora i njezine promjene u vezi su s atmosferskim kretanjima i Sunčevim zračenjem.

O mogućnosti gradnje i iskorištavanju topline mora ovise i ovisit će i zalihe s kojima bi se moglo računati.

Za rad elektrana koje se koriste toplinskom energijom mora (preko vode ili fluida) bitna je razlika temperatura između hladne i tople vode pa je teško očekivati znatnija poboljšanja faktora iskorištenja, jer se radi o malim temperaturnim razlikama.

U svijetu postoji dosta projekata, ali još uvijek nema tehničko-ekonomskih rješenja koja bi bila ekonomičnija od konvencionalnih termoelektrana ili nuklearnih elektrana.

1.7 Energetski sustav i energetska bilanca

Energetski sustav čine postrojenja za eksploataciju prirodnih oblika energije, postrojenja za pretvorbu oblika energije, postrojenja za transport oblika energije, postrojenja za razdiobu oblika energije, postrojenja za uskladištenje oblika energije i potrošači oblika energije. Ako

bi se energetski sustav definirao preko energija u tom se slučaju za energetski sustav može reći da se sastoji od prirodnih, pretvorbenih i korisnih oblika energije.

Energetska bilanca u biti je energetska statistika posebnog oblika, kojom se prate tokovi energije od njezine pojave (prirodni oblici energije), njezine pretvorbe (pretvorbeni oblici energije) do njezine predaje potrošačima (korisni oblici energije). Pod energetskom statistikom, međutim, ne treba shvaćati samo registraciju prošlosti nego i predviđanja u budućnosti.

Energetske bilance obuhvaćaju tokove svih oblika energije sa svrhom da se na prikladan i pregledan način prikažu: iskorištenje prirodnih oblika energije, energetske pretvorbe, uporaba pretvorbenih oblika energije, uvoz i izvoz prirodnih i pretvorbenih oblika energije, energija za pogon energetskih postrojenja, gubici u energetskim mrežama, te uporaba pojedinih oblika energije za opskrbu potrošačkih grupa (industrija, transport, mali potrošači). Svi podaci u energetskim bilancama moraju biti tako sistematizirani da njihovi tokovi budu nedvosmisleni i bez mogućnosti da se energije nekih oblika dva puta obračunaju, što se uz malu nesmotrenost može dogoditi, jer se tokovi oblika energije isprepleću.

Energetske bilance nisu same sebi svrha, jer se pomoću bilanca mogu ustanoviti pojave iz prošlosti, pozitivni i negativni rezultati poduzetih mjera u proteklom razdoblju, ali mogu i poslužiti kao ocjena budućnosti, bilo kao osnova za predviđanje razvoja, bilo kao osnova za eliminaciju negativnih i stimuliranje pozitivnih pojava. Stoga se energetske bilance ne smiju izrađivati sumarno, ne razlikujući pojedine oblike energije i pojedine energetske pretvorbe, jer se tada gube značajke pojedinih energetskih oblika, njihova međusobna zamjenljivost i upotrebljivost za zadovoljenje specifičnih potreba. Energetske bilance, prema tome, osim podataka o količinama energije, trebaju obuhvatiti i strukturu njezinih prirodnih i pretvorbenih oblika.

Energetske bilance, dakle, sadržavaju podatke o strukturi oblika energije, a svi oblici energije moraju biti prikazani u istim energetskim mjernim jedinicama, kako bi se podaci mogli lako uspoređivati i kako bi se, bez preračunavanja, mogla odrediti mogućnost supstitucije oblika energije. Međutim, parcijalne bilance mogu se izrađivati i u mjernim jedinicama koje se rabe za pojedine oblike energije. Ako se, primjerice promatra bilanca ugljena, može se sav ugljen preračunati u tone ekvivalentnog ugljena. Ukupne bilance, nasuprot tome, moraju se prikazati u zajedničkoj mjeri iz već navedenih razloga.

Izradom energetskih bilanci na opisani način može se dobiti pregled o tokovima oblika energije od njihovog izvora do krajnjih potrošača.

Tako provedene energetske bilance, uz poznavanje svih potrebnih podataka, mogu biti vrlo korisne za registriranje prošlosti, a mogu poslužiti i kao prva aproksimacija za sagledavanje budućih prilika u energetskom gospodarstvu.

Za analiziranje prilika u budućnosti mnogo je pogodnije uporabiti matematičke modele za simulaciju i optimizaciju prilika u energetskom sustavu nego energetske bilance. Modelom za simulaciju prilika mogu se jednostavno i brzo dobiti odgovori o energetskoj strukturi za različite scenarije opskrbe energijom. Upotrebom modela za simulaciju dobivaju se prve informacije o mogućoj energetskoj strukturi, dok se upotrebom optimizacijskog matematičkog modela mogu dobiti podaci o optimalnoj energetskoj strukturi promatranog energetskog sustava.

Udio električne energije u ukupnim potrebama korisnih oblika energije nije konstantan, a ovisi o mnogim čimbenicima. U prvom redu ovisi o prirodnim bogatstvima, o tehnološkom i industrijskom razvoju, o strukturi potrošnje ostalih korisnih oblika energije promatrane zemlje ili područja. Uz navedeno, ovisi o odnosima na svjetskom tržištu oblika energije i o vremenu u kojemu se promatra.

U većini zemalja udio električne energije u zadovoljavanju potreba korisne energije raste. Ako se u budućnosti budu značajnije gradile nuklearne elektrane s jedne strane, a i primjena zahtjeva za očuvanje čovjekova okoliša s druge strane, može se očekivati još veći udio (od današnjih preko 15 posto na oko 20 posto) električne energije u zadovoljenju ukupnih potreba korisne energije. Jedna trećina ukupne energije u prirodnom obliku pretvara se danas u električnu energiju.

1.8 Osnovne mjerne jedinice u energetici

Međunarodni sustav jedinice (SI) polazi od osnovnih jedinica metar (m) – kilogram (kg) – sekunda (s). S kilogramom (kg) se u ovom sustavu izražava masa.

Osnovna jedinica za silu je Njutn (N). To je sila koja tijelu mase 1 kg daje ubrzanje od jednog metra u sekundi na kvadrat. Prema tome je:

$$N = kg \cdot m \cdot s^{-2} \tag{32}$$

Jedinica za rad i energiju je džul (J), a definira se kao rad što ga obavi sila 1 (N) kad se njezino hvatište pomakne 1 (m) u smjeru djelovanja sile, pa je

$$J = N \cdot m = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \tag{33}$$

Za snagu se u SI sustavu upotrebljava jedinica 1 vat (W), a to je snaga koja u jedinici vremena obavi rad ili se koristi energijom 1 J. Izraz za snagu je

$$W = J \cdot s^{-1} = kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \tag{34}$$

Ako se želi izraziti energija pomoću snage, u tom slučaju je:

$$J = W \cdot s \tag{35}$$

Osnovne jedinice za energiju (J) i snagu (W) su za praktičnu primjenu u energetici malene, pa se u praktičnoj primjeni rabe dekadski višekratnici: *kilo* (k, 10^3), *mega* (M, 10^6), *giga* (G, 10^9) i *tera* (T, 10^{12}).

S obzirom na to da su još uvijek u upotrebi neke jedinice kao primjerice kWh (kilovatsat), cal (kalorija), tce (tona ekvivalentnog ugljena), toe (tona ekvivalentne nafte) u nastavku navodimo odnos tih veličina prema J (džulima).

$$kWh = 3,6\ MJ \tag{36}$$

$$cal = 4,1868\ J \tag{37}$$

$$tce = 7 \cdot 10^6 kcal = 29,307\ GJ \tag{38}$$

$$toe = 10 \cdot 10^6 kcal = 41,868\ GJ \tag{38a}$$

$$KS = 735,499\ W \tag{39}$$

1.9 Značaj i uloga energije u razvitku društva

Proizvodnja energije se po svojoj važnosti stavlja u istu skupinu bitnih djelatnosti kao što su proizvodnja hrane i sirovina, te osiguranje potrebnih količina vode. Ta tvrdnja slijedi iz spoznaje da je opskrba energijom preduvjet i gospodarskog razvitka i standarda stanovništva, a osim toga razvitak energetike ima utjecaja na niz gospodarskih grana. Zbog toga je razvitak energetike nerazdvojno povezan s razvitkom gospodarstva. Dakle, za uspješan razvitak gospodarstva od vrlo velike je važnosti izbor najpovoljnije strukture kako prirodnih, tako i pretvorbenih oblika energije za pokrivanje korisnih potreba energije, jer o tom izboru ovisi i visina investicija i cijena energije. Izbor najpovoljnije strukture izvora energije vrlo je kompleksan problem, jer njegovo rješenje ne zavisi samo o energetskim izvorima zemlje, već i o zavisnostima između prirodnih i pretvorbenih oblika energije, o potrebnim oblicima energije koji se – na današnjem stupnju razvitka – ne mogu zamijeniti drugim oblicima energije, o transportu i ekonomičnosti transporta oblika energije, o mogućnostima i potrebama uvoza pojedinih oblika energije, o lokaciji potrošača, o značajkama potrošnje, o utjecaju na druge gospodarske grane, na okoliš, itd. Zbog toga je i razumljivo da se danas – pogotovo u razvijenim zemljama – stalno i intenzivno proučava stanje i razvitak energetike.

Zanemarivanje kao i kriva procjena uzajamnosti razvitka gospodarskog i energetskog sektora, ostavlja duboke i teško sagledive posljedice u budućnosti pa je razmatranje upravo te činjenice temelj svakog dugoročnog planiranja. Pristup problemu opskrbe potrošača dovoljnim količinama i vrstama energije specifičan je za svaku pojedinu zemlju i ovisi o mnogim čimbenicima, ali je polazište bitno različito kada su u pitanju dugoročni projekti: zemlje u razvoju moraju računati sa znatno višom stopom rasta, u odnosu na razvijene, žele li u neko dogledno vrijeme ostvariti barem približnu gospodarsku ravnopravnost.

Slijedi dakle, da se problemi razvitka energetike ne mogu promatrati ni proučavati izvan konteksta razvitka ukupnog društveno-ekonomskog sustava određene zemlje, pa čak i šire od toga, izvan konteksta razvitka međunarodnih političkih i ekonomskih odnosa. Stalna prisutnost različitih, u nekim elementima suprotnih interesa (ugljena, nafte, plina, električne energije, regionalnih, političkih, socijalnih, itd.) koji se neprestano prelamaju kroz razvitak energetike, to svakako najbolje potvrđuju. Stoga razvojni ciljevi energetike ne mogu biti autonomni, nego oni moraju te svoje ciljeve crpiti iz razvojnih ciljeva ukupne gospodarske politike.

Posredni i neposredni utjecaj energetike na gospodarstvo u cjelini i na životne navike svakog pojedinca su toliko jaki i raznoliki da energetika u današnjim uvjetima ima ulogu čimbenika koji određuje prirodu i intenzitet ukupnog društveno-ekonomskog razvitka. Ta uvjetovanost razvitka industrijskih grana i gospodarskih djelatnosti, kao i društva u cjelini, postojanjem dovoljnih raspoloživih količina potrebnih oblika energije, daje energetici status posebne gospodarske grane.

I uz izuzetno značenje razvitka energetike za cjelokupni društveno-ekonomski razvitak, problematici se razvitka energetike nije, u istraživanjima u mnogim zemljama pa i u nas, posvećivala odgovarajuća pozornost.

Upravo zbog te činjenice, te zbog tehničke naravi energetskih proizvodnih odnosa koji zahtijevaju velika ulaganja s relativno sporim opticajem, što govori o velikom intenzitetu i težini investicijskih sredstava što ih energetika angažira za razvitak, pitanje planiranja i financiranja razvitka energetike permanentan je problem energetike kao gospodarske grane.

Značenje energetike za gospodarski i društveni razvitak, kao i velika masa investicijskih sredstava koja angažira njen razvitak, zahtijevaju da se razvitak energetike, razine cijena

energije, a time i akumulativnost energetike koordinira s razvitkom ostaloga gospodarstva i društva.

Zbog izuzetno važnih utjecaja energetike na gospodarstvo i društvo u cjelini, te na životni standard svakog pojedinca, razvojna energetska politika mora biti koncipirana tako da pomaže ostvarenju glavnih ciljeva opće gospodarske politike (gospodarski rast, zaposlenost, stabilnost cijena, platna bilanca s inozemstvom).

Energetska politika može se odrediti kao skup načela, ciljeva, zadataka i mjera koje se poduzimaju u sklopu gospodarske politike u oblasti istraživanja i razvitka, dobivanja, distribucije i korištenja energije, sa svrhom da se podrži gospodarski i ukupni društveni razvitak dovoljnim količinama stalno dostupne energije, uz što niže cijene te energije.

Energetska politika ima dvostruki zadatak. S jedne strane da tako usmjerava cjelokupno dobivanje, transport, razdiobu i korištenje energije kako bi što više unapređivala gospodarski i ukupni društveni razvitak, a s druge strane, da ocjenjuje učinke mjera ostalih područja gospodarske i ukupne društvene politike na društveno optimalni razvitak energetike.

Prema tome, energetska politika ne smije imati za posljedicu dezintegraciju ukupne gospodarske politike, nego, naprotiv, mora dokazati svoju nužnost i svoje uklapanje u ukupnu gospodarsku politiku. Da bi to i postigla, razvojna politika energetike treba:

- biti oslonjena na dugoročna predviđanja,
- zbog posebne važnosti zahtijevati mjere ekonomske politike koje su u sklopu općih gospodarskih mjera prilagođene ovoj gospodarskoj grani,
- da joj ciljevi razvojne politike ne budu autonomni, nego da dobiju svoje razvojne ciljeve iz sustava razvojnih ciljeva ukupne ekonomske politike.

Planiranje razvitka energetskog sustava postaje iz dana u dan sve složenije s ekspanzijom sustava. Temeljna razlika pri izboru energetskih postrojenja u odnosu na bilo koja druga gospodarska postrojenja jest da se ne ispituje treba li nova postrojenja graditi ili ne, jer u normalnim prilikama porast potrošnje uvjetuje izgradnju novih postrojenja, već se traži ona varijanta izgradnje energetskih postrojenja koja daje najpovoljnije energetsko-ekološko-ekonomske rezultate. Međutim, kako planiranje energetskog sustava nije samo ekonomski i tehnički problem, i ne može se odvojiti od prostora i vremena na kojem i u kojem egzistira, pojavljuje se niz ograničenja koja se moraju zadovoljiti, a koja proizlaze iz političkog sustava, zakonskih normativa, zaštite okoliša, međunarodne situacije itd. Njihovo zadovoljenje korigira gospodarski optimum, ali daje rezultat koji je u promatranom trenutku najprihvativljiviji za društvo u cjelini.

U nastavku se navode neka saznanja zbog kojih je potrebno dugoročno planirati razvoj energetike, a s tim u vezi i mjere gospodarske politike kako bi se postigao slobodan razvitak gospodarstva.

Svaka se zemlja nalazi u specifičnoj situaciji s obzirom na energetske izvore i na energetske potrebe, ali su sve zemlje zainteresirane za održanje globalne ravnoteže između dobivanja energetskih izvora i energetske potrošnje. Rijetke su, naime, zemlje koje mogu namiriti vlastitim energetskim izvorima sve svoje energetske potrebe, pa opskrba energijom mnogih zemalja ovisi o uvozu energije. Dosadašnji razvitak je tu ovisnost još i potencirao zbog niskih troškova transporta nafte tankerima velike nosivosti, a u budućnosti će se ta ovisnost još više povećati zbog iscrpljenosti vlastitih izvora. Zbog toga, kad se razmatra opskrba energijom u nekoj zemlji, mora se promatrati stanje u svijetu, jer će ono imati utjecaja na stanje u mnogim zemljama i na stanje u nas.

Ima bezbroj prijedloga za rješenje energetskih pitanja. Neki prijedlozi polaze od toga da se štednjom mogu riješiti problemi ili da bi trebalo promijeniti već ustaljen način života

koji zavisi od energije. Drugi se prijedlozi za rješenja energetskih potreba traže budućim usavršenim tehnološkim procesima. Sada se uglavnom uviđa da nema jednog lakog i jednostavnog odgovora kako bi se na uspješan način podmirile energetske potrebe. Racionalan pristup budućim energetskim potrebama ogledao bi se u obavljanju niza aktivnosti, planiranih na nacionalnim razinama, koje, prvo, nastoje selektivno razviti razne oblike isporuke jeftine energije: drugo, efikasnije se koristiti energijom; treće, da u načinu življenja ograniče energetsku potrošnju. Vjeruje se da će se, usprkos činjenici da se mogu razviti sve moguće metode za postizanje efikasnijeg korištenja energije i dopune postojećih energetskih izvora, uz stanovite poteškoće moći uz razume cijene podmiriti zahtjevi tijekom nekoliko budućih desetljeća.

Podmirenje budućih energetskih potreba neće biti lak zadatak. Broj mogućih istraživačko-razvojnih djelatnosti i putova koje bismo mogli slijediti skoro je neograničen. Mogući zahtjevi za ljudstvom i financijskim sredstvima koje iziskuju razvojno-istraživački rad takvi su da se ne može podržati svaka ideja i alternativa.

Poštovanje ideja i alternativa za razvitak novih tehnologija tražilo bi mnogo vremena i sredstava, pa kada se uzme u obzir broj novih tehnoloških procesa koje bi trebalo izraditi u tijeku sljedećih nekoliko desetljeća, očita je važnost razvojno-istraživačkog rada koji treba obaviti. Bjelodano je da se mora obavljati selekcija. Planiranje i upravljanje razvojno-istraživačkim radom predstavlja složen zadatak koji neprekidno postavlja nove zahtjeve te se kod toga mora uzeti u obzir tehnološka primjenjivost, raspoloživost prirodnih izvora i kapitala, te utjecaj životne sredine na izbor energetskih izvora.

Kad se govori o razvitku energetike nužno je potrebno razlučiti neke dileme približno vremenskih pojmova:

- momentalno (ono što se može u energetici učiniti za 1-3 godine);
- kratkoročno (8 do 10 godina). Naime, ni jedan energetski značajniji izvor ne može biti spreman prije 8 do 10 godina, računajući od početka istraživanja, preko projektiranja i izgradnje do puštanja u pogon;
- srednjoročno (korištenje postojećih tehnologija);
- dugoročno (uvođenje novih tehnologija).

Ako bi se, naime, uspjelo iskoristiti sve dokazane zalihe nafte, plina i ugljena najbrže što je moguće, uključujući i one koje će se u neposrednoj budućnosti otkriti, eliminirale bi se sve poteškoće, a odgovor na pitanje kako brzo iskoristiti postojeće izvore – ovisi o procjeni perspektive iskorištavanja novih oblika energije (energija Sunčeva zračenja, energije vjetra, biomase, geotermičke energije, energije nuklearne fuzije, itd.). Sigurno je da se u sljedećim godinama može iskoristiti dio tih novih mogućnosti: zagrijavanje vode i parcijalno grijanje prostorija u novim zgradama iskorištavanjem Sunčeva zračenja, opskrba toplinom novih dijelova gradova ili stambenih blokova u neposrednoj blizini nalazišta podzemne vrele vode, iskorištavanje energije Sunca i vjetra u nekim područjima, itd. Sve je to, međutim, tek mali dio ukupnih potreba, pa se smatra da se do 2010. godine tim oblicima energije može zadovoljiti tek nekoliko postotaka ukupnih potreba. U najrazvijenijim dijelovima svijeta, kakvo je svakako područje Europske unije, stečeno bogatstvo omogućuje znatno veća ulaganja u korištenje tih novih oblika energije, te je Direktivom EU o obnovljivim izvorima energije predviđena zadaća da se udjel obnovljivih izvora energije u proizvodnji električne energije poveća s 13 posto u 1997. godini na 21 posto u 2010. godini. Tu se, dakako, obnovljivim izvorima razumijeva zbroj konvencionalnih obnovljivih izvora (vodne snage korištene u velikim hidroelektranama) i novih obnovljivih izvora (Sunce, vjetar, biomasa, geotermička en-

ergija, mali vodotoci). Zbog toga oni ne mogu ni odigrati neku važniju ulogu u smanjenju manjkova energije koji bi se mogli pojaviti.

Imajući sve navedeno u vidu, može se općenito reći da bi temeljni ciljevi razvojne energetske politike trebali biti:

- pokrivanje potreba energijom,
- sigurnost opskrbe potrošača energijom,
- postizanje minimalnih troškova,
- usklađivanje razvitka energetike s razvitkom ostalog gospodarstva,
- unapređenje općeg gospodarskog razvitka,
- efikasnija i racionalnija potrošnja i štednja energije.

Prije poduzimanja određenih mjera energetske politike (i ne samo energetske, jer bi to trebalo biti načelo i za ostale politike) bilo bi potrebno utvrditi željene indirektne efekte poduzetih mjera, kako bismo izbjegli opasnosti neželjenih ekscesa.

Kod primjene novih mjera gospodarske politike teško je postići određene prednosti, a da pri tome ne dođe i do određenih pogoršanja nekih prijašnjih pozitivnih kretanja. Zbog indirektnih efekata poduzetih novih mjera dolazi do strukturalnih promjena koje poništavaju neke prijašnje prednosti, bilo da su stečene smišljenom aktivnošću ili pak pod utjecajem gospodarskih i negospodarskih okolnosti. Nova gospodarska politika zbog toga mora biti svjesna da će pored svjesnog žrtvovanja određenih prednosti, u dužem vremenskom intervalu doći i do neželjenih gubitaka stečenih prednosti.

Mjere energetske politike, koliko god bile usmjerene na uravnoteženje energetskih i gospodarskih tokove, nužno će se u određenoj grani gospodarstva odražavati i daleko u budućnosti.

Zbog toga za direktne i indirektne efekte mjera koje se namjeravaju poduzeti treba u razdoblju pripremanja mjera razmotriti njihove efekte kratkoročno, srednjoročno i dugoročno.

Naravno, da se nikada neće moći doskočiti raznolikosti stvarnog gospodarskog i društvenog života pa toga treba biti svjestan već tijekom pripremanja mjera energetske politike.

Tako primjerice ono što može biti racionalno sa stajališta pojedinca (poduzeća ili gospodarske grane) ne mora biti racionalno sa stajališta energetskog pa i nacionalnog gospodarstva. Ti se interesi obično sukobljavaju.

Korištenje energije u gospodarstvu jedne zemlje određeno je gospodarskom strukturom, gospodarskim sustavom i gospodarskom politikom. Ta tri čimbenika ne uvjetuju samo količinu korištene energije.

Količina i struktura korištene energije utječu na visinu i brzinu gospodarskog rasta, iako se ne može tvrditi da bi gospodarski rast bio funkcija samo količine i strukture korištene energije.

Problem sigurnosti opskrbe potrošača energijom u uskoj vezi je sa ciljevima podmirenja energetskih potreba i postizanja minimalnih troškova u gospodarskom sustavu, a naročito je izražen kad je u pitanju opskrba potrošača električnom energijom. Naime, kod ostalih oblika energije, raspoloživost energije ovisi izravno o raspoloživim količinama dotičnog oblika energije, dok kod proizvodnje električne energije raspoloživost ovisi i o hidrološkoj situaciji i dotoku vode u hidroelektranama.

Prema tome, svako reduciranje korištenja energije, koje nije izraz njezinog učinkovitijeg korištenja, dovodi do smanjenja outputa, bilo da je to reduciranje uvjetovano poremećajima u opskrbi, bilo da je uvjetovano naporom gospodarske, odnosno energetske politike.

Najpovoljnija će se energetska struktura postići kad bude ostvarena opskrba potrošača takvim prirodnim oblicima energije, takvim energetskim pretvorbama i takvim pretvorbenim oblicima energije uz postizanje minimalnih troškova. Pri tome, treba uzeti u obzir ne samo

troškove proizvodnje prirodnih i pretvorbenih oblika energije, nego također i troškove transporta prirodnih oblika energije do postrojenja za ponovnu pretvorbu i do potrošača.

Lokacija nalazišta prirodnih oblika energije određena je prirodnim uvjetima, ali treba predvidjeti transport prirodnih oblika iz svih nalazišta do postrojenja za pretvorbu oblika energije ili do svih područja potrošnje. Lokacija postrojenja za pretvorbe ovisi o obliku energije koji se pretvara i o obliku energije u koji se pretvara. Tako primjerice industrijske kotlovnice se ne mogu drugdje smjestiti nego uz industrijska postrojenja u kojima se iskorištava energija vodene pare proizvedena u tim kotlovnicama, a javne toplane mogu se smjestiti u urbanim i industrijskim aglomeracijama iz istih razloga. Mogućnosti smještaja nekih drugih postrojenja za energetske pretvorbe nisu određene ni dovedenim oblikom energije ni smještajem potrošača, nego prirodnim uvjetima (primjerice postojanjem dovoljnih količina vode za hlađenje kod termoelektrane). Međutim, to ne znači da su sve lokacije koje su tehnički moguće i ekonomski opravdane, što treba utvrditi analizom odnosa u energetskom sustavu.

Zbog toga treba kod određivanja najpovoljnije strukture uključiti sve tehničke mogućnosti uzimajući u obzir sva ograničenja koja se pojavljuju (ograničene količine prirodnih oblika energije, smještaj gradskih plinara i javnih toplana u gradskim područjima, ograničenje količina rashladne vode, zagađenje okoliša, itd.).

Uz postizanje minimalnih troškova u području energetike za pravilan razvitak i pravilno korištenje oblika energije nužno je potrebno imati i smišljenu energetsku politiku s pravom politikom cijena pojedinih oblika energije.

Stalan i ispravno postavljen odnos cijena pojedinih oblika energije preduvjet je za pravilan izbor energije. Odnos cijena određuje i potrošnju pojedinog oblika energije. Drugim riječima, cijenama se može postići ili promašiti cilj – željena struktura potrošnje energije. S obzirom da je cilj poznat (poznata struktura potrošnje) proizlazi kao prva potreba uspostavljanje odgovarajućeg odnosa cijena između pojedinih oblika energije, ali takvog oblika koji će jamčiti ostvarenje cilja – zadane strukture potrošnje.

Cijene pojedinih oblika energije nisu, međutim, i jedini regulator usmjeravanja potrošnje prema postavljenom cilju. Osim cijenama, usmjeravanje potrošnje postiže se i drugim mjerama kao elementima jedne konzistentne energetske politike (ograničenjem uvoza ili izvoza, poreznim olakšicama, itd.).

Pojam "sustav" se uz cijene, kad je u pitanju energetika, često pogrešno tumači u smislu postojanja osmišljenog, čvrstog sustava koji bi proizlazio iz zakonskih odredaba pojedinih zemalja. To u pravilu nije slučaj, što ne znači da toga uopće nema. Tako se primjerice zakonski ne reguliraju međusobni odnosi cijena pojedinih oblika energije, već se uspostavljaju zavisno od energetske politike svake pojedine zemlje koja, dakako, nije nezavisna od vlastitih izvora energije, ponude i, naravno, racionalne uporabe energije.

Sustav koji postoji je rezultanta mnogih sastavnica:

- povijesni položaj pojedinog oblika energije,
- raspoloživost pojedinog oblika energije i utjecaj raspoloživosti na cijene,
- tehnička, tehnološka i, nadasve, komercijalna podobnost oblika energije,
- područje korištenja i
- ekološki aspekti korištenja.

Svi su ti utjecaji rezultirali stvaranjem nekih odnosa cijena, koji nisu uvijek čvrsti i nepromjenjivi, ali su ipak dovoljno postojani. Nikada u novije doba, pa ni poslije 1973. godine, nije došlo do revolucionarnih promjena u ekonomskoj konstelaciji snaga u zemljama s tržišnim gospodarstvom, pa ni onda kad su to pojedine vlade željele, jer je utjecaj energetike na cijelu nacionalnu proizvodnju toliko značajan da se odustajalo od eksperimentiranja.

Drugim riječima, sve se više uspostavlja međuzavisnost u svjetskim okvirima kad je u pitanju energija, vjerojatno radi toga da svoje gospodarstvo ne dovede u konkurentski nepovoljniji položaj, a ima pokušaja da se i institucionalizira (primjerice u zemljama Europske Unije), iako se više radi o pokušajima unifikacije i preporukama nego o donošenju zajedničkih mjera.

Ukupna potražnja za energijom određena je u prvom redu veličinom i strukturom ukupne proizvodnje nacionalnog gospodarstva stanjem tehnike i tehnologije u određeno vrijeme te potrošačkim navikama stanovništva, a samo u manjoj mjeri odnosom razina cijena pojedinih oblika energije.

Stalni porast potreba za energijom zahtijeva i stalna intenzivna ulaganja u energetsko gospodarstvo. Investicije u energetiku čine znatan dio ukupnih gospodarskih investicija, a cijene energije bitno utječu na troškove proizvodnje praktički svih gospodarskih grana.

Da bi se osigurala maksimalna efikasnost razvitka energetskog sustava on mora, s jedne strane, biti usklađen s općim gospodarskim razvitkom, kako bi bio sposoban pokriti potrebe za energijom, a s druge strane, sam razvitak energetskog sustava mora počivati na optimalnoj strukturi udjela pojedinih nositelja energije.

Za takav optimalan razvitak energetskog sustava mogu biti mjerodavni samo troškovi koji nastanu iz budućih ulaganja u energetski sustav, jer samo oni uvažavaju prednosti i nedostatke promatranog budućeg razvitka, a ne troškovi vezani uz ulaganja u proteklom razdoblju. To znači da je maksimalno efikasan onaj razvitak energetskog sustava za određeno razdoblje u kojemu se očekuju najniži alternativni troškovi.

Dosadašnji razvoj energetskog sustava u našoj zemlji odvijao se bez dovoljne koordinacije između pojedinih energetskih grana i bez zajedničkog pristupa. Kao što je poznato, to je imalo niz negativnih posljedica, kako za razvitak energetskog sustava i pojedinih njegovih grana, tako i za ukupni gospodarski razvitak. Neorganiziranost energetike kao cjeline rezultirala je nepostojanjem konzistentne i programirane energetske politike zemlje, sa svim negativnim posljedicama koje su iz toga slijedile. Dok su na razini zemlje pojedine energetske grane dosta čvrsto organizirane, bilo kroz zajednicu (elektroprivreda), bilo kroz udruženja, još ni danas ne postoji na razini zemlje neko stručno tijelo koje bi imalo zadatak da koordinira razvitak čitavog energetskog sustava. Dugotrajna i vrlo skupa istraživanja pojedinih izvora energije, te velika sredstva koja angažira energetski sustav da bi se ti izvori priveli eksploataciji, nužno zahtijevaju čvrstu koordinaciju svih energetskih grana na razini zemlje. Na razini zemlje trebalo bi koordinirati razvitak energetskog sustava i zajednički rješavati probleme te osobito:

- razmatrati i predlagati osnove srednjoročne i dugoročne energetske politike zemlje,
- predlagati mjere za provedbu dogovorene energetske politike zemlje,
- usklađivati program razvitka energetike u regijama,
- predlagati i zajednički usklađivati programe izgradnje energetskih objekata od interesa za zemlju (prijenosna mreža najvišeg napona, naftovodi, plinovodi, rafinerije nafte, termoelektrane i hidroelektrane i slično),
- definirati osnovne parametre energetske opreme u skladu s mogućnostima industrije,
- utvrđivati odnose cijena za pojedine oblike energije,
- sudjelovati u predlaganju i donošenju zakonskih i drugih propisa koji reguliraju odnose u energetici, te
- predlagati mjere vezane uz politiku uvoza i izvoza energije.

Koordiniranost razvitka energetskog sustava nije dovoljno uspostaviti samo između pojedinih njegovih dijelova, nego mora biti koordiniran s razvitkom cijeloga gospodarstva,

jer je razvitak energetskog gospodarstva nerazdvojno vezan sa cjelokupnim gospodarskim razvitkom.

Sve to govori u prilog činjenici da u donošenju bitnih odluka o razvitku energetike moraju, uz samu energetiku, biti uključene ostale gospodarske i društveno-političke zajednice. Zbog toga se danas u mnogim zemljama sve više govori o integralnom nacionalnom energetskom planiranju. Zapravo, energetski plan mora biti čvrsto integriran u plan ukupnog društveno-ekonomskog razvitka. Ta potreba proizlazi prije svega iz činjenice da se danas pri planiranju razvitka energetike moraju uzeti u obzir makroekonomske posljedice nestašice energije, jer neredovitost i nedovoljnost njezine isporuke blokiraju cijelo gospodarstvo. To znači da pri planiranju razvitka energetike uvijek u prvom planu moraju biti ukupne koristi i ukupni troškovi koji se ostvaruju djelovanjem energetskog sustava, a tek u drugom planu su troškovi što se odnose na sam energetski sustav.

1.9.1 Tendencije razvoja potrošnje energije i mogućnosti njezina zadovoljenja

Kao pravilo danas se može čuti i pročitati, da je pronalazak parnog stroja i uporaba ugljena otvorila industrijsku epohu, da je uporaba derivata nafte revolucionirala transport i smanjila udaljenosti (trajanje putovanja), te da će uporaba nuklearne energije omogućiti daljnji razvoj čovječanstva.

Veoma intenzivna potrošnja, nakon Drugog svjetskog rata, svih oblika energije, a posebno derivata nafte, dovela je gotovo do iscrpljenja pojedinih oblika energije u nekim dijelovima svijeta (drvo, ugljen, nafta), ili pak do zapostavljanja korištenja pojedinih oblika energije (drvo i ugljen) na račun intenzivnijeg korištenja drugih oblika (derivata nafte).

Posebna intenzivna potrošnja bila je u potrošnji derivata nafte sve do 1973. godine. Naime, ta godina ući će u povijest kao godina u kojoj je čovječanstvo shvatilo značenje energije i uloge energije u životu čovjeka. Do 1973. godine cijene sirove nafte, a time i derivata nafte, bile su u odnosu na ostala goriva veoma niske i to je jedan od osnovnih razloga (pored lakše eksploatacije i prerade, te naglijeg porasta životnog standarda kroz korištenje sredstava za transport i korištenja derivata za grijanja) intenzivnije potrošnje derivata nafte.

Poznato je naime, da je Srednji Istok glavni izvoznik sirove nafte za industrijske zemlje Zapada i Japana i da do 1973. godine nije bilo nikakvih poremećaja u opskrbi naftom. Godine 1973. izbio je treći izraelsko-arapski rat u kojemu su zapadne zemlje uglavnom izravno ili posredno pomagale Izraelu. Nakon toga rata zemlje Srednjeg Istoka koristile su se naftom kao oružjem protiv industrijskih zemalja Zapada i, kao prvo, znatno su povisile cijenu sirove nafte a, kao drugo, nekim zemljama nisu uopće htjele isporučivati naftu (primjerice Nizozemskoj).

Taj događaj doveo je do nepredvidivih pometnja u opskrbi energijom. Veoma teško (odnosno nemoguće) bilo je u kratkom vremenu naći dovoljne količine sirove nafte u drugim zemljama ili pak provesti zamjenu drugim oblicima energije. Nakon toga cijene sirove nafte su (može se reći) vrtoglavo rasle i u tijeku sedam godina cijena nafte porasla je 18 puta.

Takav slijed događaja pogodio je razvoj i životni standard mnogih zemalja, a pogotovo zemalja u razvoju. Naime, nakon prvog šoka industrijske zemlje su se oporavile i počele prodavati industrijsku robu i nove tehnologije po znatno višim cijenama u kojima je bila uključena i cijena sirove nafte. Zemlje u razvoju morale su pak plaćati visoku cijenu s jedne strane nafte, a s druge strane industrijsku robu i nove tehnologije. Svaka od zemalja (nakon prvih šokova) počela se okretati sebi i tražiti vlastite zalihe bilo u sirovoj nafti, bilo u drugim prirodnim oblicima energije. Uz traženje vlastitih izvora energije i što manje ovisnosti o

uvozu oblika energije, mnoge zemlje su shvatile da je izlaz i u štednji i racionalnom trošenju svih oblika energije.

Da su to pojedine zemlje mogle i još uvijek mogu činiti potvrđuje primjer da se u Sjedinjenim Američkim Državama u doba tzv. "svjetske krize" trošilo 6-7 puta po stanovniku sirovina više nego što je svjetska potrošnja po stanovniku.

Bez obzira na navedene činjenice, potrebe za energijom će rasti zato što se povećava broj stanovnika a, s druge strane, morat će se i nerazvijene zemlje razvijati. Međutim, porast potrošnje energije bit će znatno manji od porasta koji se predviđao prije nekoliko godina. I ako porast potrošnje u postotku bude relativno mali, ipak on traži u daljnjoj budućnosti ogromne količine energije, jer se pretpostavlja da je porast eksponencijalan.

U neposrednoj budućnosti (početak našeg stoljeća) podmirenje većeg dijela potreba energije zadovoljavat će se uglavnom iz konvencionalnih oblika (ugljen, nafta i zemni plin). Budući da su navedeni oblici energije dar prirode i da se nalaze u ograničenim količinama, to će u neposrednoj budućnosti doći do preraspodjele potrošnje više u korist ugljena i zemnog plina, a manje sirove nafte. Navedenu pretpostavku može se opravdati činjenicom da je omjer iskorištenja ugljena i zaliha ugljena znatno manji nego omjer kod sirove nafte. Te zalihe ugljena predstavljaju osnovicu (uz uvjet da se dovoljne količine ugljena proizvedu, a mogu se proizvesti uz pravovremeno otvaranje rudnika i osiguranje dovoljnog broja radnika, pri čemu treba zadovoljiti zahtjeve koji proizlaze iz zaštite čovjekova okoliša) za sigurnost potrošača. Zalihe zemnog plina osiguravaju u neposrednom razdoblju (sljedećih 40 godina) intenzivniju potrošnju pa će se dobar dio potrošnje podmirivati zemnim plinom. Kod potrošnje zemnog ili drugog plina uopće važan činitelj je i tradicija. Tako primjerice SAD gotovo 40 posto svojih potreba za korisnom energijom podmiruju iz plina, dok je to isto podmirenje na Srednjem Istoku gotovo zanemarivo. Danas poznate zalihe sirove nafte i današnja razina potrošnje derivata nafte upućuju nas na krajnje oprezan pristup u potrošnji nafte kako bismo u dogledno razdoblju mogli osigurati neophodno potrebne količine za transport i petrokemiju.

Manji dio potreba energije u neposrednoj budućnosti osigurat će se većim korištenjem vodnih snaga i to uglavnom u nerazvijenim zemljama, jer su u razvijenim zemljama vodne snage praktički već iskorištene.

Nakon 1973. godine svijet je shvatio koji će problemi nastati u opskrbi energijom ako se na vrijeme ne osiguraju novi oblici energije. Prvi zadatak koji je proizašao iz takve spoznaje bio je istraživanje zaliha konvencionalnih oblika energije i mogućnosti njihova korištenja. Zatim poboljšanje postupaka i primjena novih tehnologija kod korištenja postojećih i budućih nalazišta. Uz navedena poboljšanja kod korištenja konvencionalnih oblika energije, treba istraživati mogućnosti dobivanja tekućih goriva iz bitumenoznog pijeska, uljnih škriljavaca i ugljena, te mogućnosti za bolje i masovnije korištenje obnovljivih oblika energije (biomase, vjetra, geotermalne energije, toplinske energije mora, Sunčeve energije).

Današnja saznanja ne daju veliki optimizam u značajnijem korištenju obnovljivih oblika energije. Nešto više se može očekivati od neposredne energije Sunčeva isijavanja za grijanje, pripremu tople vode i za proizvodnju električne energije.

U prijelaznom razdoblju (početkom ovog stoljeća) može se očekivati značajnije korištenje nuklearne energije na temelju fisije, što ne rješava problem opskrbe energijom, ali ga ublažava.

Za podmirivanje energetskih potreba u budućnosti računa se na dva nova izvora energije, a ta dva nova izvora su: nuklearna fuzija i goriva na bazi vodika. Ukoliko se riješe (ekonomski isplativo) ta dva načina dobivanja energije, u tom slučaju ne bi trebalo očekivati energetske probleme, ali se mora shvatiti da je vrijeme jeftine energije prošlo i da oba nova izvora energije iziskuju velika financijska sredstva.

1.10 Korištenje energije i zaštita okoliša

Ekologija se definira kao znanost o odnosima između organizama i okoliša, pri čemu je okoliš kombinacija vanjskih uvjeta koji utječu na rast i razvitak organizama. Čovjek kao organizam najvišeg stupnja razvitka samim svojim postojanjem djeluje na okoliš i mijenja ga. Za razliku od drugih organizama čovjek stvara i povezuje kulturna, sociološka, ekonomska i politička zbivanja, pa tako može postaviti vremenske i prostorne veze između pojedinih zbivanja.

Zabrinutost čovjeka za propadanje i zagađenje okoliša nije se pojavilo prvi put tek šezdesetih godina prošlog stoljeća, već su zagađenje zraka, vode, kvarenje živežnih namirnica i drugi problemi okoliša odavno poznati. Naime, od davnih vremena predodžbe o bolestima, uvjetovane okolišem, bile su daleko prihvaćenije nego danas. Svi ti problemi ponovo su izbili na površinu s industrijskom revolucijom, tj. vremenom koje je obilježeno naglim rastom tvornica, nicanjem velikoga broja gradova, a što je imalo za posljedicu zauzimanje velikih površina zemlje, zagađenje vode i zraka, stvaranje otpadaka i buke, te mijenjanje izgleda okoliša.

Veoma je zgodna definicija okoliša koju je dao Einstein: "Okoliš je sve što nisam ja." Prema tome, okoliš je cjelokupan prirodni sustav o kojem ovisi čovjek, zrak koji udiše, zemlja koja ga hrani, rijeke i jezera koja daju vodu, mora koja daju hranu i vodu, te atmosfere oko planeta koja omogućava život na planetu.

Čovjek sa svojom aktivnošću presudni je činitelj u mijenjanju okoliša. Ta je aktivnost, doduše, povezana sa zadovoljenjem njegovih potreba, ali i s vladanjem ljudi kao potrošača. Struktura gospodarstva prilagođuje se postavljenim gospodarskim ciljevima, koji su u prvom redu uvjetovani potražnjom. Zadovoljenje tih potreba uz određeni način života opterećuje prostor na Zemljinoj površini. Zbog toga se može kazati da je opći napredak, u uvjetima tehnološke revolucije, postigao vrlo visoku razinu industrijskih aktivnosti, te vrlo visok životni standard za dio stanovništva, što je sve zajedno imalo velik utjecaj na okoliš.

Povijesno gledano, čovjek je bio zauzet i ponesen tehnološkim uspjesima te povećanjem osobnog i društvenog standarda tako da je kroz jedno vremensko razdoblje, zaboravio ili, bolje rečeno, zanemario utjecaj na okoliš. Tako je došlo do znatnog zagađenja zraka i atmosfere (posebno u urbanim sredinama), do smanjenja područja pod šumama, do toplinskog zagađenja vode i zraka (zagrijanih različitim industrijskim otopinama) i tako dalje. Iz navedenoga bi se moglo zaključiti da je civilizacijski napredak donio korist čovječanstvu, dok bi se s druge strane moglo zaključiti da bi taj napredak kroz zagađenje okoliša mogao uništiti samu civilizaciju. Međutim, visoka razina kulturnog, znanstvenog i tehnološkog razvitka mora poslužiti kao temelj za razuman i harmoničan odnos između čovjeka i okoliša. Čovjek će, prema tome, biti u stanju predvidjeti pozitivne i negativne aspekte razvitka, te u tom smislu osigurati sustavne mjere kojima će se minimizirati nepovoljni utjecaji na okoliš. Možemo očekivati da će današnji sukob između tehnološkog razvitka i očuvanja okoliša biti pokretačka snaga koja će korigirati postojeće tehnologije, uvodeći i nove tehnologije koje će manje zagađivati okoliš.

Što običan čovjek podrazumijeva kad čuje riječ zagađenje? Je li to: prljavština, smeće, dim iz tvornica, kemikalije u hrani, bolest, materijalno ili duhovno siromaštvo itd? Zagađenje ustvari obuhvaća sve u rasponu od onoga što smeta do onoga što ubija čovjeka. Da bi se navedeno potvrdilo, može se kazati da neke supstance (sredstva za liječenje ili za zaštitu) mogu biti spasioci života u jednoj situaciji, a u drugoj mogu ubiti čovjeka.

Kod izgaranja pojedinih konvencionalnih goriva (ugljen, nafta i derivati nafte, plin, drvo i otpaci, uljni škriljavci, biomasa i bioplin) oslobađa se velik dio plinova različitih sastava, koji mogu negativno utjecati na floru i faunu, te na ostala gospodarska dobra (npr. građevine). U novije vrijeme puno se posvećuje pozornosti fotokemijskom smogu, kiselim kišama i sadržaju ugljičnog dioksida u atmosferi. Uz klasična goriva u proizvodnji električne energije rabe se i nuklearna goriva. Uran je osnovno nuklearno gorivo kod reakcije fisije (danas u komercijalnoj upotrebi) koji uzrokuje zagađenje kojeg se čovjek najviše boji, a to je radijacija. Neki uranovi sporedni spojevi mogu biti smrtonosni kroz tisuće godina.

Problemi zaštite okoliša vrlo su kompleksni, međusobno povezani i uvjetovani. Za njihovo razmatranje i rješavanje neophodni su značajni znanstveno-istraživački napori i brojna originalna tehnološka rješenja. Tijekom protekla dva desetljeća u svijetu je prikupljeno veliko praktično i tehničko iskustvo i dobiveno puno podataka i informacija iz te oblasti u svim područjima ljudske djelatnosti pa tako i u području energetike.

Budući da je energija temelj svih procesa u prirodi, to je u ovom trenutku potrebno pripomenuti, da je zakon o održanju energije temeljni zakon prirode. Civilizacijski razvitak čovjeka uglavnom je tekao paralelno s razvitkom različitih mogućnosti korištenja oblika energije. Ne treba ipak zaboraviti da su korištenje energije i sva na tome temeljena tehnička i tehnološka dostignuća trebala služiti za postizanje prikladnog (prihvatljivog, zadovoljavajućeg) odnosa između čovjeka i okoliša. Prema tome slijedi da se i energija i njeno korištenje mora odvijati u razumnom skladu s ekološkim zakonima i načelima.

Suvremeni energetski sustavi u uskoj su vezi s brojnim oblicima čitave ljudske djelatnosti. Energetika ima direktan utjecaj na tako bitne i različite grane ekonomije kao što su: industrija, transport i poljoprivreda, te na ekonomiju u cjelini, na socijalne i političke uvjete, na stanje okoliša itd. Također, različiti faktori ljudskih aktivnosti imaju povratno djelovanje na uvjete i razvitak energetskih tehnologija. To je razlog zbog kojeg energetske sustave treba gledati kao podsustave ukupnog sklopa ljudskih aktivnosti.

Kod praćenja rada energetskog sustava, predviđanja i planiranja njegovog razvitka, te kod svih istraživanja u energetskom sustavu, mora se dati važnost međudjelovanju energetskog sustava i ekonomskih sustava te okoliša. Porast proizvodnje i potrošnje energije izravno djeluje na opću razinu tehnološkog napretka. Dostignuća u različitim područjima tehnologije imaju utjecaj na stanje energetske tehnologije, jer su sve tehnologije u međusobnoj zavisnosti.

Energija se dobiva pretežno spaljivanjem fosilnih goriva i tako će sigurno biti u doglednoj budućnosti. Naime, vodne snage, nuklearna energija i biljno gorivo ne sudjeluju u ukupnoj potrošnji energije u velikoj većini zemalja ni sa 10 posto. Od fosilnih goriva ugljen i nafta, odnosno naftni derivati, predstavljaju glavninu fosilnih goriva koja se koriste, dok se u novije vrijeme u nekim zemljama pristupilo značajnijem korištenju prirodnog plina.

Spaljivanje ugljena, naftnih derivata i plina uvijek izaziva veće ili manje zagađenje okoliša ovisno o količini, kvaliteti goriva i uređajima na kojima gorivo izgara.

Pri izgaranju goriva dolazi do emisije različitih oksida (među kojima su najpoznatiji dušični, sumporni i ugljični oksidi), produkata nepotpunog izgaranja i pepela. Sumporni i ugljični dioksid, te dim, predstavljaju najrasprostranjenije zagađivače atmosfere, upravo zato što je korištenje energije vezano uz svaku ljudsku aktivnost.

Dosadašnji razvitak energetike bio je u pretežnoj mjeri usmjeren na to da se osiguraju potrebne količine energije, a nedovoljno usmjeren na čuvanje čistoće okoliša zbog velikih financijskih troškova.

Kod energetike se mora uvažiti i činjenica da se energetskim sustavima opskrbljuju velika područja jedne ili čak više zemalja i da je energetika od primarne važnosti za odvijanje

normalnog života društva. Ta činjenica postavlja veoma stroge zahtjeve za pouzdan rad energetskih sustava. Naročito velike štete mogu nastati uslijed pogreški u radu elektroenergetskog sustava koje dovode do raspada sustava.

Posljednjih godina sve se više obraća pozornost na povećanu radioaktivnost šljake i pepela, te radioaktivnih plinova koje emitiraju velike elektrane na ugljen i druga fosilna goriva. Problem radioaktivnosti najuže je vezan uz izgradnju nuklearnih elektrana. Naime, utjecaj nuklearnih elektrana na okoliš može biti primaran i sekundaran.

Kad se govori o primarnom ili direktnom utjecaju nuklearne energije na okoliš, ponajprije se misli na plinske i tekućinske ispuste u okoliš iz tehnoloških sustava elektrane. Sekundarni utjecaj nuklearnih elektrana na okoliš ostvaruje se putem radioaktivnog otpada. Radioaktivnim otpacima smatraju se one otpadne materije koje sadrže radioaktivne izotope u granicama iznad najveće dopuštene koncentracije radioaktivnih izotopa u čovjekovu okolišu. Temeljna podjela radioaktivnog otpada proizlazi iz njegovog agregatnog stanja. Dakle, radioaktivni otpad može biti: krut, tekuć i plinovit.

Zbog toga je mišljenje, koje je još uvijek ponegdje prisutno, naime da se energijom i energetikom trebaju baviti samo energetičari, a ekologijom biolozi, sasvim pogrešno. Ekologija treba biti znanost koja u sebi uključuje najbolje dijelove svih ljudskih znanja te stoga treba angažirati širok spektar užih znanstvenih disciplina za dobro čovjeka i njegova opstanka na Zemlji.

Za gospodarski i društveni razvitak potrebne su sve veće količine energije prilagođene zadovoljavanju raznih ljudskih potreba. Proizvodnju energije prate velike promjene u prirodnoj i radom stvorenoj sredini – fizičke, kemijske i biološke. To je neminovna oznaka razvitka. Pitanje je, sa stajališta ljudskih potreba, koje su od tih promjena podnošljive, poželjne i opravdane, a koje su na štetu njihova zadovoljenja, odnosno, kakav se rizik može prihvatiti.

Svako novo tehnološko dostignuće nosi sa sobom i određen rizik za ljude i ljudski okoliš u cjelini. Tehnološki napredak istodobno povećava ekonomsku moć društva čime se stvaraju neophodni uvjeti za smanjenje rizika. Svaka društvena zajednica se tijekom svog razvitka nalazila u stanovitoj labilnoj ravnoteži između prohtjeva za tehnološkim razvitkom i zahtjeva za preispitivanjem i smanjenjem rizika po život i zdravlje ljudi te vrijednosti ljudskog okoliša. Ipak, većina tehnološki razvijenih zemalja je u svom razvitku prošla kroz određena razdoblja kad se mnogo veća pozornost poklanja tehnološkom razvitku nego ekološkim temama. Rizici vezani uz takvu politiku bili su često izuzetno visoki. Tehnološki razvitak je uza sve prednosti praćen i brojnim ljudskim žrtvama, te devastacijom prirodnih ljepota, ljudskog okoliša i prirodnih vrijednosti u cjelini.

Da se ne bi zaustavio razvitak društva ili jednog njegova dijela, znanstvenici i stručnjaci trebaju predložiti jedinstvene postupke za utvrđivanje racionalnih kriterija prihvatljivog rizika u fazi planiranja daljnjeg razvitka nacionalnih ekonomija. Na temelju tako definiranih jedinstvenih kriterija prihvatljivog rizika treba odrediti je li neka tehnologija dovoljno sigurna. Pitanje sigurnosti neke tehnologije moguće je utvrditi tako da se usporedi njezin rizik s drugim rizicima, već prihvaćenim u društvu.

Prema tome, u sadašnje vrijeme problem zagađenja ili očuvanja okoliša (osiguranje stanovite razine rizika) sve je prisutniji i teži u nerazvijenim zemljama i zemljama u razvoju. Nerazvijene zemlje su još uvijek manje izložene tehnološkim rizicima, jer u tim zemljama temeljni egzistencijalni problemi i prirodne nepogode, predstavljaju glavne rizike. Međutim, kod zemalja u razvoju postoji stanovita tehnološka razina koja sa sobom nosi neke rizike, a te zemlje obično nisu u stanju financirati aktivnosti vezane za smanjenje razine rizika. Osim toga, zemlje u razvoju su manje ili više ovisne o uvozu tehnologija, a to ujedno znači o

prijenosu i prihvaćanju tehnologija iz razvijenijih zemalja, pa često automatski prenose i kriterije za zaštitu okoliša iz tih zemalja, koji ne moraju uvijek biti prikladni za zemlju uvoznicu tehnologije. Zbog toga često dolazi do situacija da zemlje uvoznice tehnologija i istodobnog uvoza razine rizika plaćaju visoku cijenu za smanjenje razine rizika, a same nisu u stanju platiti znatno nižu cijenu za daleko veće rizike na drugom području. Veoma čest je slučaj da se zemljama u razvoju prepuštaju (ustupaju) zastarjele tehnologije koje u razvijenijim zemljama nisu više rentabilne bilo zbog prevelikog zagađenja okoliša, bilo zbog eventualnih drugih rizika koje sa sobom nose.

Smanjenje rizika, u pravilu, zahtijeva značajne tehnološke promjene i velika financijska sredstva, pa je radi toga potrebno ispravno usmjeriti sredstva u ona područja gdje će se postići najbolji rezultati.

2

Električna energija i elektroenergetski sustav

2.1 Specifičnosti elektroenergetskog sustava

Najveći dio električne energije nastaje pretvorbom mehaničke energije koja se dobiva pretvorbom toplinske, potencijalne i kinetičke energije. Postrojenja za pretvorbu mehaničke u električnu energiju nazivaju se elektranama. Znatno manji dio proizvodnje električne energije ostvaruje se, ili se može ostvariti, pretvorbom kemijske energije (gorivne ćelije), energijom Sunčeva isijavanja (pomoću solarnih poluvodičkih elemenata) i pretvorbom toplinske energije (magnetohidrodinamski generatori, termoelektrični elementi i termoionski elementi).

Iz navedenog proizlazi da je elektroenergetski sustav dio energetskog sustava te se stoga ne može planirati ni razvitak ni korištenje elektroenergetskog sustava bez kompleksnog razmatranja energetske potrošnje i njezina zadovoljenja. Zadatak je elektroenergetskog sustava da osigura kvalitetnu isporuku električne energije uz minimalne troškove u elektroenergetskom sustavu.

Tehnološki proces u elektroenergetskom sustavu započinje osiguranjem dovoljnih količina prirodnih oblika energije, nastavlja se proizvodnjom električne energije i završava prijenosom i distribucijom električne energije do krajnjih potrošača. Da bi se sve to moglo s uspjehom obavljati, treba na vrijeme planirati razvitak i izgradnju elektroenergetskog sustava, a u izgrađenom elektroenergetskom sustavu treba planirati i dobro voditi korištenje sustava.

Osnovni su dijelovi elektroenergetskog sustava:

a) potrošači električne energije,
b) rasklopna postrojenja, prijenosne i razdjelne mreže,
c) izvori električne energije.

Danas su praktički nezamislive mehanička energija u industriji, informatici te rasvjeta bez električne energije. U svim područjima života danas se uveliko primjenjuje električna energija, s izgledima za još značajniji njezin udio u ukupnim korisnim oblicima energije. To je stoga što je električna energija najčistiji oblik korisne energije i što je njezinom primjenom očuvan čovjekov okoliš, a veći životni standard traži veću uporabu električne energije. Potrošači traže pravodobnu količinu energije i po kvaliteti i po kvantiteti.

Velika primjenjivost električne energije u zadovoljenju korisnih oblika energije ima za posljedicu i veliku promjenjivost tijekom dana, tjedna, mjeseca i godine. Ta je promjenjivost posljedica uključenja ili isključenja postojećih potrošača, uključenja novih potrošača, promjene temperature, vjetra itd. Zbog klimatskih i životnih prilika u kojima žive potrošači električne energije javljaju se sezonske varijacije potrošnje električne energije, a ovisne su o strukturi potrošača u elektroenergetskom sustavu.

Nadalje, postoji ovisnost dnevne potrošnje o radnoj aktivnosti (radni i neradni dan) u cikličkom razdoblju od tjedan dana. Krajem tjedna potrebe su u prosjeku manje nego u radnim danima, dok se tijekom radnog dijela tjedna postupno mijenjaju; rastu od ponedjeljka i smanjuju se krajem petka.

U dnevnim se promjenama opterećenja javlja utjecaj razine aktivnosti tijekom dana. Aktivnosti koje se provode pri planiranju u elektroenergetskom sustavu i odluke koje se u vezi s tim donose, u funkcijskoj su vezi sa slijedom vremenskih intervala u razdoblju planiranja. Ukupno razdoblje planiranja obuhvaća razdoblje od više godina do jednog sata. Prema vremenskom slijedu etape su: višegodišnje razdoblje, godina, mjesec, tjedan, dan i sat.

Osnovna uloga elektroenergetskog sustava se sastoji u isporučivanju određene količine električne energije, određene kvalitete i sigurnosti isporuke uz prihvatljive ekonomske uvjete dobave, na čemu se zasniva opći društveni razvitak, fizički porast gospodarstva i njegov kvalitativan razvitak na temelju sve intenzivnije primjene tehničkog napretka. Moderni razvitak tehnologije doveo je i društveni i gospodarski razvitak u ovisnost o električnoj energiji, za koju se može reći da je proizvod koji nailazi na najširu primjenu.

O radu i razvitku elektroenergetskog sustava, dakle, ovisi korištenje prirodnih resursa zemlje, efikasnost i razvitak gospodarstva, njegova konkurentska sposobnost, razvitak društva i unapređenje životnog standarda ljudi. To ujedno znači da se elektroenergetski sustav pojavljuje kao preduvjet, ali i kao posljedica društveno-ekonomskog razvitka, ukazujući na simultanost procesa razvitka elektroenergetskog sustava i općeg društveno-ekonomskog razvitka, u kojem se i razvitak elektroenergetskog sustava i društveno-ekonomski razvitak mogu jedan drugome javiti kao ograničavajući faktor. Međutim, kako se u proizvodnji električne energije i općem razvitku mogu iskorištavati različiti prirodni izvori energije, razvitak se energetske osnove društva javlja kao posebno specifično područje razvitka.

Planiranje razvitka elektroenergetskog sustava poštuje osnovne principe koji dolaze do izražaja i pri planiranju općeg društveno-ekonomskog razvitka, ali se kriteriji društvenog efikasnog razvitka elektroenergetskog sustava, odnosno planiranja njezina razvitka određuju ako se uvaže i tehničko-ekonomske specifičnosti električne energije i elektroenergetski sustav kao dio gospodarstva. Među tim specifičnostima ističu se sljedeće:

- Električna se energija ne može uskladištiti pod ekonomski prihvatljivim uvjetima, što dovodi do toga da pojedina elektrana nije u stanju, bez velikih ekonomskih gubitaka, kontinuirano opskrbljivati potrošače kvalitetnom električnom energijom, te se imperativno nameće potreba zajedničkog rada i povezivanja elektrana u elektroenergetski sustav.
- Električna se energija proizvodi i prenosi u okviru elektroenergetskog sustava za potrošače. Električna energija se pri svojoj proizvodnji ne dade obilježiti, tako da nije znano iz koje elektrane pojedini potrošač fizikalno dobiva energiju. Jedino ispravno je poimanje: svi potrošači zajedno dobivaju energiju od svih elektrana koje su angažirane u nekom trenutku. Stoga se djelatnost proizvodnje i prijenosa u svojem razvitku orijentira prema ukupnom opsegu potrošnje, prema hidrološkim uvjetima i strukturi prirodnih izvora energije, te tehničkom napretku.
- Razvitak razdiobe električne energije ovisi u mnogo većoj mjeri o načinu i prostornom razmještaju potrošnje električne energije, te se zbog toga taj razvitak planira pod naglašenim utjecajem potrošača i većim stupnjem neizvjesnosti.
- Električna se energija prenosi od elektrana do potrošača vodovima koji se nalaze pod nadzorom elektroenergetskog sustava, a ne potrošača, zbog čega potrošači ne mogu preprodavati električnu energiju.
- Elektroenergetski je sustav kapitalno intenzivna djelatnost, tako da se racionalnost u radu i razvitku elektroenergetskog sustava svodi na racionalnost investicijske politike, a u

manjoj mjeri na podizanje produktivnosti i rentabilnosti elektroenergetskog sustava kad su investicije već završene. To znači da se u proširenoj reprodukciji dobiva ili gubi bitka za društveno efikasan rad i razvitak elektroenergetskog sustava, te da cijena električne energije mora odražavati troškove proširene reprodukcije.

- Razvitak elektroprivrede dovodi do koristi i troškova koji imaju dugoročan karakter i protežu se tijekom cijelog vijeka investicije, a nikako se ne svode samo na koristi i troškove u razdoblju izgradnje novih objekata u sustavu.

- Ne postoji mogućnost supstitucije za električnu energiju u velikom broju njezinih uporaba. Velika kapitalna intenzivnost elektroenergetskog sustava kao i monopolni položaj elektroprivrede u odnosu na potrošače električne energije, mogu biti osnova za društveno neefikasan razvitak elektroprivrede.

Planiranje u elektroenergetskom sustavu sastoji se od dviju posebnih aktivnosti: planiranja razvitka i planiranja korištenja. Navedena planiranja obuhvaćaju vremensko razdoblje od više godina do jednog sata, a gdje prestaje jedno planiranje (planiranje razvitka) započinje drugo (planiranje korištenja). Cilj su i jednog i drugog planiranja:

- proizvodnja električne energije uz minimum troškova i
- sigurna i kvalitetna isporuka električne energije.

Manjkavosti bilo kojeg čimbenika (sigurnosti, kvalitete, minimuma troškova) ide na štetu potrošača.

Elektroenergetski sustav dio je energetskog sustava, te se stoga ne može planirati ni razvitak, niti korištenje elektroenergetskog sustava bez kompleksnog razmatranja energetske potrošnje i njezina zadovoljenja. Gledajući s aspekta konačnog potrošača, kojemu je cilj sigurna i kvalitetna opskrba energijom uz minimum troškova, optimum se može postići samo dugoročnom energetskom politikom.

Osim energetsko-ekonomskih kriterija i ograničenja prilikom traženja najpovoljnijih rješenja zadovoljenja energetske potrošnje treba u isto vrijeme uvažiti i mnoge druge faktore koji mogu biti ograničenja u traženju najpovoljnijih rješenja. Ti faktori mogu proizaći iz političkog života, zakonskih normativa, ekonomske snage društva, realnih mogućnosti usvajanja nove tehnologije, međunarodne zaštite okoliša itd. Oni sadrže u sebi elemente prostora i vremena u kojima i na kojima "živi" elektroenergetski sustav i kao takvi se moraju zadovoljiti.

Tehnološki proces u elektroenergetskom sustavu započinje pridobivanjem prirodnih oblika energije (ugljen, nafta, plin, nuklearno gorivo i voda), nastavlja se proizvodnjom električne energije i završava prijenosom i razdiobom električne energije do konačnih potrošača. Četvrta je sastavnica (prateća kod svih faza tehnološkog procesa) organizacija rada s administracijom koja koordinira sve faze i povezuje ih u cjelinu. Bez dobre organizacije rada nemoguće je zadovoljiti osnovne ciljeve rada elektroenergetskog sustava.

Iz istodobnosti proizvodnje i potrošnje električne energije može se povući paralela između čovjeka i elektroenergetskog sustava i to ovako:

Čovjek		Elektroenergetski sustav
Čovjekova aktivnost	►	potrošnja električne energije
Krvotok	►	električna energija
Srce	►	elektrane
Arterije i vene	►	prijenos električne energije
Žile i kapilare	►	distribucija električne energije
Mozak	►	koordinacija, upravljanje, vođenje

Tablica 10c.

Prema tome, elektroenergetski sustav ne može se dijeliti, jer je živi organizam pa jedan dio bez drugoga ne može raditi i egzistirati.

Tržište u elektroenergetskom sustavu znatno je složenije i osjetljivije, jer se moraju zadovoljiti tehničko-tehnološko-ekonomske specifičnosti koje proizlaze prije svega iz:

- Istodobnosti proizvodnje i potrošnje električne energije, tj. nemogućnosti "uskladištenja", što bitno uvjetuje parametre izgradnje i korištenja sustava; s obzirom na velike oscilacije u dnevnom i sezonskom korištenju električne energije, i s obzirom da elektroenergetski sustav mora sigurno, pouzdano i kvalitetno zadovoljiti sve potrošače u vršnim i malim opterećenjima. Proizvodnja, prijenos i distribucija elektroenergetskog sustava je osobito složen, trajan i odgovoran zadatak, koji traži visok stupanj koordinacije svih dijelova sustava, ne samo u samom sustavu, nego i na njegovom ulazu (hidroenergija, kruta goriva, plin, nuklearna energija itd.) i na njegovom izlazu (napon i frekvencija), a posebno zahtijeva i postojanje "rezerve", koja ima i svoju ulogu i svoju cijenu.
- Električna energija nema identitet svog proizvođača, ne daje kupcu, odnosno korisniku veliku mogućnost izbora proizvođača i dobavljača, a proizvođač je po svojim ekonomskim značajkama "prirodni monopol", tako da se u elektroenergetskim sustavima mogu generirati samo "kvazitržišni" odnosi, tj. odnosi vrlo ograničene konkurencije.
- Električna energija je praktički nezamjenljiva, ne može se supstituirati (osim ako se koristi za pretvorbu u toplinu, ali ni tada ne uvijek – primjerice, ne može se supstituirati ako se koristi u elektrolučnim ili visokofrekventnim pećima), kruta je na odnos ponude i potražnje, što njene monopolne značajke čini neotklonjivima.
- Proizvodni i prijenosni kapaciteti u elektroenergetskom sustavu su kapitalno–intenzivni, s dugim rokovima izgradnje i angažiranjem velikih sredstava, pa njihovo projektiranje, financiranje i izgradnja predstavljaju strateške odluke od najvećeg nacionalnog značenja.
- Veličina elektroenergetskog sustava, kao vlasničke i organizacijske cjeline, mjerene instaliranom snagom proizvodnih i prenosnih kapaciteta, bitno će utjecati na utvrđivanje njegovih razvojnih ciljeva i poslovne strategije, način i uvjete korištenja i njegove ekonomske parametre, tarifne sustave i posebno na mogućnosti i uvođenja konkurentskih odnosa u proizvodnji i ponudi.
- S obzirom na vitalno značenje elektroenergetskog sustava za razvoj i funkcioniranje nacionalne ekonomije i činjenicu da svaki poremećaj u opskrbi električnom energijom izaziva nesrazmjerne štete, svaka država nastoji raspolagati takvim kapacitetima sustava, koji će joj trajno osiguravati visoki stupanj samodovoljnosti električnom energijom i odgovarajući utjecaj na razvoj i eksploataciju sustava.

- Zahvaljujući prije svega tim značajkama, stalna nastojanja upravljačkih struktura elektroenergetskih sustava za povećanjem efikasnosti, smanjenjem troškova i racionalnijem korištenju resursa, opterećena su brojnim ekonomskim, organizacijskim i vlasničkim dvojbama, te različitim putevima njihovog rješavanja.

Posebno je važno istaknuti da operator sustava u nacionalnom elektroenergetskom sustavu mora imati mogućnost preko dispečera upravljati svim postrojenjima sustava u skladu s unaprijed zadanim kriterijima, jer samo na taj način elektroenergetski sustav može funkcionirati u skladu s ulogom koju ima u nacionalnoj ekonomiji. Vlasništvo nad pojedinim postrojenjima ne može biti zapreka za jedinstvenim upravljanjem sustavom, na koje vlasnik praktički ne može utjecati.

Zajedničkim koordiniranim pogonom elektrana u elektroenergetskom sustavu postižu se značajni pogonski i ekonomski učinci, pa je nužno – što se danas čini u svim elektroenergetskim sustavima – ostvariti uvjete za takav pogon. Koordinirana zajednička izgradnja i pogon smanjuju potrebnu pričuvu u sustavu (što znači smanjenje izgradnje), a istodobno povećavaju sigurnost opskrbe potrošača (što znači smanjenje štete zbog redukcija uz istu izgradnju sustava). Osim toga, koordinirana zajednička izgradnja i pogon smanjuju troškove proizvodnje, jer omogućuju potpunije iskorištenje novih energetskih izvora koji imaju niže promjenljive troškove korištenja. Da bi se, međutim, ostvarile spomenute prednosti koordinirane izgradnje i pogona, treba način korištenja proizvodnih kapaciteta elektrana usuglašavati u okviru elektroenergetskog sustava, jer se samo tako može uskladiti pogon svih elektrana, budući da optimalno korištenje ovisi o značajkama svih agregata u elektranama (ovisnost utroška goriva, odnosno vode o opterećenju) i svih vodova (napon, duljina, presjek), o stanju u svim elektranama (sposobnost agregata, razina vode u akumulacijama, prirodni dotok vode u hidroelektrane), te o rasporedu rotirajuće i hladne rezerve.

Nesumnjivo je da takav koordinirani pogon elektrana dolazi u sukob s individualnim interesom svake od elektrana. U elektroenergetskom sustavu, koji je uvijek znatno veći po potrebnoj snazi od pojedinih elektrana, svaka bi elektrana, naime, mogla ostvariti veću proizvodnju – naravno na račun smanjenja proizvodnje drugih elektrana – od one koju ostvaruje u dobro vođenom elektroenergetskom sustavu. Svaka bi protočna elektrana, na primjer, mogla u mrežu plasirati svu svoju moguću proizvodnju na račun povećanja preljeva u ostalim hidroelektranama. Akumulacijska hidroelektrana mogla bi – uz održavanje što većeg pada, što znači uz korištenje akumulacijskog bazena samo za prihvaćanje velikih voda – povećati svoju proizvodnju, žrtvujući pri tome opskrbljenost potrošača i zanemarujući proizvodnju energije u najnepovoljnijim razdobljima za elektroenergetski sustav u cjelini. Termoelektrane, a pogotovo one s relativno visokim specifičnim troškovima za gorivo, mogle bi proizvesti i znatno više energije nego što je proizvedu u koordiniranom korištenju. To povećanje proizvodnje moglo bi se ostvariti na račun povećanja preljeva u hidroelektranama i smanjenja proizvodnje u vrlo ekonomičnim termoelektranama. Ove postavke dovodi u pitanje uvođenje slobodnog tržišta u elektroenergetskom sustavu. Elektrane neće biti angažirane prema koordiniranom i dobrom vođenju elektrenergetskog sustava nego će biti angažirane prema komercijalnim kriterijima. Ti, novi, kriteriji imat će za posljedicu veći broj nesporazuma i rezultirat će većom ukupnom cijenom, te nepravovremenom izgradnjom i obnovom postrojenja. Iskustva iz tržišnog vođenja sustava to već sada potvrđuju.

S druge strane, odvajanje elektrana od sustava, što bi se moglo smatrati rješenjem problema samostalnosti i što u prvi trenutak izgleda kao da je u interesu svake elektrane, izazvalo bi parceliranje potrošnje. Takva bi parcelacija omogućila mnogo manju opskrbu električnom energijom od one u zajedničkom radu. Svaka bi, naime, termoelektrana morala osigurati

vlastitu pričuvu, dok bi izolirana hidroelektrana mogla opskrbiti samo onu potrošnju koja se može osigurati pri minimalnom protoku, odnosno uz najnepovoljnije hidrološke prilike. U termoelektranama bi tada ostala znatna neiskorištena snaga, a u hidroelektranama bi se pojavili golemi preljevi. Takva bi situacija brzo dovela do integracije, pa i uz žrtvovanje vlastite samostalnosti.

Opskrba potrošača električnom energijom, a time i sigurnost opskrbe, rezultat je zajedničkog rada svih dijelova elektroenergetskog sustava, dakle, i svih elektrana bez obzira je li neka elektrana potpuno opterećena ili je neka od njih u rotirajućoj ili čak u hladnoj rezervi. Sve one imaju svoju ulogu u sustavu i sve su one potrebne sustavu. Način njihova angažiranja ovisi o njihovim značajkama, a one se angažiraju tako da se postigne opskrba potrošača uz najmanje moguće troškove. Elektrane, dakle, ne donose odluku o svojoj proizvodnji, one tu odluku prepuštaju elektroenergetskom sustavu (točnije elektroenergetskoj dispečerskoj službi i nezavisnom operatoru sustava, koji provode korištenje sustava na temelju zajednički dogovorenih pravila racionalnog korištenja sustava). Na taj se način ostvaruje – ako je vođenje sustava kvalitetno–maksimalan dohodak u sustavu.

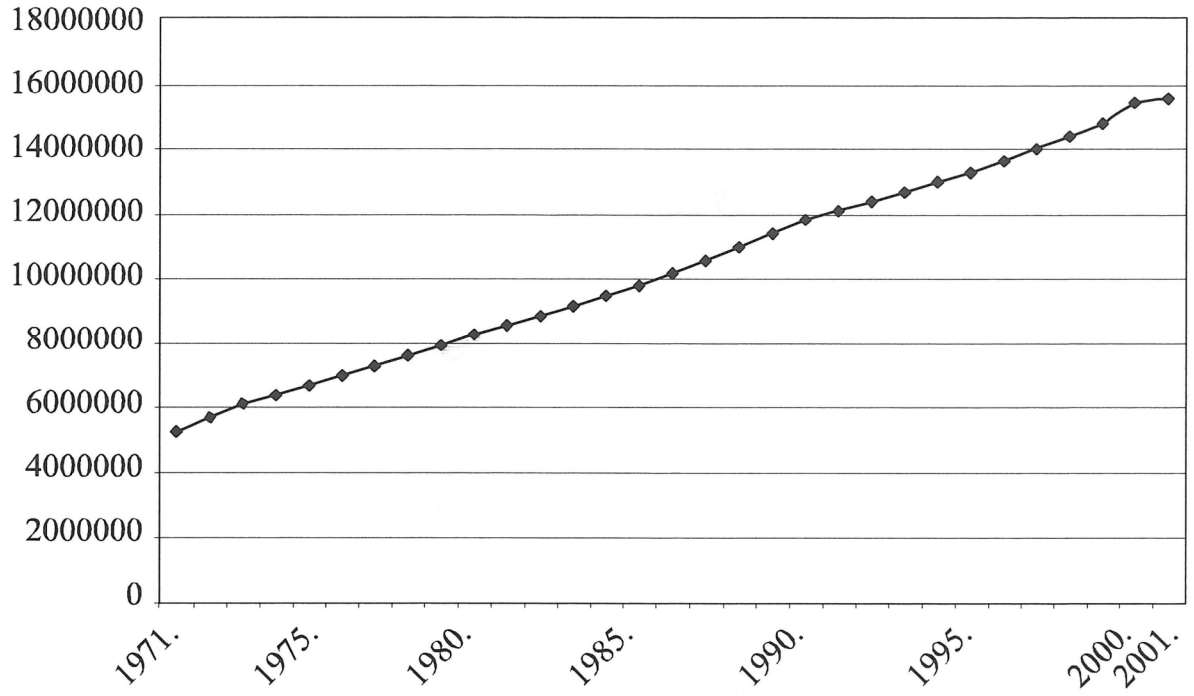
Elektroenergetska dispečerska služba u elektroenergetskom sustavu i nezavisni operator druga su ključna služba u elektroprivredi ako se kao prva ključna služba označi već spomenuta investicijska služba. Kao što investicijska služba može imati presudni utjecaj na potrebne investicije, a preko njih na stalne troškove u sustavu, elektroenergetska dispečerska služba ima presudni utjecaj na materijalne troškove u elektroenergetskom sustavu.

2.2 Potrošnja električne energije

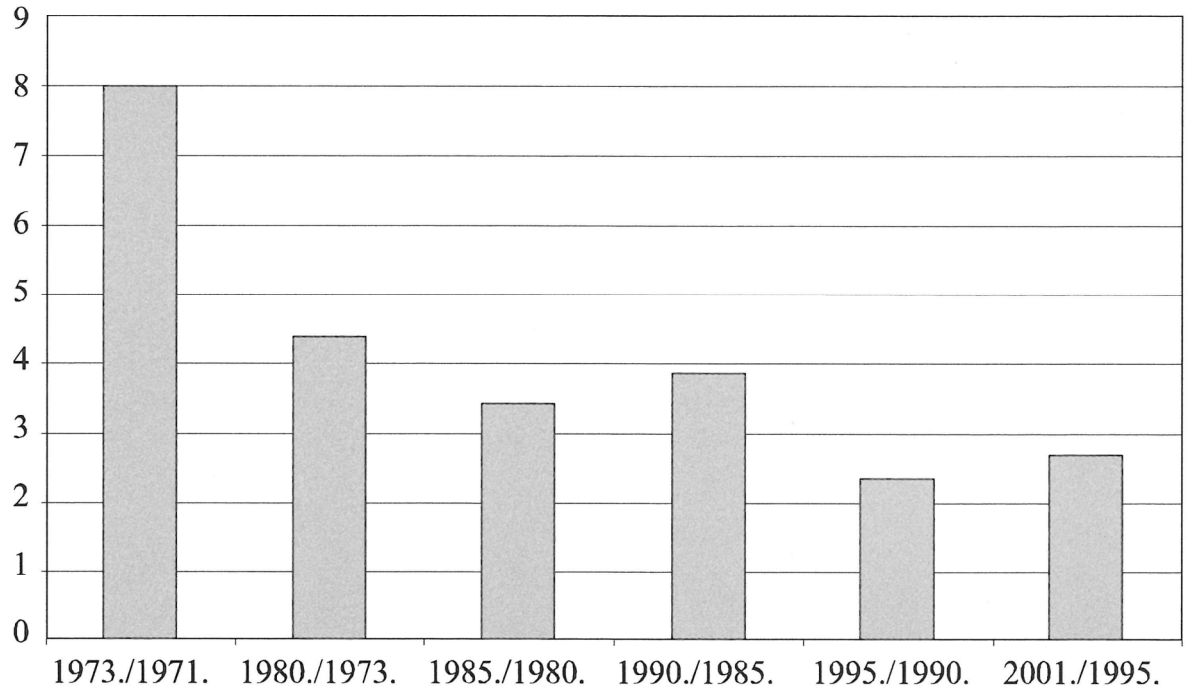
U prethodnom poglavlju navedena su područja u kojima se koristi električna energija. Na slici 11. prikazan je razvoj potrošnje električne energije u svijetu od 1971. do 2001. godine. U 1971. godini ostvarena je potrošnja električne energije u iznosu od 5 245 387 GWh, a u 2001. godini 15 476 182 GWh. Dakle, potrošnja električne energije u posljednjih trideset godina se utrostručila, pri čemu je potrebno naglasiti da se još uvijek jedna trećina stanovnika na Zemlji ne koristi blagodati električne energije.

Porasti potrošnje električne energije za karakteristične vremenske intervale prikazani su na slici 12. Vremenski intervali odabrani su prema kriznim stanjima ("naftnim šokovima") u opskrbi naftom. Svako povećanje cijena nafte na svjetskom tržištu imalo je za posljedicu povećanu potrošnju električne energije.

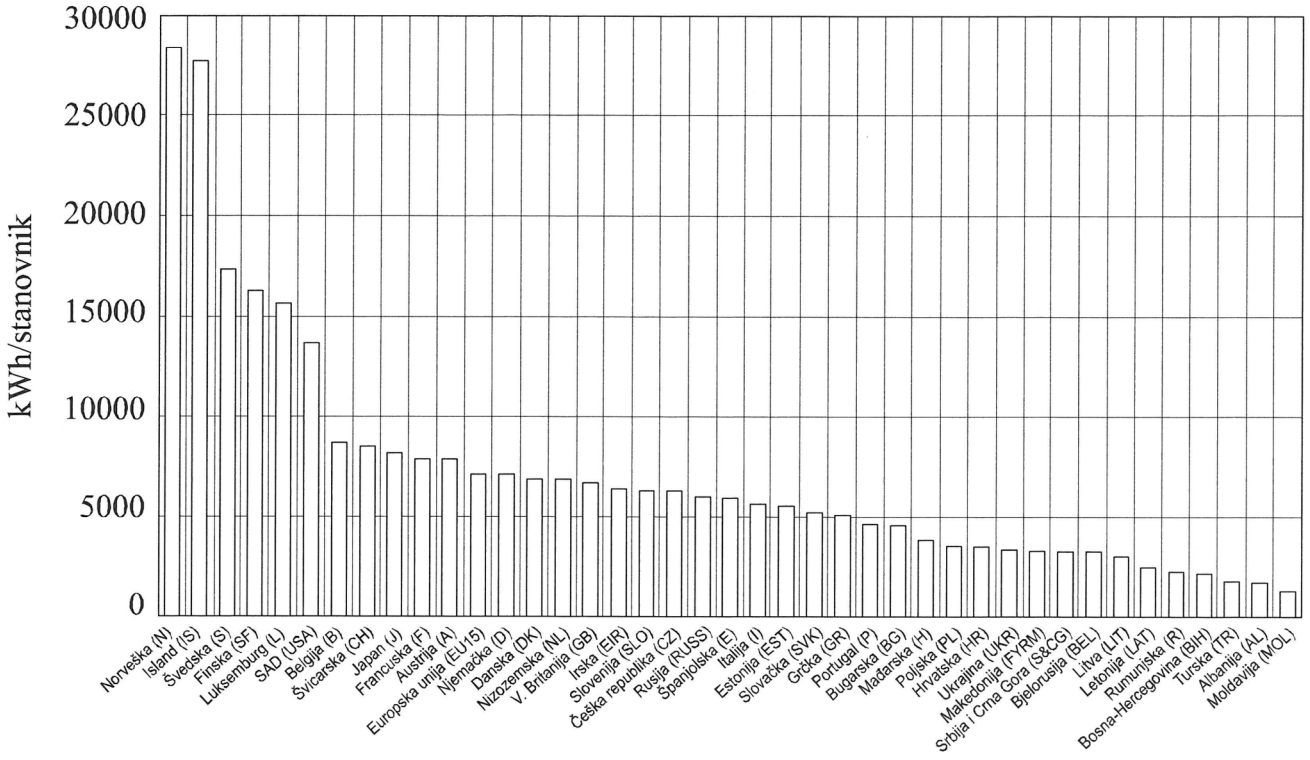
Potrošnja električne energije po stanovniku (početkom 21. stoljeća) prikazana je za europske zemlje, SAD i Japan na slici 13. Hrvatska se sa 3 563 kWh po stanovniku nalazi pri samom dnu europskih država, dok je na čelu Norveška sa 28 426 kWh po stanovniku, a na začelju je Moldavija sa 1 327 kWh po stanovniku.



Slika 11. Bruto potrošnja električne energije u Svijetu (GWh)



Slika 12. Prosječne stope porasta bruto potrošnje električne energije u Svijetu (%)



Slika 13. Bruto potrošnja električne energije po stanovniku u Hrvatskoj i izabranim državama

Potrošnja električne energije većine industrijskih potrošača, izuzev industrije na temelju poljoprivrednih proizvoda i tome slično, neovisna je o sezoni, dok je potrošnja za rasvjetu, grijanje i kondicioniranje zraka u znatnoj mjeri ovisna o godišnjem dobu.

Dnevna potrošnja električne energije ovisi o radnoj aktivnosti u radnom i neradnom danu.

2.3 Dnevni dijagram opterećenja

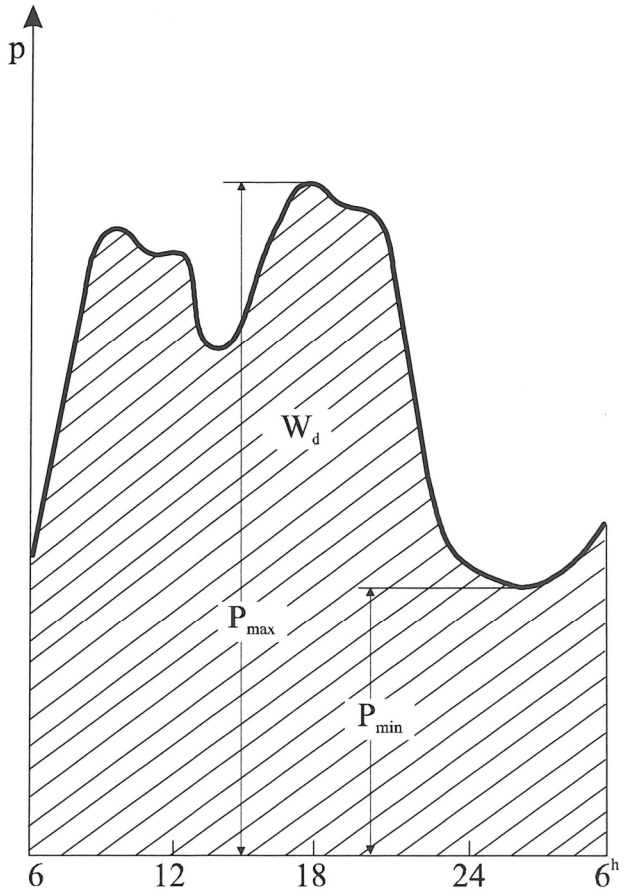
2.3.1 Karakteristične veličine dnevnog dijagrama opterećenja

Oblik dnevnog dijagrama opterećenja ovisan je o strukturi potrošača u elektroenergetskom sustavu, a sam dnevni dijagram opterećenja predstavlja promjene opterećenja tijekom dana. U elektroenergetskom sustavu treba razlikovati dnevni dijagram potrošnje (dijagram što ga čine potrošači električne energije) od dnevnog dijagrama opterećenja na pragu elektrana. Za analize prilika u elektroenergetskom sustavu interesantan je dijagram opterećenja na pragu elektrana (uključeni gubici transformacije, prijenosa i razdiobe).

Dnevni dijagram opterećenja (slika 14.) karakterizira: maksimalno opterećenje (P_{max}), minimalno opterećenje (P_{min}), ukupna dnevna potrošnja (W_d) i faktor opterećenja (m). Faktor opterećenja izračunava se kao omjer ostvarene potrošnje energije i energije koja se mogla ostvariti da je elektroenergetski sustav bio opterećen u cijelom vremenskom intervalu maksimalnim opterećenjem. Prema tome, izraz za računanje faktora opterećenja glasi:

$$m = \frac{W_d}{24\ P_{\max}} \tag{1}$$

pa faktor opterećenja može poslužiti kao pokazatelj iskoristivosti postrojenja elektroenergetskog sustava. Sustav koji ima manji faktor opterećenja ima slabije iskorištena postrojenja, odnosno sustav koji ima veći faktor opterećenja ima bolje iskorištenje postrojenja ili bolje organiziranu i vremenski raspoređenu potrošnju. Svako povećanje faktora opterećenja ima za posljedicu uštedu u izgradnji elektroenergetskog sustava, a ujedno znači i racionalnije korištenje postojećih postrojenja.



Slika 14. Dnevni dijagram opterećenja

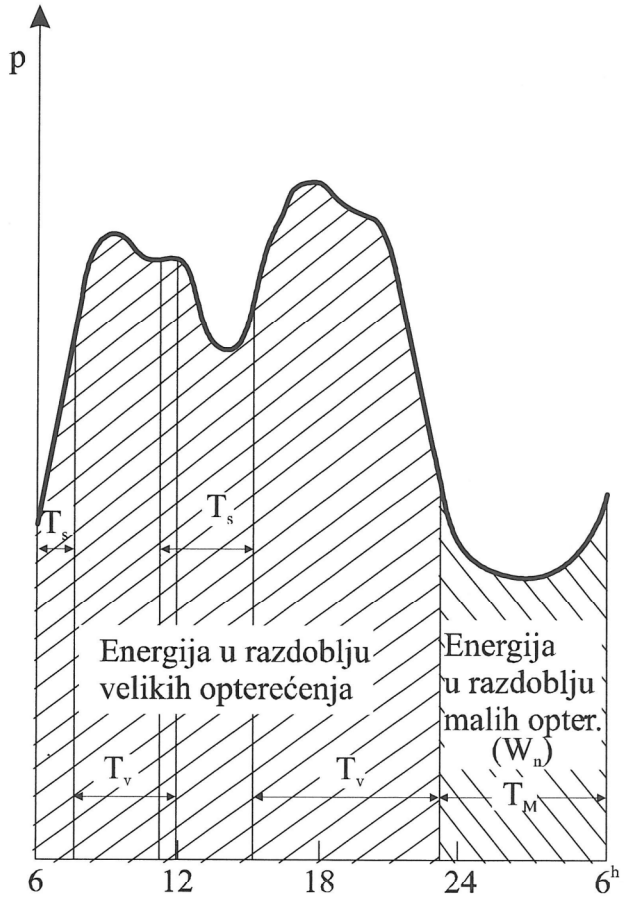
2.3.2 Podjela dnevnog dijagrama opterećenja

Dnevni dijagram opterećenja može se podijeliti na dva načina i to:

a) po trajanju opterećenja i

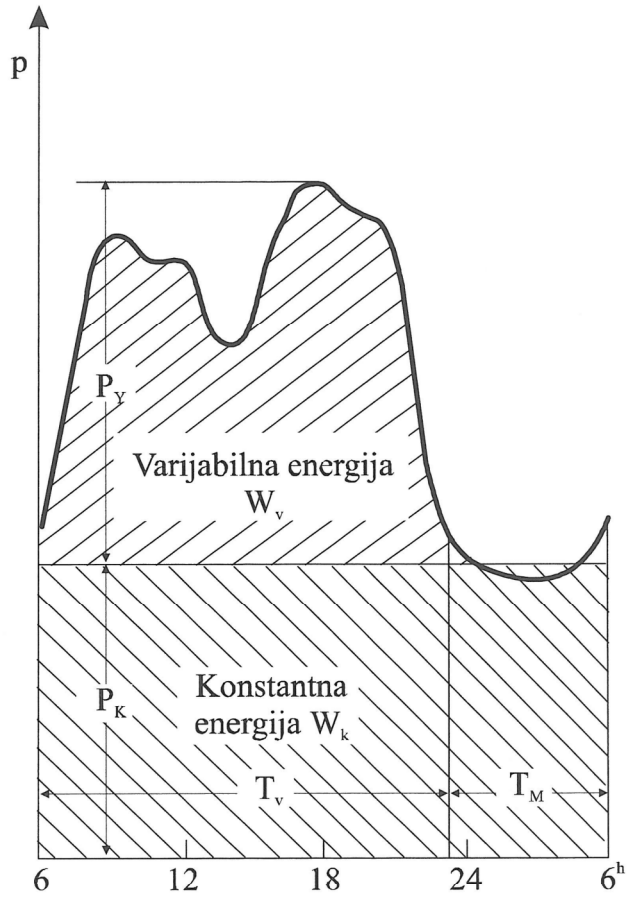
b) po opterećenjima.

Ako se dnevni dijagram opterećenja podijeli po trajanju opterećenja (slika 15.) mogu se uočiti tri karakteristična razdoblja: razdoblje velikih, srednjih i razdoblje malih opterećenja. Granica između razdoblja opterećenja kao i trajanje tih razdoblja nije točno određena, jer ona ovise o obliku dijagrama opterećenja, odnosno o značajkama potrošnje u elektroenergetskom sustavu.



Slika 15. Podjela dnevnog dijagrama opterećenja na razdoblja velikih i malih opterećenja

U slučaju podjele dnevnog dijagrama opterećenja prema opterećenjima (slika 16.) u tom slučaju može se pretpostaviti da se može naći jedno opterećenje koje je konstantno, a preostalo opterećenje da varira od konstantnog do maksimalnog opterećenja.



Slika 16. Podjela dnevnog dijagrama opterećenja na varijabilnu i konstantnu energiju

Ako konstantno opterećenje označimo s P_k, u tom slučaju je konstantna energija jednaka:

$$W_k = 24\ P_k\ . \tag{2}$$

Razlika između ukupne potrebne dnevne energije (W_d) i konstantne energije je varijabilna energija (W_v). Prema tome je:

$$W_v = W_d - W_k \tag{3}$$

Analogno računanju varijabilne energije računa se i varijabilna snaga P_v iz izraza:

$$P_v = P_{max} - P_k\ . \tag{4}$$

Podjelom dijagrama opterećenja na varijabilni i konstantni dijagram opterećenja karakteriziran je trima veličinama: maksimalnim opterećenjem (P_{max}), konstantnim opterećenjem (P_k) i ukupno potrebnom dnevnom energijom (W_d).

Izvršene podjele dnevnog dijagrama opterećenja mogu se primijeniti za bilo koji dan u tjednu, a to znači bilo za radni, odnosno neradni dan.

Dnevni dijagram opterećenja u radnom danu obično se razlikuje od dnevnog dijagrama opterećenja u neradnom danu po iznosu ukupno potrebne energije, po maksimalnom opterećenju i po trajanju varijabilnog opterećenja. Sve te veličine obično su veće u radnom danu.

Trajanje opterećenja označeno je sa T, a trajanje varijabilnog opterećenja sa T_{v}. Sve do sada navedene oznake odnose se na bilo koji dijagram opterećenja ili krivulje trajanja opterećenja. Za neradni dan navedenim oznakama dodaje se n. Tako je dnevna energija u neradnom danu W_{dn}, maksimalno opterećenje P_{maxn}, konstatna snaga P_{k}, varijabilna snaga P_{vn}, konstantna energija W_{k}, varijabilna energija W_{vn} i trajanje varijabilnog opterećenja u neradnom danu T_{vn}. Analogno se u slučaju krivulje trajanja za radni dan navedenim izrazima dodaje slovo r umjesto slova n (W_{dr}, P_{maxr}, P_{k}, W_{kr}, W_{vr} i P_{vr}).

Prilikom određivanja konstantnog opterećenja (P_k) u neradnom danu pretpostavljeno je da je ono jednako konstantnom opterećenju u radnom danu. Ta pretpostavka pojednostavljuje proračune, a nema utjecaj na određivanje tjedne krivulje trajanja, jer se tjedna krivulja trajanja određuje na temelju svih podataka u radnim i neradnim danima.

Da bi se u proračunima izbjegli problemi koji proizlaze iz različitosti dužine trajanja varijabilnih opterećenja i različitih varijabilnih opterećenja u radnom i neradnom danu, uvode se omjeri trajanja varijabilnog opterećenja u neradnom i radnom danu.

$$O_{\mathrm{t}} = \frac{T_{\mathrm{vn}}}{T_{\mathrm{vr}}} \tag{5}$$

i omjer varijabilnih opterećenja u neradnom i radnom danu:

$$O_{\mathrm{p}} = \frac{P_{\mathrm{vn}}}{P_{\mathrm{vr}}} \tag{6}$$

Očito je da se mogu postaviti omjeri i za druge karakteristične veličine neradnog i radnog dana.

2.3.3 Krivulja trajanja opterećenja

Za energetsko-ekonomske analize, koje se provode u planiranju razvoja i korištenja elektroenergetskog sustava, oblik krivulje dijagrama opterećenja vrlo je nepodoban zbog toga što ga je veoma teško izraziti matematičkim jednadžbama ili pak aproksimirati. Da bi se tome doskočilo, od dijagrama opterećenja načini se krivulja trajanja opterećenja, koja se mnogo lakše može matematički izraziti ili aproksimirati.

Krivulja trajanja opterećenja dobiva se na taj način da se opterećenja koja su se pojavila u promatranom vremenskom intervalu poredaju po opadajućim vrijednostima od maksimalnog do minimalnog opterećenja. U tako dobivenoj krivulji trajanja sadržane su sve osnovne veličine iz dijagrama opterećenja: maksimalno i minimalno opterećenje, te ukupno potrebna energija.

2.3.4 Varijacije potrošnje i varijacije značajki potrošnje tijekom godine

Varijacije potrošnje tijekom godine uglavnom su posljedica porasta potrošnje unutar godine i sezonske varijacije potrošnje, iako se mogu pojaviti i drugi utjecaji (znatnija odstupanja temperature i sl.).

Udio pojedinog tjedna u ukupnoj potrošnji (faktor udjela) dobiva se kao omjer tjedne i ukupne godišnje potrošnje. Prosječna vrijednost udjela tjedna u godišnjoj potrošnji iznosi 0,0192. U zimskom razdoblju faktor udjela tjedne u godišnjoj potrošnji ima veću vrijednost od prosječne, a u ljetnim tjednima manju vrijednost od prosječne.

Faktor udjela tjedne potrošnje u godišnjoj potrošnji u prvih sedam mjeseci ima tendenciju opadanja, a u ostalom dijelu godine tendenciju povećanja vrijednosti.

Osim sezonske oscilacije faktora udjela, analizom podataka iz prošlosti, mogu se uočiti i oscilacije uzrokovane blagdanima ili zbog manje isporuke električne energije.

Sezonske oscilacije potrošnje različite su u pojedinim elektroenergetskim sustavima, pa ih je za svaki sustav potrebno posebno odrediti na temelju podataka iz prošlosti.

Poznavanje faktora udjela pojedinih tjedana u godišnjoj potrošnji posebno je interesantno sa stajališta analize prilika u budućnosti u elektroenergetskom sustavu u kojemu je znatan udio proizvodnja hidroelektrana u zadovoljavanju ukupnih potreba. Naime, proizvodnja hidroelektrana ima nestalne i velike oscilacije tijekom godine.

Sezonske oscilacije maksimalnog opterećenja mogu se prikazati pomoću faktora koji se dobiva kao omjer maksimalnog opterećenja u tjednu i maksimalnog opterećenja u godini. Obično se maksimalno godišnje opterećenje javlja krajem godine (u zimskom razdoblju). Na temelju podataka iz prošlosti mogu se za određeni elektroenergetski sustav odrediti tendencije porasta tjednih maksimalnih opterećenja, koji iz godine u godinu mogu dosta varirati. Zbog toga je prikladnije promatrati prosječni porast maksimalnog opterećenja.

Za sve tjedne u godini mogu se odrediti, na temelju podataka iz prošlosti, vrijednosti za faktore opterećenja. Ako postoje na raspolaganju podaci za nekoliko godina iz prošlosti, u tom slučaju se mogu odrediti tendencije promjena tjednih faktora opterećenja i njihove sezonske oscilacije.

Analogno se mogu odrediti oscilacije omjera varijabilne i ukupno potrebne energije, te oscilacije između konstantnog i maksimalnog opterećenja.

Izračunate značajke potrošnje u ovom poglavlju mogu se iskoristiti za potrebe planiranja razvoja elektroenergetskog sustava, a prosječne vrijednosti karakterističnih veličina krivulja trajanja opterećenja dobar su pokazatelj sezonskih oscilacija. Uzimanje tendencija razvoja karakterističnih veličina (jer nisu naglašene), za doglednu budućnost izazvalo bi sigurno mnogo veće pogreške.

Predviđanje potrošnje električne energije za potrebe planiranja razvoja, a isto tako i za korištenje elektroenergetskog sustava svakako je jedan od posebno važnih zadataka kojemu treba posvetiti odgovarajuću pozornost. Dobro i kvalitetno predviđanje može se postići samo onda ako je obavljena odgovarajuća analiza ostvarenja potrošnje u prošlosti, odnosno, ako su utvrđene značajke potrošnje električne energije.

2.4 Osnovna uloga i zadaci rasklopnih postrojenja, prijenosnih i razdjelnih mreža u elektroenergetskom sustavu

2.4.1 Uloga rasklopnih postrojenja, prijenosnih i razdjelnih mreža u elektroenergetskom sustavu

Osnovna uloga rasklopnih postrojenja, prijenosnih i razdjelnih mreža je da u svakom trenutku osiguraju dobavu energije od izvora do potrošača kako s količinom tako i kvalitetom električne energije.

Dopremanje proizvedene energije od izvora do potrošača može se izvesti na više načina. Jedan od njih je da se svaki potrošač priključi izravno na izvor, međutim iako je to tehnički izvedivo, ekonomski neprihvatljivo, a drugi način je da se između potrošača i izvora izgradi električna mreža na koju se može priključiti izvor i potrošač na bilo kojem mjestu. Taj je drugi način ekonomski i tehnički prihvatljiviji, jer omogućava priključivanje izvora električne energije koji najčešće nisu locirani u blizini potrošačkih centara, dok se sigurnost opskrbe mno-

gostruko povećava. Naime, ako dođe do ispada nekog izvora, njegovu ulogu može preuzeti drugi tako da potrošač to ni ne osjeti.

Kvar na nekom prijenosnom elementu mreže (vodu, rasklopnom postrojenju itd.) uzrokuje ispad iz pogona. Prijenos energije se u tom slučaju vrši pomoću drugih elemenata mreže.

Kada je riječ o mrežama, uvijek se podrazumijeva da u mreži postoje čvorne točke. Te točke moraju biti tako koncipirane da se u svakom trenutku na njih može priključiti potrošač ili izvor izravno ili neizravno preko nekog prijenosnog sustava na tehnički i ekonomski zadovoljavajući način

S obzirom na namjenu mreže se mogu podijeliti na dva tipa i to: prijenosne i razdjelne mreže.

Prijenosne mreže imaju ulogu da povežu potrošačke centre s izvorima električne energije. Dakle, obično se radi o prijenosu veoma velikih snaga. Da bi se te snage mogle prenijeti, mora se ići na veće naponske razine. Prema tome, te mreže se još nazivaju i visokonaponskim mrežama.

Razdjelne mreže imaju zadatak da dopreme energiju od prijenosne mreže do potrošača. Te mreže prenose relativno manje snage pa su zato nižeg napona. Povećanjem potrošnje i razvojem elektroenergetskog sustava razdjelne mreže se izvode sa sve višim naponima. Tako danas razdjelne mreže imaju naponske razine koje su prije nekoliko godina bile isključivo rezervirane za prijenosne mreže.

Budući da se radi o velikim snagama, odnosno velikim strujama i visokim naponima, treba čvorne točke posebno izvesti. U tu svrhu svaka čvorna točka ima rasklopno postrojenje koje može biti bez transformacije napona ili s njim. Dakle, osnovna uloga tih potrojenja je ta da osigura spajanje postojećih vodova s mogućnošću priključka novih, te po potrebi da povezuje mreže različitih naponskih razina preko transformatora.

Osim toga, rasklopna postrojenja postoje u elektranama, u kojima im je zadatak da energiju proizvedenu u generatorima proslijede na vodove koji povezuju elektranu s mrežom, a postoje i kod većih potrošača gdje služe za preuzimanje energije iz mreže.

2.4.2 Vrste rasklopnih postrojenja

Rasklopna postrojenja s obzirom na namjenu mogu se podijeliti na razdjelna i transformatorska postrojenja.

Razdjelno postrojenje je čvorište vodova istog napona, a namjena mu je da osigura raspodjelu energije na priključene vodove. U razdjelnim postrojenjima mogu se pojedini vodovi staviti u pogon ili izvan pogona.

Transformatorsko postrojenje ima pored gore navedenog još i transformaciju napona, što omogućuje povezivanje mreža različitih naponskih razina. Transformacija napona može biti između dviju naponskih razina (dvonamotni transformatori) ili između triju naponskih razina (tronamotni transformatori).

U takvim postrojenjima postoje aparati za uklapanje i isklapanje (prekidači i rastavljači), uređaji za zaštitu transformatora i vodova, uređaji za mjerenje koji služe za kontrolu pogona ili za obračun energije, te uređaji za upravljanje uklopnim aparatima i za signalizaciju stanja pojedinih aparata. Upravljanje takvim postrojenjima može se izvesti pomoću vlastite posade ili pomoću nekog daljinskog centra (u tom slučaju nije potrebna ljudska posada).

Prema prostornom smještaju razlikujemo postrojenja unutrašnje i vanjske izvedbe. Postrojenja unutrašnje izvedbe mogu biti smještena u posebne zgrade namijenjene za tu svrhu ili u posebnom dijelu zgrade namijenjene za tu svrhu ili u posebnom dijelu zgrade čija namjena je općenita (stambene zgrade, turistički objekti i dr.).

Nadalje, rasklopna postrojenja mogu se podijeliti s obzirom na izvedbu i to na: rasklopna postrojenja u otvorenoj izvedbi i rasklopna postrojenja u zatvorenoj ili oklopljenoj izvedbi.

Općenito se rasklopna postrojenja bilo kojeg tipa grade s jednim ili s dva sustava sabirnica. Sustav s dvostrukim sabirnicama pogonski je sigurniji i omogućava veću pogonsku slobodu manipuliranja (razna prespajanja).

Glavni elementi jednog rasklopnog postrojenja su: rastavljači, prekidači, sabirnice, transformator (ako se radi o trafostanici), te pomoćni uređaji.

Rastavljači su elementi rasklopnog postrojenja koji služe za vidljivo odvajanje jednog dijela postrojenja od drugog koji je pod naponom. Odabiru se prema nazivnom naponu i maksimalnoj struji u normalnom pogonu, a kontroliraju se s obzirom na udarnu struju kratkog spoja – dinamička naprezanja i s obzirom na trajnu struju kratkog spoja – termička naprezanja.

Prekidači su elementi postrojenja koji služe za ukapčanje ili iskapčanje dijela postrojenja pod opterećenjem, kao i za prekidanje struje kvara i time odvajanje kvarnog od zdravog dijela mreže.

Dimenzioniraju se s obzirom na rasklopnu snagu kratkog spoja na mjestu ugradnje.

Sabirnice su osnovni element rasklopnog postrojenja. One povezuju vodove i transformatore koji dovode energiju s vodovima i transformatorima koji tu energiju odvode. Izbor presjeka sabirnica obavlja se s obzirom na maksimalnu struju u normalnom pogonu, te na dinamičko i termičko naprezanje za vrijeme kratkog spoja.

Ako u rasklopnom postrojenju postoji transformacija napona, tj. ako se nalazi "energetski transformator" govori se o trafostanici. Ti transformatori imaju ulogu da prenesu energiju (snagu) s jedne na drugu naponsku razinu.

Pod pojmom pomoćnih uređaja u rasklopnom postrojenju smatraju se zaštitni uređaji, mjerni uređaji, upravljački uređaji, uređaji za opskrbu pomoćnim istosmjernim i izmjeničnim naponom, telekomunikacijski uređaji te kompresorska postrojenja, ako u postrojenju postoje pneumatski prekidači.

2.4.3 Prijenosne i razdjelne mreže

Napajanje potrošača može se izvesti preko radijalnog voda ili preko neke mreže vodova (zamke). Ako se napajanje obavlja preko radijalnog voda onda se takvo napajanje naziva jednodimenzionalnim, za razliku od dvodimenzionalnog napajanja koje obuhvaća zamkaste mreže. Prema namjeni mogu se podijeliti na:

1. mreže za prijenos električne energije,
2. razdjelne mreže.

Prijenosne mreže služe za prijenos većih snaga i na veće udaljenosti, dok razdjelne mreže prenose manje snage i na manje udaljenosti.

Budući da se kod prijenosnih mreža treba prenijeti veća snaga na veće udaljenosti to je potreban što veći napon zbog ekonomičnosti prijenosa (manji gubici).

Gubici radne snage na nekom vodu, ako se zanemari odvod, su:

$$P_g = I^2 \cdot R \tag{7}$$

gdje je:

I – struja koja teče tim vodom,

R – radni otpor voda.

Kako se vidi iz formule, aktivni gubici ovise o kvadratu struje. Prema tome da bi se oni smanjili treba smanjiti struju s time da nam prijenosna snaga ostane nepromijenjenom. To se

može izvesti na taj način da se poveća naponska razina dotičnog prijenosa. Prema tome su prijenosne mreže karakterizirane višim naponom.

Taj pokazatelj ne može se kruto primijeniti za bilo koju mrežu, jer ovisi o razvoju i prilikama u kojim se ta mreža nalazi. U različitim zemljama napon koji čini granicu između prijenosnih i razdjelnih mreža je različit. U razvijenijim zemljama ta je granica predstavljena višim nazivnim naponom. Ta granica vezana je, dakako, i vremenom promatranja tijekom kojeg se mreža razvijala. Tako da je u istoj zemlji prije nekoliko desetljeća granica između prijenosne i razdjelne mreže bila niža naponska razina nego što je to danas.

Kako se vidi, između prijenosne mreže i razdjelne mreže postoji kvantitativna razlika glede mogućnosti prijenosa snage, daljini prijenosa i visine nazivnog napona.

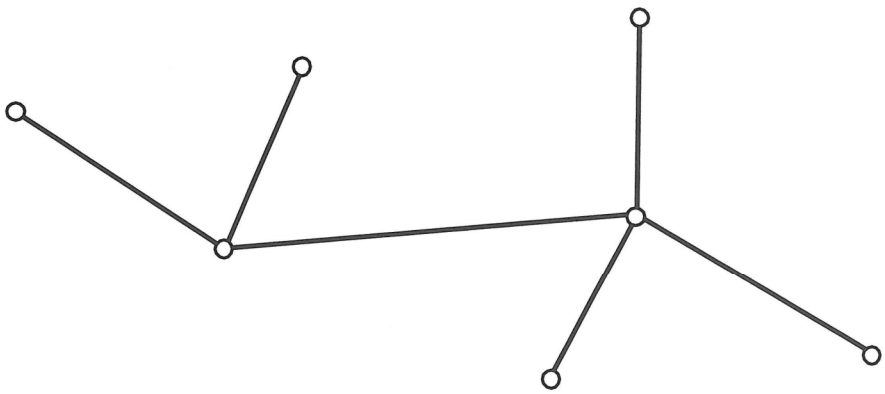
Problematika prijenosnih i razdjelnih mreža razlikuje se i u kvalitativnom pogledu. Prijenosne mreže čine vodovi koji međusobno povezuju čvorne točke na različitim geografskim prostranstvima i pri tome čine mreže zamkastog oblika.

Razdjelne mreže su dobrim dijelom otvorene te imaju zrakasti oblik, dok su u iznimnim slučajevima (velika gradska naselja) zamkastog oblika koji se bitno razlikuju od zamke kod prijenosnih mreža.

Budući da te dvije mreže imaju bitno različite konfiguracije i konstrukcije njihova problematika nije ista. Razlike između prijenosnih i razdjelnih mreža su u razlikama lokacije čvorova. Čvorovi kod prijenosnih mreža su unaprijed određeni po svojoj lokaciji, tj. očito će se nalaziti kod velikih izvora i u težištima velike potrošnje.

Obrnuto od ovog, razdjelne mreže koje često pokrivaju područja s jednoličnom potrošnjom ne mogu unaprijed imati lokaciju potrošačkih čvorova, primjerice gdje će se nalaziti transformatorske stanice 10 ili 20 kV na niski napon (0,4 kV).

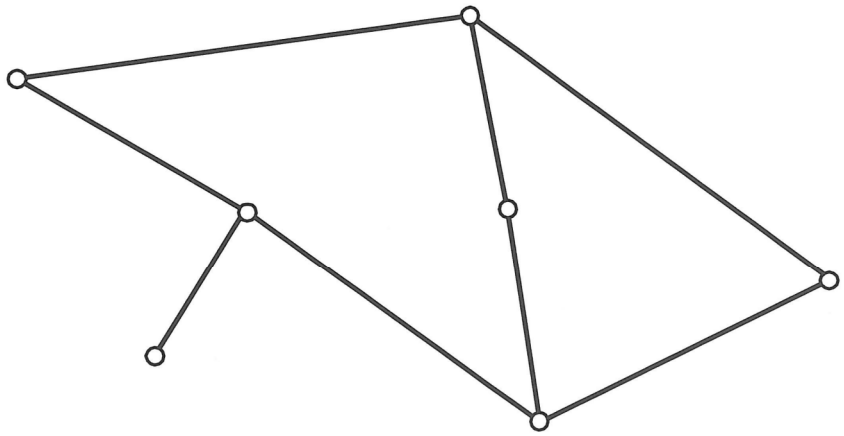
Prijenosna mreža kod nas danas obuhvaća vodove 110, 220 i 400 kV. Vodovi najviših napona mogu se graditi s obzirom na prijenosnu mrežu kao vodovi koji čine kičmu sustava (slika 17.) ili pak da čine petlju ili prsten. Prednost prve izvedbe je u tome što je ekonomski prihvatljivija, jer joj je manja dužina, a s time i manja cijena. Dok je s aspekta sigurnosti napajanja neprihvatljivija, zbog toga jer se ispadom voda u sredini kičme ona raspada na dva dijela, što u tom slučaju otežava transport energije.



Slika 17. Mreža najvišeg napona u obliku kičme

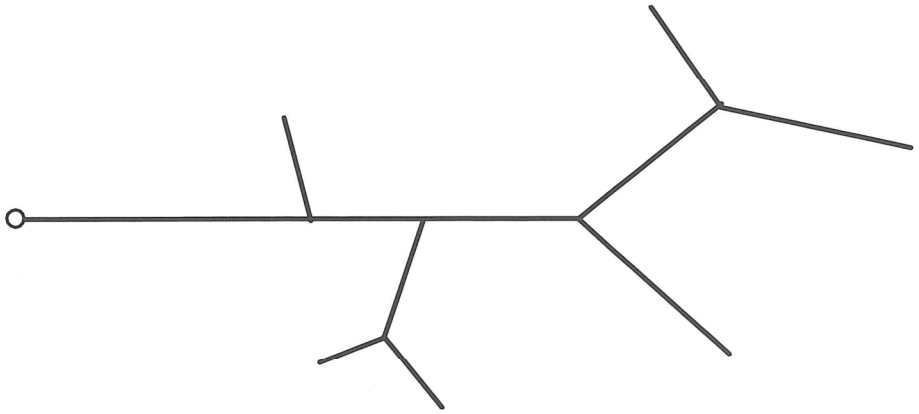
Prstenasta mreža (slika 18.) ima veću pogonsku sigurnost napajanja, jer se ispadom pojedinog voda (dionice) prijenos energije može ostvariti s druge strane. Međutim, ona je nešto skuplja. Kod prijenosnih mreža analizira se problematika tokova snaga, kratkog spoja i sta-

bilnosti (napona i kuta). Bitno je ovdje napomenuti da se kod prijenosnih mreža računa uglavnom sa snagama neovisno o naponu čvorova, zbog toga što se potrošač nalazi na nižem naponu. Između njega i prijenosne mreže nalazi se nekoliko naponskih razina koje imaju mogućnost regulacije (automatske ili ručne) napona, tako da bez obzira koliki je napon na dotičnom čvoru potrošač uvijek ima nazivni napon, a s time i snagu. Prema tome, on uvijek uzima istu snagu iz prijenosne mreže, ako se pri tome zanemare gubici među transformacijama, bez obzira na napon u dotičnom čvoru (slika 18.). U novije vrijeme razvija se prijenos istosmjernom strujom.



Slika 18. Mreža najvišeg napona u obliku prstena

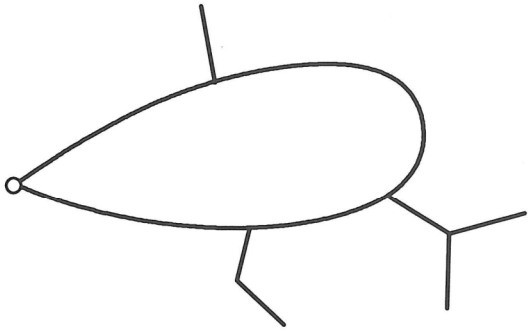
Razdjelne mreže pokrivaju manja područja i nižeg su napona. Među sobom se razlikuju prema izvedbi, tj. napajaju li se iz jedne, dviju ili više točaka. Ako je napajanje s jedne strane onda se govori o radijalnim ili prstenastim mrežama (slika 19.).



Slika 19. Radijalna mreža

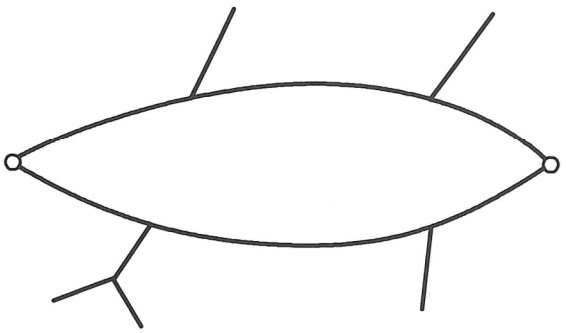
Radijalna mreža je najjednostavniji oblik mreže. Veoma je pregledna i jednostavna za selektivnu zaštitu. U pogonu ima najmanju pouzdanost zbog toga što kvar na vodu neposredno do pojne točke dovodi do prekida napajanja svih potrošača električnom energijom.

Prstenasta mreža (slika 20.) ima iste prednosti kao i radijalna s tom razlikom da se kod nje u odnosu na radijalnu povećava pogonska sigurnost, jer se svaki potrošač napaja s dviju strana.



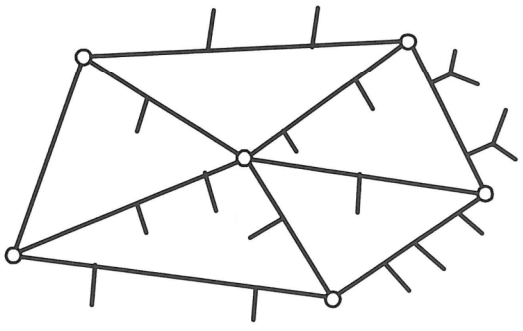
Slika 20. Prstenasta mreža

Ako postoji napajanje s dviju strana, onda se govori o dvostrano napajanom vodu (slika 21.). Sigurnost napajanja potrošača je veća nego kod prstenaste mreže, jer se potrošač napaja iz dviju pojnih točaka.



Slika 21. Dvostruko napajani vod

Ako u mreži imamo više pojnih točaka koje su međusobno povezane govorimo o zamkastoj mreži (slika 22.). Kod te mreže sigurnost napajanja potrošača je najveća. Međutim, teško je izvesti selektivnu zaštitu.



Slika 22. Zamkasta mreža

U praksi postoje razne konfiguracije tih mreža, a osnovni kriterij kod proračuna je onaj pada napona, jer se mora potrošaču osigurati nazivni napon ili pak napon blizak nazivnom.

2.4.4 Naponske razine, presjeci i snage prijenosa

Kad se govori o naponskim razinama mreža ponajprije se misli na nazivne vrijednosti napona. Nazivni napon je onaj napon za koji je određeni element mreže u širem smislu konstruiran i građen. Kod gradnje elemenata mreže za određeni nazivni napon u prvom redu treba voditi računa o tome da dotični element bude jeftin, ekonomičan u pogonu, pouzdan i trajan.

Nazivni napon osigurava optimalne uvjete rada elemenata mreže, aparata i pomoćnih uređaja u elektroenergetskom sustavu. Općenito napon ne utječe samo na naprezanje izolacije, već i na ostale fizikalne osobine na kojima dotični element počiva (magnetski tok, gubici u željezu, gubici u dielektriku itd.). Prema tome, odstupanje od nazivne vrijednosti napona istodobno znači odstupanje od optimalnih uvjeta rada. Iz navedenoga proizlazi da u svim točkama elektroenergetskog sustava vrijednost napona mora biti jednaka nazivnom naponu.

Poznato je da su u mrežu priključeni izvori i potrošači električne energije. Prema tome postoji tok struje kroz elemente mreže od izvora k potrošaču. Ta struja stvara pad napona na tim elementima, što znači da, ako je napon izvora jednak nazivnom naponu, potrošač ima napon koji je jednak nazivnom naponu umanjenom za pad napona na prijenosu. Dakle, potrošač ima manji napon od nazivnog, što znači da odstupa od optimalnog rada. Međutim, optimalni rad potrošača dopušta mala odstupanja napona od nazivne vrijednosti. Da bi se potrošaču osigurao napon što bliži nazivnoj vrijednosti, u mreži se ugrađuju elementi koji imaju ulogu regulacije napona. Ti elementi su regulacioni transformatori, kondenzatorske baterije, prigušnice, sinhroni kompenzatori itd. S tim elementima se može osigurati nazivna vrijednost napona ili približno ta vrijednost, iako u sustavu može doći do većih odstupanja napona.

Osim nazivnog napona postoji još i najviši dopustivi pogonski napon (maksimalni pogonski napon).

Maksimalnim pogonskim naponom određena je izolacijska razina elemenata mreže i elemenata zaštite od prenapona. U svakom trenutku stacionarnog stanja iznos napona na bilo kojem mjestu u sustavu ne smije prekoračiti maksimalni pogonski napon.

Standardizirane vrijednosti nazivnih i maksimalnih pogonskih napona navedene su u tablici 11.:

Nazivni napon	3	6	10	20	35	60	110	220	400	kV
Maksimalni pogonski napon	3,6	7,2	12	24	38	72,5	123	245	420	kV

Tablica 11.

Dopremanje potrebne energije od izvora do potrošača obavlja se preko vodova. Ti vodovi moraju biti tako dimenzionirani da su u stanju to prenijeti uz minimalne troškove. To znači da presjek tih vodova mora biti tako odabran da zadovolji dopuštene padove napona, ako se radi o razdjelnim mrežama, odnosno da gubici snage (energije) budu što manji, ako se radi o prijenosnim mrežama.

Presjek voda prijenosne mreže uvjetovan je očekivanom maksimalnom snagom prijenosa u stacionarnom režimu rada, gubicima radne snage te gubicima korone. Pri tome treba još voditi računa o dinamičkim i termičkim naprezanjima. Ako se želi povećati snaga prijenosa, onda je logično da se ide na veće presjeke. Međutim, ti presjeci ne mogu biti proizvoljno veliki, jer jednostavno tehnički nisu izvedivi. Zbog toga se prelazi na vodiče u snopu. Broj vodiča u snopu može biti: dva, tri i više. Vodovi s vodičima u snopu nazivaju se još i teškim vodovima.

Izbor presjeka vodiča kod razdjelnih mreža temelji se na zahtjevu da se najudaljenijem potrošaču osigura napajanje električnom energijom uz uvjet da odstupanje napona, na njegovim priključnim sabirnicama, od nazivnog bude u dopuštenim granicama. Pri tome gubici snage, odnosno energije, moraju biti u granicama dopuštenih iznosa. Nadalje je potrebno obaviti nadzor s obzirom na dinamička i termička naprezanja.

U razdjelnim mrežama izvori napajanja su pojne točke. Naime, polazi se od pretpostavke da su naponi pojnih točaka poznati po iznosu i kutu. Ta pretpostavka je opravdana zbog toga što se iznos napona pojnih točaka može održavati pomoću regulacijskih transformatora, dok se razlika kutova napona između pojnih točaka može zanemariti zbog njihove međusobne blizine.

Vodovi razdjelnih mreža su manjih dužina i nižih napona, pa se utjecaj kapaciteta, a pogotovo odvoda, može zanemariti. Uzima se samo u obzir uzdužni radni i induktivni otpor.

Da bi se odredio napon na potrošaču, treba poznavati pad napona duž voda. On iznosi:

$$\Delta V = \frac{P_2 R + Q_2 X}{V_2} \tag{8}$$

gdje je

P_2 - radna snaga na kraju voda, odnosno radna snaga potrošača (po fazi)

Q_2 - jalova snaga na kraju voda, odnosno jalova snaga potrošača (po fazi)

R - radni otpor voda

X - induktivni otpor voda

V_2 - fazni napon na kraju voda, odnosno na potrošaču.

Prijenos snage od pojne točke do potrošača obavlja se uz radne i jalove gubitke snage. Oni se izračunavaju prema izrazima:

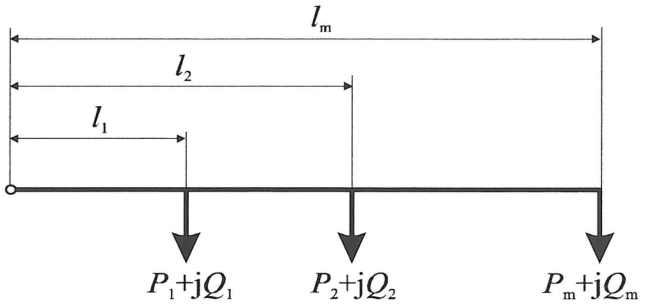
$$\Delta P_{\mathrm{g}} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R \tag{9}$$

$$\Delta Q_{\mathrm{g}} = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} X \tag{10}$$

gdje su ΔP i ΔQ trofazni gubici radne odnosno jalove snage. P i Q je radna i jalova snaga potrošača (trofazno), a U je linijska vrijednost nazivnog napona na potrošaču.

Do sada je promatran vod koji je opterećen na kraju. U praksi se javljaju vodovi opterećeni na više mjesta. Opterećenja mogu biti veoma gusto priključena na vod; u tom slučaju se govori o kontinuiranom opterećenom vodu. Odabiranje presjeka voda uz dopušteni pad napona obavlja se prema izrazu za:

a) Vod opterećen duž trase (slika 23.)

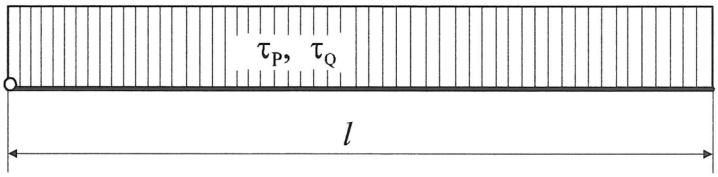


Slika 23. Vod opterećen duž trase

$$q = \frac{\sum_{j=1}^{j=m} P_j \cdot l_j}{\varkappa \left(\frac{\Delta u\%}{100} U_n^2 - X_1 \sum_{j=1}^{j=m} Q_j \cdot l_j \right)} \tag{11}$$

U ovom izrazu radna (P) i jalova (Q) snaga su trofazne, U_n je nazivni linijski napon, $\varkappa$ je vodljivost vodiča, $\Delta u\%$ je dopušteni pad napona u postotcima, X_1 je induktivni otpor voda po jedinici dužine, a l_j je dužina voda od pojne točke do j – tog potrošača.

- Vod kontinuirano opterećen (slika 24.)



Slika 24. Kontinuirano opterećen vod

Presjek trofaznog voda se određuje prema izrazu:

$$q = \frac{\tau_P}{\varkappa - \left(\frac{\Delta u\%}{100} \frac{2U_n^2}{l^2} - \tau_Q \cdot X_1 \right)} \tag{12}$$

$$\tau_P = \frac{P}{l} = konst. \tag{13}$$

$$\tau_Q = \frac{Q}{l} = konst. \tag{14}$$

gdje su P i Q radna i jalova trofazna snaga koja ulazi u vod.

U praksi se susreću vodovi s kombiniranim opterećenjem. Njihov presjek se određuje na temelju naprijed navedenih izraza.

Osim gore spomenutog napajanja potrošača s jedne strane, postoji još napajanje s dviju i više strana. Određivanje presjeka vodova u tom slučaju svodi se na gore izneseno razmatranje s time što je potrebno prethodno odrediti razdjelni potrošač. Razdjelni potrošač je onaj potrošač koji ima najniži napon u promatranoj mreži.

Kod određivanja presjeka vodova uzima se sljedeća veća nazivna vrijednost, ako se izračunati presjek nalazi između dviju nazivnih vrijednosti. Nazivne vrijednosti presjeka su: 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500 mm^2.

Obrnuto, ako se želi znati koja se snaga može prenijeti vodom poznatih karakteristika uz dopušteni pad napona koriste se naprijed navedene jednadžbe.

2.4.5 Gubici snage i energije u električnim mrežama

Poznato je da se elektroenergetski sustav sastoji od izvora, mreže i potrošača. Potrošači uzimaju u svakom trenutku neku snagu iz sustava koji izvor mora dati, da bi sustav bio u ravnoteži. Budući da je riječ o električnom potrošaču to znači da on uzima neku struju iz mreže, odnosno izvora. Prema tome ta struja teče kroz vodove od izvora k potrošačima i pri tome stvara određene padove napona i gubitke snage na tim vodovima. Da bi se spomenuta problematika što jednostavnije analizirala, promatrat će se posebno prijenosne, a posebno razdjelne mreže. Kod prijenosnih mreža problematika pada napona nije toliko interesantna kao problematika gubitaka snage, odnosno energije. Međutim, kod razdjelnih mreža problematika pada napona je primarnog značenja, dok je problematika gubitaka snage, odnosno energije, sekundarnog značenja.

Analizom će se početi od potrošača, koji uzimaju određenu snagu uz nazivni napon, a vezani su preko razdjelne mreže na pojne točke koje se nalaze na prijenosnoj mreži. Između potrošača i pojnih točaka postoji gubitak radne i jalove snage, a iznos tih gubitaka određuje se općenito za vod j prema prema izrazu:

$$\Delta P_j = \frac{P_j^2 + Q_j^2}{U^2} R_j \tag{15}$$

$$\Delta Q_j = \frac{P_j^2 + Q_j^2}{U^2} X_j \tag{16}$$

gdje je:
P_j - radna snaga koja teče kroz vod,
Q_j- jalova snaga koja teće kroz vod,
R_j - omski otpor voda,
X_j - induktivni otpor voda,
U - nazivni napon voda.

Prema tome ukupni radni gubici snage u razdjelnoj mreži su:

$$\Delta P_{\mathrm{g}} = \sum_{j=1}^{j=G} \Delta P_j \tag{17}$$

dok su ukupni gubici jalove snage

$$\Delta Q_{\mathrm{g}} = \sum_{j=1}^{j=G} \Delta Q_j \tag{18}$$

gdje je G ukupni broj vodova u razdjelnoj mreži. Snage pojnih točaka su jednake snazi potrošača uvećane za gubitke u razdjelnoj mreži.

Pojne točke predstavljaju potrošače u prijenosnoj mreži.

Promatrat će se prijenosni sustav kojem je ukupni broj čvorišta N. Na svako čvorište su priključeni izvori snage i potrošač snage, te svako čvorište ima modul i kut napona.

Ukupni gubici snage u prijenosnom sustavu su:

$$\Delta S = \sum_{i=1}^{i=N} S_i \tag{19}$$

S_i je snaga čvorišta dana izrazom:

$$S_i = (C_i + j \cdot D_i) - (P_i + j \cdot Q_i) \tag{20}$$

gdje je:
C_i - radna snaga izvora,
D_i - jalova snaga izvora,
P_i- radna snaga potrošača,
Q_i - jalova snaga potrošača.

Odavde su gubici radne snage:

$$P_{\text{pg}} = \mathbf{Re}\ (\Delta S) \tag{21}$$

i gubici jalove snage:

$$Q_{\text{pg}} = \mathbf{Im}\ (\Delta S) \tag{22}$$

gdje **Re** znači realni dio, a **Im** imaginarni dio.

Odnosno, poznavajući napone čvorišta ($\mathbf{V}$) i matricu vlastitih i međusobnih admintacija čvorišta ($\mathbf{Y}$) te čvorište u kojem se nalazi regulacijska elektrana (r) ti gubici su:

$$\Delta P_{\text{pg}} = \mathbf{Re}\left(\mathbf{V}_r \sum_{i=1}^{N} \mathbf{Y}_{ri} \cdot \mathbf{V}_i\right) + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq r}}^{N} C_i - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq r}}^{N} P_i \tag{23}$$

$$\Delta Q_{\text{pg}} = \mathbf{Im}\left(\mathbf{V}_r \sum_{i=1}^{N} \mathbf{Y}_{ri} \cdot \mathbf{V}_i\right) + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq r}}^{N} D_i - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq r}}^{N} Q_i \tag{24}$$

Ukupni gubici snage u elektroenergetskom sustavu u svakom trenutku su jednaki zbroju gubitaka u prijenosnoj i u razdjelnoj mreži:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{g}} + \Delta P_{\text{pg}} \tag{25}$$

$$\Delta Q = \Delta Q_{\text{g}} + \Delta Q_{\text{pg}} \tag{26}$$

Ti gubici mogu se izračunati u svakom trenutku, a njihov iznos nije konstantna veličina, već je funkcija vremena. Naime, potrošač ne uzima stalno istu snagu, već se ona vremenski mijenja. Budući da su ti gubici ovisni o snazi potrošača to znači da će se i oni vremenski mijenjati.

Uvažavajući navedenu činjenicu, gubitak radne energije u elektroenergetskom sustavu u nekom vremenskom intervalu bit će:

$$\Delta W_{\text{P}} = \int_{t_1}^{t_2} \Delta P\,(t) \cdot \text{dt} \tag{27}$$

odnosno za jalovu energiju:

$$\Delta W_{\mathrm{Q}} = \int_{t_1}^{t_2} \Delta Q\,(t) \cdot \mathrm{dt} \tag{28}$$

gdje je t_1 početak promatranog vremenskog intervala, a t_2 kraj tog intervala.

2.4.6 Problem jalove snage i energije u električnim mrežama

Potrošači pored radne snage uzimaju iz mreže još i jalovu (reaktivnu) snagu. Jalova snaga je potrebna da bi se osigurala transformacija radne snage u neki drugi korisni oblik. Rad potrošača u optimalnim uvjetima podrazumijeva napon nazivne vrijednosti. Pri tom naponu potrošač uzima upravo onoliko jalove snage koliko mu je potrebno za optimalan rad. Promjena iznosa napona uvjetuje odstupanje od optimalnog rada. Na temelju toga može se zaključiti da je jalova snaga funkcija napona, i obrnuto, da je napon na sabirnicama elektroenergetskog sustava vezan s problemom jalove snage. Prema tome, izvori snage moraju osim radne dati i jalovu snagu. Kroz prijenosni sustav, dakle, teku radne i jalove snage.

U pogonu elektroenergetskog sustava postoje dva interesantna stanja i to: kada je sustav opterećen i kada je sustav neopterećen. Kod opterećenog sustava postoji veliko opterećenje radnom i jalovom snagom, a prema tome i tokovi velikih snaga kroz prijenosni sustav, koji će uvjetovati velike padove napona. Kod takvog stanja postoje manji naponi na sabirnicama potrošača. Ta pojava je naročito izražena onda kada u blizini potrošačkog centra nema nekog jakog izvora, pa je potrebno snagu dobavljati dalekovodima iz većih udaljenosti. Tokovi jalovih snaga u mreži nisu poželjni zbog toga što smanjuju prijenosnu moć radne snage, i povećavaju radne gubitke u mreži. Da bi se popravile naponske prilike i smanjili gore spomenuti gubici, treba smanjiti iznose tokove jalovih snaga. U tu svrhu grade se kompenzacijska postrojenja u blizini velikih potrošačkih središta, ako ne postoji mogućnost izgradnje energetskog izvora. Kompenzacija jalove snage može biti izvedena pomoću sinhronih kompenzatora, pomoću kondenzatorskih baterija i FACTS-uređaja (FACTS=flexible AC transmission-systems, prilagodljivi prijenosni sustavi u mrežama izmjenične struje). Do danas su se isključivo primjenjivali sinhroni kompenzatori, dok se sada primjenjuju kondenzatorske baterije i FACTS uređaji.

Sinhroni kompenzatori i svi uređaji imaju prednost pred kondenzatorskim baterijama, zbog toga što imaju kontinuiranu regulaciju jalove snage, za razliku od kondenzatorske baterije kod koje je ta regulacija skokovita (diskontinuirana). Proizvodnja jalove snage tih uređaja ne ovisi o naponu sabirnica na koje je uređaj priključen kao u slučaju kondenzatorske baterije, nego o vlastitoj uzbudi sinhronog kompenzatora, odnosno upravljačkom nalogu SVC-uređaja, koji se dade voditi ovisno o željenim parametrima u mreži. Trofazna jalova snaga koju daje kondenzatorska baterija ovisi o kvadratu napona.

$$Q_c = \frac{U^2}{X_c} \tag{29}$$

gdje je X_C je reaktancija kondenzatorske baterije, a U je iznos linijskog napona.

Ugradnjom kondenzatorskih baterija stvara se mogućnost pojave unutarnjih (sklopnih) prenapona koji mogu biti veoma neugodni sa stajališta normalnog pogona.

Sinhroni kompenzator kao sinhroni stroj ima problem stabilnosti pogona.

Međutim, danas se sve više prelazi na odgovarajući FACTS-uređaj koji pruža najšire mogućnosti regulacije same kompenzacije, ovisno od svojstava koje želimo da ima ta regulacija.

Kod neopterećenog sustava postoji obrnuti problem. Vodovi visokih napona, ako su slabo opterećeni ili ako su u praznom hodu ponašaju se kao proizvođači jalove snage (energije), što dovodi do povišenja napona na sabirnicama postrojenja u elektroenergetskom sustavu. To povećanje je nepogodno s pogonskog aspekta, jer ubrzava starenje izolacije, a u krajnom slučaju i do proboja iste. Da bi se to izbjeglo treba graditi generatore koji će moći raditi u kapacitivnom području tj. koji su u stanju proizvoditi radnu snagu uz uzimanje reaktivne snage iz mreže ili pak prigušnice koje će kompenzirati tu proizvedenu jalovu snagu.

Prigušnice mogu biti konstruirane za izravan ili neizravan priključak na visokonaponsku mrežu. Izravan priključak se rjeđe primjenjuje, jer je tehnološki teže izvesti takovu prigušnicu. Kod neizravnog priključka prigušnica se priključuje preko transformatora na visokonaponsku mrežu.

U našem energetskom sustavu ugrađuju se generatori s mogućnošću rada u kapacitivnom području, te prigušnice s indirektnim priključkom.

2.4.7 Problemi stabilnosti

Svaki prijenos ima maksimalnu snagu koja se može prenijeti. Veću snagu od maksimalne jednostavno nije moguće prenijeti, jer se ne može postići takvo pogonsko stanje. Ta granica nije uvjetovana opasnošću od termičkog oštećenja niti kvalitetom električne energije (iznosom napona).

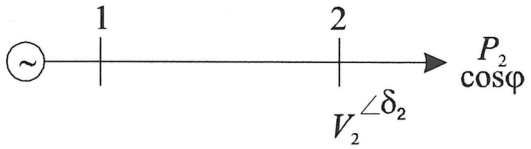
Prijenos se može podijeliti na dva osnovna sustava:

1. Trofazni izvor napaja pasivni potrošač (slika 24.a),
2. Trofazni izvor napaja sinhroni motor (slika 24.c).

Uredan pogon zahtijeva da sustav u svakom trenutku ima određeni napon, a uz taj uvjet postoji maksimalna snaga prijenosa koja se može prenijeti kroz sustav.

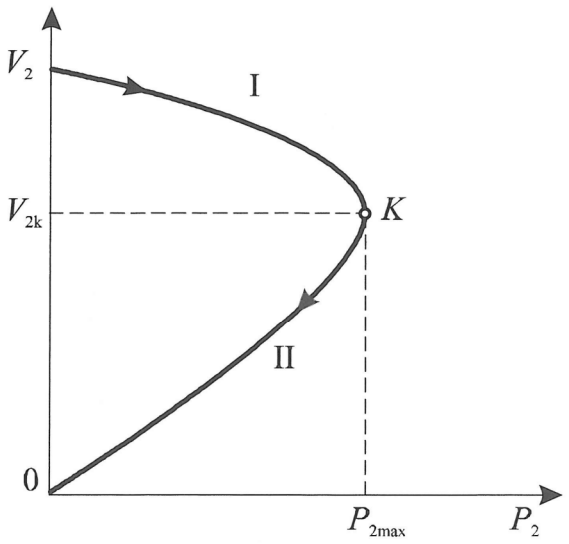
2.4.7.1 Stabilnost napona

Kod prvog slučaja (slika 24.a) može se trofazni izvor (mreža) prikazati pomoću Theveninovog ekvivalenta s pripadnom impendancijom i elektromotornom silom gledano s točke priključka opterećenja (2).



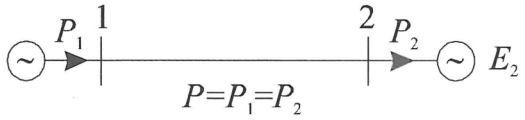
Slika 24.a Pasivni teret

Pri tom se može uzeti da je elektromotorna sila konstantna po iznosu i kutu. Povećanje iznosa radne snage opterećenja (P_2), ovisno o parametrima Theveninove impedancije i o faktoru snage opterećenja, dolazi do blagog smanjenja iznosa napona (V_2) u točki 2 (I. dio krivulje na slici 24.b).



Slika 24.b Iznos napona na mjestu priključka opterećenja

Povećanje opterećenja može ići samo do P_{2max}, tj. do točke K (I. dio krivulje). Ovo je kritična točka, jer dovoljan je samo mali poremećaj pa da se krene iz točke K ne nazad po I. dijelu krivulje, već po II. dijelu krivulje. Kako se vidi, unatoč smanjenju opterećenja dolazi do smanjenja iznosa napona. Nakon nekog vremena iznos napona past će na nulu. Ova se pojava zove slom napona i ona je lokalnog karaktera.



Slika 24.c Dvostajni ritam

2.4.7.2 Stabilnost kuta

Drugi slučaj, sa sinhronim strojevima na krajevima prijenosa (slika 24.c), pripada problematici stabilnosti kuta rotora sinhronih strojeva. U problematici stabilnosti obrađuje se kako i do kada se može obavljati promjena pogonskog stanja, a da strojevi ne ispadnu iz sinhronizma. Ako ne dođe do raspada sustava, kaže se da je sustav sačuvao stabilnost. Dakle, do gubitka stabilnosti dolazi zbog promjena pogonskog stanja, a te promjene mogu biti različite po intenzitetu i po vremenu trajanja. Na temelju toga problem stabilnosti može se podijeliti s obzirom na brzinu promjena u dvama ekstremnim stanjima. Ako su promjene stanja veoma polagane, odnosno ako njihova brzina teži nuli, onda se govori o statičkoj stabilnosti. Polagane promjene mogu dovesti do takvog pogonskog stanja u kojemu se ne može sinhronizam održati, odnosno izgubi se statička stabilnost. Međutim, ako su promjene stanja veoma brze, onda se govori o dinamičkoj ili tranzientnoj stabilnosti. Kod dinamičke stabilnosti važne su nagle promjene stanja, a pod tim pojmom smatraju se: nagle promjene snage tereta, nagle promjene snage izvora, nagle promjene konfiguracije mreže i kratki spojevi u mreži. Kratki spojevi pripadaju najnepovoljnijim stanjima mreže od svih gore spomenutih,

pa se kod analize dinamičke stabilnosti promatra mreža samo u takvom stanju. Ako bude sačuvana stabilnost kod nastanka kratkog spoja, onda će biti sačuvana i kod ostalih poremećaja. Naime, kod brzih promjena pogonskog stanja dolazi do njihanja rotirajućih masa (generatora, turbina, motora i tereta na osovini). Budući da u elektroenergetskom sustavu svi strojevi nisu istih karakteristika, doći će do različitog njihanja tih masa. Ako se položaji njihovih rotora (elektromotornih sila) međusobno previše udalje doći će do definitivnog gubitka sinhronizma.

Gubitak stabilnosti (ispad iz sinhronizma) bilo kojeg stroja, kod polaganih ili brzih promjena pogonskog stanja, stavlja ostale strojeve u teži položaj, jer se opterećenje prenosi na njih, pa i oni počinju ispadati iz pogona što dovodi do potpunog raspada sustava. U tom slučaju dolazi do prekida opskrbe potrošača električnom energijom, nakon čega nastaju velike štete za nacionalnu ekonomiju. Dovođenje elektroenergetskog sustava u uredan pogon može potrajati dosta dugo.

Statička stabilnost

Osnovni problem je određivanje maksimalne snage prijenosa, a pri tome se uvijek misli na radnu snagu. Već je rečeno da ta snaga ovisi o veličini napona u sustavu, značajkama sustava i kutu između napona. Promatrat će se sustav od dva stroja zbog jednostavnosti analize, a kasnije će se razmatranje proširiti na elektroenergetski sustav s više strojeva. Dakle, postoji generator i sinhroni motor koji su povezani preko jednog voda kojem su zanemarene poprečne grane i uzdužni radni otpor. Izraz za snagu koja se prenosi sustavom je:

$$P = \frac{V_1 \cdot V_2}{X} \sin \delta \tag{30}$$

gdje je

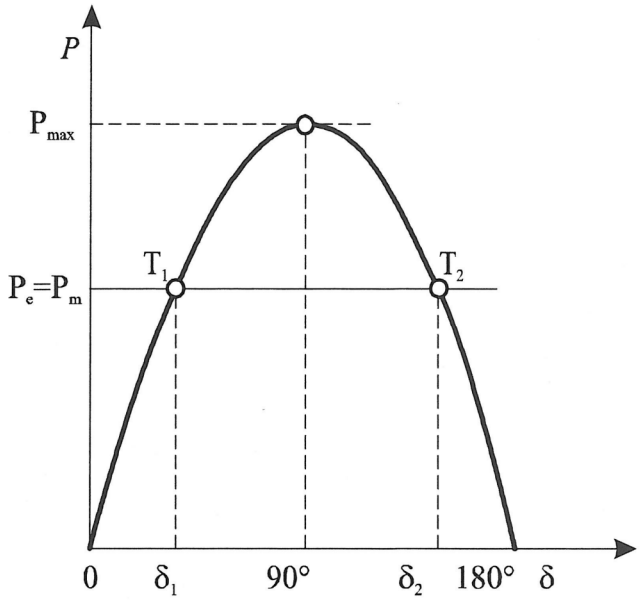
V_1 - iznos napona (elektromotorne sile) na početku prijenosa,

V_2 - iznos napona (elektromotorne sile) na kraju prijenosa,

X - ukupna reaktancija prijenosa,

δ - kut između vektora napona V_1 i V_2.

Iz navedenog izraza se vidi da na maksimalnu snagu prijenosa utječu naponske prilike u sustavu (V_1, V_2) i karakteristika prijenosa (X). Reaktancija prijenosa (X) je zbroj reaktacija generatora, voda i sinhronog motora. Pretpostavimo da su iznosi elektromotorne sile V_1 i V_2 konstante, te da nema promjene parametara prijenosa. Prijenosna snaga, pod tim pojmom podrazumijeva se električna snaga izvora, funkcija je kuta između elektromotornih sila. Ta funkcijska veza je sinusnog karaktera ($P = \mathrm{k}\ sin\,\delta$) koja se može grafički prikazati (slika 25.).



Slika 25. Ovisnost prijenosne snage o kutu

Pretpostavi li se da je mehanička snaga turbine (P_m), ako se zanemare gubici u stroju, jednaka električnoj koju generator daje u mrežu (P_e). Iz slike 25. se vidi da postoje dvije radne točke T_1 i T_2 s pripadnim kutevima δ_1 i δ_2. Točka T_1 nalazi se u stabilnom dijelu prijenosa, a točka T_2 se nalazi u nestabilnom dijelu prijenosa. U točki T_2 u pravilu nije moguć normalan pogon. Međutim, ako se radi o veoma dugačkim prijenosima, onda se u toj točki mora održavati normalan pogon. To održavanje vezano je za ugradnju veoma brzih regulatora uzbude generatora. Održavanje stabilnosti u ovoj točki naziva se umjetna statička stabilnost.

Elektroenergetski sustav ima više sinhronih strojeva (generatora i motora). Radna snaga j – tog stroja je

$$P_j = \sum_{k=1}^{n} V_j \, Y_{jk} \, V_k \cos\left(\theta_{jk} + (\delta_k - \delta_j)\right) \tag{31}$$

gdje je

n - ukupni broj sinhronih strojeva

V_j - modul elektromotorne sile j – tog sinhronog stroja

V_k - modul elektromotorne sile k – tog sinhronog stroja

Y_{jk} - modul admintacije čvorišta

θ_{jk} - kut admintacije čvorišta

δ_k - kut elektromotorne sile k prema referentnom čvorištu

δ_j - kut elektromotorne sile j prema referentnom čvorištu.

Sustav od više strojeva smatra se statički stabilnim, ako su zadovoljeni sljedeći kriteriji:

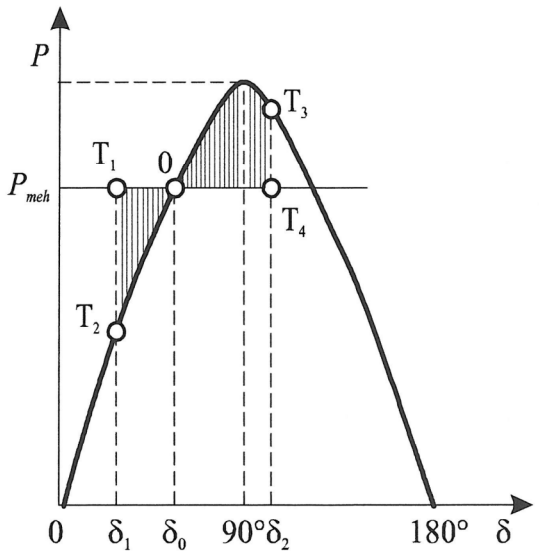
$$\frac{\partial P_j}{\partial \delta_j} > 0, \quad j = 1, 2, \ldots n \tag{32}$$

Ovaj kriterij nije sasvim korektan, ali je praktički moguć. Pored ovog kriterija postoji i kriterij:

$$\frac{\partial P_j}{\partial V_j} > 0, \quad j = 1, 2, \ldots n. \tag{33}$$

Dinamička stabilnost

Zbog jednostavnosti analize promatrat će se opet jedan stroj (generator) koji je priključen na krutu mrežu (veoma velika mreža koja nije osjetljiva na bilo kakve poremećaje). Električna snaga koju generator daje u mrežu može se grafički prikazati pomoću krivulje snaga – kut, koja uvažavajući gore spomenuta zanemarenja, ima oblik sinusoide (slika 26.).



Slika 26. Krivulja snaga - kut kod analiza dinamičkih stabilnosti

Električna snaga izračunava se po spomenutoj formuli, u koju sada ulazi iznos elektromotorne sile generatora, iznos napona krute mreže, reaktancije i kut između tih dvaju napona. Budući da se ovdje radi o brzim promjenama prilika u mreži ponašanje generatora nije isto kao kada su te promjene polagane. Zato se kod takvih razmatranja uzima tranzientna reaktancija generatora, a nije potrebno uzimati subtranzientnu reaktanciju, jer njihanje nije veoma brzo.

U stacionarnom stanju turbina daje generatoru neku snagu (P_m), za koju smo pretpostavili da ne ovisi o kutu. ta snaga u dijagramu snaga –kut se prikazuje kao horizontalni pravac. Radna točka sustava se nalazi u točki 0 kod kuta δ_0.

Već je navedeno da se kod dinamičke stabilnosti promatraju brze promjene stanja. Ako se pretpostavi da je neki uzrok doveo do nagle promjene kuta na veličinu δ_1 koji je manji od kuta δ_0, tada tom kutu odgovara manja električna snaga. Ako mehanička snaga u čitavom razmatranju ostaje nepromijenjena, tada se javlja neravnoteža snaga koja dovodi do ubrzavanja rotora, jer je mehanička snaga veća od predane električne energije, a pri tom se povećava kut δ. Kutna brzina rotora kod njihanja se bitno ne mijenja, pa se može smatrati da je predana električna snaga proporcionalna momentu vrtnje. Zbog toga je kutno ubrzanje rotora proporcionalno razlici mehaničke i predane električne snage. Kut δ se povećava do kuta δ_0. U toj točci predana električna snaga jednaka je mehaničkoj snazi, ali je kutna brz-

ina veća od sinhrone. Razlika mehaničke snage i predane električne snage ubrzala je rotor, tj. sada rotor posjeduje neku kinetičku energiju. Količina te energije može se izračunati i ona je jednaka površini koju čine točke 0, T_1 i T_2. U točki 0 mehanička snaga jednaka je predanoj električnoj snazi, a rotor posjeduje energiju ubrzavanja i kutna brzina mu je veća od sinhrone, zbog čega se kut δ i dalje povećava. No, u ovom području je predana električna snaga veća od mehaničke što dovodi do usporavanja rotora, pri čemu rotor troši akumuliranu energiju ubrzanja. Rotor ide do točke T_3 odnosno kuta δ_2 na slici 26. Površina 0, T_3 i T_4 mora biti jednaka površini 0, T_1 i T_2. U točci T_3 kutna brzina rotora jednaka je nuli. Međutim, sada je predana električna energija veća od mehaničke što dovodi do toga da se usporava rotor, odnosno smanjuje mu se kutna brzina, što znači da se kut δ smanjuje. Kada rotor dođe u položaj 0, kojem odgovara δ_0, dolazi do izjednačavanja predane električne snage i mehaničke snage. Brzina rotora je manja od sinhrone, pa će se uslijed retardacije kut i dalje smanjivati, s time da će se kutna brzina sada postepeno povećavati, jer je mehanička snaga veća od predane električne snage. Kut δ će se smanjivati do točke kojoj odgovara kut δ_1. Zatim se čitav postupak ponavlja. Kod sustava u kojem nema gubitaka to njihanje bi trajalo beskonačno dugo. Međutim, sustav bez gubitaka ne postoji, pa će se ta pojava postepeno smirivati. Iz navedenoga se može izvući zaključak da je uvjet za sačuvanje dinamičke stabilnosti jednakost površina 0, T_1 i T_2 (površina koja ubrzava) i 0, T_3 i T_4 (površina kočenja). Ovaj uvjet se naziva u literaturi "Površinski stavak".

Prema navedenom može se izvući zaključak da ako je površina koja ubrzava manja od površine koja usporava, stabilnost će biti sačuvana, i obrnuto, ako je površina ubrzavanja veća od površine usporavanja stabilnost će biti izgubljena.

Manjkavost analize pomoću dijagrama snaga-kut je u tome što se ne može uključiti vrijeme. Naime, to odgovara samo onda kada je samo jedna promjena stanja. Međutim, ako postoji više promjena stanja koja su funkcija vremena, analiza na ovaj način je skoro nemoguća. Uvažavajući to i spoznaju da sustav ima više strojeva, može se formirati diferencijalna jednadžba njihanja svakog stroja

$$\frac{\mathrm{d}^2\delta_j}{\mathrm{dt}^2} = \frac{P_{mj} - P_{e_j}}{\omega\, I_j} \quad j = 1, 2, \ldots n \tag{34}$$

gdje je:
I_j - moment tromosti rotirajućih masa,
P_{mj} - mehanička snaga,
P_{ej} - predana električna snaga. Ta snaga je funkcija kuta (δ) i vremena (t),
δj - kut elektromotorne sile prema referentnoj osi. On je u funkciji vremena (t),
ω - kutna brzina,
n - ukupan broj strojeva.
Sve ove jednadžbe rješavaju se istovremeno. Na kraju se dobiva za svaki stroj

$$\delta_j = f_j\,(t)\,, \quad j = 1, 2, \ldots n \tag{35}$$

Ako krivulje međusobnih razlika ovih kuteva istitravaju oko novog položaja kaže se da je sustav dinamički stabilan. U protivnom, ako samo jedna od tih krivulja ne istitrava oko novog položaja, tj. razlika kutova se s vremenom povećava (bez tendencije k vraćanju na manje vrijednosti) kaže se da je sustav izgubio stabilnost.

2.5 Izvori električne energije

2.5.1 Zadaci i uloga izvora električne energije u elektroenergetskom sustavu

Zadaci izvora električne energije su da u svakom momentu zadovolje potrošnju električne energije po snazi i po količini energije. Kad se kaže da izvori električne energije trebaju zadovoljiti potrošnju, u tom slučaju se pod potrošnjom podrazumijeva potrošnja koju traže potrošači električne energije i gubici koji nastaju u rasklopnim postrojenjima, prijenosnim i razdjelnim mrežama. Pored toga izvori električne energije moraju moći slijediti i iznenadne promjene opterećenja koje nastaju bilo naglim smanjenjem ili naglim povećanjem potrošnje. Isto tako u izvorima elektroenergetskog sustava mora biti toliko pričuve da se osigura normalan rad sustava u slučaju ispada najvećeg agregata ili ispada dvaju ili više manjih agregata. Kolika rotirajuća rezerva treba biti u elektroenergetskom sustavu ovisi o veličini elektroenergetskog sustava, o strukturi izvora električne energije, o veličini i broju agregata u elektroenergetskom sustavu, o vezama i ugovorima sa susjednim sustavima, o izgrađenosti prijenosnih vodova itd.

Uz osiguranje potrebne rotirajuće rezerve izvore u elektroenergetskom sustavu treba tako planirati i izgraditi da se osigura vrijeme za remont agregata u elektranama i da se računa sa stanovitom rezervom zbog kvarova u elektranama, jer potrošače treba osigurati i u slučaju dužih kvarova u elektranama i u vrijeme remonta elektrana.

Tri su osnovne vrste konvencionalnih izvora električne energije i to: hidroelektrane, termoelektrane i crpno-akumulacijska postrojenja.

2.5.2 Osnovna obilježja elektrana

Temeljna značajka elektrane je njezina instalirana snaga, koja je određena kao aritmetski zbroj nazivnih snaga generatora (MVA), odnosno kao aritmetski zbroj snaga turbina mjerenih na stezaljkama generatora (MW). Instalirana snaga je dakle nazivna snaga hidroelektrana.

Veličina izgradnje hidroelektrana (Q_i, instalirani protok u m^3/sek) po svom značenju odgovara instaliranoj snazi, koji odgovara maksimalnom protoku koji hidroelektrana može rabiti u normalnom pogonu, uzevši pri tome u obzir sve dijelove postrojenja.

Maksimalna snaga elektrane je ona najveća snaga koju elektrana kao cjelina može dati uz pretpostavku da su svi dijelovi elektrane sposobni za pogon. Za hidroelektranu se pri tome pretpostavlja da su protok i pad optimalni, a za termoelektranu da joj stoji na raspolaganju dovoljna količina goriva određene kvalitete i dovoljna količina vode normalne temperature i čistoće za hlađenje kondenzatora. Pri određivanju maksimalne snage ne postavlja se zahtjev za postizanje optimalnog stupnja djelovanja, ali se uzimaju u obzir utjecaji svih dijelova postrojenja: dimenzije dovoda, tlačnog cjevovoda odvoda i sl. kod hidroelektrana, kapacitet dopreme ugljena, učinak kotlova, kapacitet odvoda pepela, dovoda vode i sl. kod termoelektrana. Razlikuju se maksimalna snaga na priključnicama generatora (maksimalna brutto snaga) i maksimalna snaga na pragu elektrane (maksimalna neto snaga).

Raspoloživa snaga je najveća snaga koju elektrana može proizvesti u nekom momentu, polazeći od stvarnog stanja u elektrani, a uz pretpostavku da nema ograničenja radi proizvodnje jalove snage. Pri određivanju raspoložive snage kod hidroelektrana treba uzeti u obzir raspoloživi dotok i pad, a u termoelektrani kvalitetu goriva, količinu i temperaturu vode.

2.5.3 Značajke i vrste hidroelektrana

Hidroelektrana je postrojenje u kojemu se potencijalna energija vode pretvara u električnu energiju. Glavno obilježje hidroelektrane je moguća proizvodnja. Obično se moguća proizvodnja izražava kao srednja godišnja proizvodnja u GWh, a ona se dobiva kao aritmetska sredina mogućih godišnjih proizvodnja u promatranom što duljem nizu godina. Pod pojmom «moguća proizvodnja» podrazumijeva se maksimalna proizvodnja koja se može ostvariti korištenjem najveće moguće količine vode uz najpovoljnije uvjete, uvažavajući pri tome veličinu izgradnje svake od hidroelektrana. Pri računanju moguće proizvodnje treba raditi s neto protocima (bez vode za navodnjavanje i sl.), te uvažiti postojanje bilo vlastite bilo uzvodne akumulacije. Isto tako se pretpostavlja da su svi dijelovi postrojenja sposobni za pogon i da ne postoje ograničenja u preuzimanju energije ili bilo koja druga ograničenja.

S obzirom na postojanje i veličinu akumulacijskog bazena razlikuju se:

a) protočne hidroelektrane,

b) hidroelektrane s dnevnom i tjednom akumulacijom,

c) hidroelektrane sa sezonskom akumulacijom.

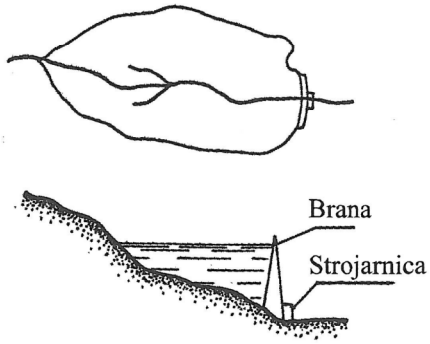
Kad se govori o veličini akumulacijskog bazena treba razlikovati ukupni ili geometrijski volumen od korisnog volumena akumulacijskog bazena. Ukupni volumen izražava se ukupnom količinom vode koja se može smjestiti između dna i najviše razine vode u akumulacijskom bazenu. Pod korisnim volumenom podrazumijeva se volumen vode koji se može smjestiti između najviše i najniže razine u normalnom pogonu. Za elektroenergetske analize zanimljiv je korisni volumen akumulacijskog bazena.

Relativna vrijednost korisnog volumena akumulacijskog bazena određuje se kao omjer korisnog volumena i ukupnog volumena vode koji tijekom godine dotječe u akumulacijski bazen.

Energetska vrijednost akumulacijskog bazena je količina električne energije koja bi se proizvela u vlastitoj hidroelektrani i u svim nizvodnim hidroelektranama za slučaj pražnjenja korisnog volumena bez dotoka vode u bazen i bez gubitaka vode.

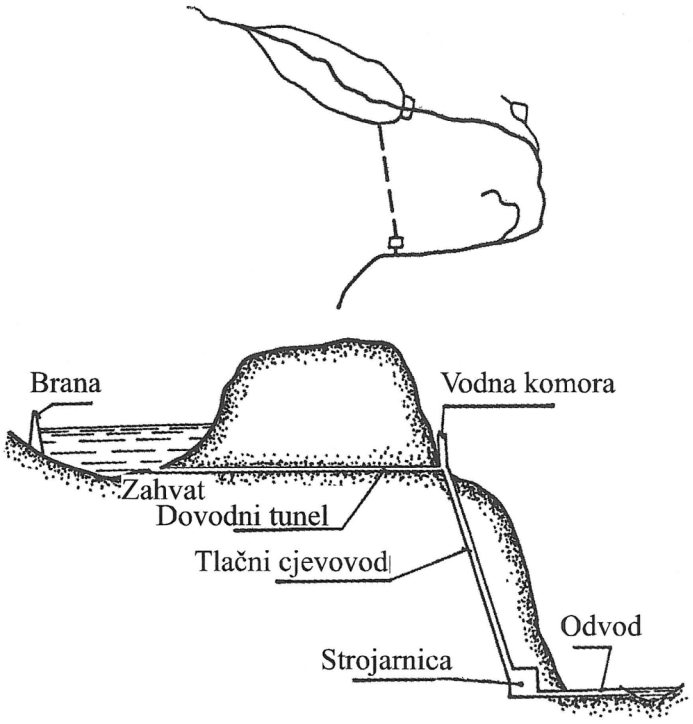
Osnovni dijelovi hidroelektrana su: pregrada (brana), zahvat, dovod, vodna komora, tlačni cjevovod, strojarnica i odvod. Prema načinu izvedbe hidroelektrane, koji ovisi o topografskim uvjetima, geološkim uvjetima, pogonskim zahtjevima, hidroenergetskom iskorištenju cijelog vodotoka (potrebe natapanja, zaštita od poplava, vodoopskrba) te zaštiti okoliša, zavisi koji od navedenih dijelova hidroelektrana ne mora imati. Jasno je da se o svakom od navedenih osnovnih dijelova hidroelektrana može mnogo pisati, ali je ovdje dovoljno samo njihovo navođenje.

S obzirom na izvedbu hidroelektrane se mogu podijeliti u dvije osnovne grupe: pribranske i derivacijske hidroelektrane. Pribranske hidroelektrane (slika 27.) obično imaju strojarnicu smještenu uz branu te unutar same brane ili je strojarnica izvedena kao dio brane. Kod pribranskih hidroelektrana nema potrebe za dovodom, vodnom komorom i odvodom, dok zahvat i tlačni cjevovod predstavljaju dio brane, odnosno strojarnice. Pribranske hidroelektrane obično se grade na većim rijekama i s malim padovima.



Slika 27. Pribranska hidroelektrana

Derivacijske hidroelektane (slika 28.) grade se obično na manjim vodotocima i na višim padovima. One u pravilu imaju sve naprijed navedene osnovne dijelove. Dovod kod derivacijskih hidroelektrana može biti tlačni ili gravitacijski. Strojarnica može biti ukopana ili na otvorenom.



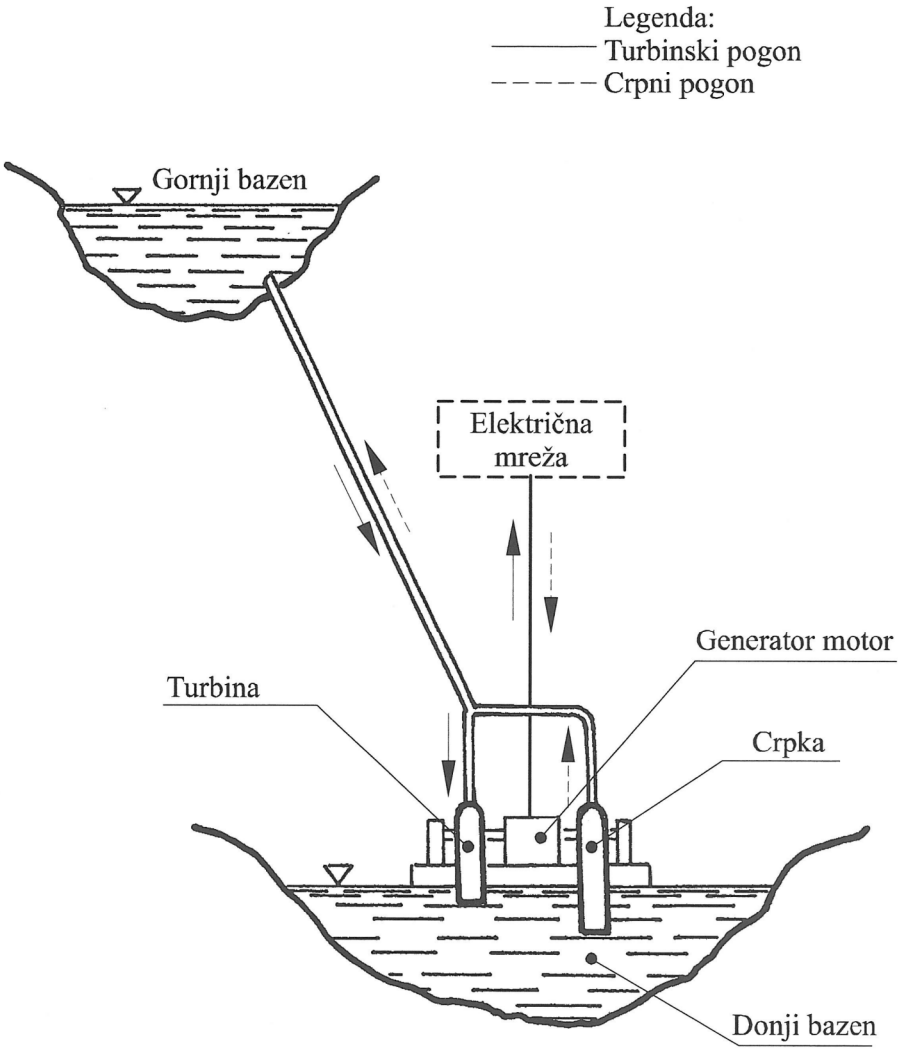
Slika 28. Hidroelektrana s derivacijom

Jedno od osnovnih obilježja hidroelektrana je mogućnost proizvodnje električne energije. Ta mogućnost ovisi o količini vode koju vodotok donosi, a njena količina i vremenski raspored ovise o mnogo utjecaja. Zbog toga se za određene profile (potencijalne lokacije hidroelektrana ili u njihovoj neposrednoj blizini) obavljaju mjerenja protoka vode, pa je poznavanje protoka po vremenskom rasporedu i po količini (za što dulje vremensko razdoblje) od temeljne važnosti za izgradnju i korištenje hidroelektrana.

O načinu računanja moguće proizvodnje hidroelektrana, o bruto i neto padovima, o gubicima pada kao i o načinu korištenja akumulacijskih bazena bit će riječi u sljedećim poglavljima.

2.5.4 Princip rada crpno-akumulacijskog postrojenja

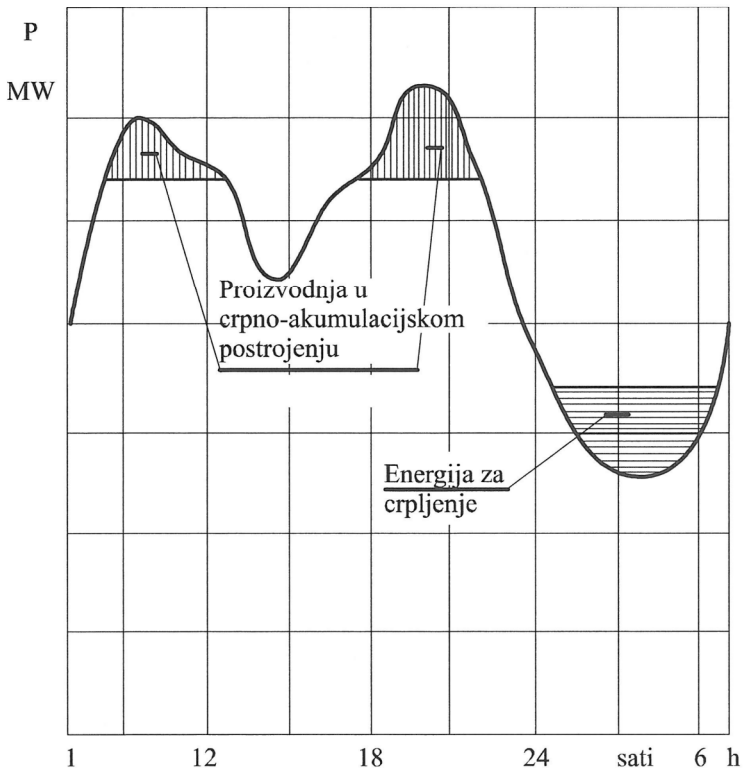
Crpno-akumulacijsko postrojenje (kratica CAP) jednom je hidroelektrana u kojoj se za proizvodnju električne energije iskorištava potencijalna energija vode, (turbinski pogon) koja je akumulirana u gornjem akumulacijskom bazenu (slika 29.), a drugi put je potrošač i to kada se voda u gornji akumulacijski bazen (u pravilu prirodno ne dotječe) crpi iz donjeg akumulacijskog bazena (crpni rad). Dakle, crpno-akumulacijsko postrojenje mora imati gornji i donji akumulacijski bazen. Na slici 29. prikazana je shema i osnovni princip rada crpno-akumulacijskog postrojenja. Potrebna energija za crpljenje (prema slici 29.) uzima se iz električne mreže.



Slika 29. Shema crpno-akumulacijskog postrojenja

Kad ne bi bilo gubitaka vode (zbog hlapljenja u gornjem i donjem akumulacijskom bazenu i gubitaka vode zbog propuštanja brtvenica itd.) cijeli proces bi se mogao trajno ponavljati

bez dodavanja nove vode. Budući da postoje gubici vode neophodno je potrebno dodavati vodu bilo u donji, bilo u gornji akumulacijski bazen. Energetski je povoljnije ako se voda dodaje (dotiče) u gornji akumulacijski bazen. S druge strane, kad ne bi bilo gubitaka energije u crpki, vodnoj turbini, motor-generatoru, dovodu i cjevovodu, u turbinskom pogonu proizvodilo bi se upravo onoliko električne energije koliko je utrošeno električne energije za crpljenje. Međutim, u stvarnosti se više troši električne energije za crpljenje nego što se proizvodi u turbinskom pogonu. Promatrajući, dakle, bilančno, crpno-akumulacijsko postrojenje je potrošač električne energije, ali u krajnjoj liniji takvo postrojenje može biti vrlo korisno u elektroenergetskom sustavu, ako se crpljenje vode obavlja u razdobljima malih opterećenja (slika 30.) kad postoje neiskorišteni kapaciteti za proizvodnju električne energije, te kad se crpljenjem akumulirana voda iskorištava za turbinski pogon u razdobljima velikih opterećenja. Takvim pogonom, ako se crpno-akumulacijsko postrojenje koristi na najpovoljniji način, mogu se postići dvojake koristi u elektroenergetskom sustavu: smanjenje potrebne izgradnje termoelektrana uz zadanu sigurnost opskrbe potrošača i bolje iskorištenje termoelektrana.



Slika 30. Primjer korištenja crpno-akumulacijskog postrojenja

Smanjenje potrebne izgradnje termoelektrana predstavlja i temeljnu korist od izgradnje crpno-akumulacijskih postrojenja i ono je u prvom redu mjerodavno za određivanje ekonomske opravdanosti izgradnje takvih postrojenja. Bez obzira na to što je potrebno više energije za crpni pogon nego što se dobiva u turbinskom pogonu, moguće je u nekim slučajevima ostvariti i smanjenje troškova za gorivo, što svakako ovisi o prilikama u elektroenergetskom sustavu (struktura termoelektrana, udio hidroenergije u ukupnoj proizvodnji i dr.).

Zbog takvih energetskih odnosa nije opravdano u svim situacijama (hidrološkim) iskorištavati crpno-akumulacijska postrojenja, jer u sustavu postoje situacije kad se potražnja za električnom energijom može zadovoljiti nižim troškovima bez pokretanja u pogon crpno-akumulacijskih postrojenja. To je primjerice slučaj kad je omjer između troškova za gorivo u termoelektranama u kojima se smanjuje proizvodnja zbog proizvodnje u turbinskom pogonu i troškova za gorivo u onim termoelektranama koje treba angažirati za crpljenje vode, manji od omjera između energije za crpljenje vode i energije proizvedene u turbinskom pogonu.

Osim toga, u nekim slučajevima opravdano je, glede troškova za gorivo, samo relativno kratko iskorištenje snage, odnosno angažiranje samo dijela snage crpno-akumulacijskog postrojenja. Dakle, način iskorištavanja crpno-akumulacijskog postrojenja ovisi o odnosima u sustavu kao cjelini: o sezoni (o njoj ovisi potrebna količina energije i maksimalno opterećenje), o mogućnosti proizvodnje svih hidroelektrana u sustavu kao i njihovoj snazi, o strukturi termoelektrana i njihovom tehničkom minimumu kao i termoelektranama ili nuklearnim elektranama koje će se u budućnosti graditi za opskrbu potrošnje električne energije.

Iz svega navedenog slijedi da je, kad se razmatra opravdanost izgradnje crpno-akumulacijskih postrojenja, nužno odrediti najpovoljniji način iskorištavanja takvih postrojenja, uzimajući u obzir sve potrebne značajke elektroenergetskog sustava koje mogu imati utjecaja na rad i način pogona crpno-akumulacijskog postrojenja. Jedino, dakle, sveobuhvatnom energetsko-ekonomskom analizom uz uvažavanje svih relevantnih čimbenika može se odrediti najpovoljniji rad crpno-akumulacijskog postrojenja, uloga i doprinos u sustavu što olakšava i donošenje odluke o njegovoj izgradnji.

Kod uključivanja crpno-akumulacijske hidroelektrane u elektroenergetski sustav treba ukupnu potrošnju električne energije korigirati (povećati) za prosječnu mjesečnu potrošnju crpnog postrojenja (W_{uc}), odnosno korigirati konstantnu potrošnju (W_{kp}) prema korekciji prikazanoj na krivulji trajanja opterećenja prema slici 31.

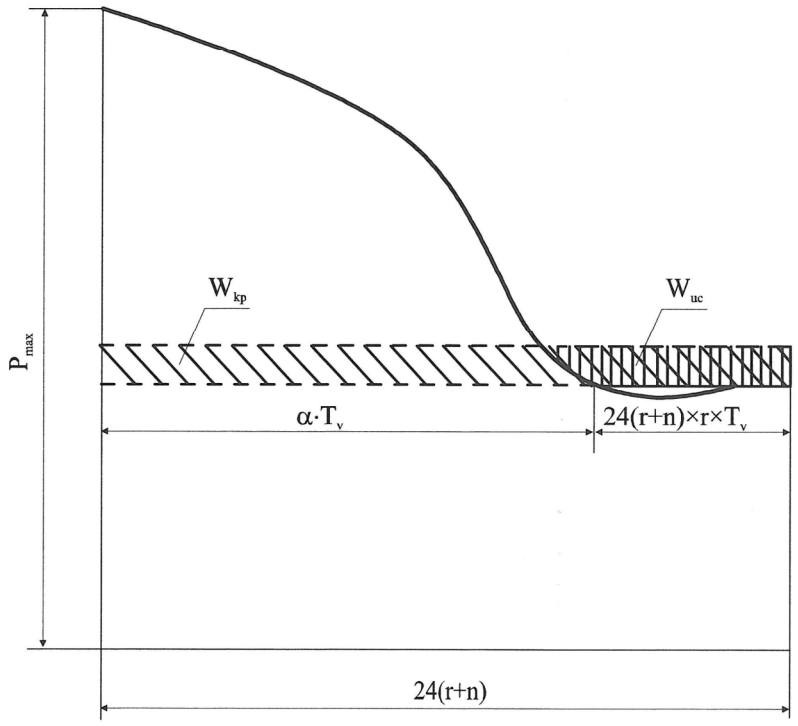
$$W_{\mathrm{kp}} = W_{uc} \frac{24\,(r+n)}{24\,(r+n) - r \cdot T_{\mathrm{v}}} \tag{36}$$

gdje je:

r - broj radnih dana u vremenskom intervalu (tjedan, mjesec),

n - broj neradnih dana u vremenskom intervalu (tjedan, mjesec),

T_{v} - dnevni broj sati velikih opterećenja.



Slika 31. Krivulja trajanja opterećenja s crpno-akumulacijskim postrojenjem (W_{uc} povećanje energije, W_{kp} povećanje konstantne energije)

2.5.5 Potrebni volumen akumulacijskih bazena crpno-akumulacijskog postrojenja

Razmatranje o potrebnom volumenu akumulacijskih bazena polazi od pretpostavke da se radi o ciklusu crpnog i turbinskog pogona uz napomenu da će se razmotriti i dnevni ciklus kao granični slučaj. Svi izvodi se baziraju na pretpostavci da radni dani slijede jedan za drugim u neprekinutom nizu, što vrijedi i za neradne dane. To je naime najčešći slučaj koji se pojavljuje u stvarnosti. Osim toga pretpostavlja se da u neradnim danima nije potreban turbinski pogon, a da se trajanje crpljenja za vrijeme neradnog dana može po volji mijenjati. Prema tome, računa se da crpno-akumulacijsko postrojenje u turbinskom pogonu radi svakog radnog dana (r broj radnih dana u tjednu) kroz T_{t} sati s maksimalnim opterećenjem. To međutim ne znači da je pravokutnik visine, koja je jednaka maksimalnoj snazi $P_{\max}$ u turbinskom pogonu, i osnovice, koja je jednaka vremenu T_{t}, stvarni dijagram opterećenja, ali takav dijagram opterećenja predstavlja najteži mogući dijagram opterećenja s obzirom na potrebni volumen akumulacije, jer je lako pokazati da je moguće ostvariti svaki drugi dijagram opterećenja – energijom $P_{\max} \cdot T_{\mathrm{t}}$ i snagom koja ne prelazi $P_{\max}$ – kad je moguće postići tako određeni pravokutni dijagram opterećenja. Uz takve pretpostavke potrebna količina vode za turbinski pogon iznosi:

$$A_{\mathrm{t}} = 3,6r \cdot T_t \cdot Q_i \cdot 10^{-3}\ hm^3 \tag{36a}$$

gdje su r broj radnih dana u tjednu, T_t broj sati turbinskog pogona u radnom danu s maksimalnom snagom, Q_i protok m^3/s za maksimalnu snagu u turbinskom pogonu.

Ako u gornji bazen prirodno dotječe voda, volumen prirodnog dotoka određen je relacijom:

$$A = 3,6 \cdot 24 \cdot (r + n) \cdot Q_{sg} \cdot 10^{-3}\ hm^3 \tag{37}$$

u kojoj je Q_{sg} prirodni dotok tijekom promatranog tjedna u m^3/s, a n broj neradnih dana. Ako je:

$$A < A_t \tag{38}$$

potrebno je crpljenje, pa treba u crpnom pogonu dobaviti u gornji akumulacijski bazen volumen

$$A_p = A_t - A\ hm^3 \tag{39}$$

Nasuprot tome kad nije ispunjen uvjet (38), crpljenje nije potrebno.

Crpljenje je opravdano samo ako se provodi u razdoblju malih opterećenja bilo u radnom bilo u neradnom danu. Ako sa T_{vr} označimo razdoblje većih opterećenja u radnom danu, a sa T_{vn} razdoblje takvih opterećenja u neradnom danu, razlika je između 24 sati i T_{vr} odnosno 24 sati i T_{vn} raspoloživo vrijeme za crpni pogon, pa se voda dobavljena crpljenjem u gornji akumulacijski bazen može prikazati jednadžbom:

$$A_p = 3,6 \cdot Q_c \left[r\,(24 - T_{vr}) + n\,(24 - T_{vn})\right] \cdot 10^{-3}\ hm^3 \tag{40}$$

u kojoj je Q_c količina vode u m^3/s koja se dobavlja crpljenjem. Ona je pretpostavljena kao konstantna, iako ne postoji načelna zapreka da se taj protok smatra kao prosječni protok za vrijeme svakog od razdoblja crpljenja. Iz (40) može se odrediti protok Q_c, prema jednadžbi:

$$Q_c = \frac{A_p}{3,6 \cdot \left[r\,(24 - T_{vr}) + n\,(24 - T_{vn})\right]} \cdot 10^{-3}\ hm^3 \tag{41}$$

Pri određivanju donjeg akumulacijskog bazena vrijede naravno iste pretpostavke kao i za gornji akumulacijski bazen.

Potrebni volumen koji se mora dobaviti crpljenjem A_p i srednji protok Q_s dobavljen crpljenjem određeni su jednadžbama (40) i (41). Te dvije vrijednosti ovise i o dotoku u gornji akumulacijski bazen. Donji bazen mora imati najmanje toliki volumen da bude osigurana voda koju crpljenjem treba dobaviti u gornji akumulacijski bazen. Treba napomenuti da raspored pogona odgovara rasporedu pogona na slici 30, ali sada promatrajući prilike u donjem akumulacijskom bazenu. Kao i za gornji akumulacijski bazen, za određivanje potrebnog volumena donjeg akumulacijskog bazena mjerodavne su prilike između posljednjeg radnog dana u prethodnom tjednu i prvog radnog dana u sljedećem tjednu, i to od početnog momenta do konačnog momenta crpljenja. To razdoblje predstavlja naime razdoblje pražnjenja donjeg akumulacijskog bazena.

Stanje u donjem akumulacijskom bazenu u razdoblju mjerodavnom za određivanje potrebnog volumena, ovisi o potrebnom crpljenju, karakterizirano je protokom Q_c i prirodnim dotokom Q_{sd} u donji akumulacijski bazen. Uzevši u obzir trajanje crpljenja i trajanje mjerodavnog razdoblja, potrebni volumen donjeg akumulacijskog bazena izračunava se iz izraza:

$$A = 3,6 \left\{Q_c \left[(24 - T_{vr}) + n\,(24 - T_{vn})\right] - Q_{sd} \left[(24 - T_{vr}) + 24n\right]\right\} \cdot 10^{-3}\ hm^3 \tag{42}$$

gdje prvi član predstavlja potrebni volumen za osiguranje vode koja se crpljenjem mora dobaviti u gornji bazen, dok je drugi član jednak volumenu vode koja prirodnim dotokom dotječe u donji bazen.

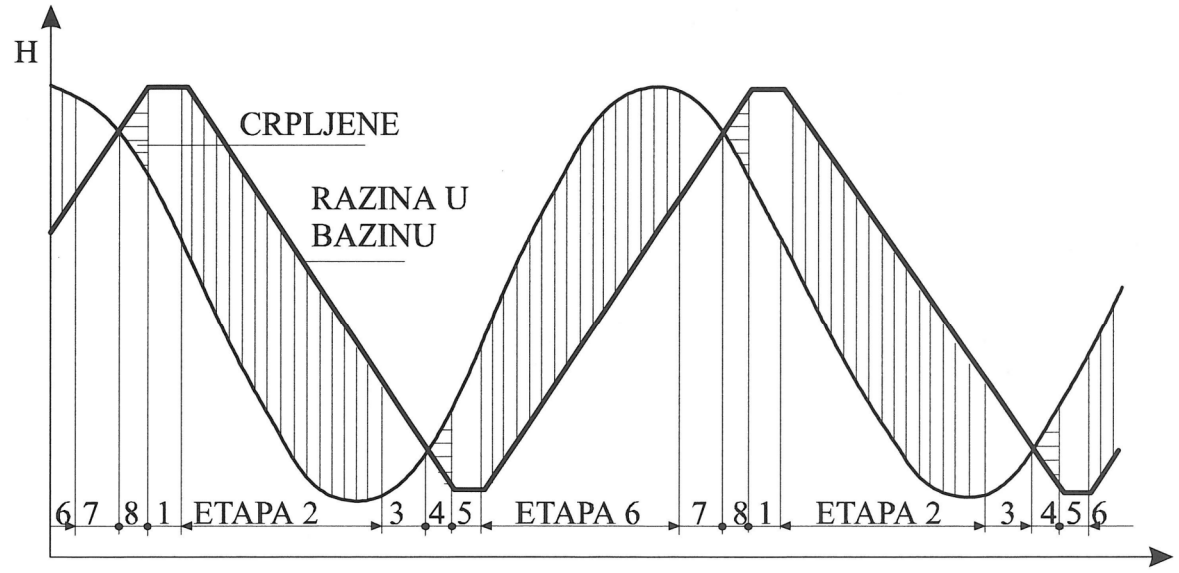
Prema tome, potrebni volumen donjeg akumulacijskog bazena ovisi osim o trajanju T_{vr} i T_{vn}, o broju radnih dana u tjednu, o trajanju turbinskog pogona T_t, još i o prirodnom dotoku Q_{sg} u gornji i o prirodnom dotoku Q_{sd} u donji akumulacijski bazen. Ovisnost potrebnog volumena donjeg akumulacijskog bazena o prirodnom dotoku u gornji bazen posljedica je ovisnosti potrebnog crpljenja o dotoku u gornji akumulacijski bazen.

Ako nema dotoka ni u gornji ni u donji akumulacijski bazen, u tom slučaju je potrebni volumen donjeg akumulacijskog bazena jednak potrebnom volumenu gornjeg akumulacijskog bazena. Postojanjem prirodnog dotoka smanjuje se potrebni volumen donjeg akumulacijskog bazena, pa uz određene uvjete može postići i vrijednost nula, odnosno i negativnu vrijednost. Naravno da negativna vrijednost nema nikakvog značenja.

Ako se postavi da je volumen donjeg akumulacijskog bazena jednak nuli, može se izračunati granična vrijednost trajanja turbinskog pogona koja je najveća vrijednost za koju nije potrebno akumuliranje donje vode, jer je prirodni dotok dovoljan za osiguranje pogona crpno-akumulacijskog postrojenja.

2.5.6 Hidroelektrane na plimu i oseku

Na slici 32. prikazan je način korištenja potencijalne energije plime i oseke za elektranu s ugrađenim turbinama za rad u oba smjera i s mogućnošću crpljenja vodom. Princip rada po pojedinim etapama izgleda ovako: u prvoj etapi pogona zatvara se zapornica i voda u bazenu ostaje na određenoj koti, a razina mora opada. Kad razina mora postane toliko niska da postoji dovoljna razlika kota (odnosno dovoljan pad) za pogon turbine, stavlja se turbina u pogon (etapa 2 – pražnjenje bazena) pa se tako potencijalna energija vode nagomilane u bazenu pretvara u mehaničku, a ta u električnu energiju, sve dok razlika pada omogućava rad turbine. Turbina se zaustavlja kada se postigne minimalni pad, ali se bazen nakon toga dalje prazni (etapa 3) kroz zapornicu, da bi se u njemu postigla što niža razina, kako bi se ostvario što veći pad za etapu pogona u obrnutom smjeru. Kada se izjednače razine u bazenu i moru, počinje crpljenje vode iz bazena u more (etapa 4) da bi se što više snizila razina vode u bazenu. Kad se postigne kota koja odgovara najnižoj koti mora, obustavlja se rad crpki, pa bazen ostaje na konstantnoj razini (etapa 5) sve dok se ne postigne takav pad kod kojega će turbina moći raditi u obrnutom smjeru. Nakon toga stavlja se turbina u pogon koristeći vodu iz mora prema bazenu (etapa 6) sve dok se ne postigne minimalan pad kod kojega turbina može raditi. Zatim se turbina zaustavlja, otvara se zapornica da bi se dalje punio akumulacijski bazen (etapa 7).



Slika 32. Shematski prikaz rada elektrane na plimu i oseku s turbinom koja radi u oba smjera i sa crpljenjem vode

Nakon izjednačavanja razine mora i bazena zatvara se zapornica i počinje crpljenje vode iz mora u bazen sve dok se ne postigne kota u bazenu koja odgovara maksimalnoj koti u moru (etapa 8). U tom momentu prestaje rad crpki i drži se razina u bazenu konstantnom sve dok se ne postigne potreban pad za rad turbina u smjeru bazen – more (etapa 1).

Opisani način korištenja potencijalne energije plime i oseke je složeniji od slučaja kada bi se koristila za proizvodnju električne energije turbina koja bi radila samo u jednom smjeru ili u oba smjera. Korist od crpljenja vodom sastoji se u tome što se voda crpljenjem podiže na znatno manju visinu od one na kojoj će se uporabiti, pa se na taj način bolje iskorištava potencijalna energija plime i oseke.

Ako se uporabi bilo koji od tri navedena načina korištenja plime i oseke, iz hidroelektrana na plimu i oseku ne može se postići pogon bez prekida, a samim tim ni konstantna snaga. Ta činjenica, kao i spoznaja da se u slučaju crpljenja vode energija za crpljenje mora uzeti iz elektroenergetskog sustava, pokazuje da je nemoguća izolirana proizvodnja električne energije na toj osnovi. Prema tome, takve se elektrane moraju uključivati u velike elektroenergetske sustave u kojima druge elektrane imaju znatno veću snagu (nekoliko desetaka puta) i proizvodnju od tih elektrana.

2.5.7 Vrste i značajke termoelektrana

Termoelektrane su postrojenja koja se koriste gorivom za proizvodnju električne energije. Obzirom na pogonski stroj termoelektrane se mogu podijeliti na:

a) parne termoelektrane (pogonski stroj - parna turbina),

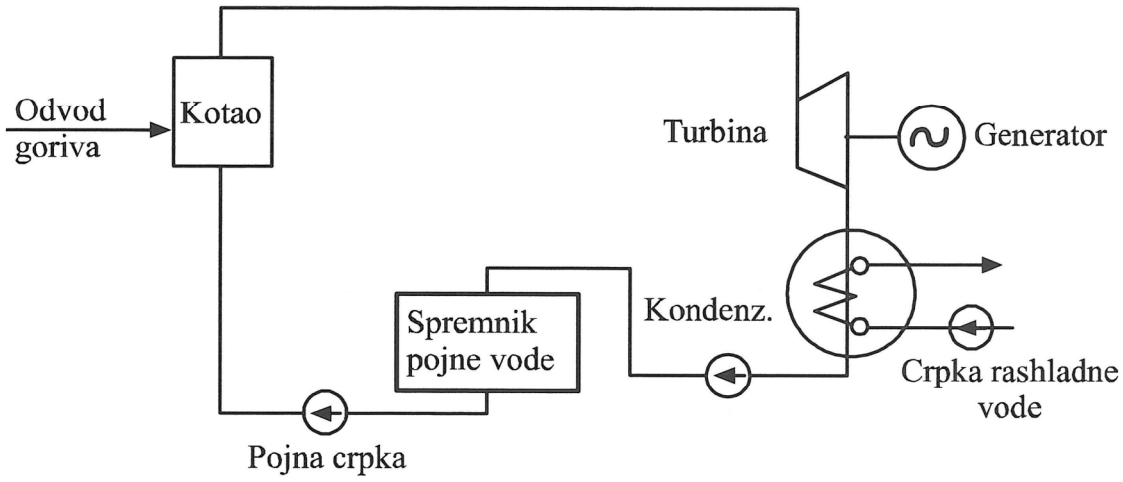
b) plinske termoelektrane (pogonski stroj - plinska turbina),

c) dieselske termoelektrane (pogonski stroj – diezel motor),

d) kombinirane (plinsko-parne termoelektrane; dva pogonska stroja - plinska turbina i parna turbina koji pokreće para proizvedena kotlom na otpadnu toplinu plinske turbine, radi što boljeg iskorištenja goriva).

U parnim termoelektranama mogu se koristiti kruta goriva, tekuća, plinovita, nuklearna goriva i biomase, u plinskim termoelektranama tekuća i plinovita goriva, a u dieselskim termoelektranama dolazi u obzir samo tekuće gorivo.

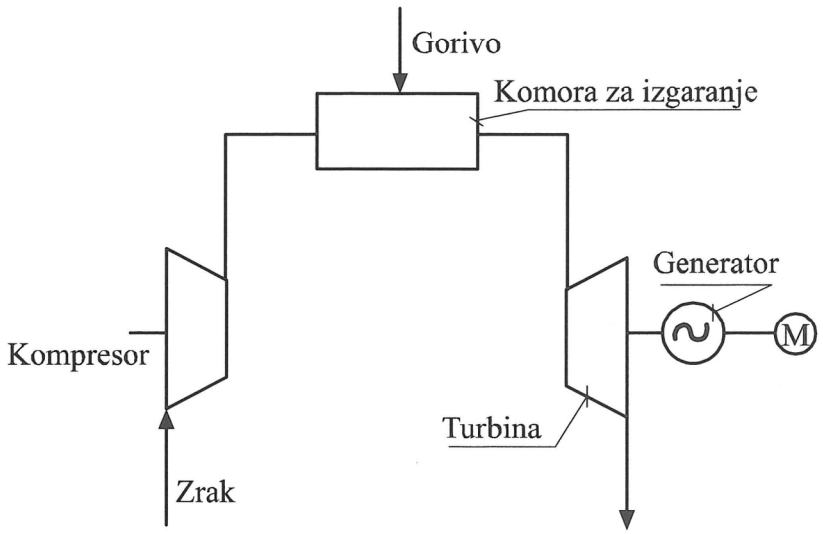
Pored konvencionalnih (parnih) termoelektrana u kojima se proizvodi električna energija (kondenzacijske termoelektrane), postoje i parne termoelektrane u kojima se pored električne energije proizvodi para i vrela voda (protutlačne termoelektrane). Postrojenja za kombiniranu proizvodnju električne energije, pare i vrele vode nazivaju se termoelektrane-toplane. Postoje javne i industrijske toplane. Osnovna shema termoelektrana prikazana je na slici 33. Glavni dijelovi klasične termoelektrane su: kotao, agregat (turbina i generator), kondenzator, crpka za rashladnu vodu, crpka kondenzata, spremnik pojne vode, pojna crpka i pomoćna postrojenja. Broj i veličina pomoćnih postrojenja ovise o veličini termoelektrana, o vrsti goriva i lokaciji termoelektrane.



Slika 33. Shema klasične termoelektrane

U nuklearnoj termoelektrani termički proces je u načeluu isti kao u klasičnoj termoelektrani. U nuklearnoj termoelektrani reaktor odgovara ložištu kotla u klasičnoj termoelektrani, dok izmjenjivač topline odgovara sustavu cijevi u kotlu. Toplina koja se stvara raspadanjem jezgra fisione građe u reaktoru odvodi se sredstvom (obična voda, teška voda, rastaljeni natrij i dr.) za odvođenje topline. Odvodno sredstvo predaje toplinu vodi, odnosno pari u izmjenjivaču topline, odakle se ponovo vraća u reaktor. To je primarni krug, dok je sekundarni krug potpuno identičan krugu u klasičnoj termoelektrani.

Osnovni dijelovi termoelektrana s plinskim turbinama su prema slici 34. kompresor, komora za izgaranje i plinska turbina s generatorom. Osnovni princip rada sastoji se od usisivanja i tlačenja zraka u kompresoru, zatim se tlačni zrak dovodi u komoru za izgaranje u koju se dovodi gorivo u tekućem ili plinovitom stanju. Izgaranje se odvija uz konstantan tlak, a izlazni plinovi struje kroz turbinu i u njoj ekspandiraju do atmosferskog tlaka. U praksi ima više izvedaba termoelektrana s plinskim turbinama sve sa svrhom da se popravi stupanj djelovanja.



Slika 34. Shema plinske termoelektrane

Diezelske elektrane su po svojoj izvedbi najjednostavnije ali su i najmanje u uporabi. Glavni dijelovi diezelske elektrane su diezel-motor i generator. Rabe se uglavnom na izoliranim dijelovima elektroenergetskog sustava (otočna područja) i kao rezerva ostalim izvorima u elektroenergetskom sustavu.

Nasuprot hidroelektranama, za termoelektrane ne treba posebno računati moguću godišnju proizvodnju, jer je proizvodnja proporcionalna raspoloživoj snazi termoelektrana, uz pretpostavku da su na raspolaganju uvijek dovoljne količine goriva.

Stupanj djelovanja termoelektrane određuje se iz omjera dobivene snage (P) na stezaljkama generatora i dovedene snage (D_p) u termoelektranu. Razlika između dobivene i dovedene snage su gubici u termoelektrani, a oni se sastoje od: termičkih gubitaka, gubitaka u kotlu, gubitaka u cjevovodu, mehaničkih gubitaka i gubitaka u generatoru. Za analizu prilika interesantan je stupanj djelovanja na pragu elektrane, a on se dobiva tako da se stupanj djelovanja na stezaljkama generatora pomnoži s veličinom manjom od jedan. Koliko će ta veličina biti manja od jedan ovisi o udjelu vlastitog potroška u ukupno dobivenoj snazi. Veći vlastiti potrošak imat će termoelektrane koje imaju više pomoćnih pogona, slabiju kvalitetu goriva i slabiju tehnologiju.

Pored navedenih značajka termoelektrana značajniju pozornost zaslužuju pojmovi: diferencijalni potrošak, tehnički minimum i raspoloživost agregata termoelektrana.

Da bi se došlo do diferencijalnog potroška termoelektrane treba najprije odrediti specifični potrošak, a on se određuje kao omjer dovedene snage i dobivene snage, što znači da je jednak recipročnoj vrijednosti stupnja djelovanja. Diferencijalni potrošak dobiva se derivacijom specifičnog potroška, dakle

$$\delta P = \frac{\mathrm{d}D_p}{\mathrm{d}P} \tag{43}$$

gdje je:
δP - diferencijalni potrošak termoelektrane,
D_p - dovedena snaga,
P - dobivena snaga.

Tehnički minimum termoelektrane je minimalna snaga pri kojoj termoelektrana može raditi, a da se u ložištu održi stabilno izgaranje. Problem održanja stabilnog izgaranja znatno je teži kod kotlova loženih ugljenom prašinom nego kod kotlova loženih na rešetke, a to je posljedica različitog sadržaja hlapljivih sastojaka u gorivu. Visina tehničkog minimuma ovisna je dakle, o gorivu, konstrukciji i izvedbi kotla.

Zbog nemogućnosti predviđanja kvarova u termoelektranama i zbog točnijeg određivanja proizvodnje svakog agregata termoelektrana, treba za proračune prilika u elektroenergetskom sustavu računati s raspoloživom snagom termoelektrana umjesto sa snagom na pragu. U nastavku se daje jedan od više mogućih načina određivanja raspoložive snage agregata u termoelektranama.

Da bi se odredila raspoloživa snaga svake termoelektrane, potrebno je poznavati raspoloživost tipova agregata (na temelju podataka iz prošlosti), a pored toga i utjecaj ostalih agregata u elektroenergetskom sustavu na promatrani agregat. Naime, korištenje termoelektrana, bolje rečeno redoslijed angažiranja agregata, računa se prema visini troškova za gorivo po proizvedenom kWh. Iznimno od toga mogu se angažirati toplane i to protutlačni dio koji služi za potrebe proizvodnje pare i vrele vode. Da bi se ilustrirao utjecaj agregata termoelektrana sustava na promatrani agregat navodi se sljedeći primjer. Na proizvodnju agregata koji se prvi angažira nema utjecaja raspoloživost ostalih agregata, međutim, raspoloživost prvog agregata ima utjecaja na sve agregate koji se angažiraju poslije.

Da bi se odredila ukupna raspoloživost agregata, treba povezati individualnu raspoloživost s raspoloživošću koja nastaje uslijed utjecaja nesposobnosti ostalih agregata u elektroenergetskom sustavu.

Svaki agregat karakteriziran je maksimalnom snagom na pragu (P_{tmax}) i faktorom raspoloživosti (f_i).

Faktor raspoloživosti agregata određen je kao omjer između broja sati u godini kad je agregat sposoban za pogon (T_{s}) i ukupnog broja sati u godini (8760 sati) umanjenog za vrijeme potrebno za godišnji remont agregata (T_{rem}). Dakle, individualni faktor raspoloživosti određuje se iz izraza:

$$f_i = \frac{T_s}{8760 - T_{\text{rem}}} < 1. \tag{44}$$

U elektroenergetskom sustavu treba poznavati ukupno potrebnu raspoloživu snagu termoelektrana (P_{tr}), te maksimalne snage i individualne faktore raspoloživosti svakog agregata termoelektrana.

Ukupni faktor raspoloživosti termoelektrana elektroenergetskog sustava može se odrediti iz izraza:

$$f = \frac{P_{\text{tr}}}{\sum P_{\text{t max}}(n)} \tag{45}$$

Faktor raspoloživosti (f) ima vrijednost manju od jedan, i kad se ne bi trebala računati proizvodnja svakog agregata termoelektrana, bilo bi to dovoljno za određivanje rezerve termoelektrana u elektroenergetskom sustavu, jer je potrebna rezerva recipročna vrijednost faktora raspoloživosti, pa je prema tome:

$$\rho = \frac{1}{f} = \frac{\sum\limits_{n} P_{\text{t max}}(n)}{P_{\text{tr}}}. \tag{46}$$

Budući da nije moguće odrediti kada će koji agregat biti u kvaru, a da se odredi potrebna proizvodnja svakog agregata, jedina je mogućnost da se proračun provede uz pretpostavku da su kvarovi raspodijeljeni na sve agregate.

Da bi se odredila raspoloživa snaga svakog pojedinog agregata, korisno je uvesti korekcijski faktor (K), pomoću kojega se korigira individualni faktor raspoloživosti agregata (f_i), da se dođe do faktora raspoloživosti svakog agregata u elektroenergetskom sustavu (i). Međusobna veza tih triju veličina određena je jednadžbom:

$$\varphi_n = K \cdot f_{i(n)} \tag{47}$$

pa se na taj način u faktor raspoloživosti agregata u sustavu (φ_n) uključuje i individualni faktor raspoloživosti agregata (f_i). Pri tome mora biti zadovoljena jednadžba:

$$\sum_n \varphi_n \cdot P_{t\,\max(n)} = f \sum_n P_{t\,\max(n)} \tag{48}$$

jer zbroj raspoloživih snaga agregata u sustavu mora biti jednak raspoloživoj snazi termoelektrana u sustavu.

Korekcijski faktor određuje se iz:

$$K = \frac{f \sum\limits_n P_{\mathrm{t}\,\max(n)}}{\sum\limits_n f_{i(n)} \cdot P_{\mathrm{t}\,\max(n)}} \tag{49}$$

gdje je u brojniku raspoloživa snaga agregata u elektroenergetskom sustavu, a u nazivniku suma individualnih raspoloživih snaga agregata. Prema tome, faktor raspoloživosti je:

$$\varphi_n = P_n \frac{f \sum\limits_n P_{\mathrm{t}\,\max(n)}}{\sum\limits_n f_{i(n)} P_{\mathrm{t}\,\max(n)}} \cdot f_{i(n)} \tag{50}$$

a raspoloživa snaga svakog agregata računa se prema:

$$P_{tr(n)} = P_n \frac{f \sum\limits_n P_{\mathrm{t}\,\max(n)}}{\sum\limits_n f_{i(n)} P_{\mathrm{t}\,\max(n)}} \cdot f_{i(n)} \tag{51}$$

Na temelju tako određene raspoložive snage određuje se proizvodnja svakog agregata u termoelektranama.

2.5.8 Nuklearne elektrane i nuklearne reakcije

Nuklearna energija je energija koja se oslobađa nuklearnom reakcijom ili radioaktivnim raspadanjem. Ta se energija oslobađa u tijeku pregrupiranja čestica koje čine jezgru atoma. Nuklearna se energija iskorištava kada se ta oslobođena energija pretvara najprije u toplinu, a potom u električnu energiju.

Atom je najmanja čestica nekog elementa koja ima kemijska svojstva toga elementa. Jezgra atoma nije homogena, nego se sastoji od dviju različitih vrsta čestica, pozitivno nabijenih protona i neutralnih čestica zvanih neutroni. Relativno masivna jezgra ima uvijek pozitivan naboj i okružena je negativno nabijenim elektronima koji kruže u orbiti oko nje. Ukupan je električni naboj atoma nula, kao da je u svakom atomu broj elektrona u orbiti točno jednak broju protona. Svi atomi određenog kemijskog elementa sadrže jednak broj protona. Broj protona ujedno je i redni broj elementa. Zbroj neutrona i protona daje maseni broj i određuje masu jezgre.

Vodik i elementi s malim masenim brojem nazivaju se "laki". Maseni broj određuje i kemijska svojstva nekog elementa. Svojstva ovise samo o broju elektrona i protona u atomu: tako neki atomi koji su kemijski isti imaju različite mase, što ovisi o broju neutrona u jezgri. Različite vrste kemijski istih atoma s različitim brojem neutrona, a jednakim brojem protona nazivaju se izotopi. Vodik ima dva prirodna izotopa (**deuterij i tricij**), a U-233 tri izotopa (**U-234, U-235 i U-238**).

Vodik i elementi s malim masenim brojem nazivaju se "laki" atomi, a uran i elementi s masenim brojem od dvije stotine i više zovu se "teški" atomi. Neki su od teških izotopa, kao uran ili radij, nestabilni i jezgre njihovih atoma imaju tendenciju da se cijepaju i pretvaraju u stabilnije atome. Te su tvari radioaktivne, a proces pretvorbe naziva se radioaktivno raspadanje. U tijeku procesa raspadanja emitiraju se tri glavna tipa nuklearnog zračenja - α-čestice, β-čestice i γ-zrake. α-čestice istovjetne su jezgrama helija, a sastoje se od dva protona i dva neutrona. β-čestice su negativno nabijeni elektroni. γ-zračenje je elektromagnetsko zračenje.

Usporedo s radom mnogih znanstvenika, u prvome redu fizičara i kemičara koji rade na utvrđivanju sastava atoma i na radioaktivnosti; glasoviti njemački fizičar **Albert Einstein** radi na svojoj teoriji relativnosti kojom je revolucionirao naše spoznaje o svijetu. Tako je godine 1905. objavio da energija i masa stoje u odnosu prema jednadžbi (4).

Iz navedene jednadžbe može se zaključiti da mala količina tvari može teoretski biti izmijenjena u veliku količinu energije. Einsteinova postavka potvrđena je s nuklearnom energijom, gdje se iz malih količina urana i plutonija dobivaju velike količine energije.

I napokon, u plejadi velikih i zaslužnih znanstvenika potkraj 19. i u prvoj polovici 20. stoljeća na području radioaktivnosti i nuklearne energije pojavljuje se talijanski fizičar **Enrico Fermi** koji je otkrio termalizaciju neutrona i pronašao da praktički svi elementi postaju radioaktivni kad se obasjaju neutronima. Najveća se zasluga pripisuje Enricu Fermiju za gradnju i puštanje u pogon prvoga nuklearnog reaktora 2. prosinca 1942. godine u Chicagu.

Uz spomenute znanstvenike bilo bi nepravedno ne kazati da su i mnogi drugi znanstvenici pomogli omogućiti spomenutim znanstvenim radnicima da objave navedene spoznaje do kojih su došli. Osim toga, treba pripomenuti da su mnoge stvari rađene usporedno i da su se rezultati preklapali, pa je pojedina otkrića bilo dosta teško točno pripisati dotičnom fizičaru ili kemičaru. Jednako tako ne bi bilo korektno ne spomenuti da se i u bivšem SSSR-u dosta radilo na problemima radioaktivnosti i nuklearne energije, ali o tim rezultatima nije bilo dovoljno informacija izvan bivšeg SSSR-a.

Kad se atom raspada i proizvede α-česticu, on izgubi dva protona i dva neutrona iz svojeg nukleusa. On se mijenja u drugi element s dva broja manjim atomskim brojem i četiri broja manjom masom.

Ako pak β-čestica (elektron) napusti jezgru atoma, tada ona gubi jedan elektron. Međutim, poznato je da je neutron kao proton plus elektron pa, kad se izgubi jedan elektron, to je kao da se neutron promijeni u proton. Na taj se način element mijenja u drugi element s atomskim brojem većim za jedan, a masa mu se ne mijenja.

Vrijeme je poluraspada nekog elementa vrijeme kroz koje određeni element radioaktivnim raspadanjem (emitiranjem α i β-zraka) izgubi polovicu svoje mase i mijenja se u druge elemente. Vrijeme poluraspada nekih radioaktivnih izotopa kreće se od nekoliko djelića sekunde (primjerice Polonij 212 za $3 \cdot 10^{-7}$ s) do nekoliko milijardi godina (primjerice u–238 za $4{,}51 \cdot 10^{9}$ god.).

2.5.9 Nuklearna fisija

Nuklearna reakcija cijepanja teških jezgara naziva se fisija, a nastaje kada jedan neutron udari primjerice u atom urana 235. Nakon toga atom urana se dijeli prema slici 35. Masa atoma koji nastaju cijepanjem uvijek je manja od mase koju je atom imao prije cijepanja. Velik udio jezgara urana koje se raspadaju u dvije grupe daju "laku" grupu s masenim brojevima 85 i 104 i "tešku" grupu s masenim brojevima 130 do 149. Jezgre se fisijskih atoma mogu cijepati na 30 do 40 različitih načina, što, s obzirom na dvije grupe, "laku" i "tešku", znači da će se među produktima fisije naći 60 do 80 različitih fisijskih fragmenata.

Broj oslobođenih neutrona ovisi o načinu fisije. Emisija može biti jednog, dva ili više neutrona, tako da prosjek emisije neutrona ne mora biti cijeli broj. Kod fisije u prosjeku se oslobađa ovaj broj neutrona:

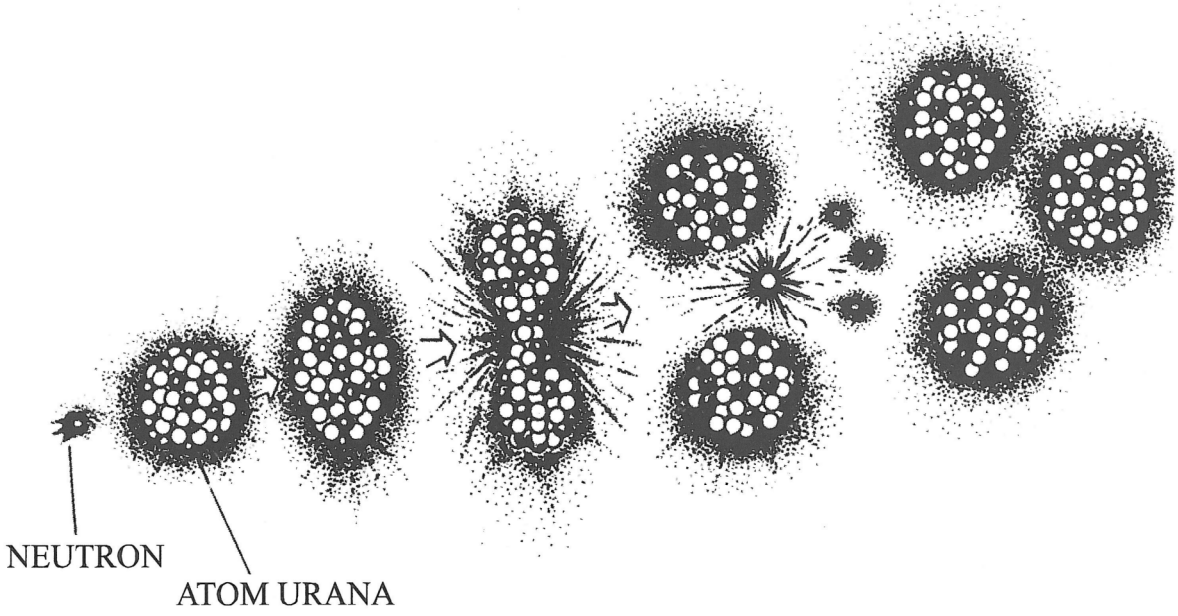
uran–235 2,47 neutrona,
plutonij–239 2,91 neutron,
uran–233 2,55 neutrona.

Oslobađanjem sve većeg broja neutrona jednom započeta neklearna reakcija sama po sebi može se ne samo održavati nego se može razvijati kao lavina. Ta pojava upotrijebljena je pri izradi atomske bombe. Za praktične svrhe pokreće se reakcija pri kojoj se kontrolira broj reakcija (broj neutrona).

Udarni presjek za nuklearne reakcije mjera je za vjerojatnost nastanka neke nuklearne reakcije, a jedna je od fizikalnih karakteristika tvari koju je potrebno poznavati kod proračuna u nuklearnoj fizici i tehnici. Izraz za udarni presjek glasi:

$$\sigma = \frac{\ell n \frac{N_0}{N}}{n_v \cdot X} \tag{52}$$

gdje je N_0 gustoća neutrona na ulazu u medij, N gustoća neutrona na izlazu iz medija, X debljina medija i n_v broj jezgara u cm^3.



Slika 35. Shematski prikaz raspadnog atoma urana

Potrebno je istaknuti da udarni presjek znatno ovisi o energiji neutrona, pa uz podatak o udarnome presjeku uvijek treba navesti i energiju neutrona za koju on vrijedi. Prema tome, udarni presjek nije neka konstanta, on ovisi o vrsti jezgre, o energiji neutrona i o vrsti reakcije između neutrona i jezgre (elastični i neelastični sudar, zarobljavanje neutrona, fisija). O točnosti određivanja udarnog presjeka ovisi točnost proračuna reaktora, jer o udarnim presjecima ovisi koliko će u prosjeku neutrona od jednog raspada biti sposobno izazvati raspad druge jezgre.

Za razliku od fisijskih neutrona, termički su neutroni u toplinskoj ravnoteži s atomima građe u reaktoru i njihova je raspodjela u funkciji njihove energije pri nekoj određenoj temperaturi.

Najvjerojatnija energija neutrona za neku određenju temperaturu razmjerna je temperaturi, prema jednadžbi:

$$W = \frac{1}{2}kT \tag{53}$$

a prosječna je energija neutrona:

$$\overline{W} = \frac{3}{2}kT \tag{54}$$

dakle, također je razmjerna temperaturi i triput veća od najvjerojatnije energije. Konstanta k ima vrijednost 1,38 10^{-23}J ili 8,625·10^{-5}eV, a T je temperatura u kelvinima.

Poznavanjem najvjerojatnije i prosječne energije, lako se mogu izračunati odgovarajuće brzine primjenom jednadžbe (55).

$$W = \frac{1}{2}mv^2 \tag{55}$$

gdje je m masa neutrona, v brzina neutrona, a W najvjerojatnija ili prosječna energija neutrona.

Udarni su presjeci za apsorpciju neutrona u području termičkih energija za mnoge nuklide (tzv. apsorberi) obrnuto razmjerni s brzinom neutrona, a broj apsorbiranih neutrona po jedinici volumena apsorbera ne ovisi o energiji neutrona, odnosno o temperaturi. Obično se referentni udarni presjeci navode za termičke neutrone energije 0,0253 eV s odgovarajućom brzinom v = 2200 m/s i temperaturom T = 293 K i oni za pojedine izotope urana i plutonije iznose

	uran -233	uran -235	uran -238	plutonij -239	plutonij -241		
σ_a	588,80	680,80	2,71	1011,30	1377,00	x	10^{-24}cm^2
σ_f	531,10	582,20	-	742,50	1009,00	x	10^{-24} cm^2

Tablica 11a.

σ_a je apsorpcijski udarni presjek
σ_f je fisijski udarni presjek.
Jezgre se atoma raspadaju spontano, dakle, bez dovođenja energije, ako je:

$$\frac{Z^2}{N} > 45 \tag{56}$$

gdje je Z broj protona, N broj nukleona (suma protona i neutrona).
Jezgre atoma urana i plutonija važne za nuklearnu energetiku imaju ove vrijednosti faktora Z^2/N:

uran-233	36,3
uran-235	36,0
uran-238	35,5
plutonij-239	37,0
plutonij-240	36,8

Prema navedenome, da bi se reakcija mogla proizvesti, treba dovesti energiju s pomoću neutrona. Energija dovedena neutronima mora biti veća ili jednaka energiji vezivanja koja za uran–235 iznosi 6,6 MeV, a za uran–238 7,0 MeV.

Oslobođena energija kao posljedica defekta mase za uran–235 iznosi 6,8 MeV, a za uran–238 5,3 MeV.

Usporede li se energije koje se oslobađaju kao posljedica defekta mase s energijama vezivanja, lako je zaključiti da je oslobođena energija (6,8 MeV) dovoljna za raspad jezgre urana–235, jer je veća od energije vezivanja (6,6 MeV). Kod urana–238 ta je energija bitno manja i iznosi –1,8 MeV pa se dovedenim neutronima mora donijeti razlika u kinetičkoj energiji, a to znači da je raspad urana–238 moguć samo brzim neutronima.

S obzirom na mogućnost raspada jezgre urana–233 i plutonija –239, dolazi se do istih zaključaka koji vrijede za uran–235.

Obrazloženje za navedene razlike energija potrebnih za cijepanje urana–235 (koji ima paran broj protona i neparan broj neutrona) i urana–238 (paran broj protona i paran broj neutrona) treba tražiti u činjenici da složene jezgre koje nastaju nakon apsorpcije neutrona (uran–236 i uran–239) imaju paran, odnosno neparan broj neutrona. Jezgre su s parnim brojem protona i neutrona stabilnije. Zbog toga, kada apsorpcija neutrona uzrokuje stvaranje složene jezgre s parnim brojem neutrona, oslobađa se, zbog stvaranja stabilnije jezgre, veća količina energije koja je raspoloživa za fisiju.

Fisijom teških jezgara oslobađa se energija vezivanja između jezgre koja se cijepa i jezgara fisijskih produkata. Kako je već navedeno, jezgre se cijepaju na više načina, pa zato ima smisla govoriti samo o prosječnoj energiji oslobođenoj u fisiji. Ako se računa preko defekta mase (0,216 jedinica mase) i energije koja odgovara jedinici mase (931 MeV), dobiva se približno 202 MeV po raspadu jedne jezgre.

Oslobođena se energija najvećim dijelom pojavljuje kao kinetička energija fisijskih fragmenata, a manjim dijelom kao energija neutrona, beta i gama zračenja.

Najveći dio energije fisije pojavljuje se napokon u obliku toplinske energije u nuklearnom gorivu i produktima raspadanja.

S obzirom na činjenicu da se pri raspadu jezgre urana–235 ostvaruje defekt mase u iznosu 0,216 jedinica mase (uran–235 ima 235 jedinica mase), energetski je iskoristivo manje od 0,1 posto ukupne mase koja sudjeluje u nuklearnoj reakciji. Slijedi da se iz jednog grama urana–235 dobiva energija od 23 MWh.

Masa koja se "izgubila" za vrijeme fisije (masa nastalih atoma manja je od mase početnih atoma) pretvorila se u kinetičku energiju koja se pak pretvorila u toplinu kada se fisijski produkti sudaraju s atomima koji ih okružuju. Neutroni nastali raspadom prve jezgre pogađaju druge jezgre oslobađajući novu energiju i nove neutrone. Taj stalni (kontinuirani) proces diobe (fisije) atoma naziva se lančanom reakcijom.

Lančana je reakcija proces u kojemu neutroni proizvedeni fisijom izazivaju daljnje fisije, a time i širenje tih nuklearnih reakcija na okolni materijal uz oslobađanje odgovarajuće količine energije. Svi neutroni koji nastaju u fisijama nisu raspoloživi za nastavak toga procesa, jer se dio gubi zbog bijega i na apsorpcije koje ne rezultiraju fisijom.

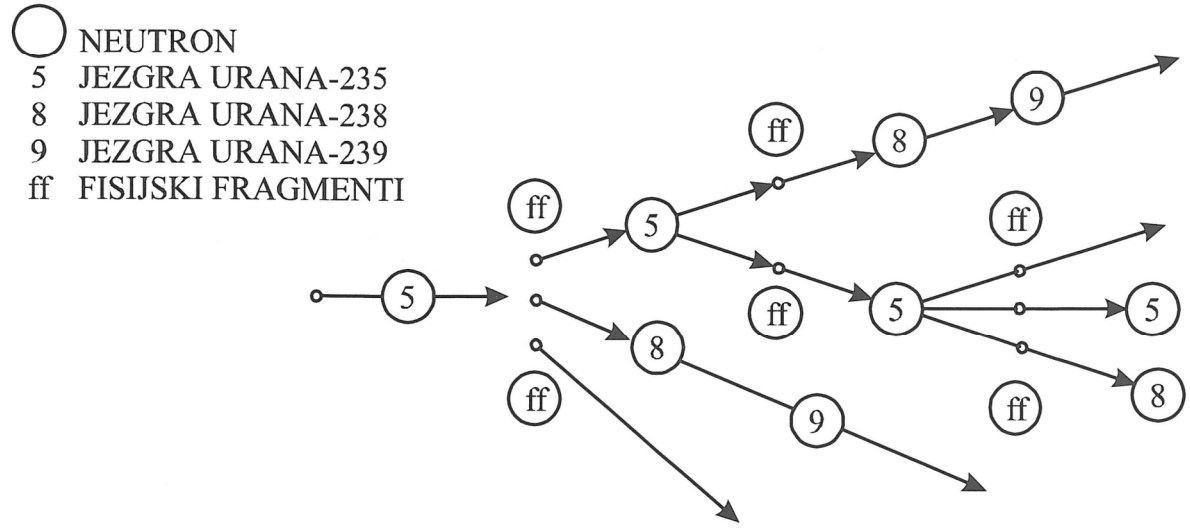
Na slici 36. shematski je prikazana lančana reakcija urana–235.

Jedno od bitnih obilježja sustava koji sadrži fisijski materijal mogućnost je ostvarenja samoodržavajuće lančane reakcije. Samoodržavajuća lančana reakcija nastaje kada se početni broj neutrona u sustavu, koji je izoliran od vanjskog izvora neutrona, ne smanjuje, tj. kad je sistem sposoban sav gubitak neutrona nadoknaditi njihovom internom proizvodnjom. Jedini takav fisijski materijal raspoloživ u prirodi prirodni je uran.

Samoodržavajuću lančanu reakciju u uranu moguće je ostvariti na dva načina:

1. Kod prirodnog ili slabo obogaćenog urana uspješnim usporavanjem fisijskih neutrona, ali sa što manje gubitaka neutrona u tijeku usporavanja. Tim se procesom može približiti uvjetima za ostvarenje samoodržavajuće lančane reakcije kao da su fisijski neutroni termičkih energija.

2. Visokim obogaćenjem urana, tj. povećanjem sadržaja izotopa urana–235 na više od 20 posto. Visoko je obogaćenje nuklearnog goriva potrebno radi kompenzacije apsorpcije neutrona od atoma izotopa urana–238 s povećanom vjerojatnošću fisije atoma urana–235.



Slika 36. Shematski prikaz lan čane reakcije urana–235

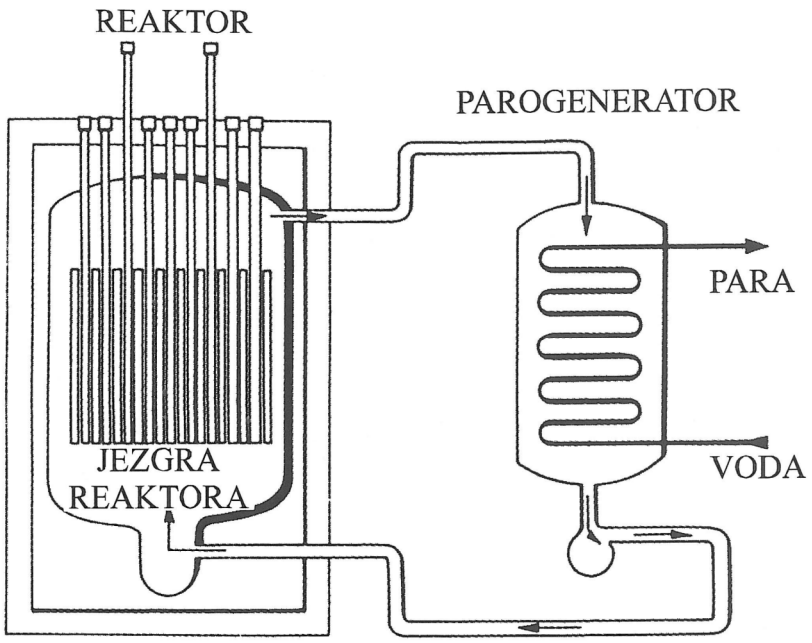
Prvi se način primjenjuje u termičkim reaktorima, a drugi u brzim reaktorima. Usporavanje neutrona ostvaruje se moderatorom, a sama moderacija obavlja se sudarom jezgara moderatora s neutronima.

Nuklearni su reaktori uređaji u kojima se održava kontrolirana lančana reakcija, a različiti oblici energije fisije pretvaraju se u toplinu koja se odgovarajućim prijenosnim medijem izvodi iz reaktora. Osnovna shema nuklearnoga reaktora prikazana je na slici 37. U jezgri reaktora smješteni su neklearno gorivo i medij za usporavanje neutrona (moderator). Da bi se spriječio bijeg neutrona iz rezgre reaktora, ona je oklopljena reflektorom, a da bi se onemogućio prodor radioaktivnog zračenja u okoliš, oko reflektora izrađen je biološki štit. Za regulaciju lančane reakcije služi kontrolni sustav, za koji se rabe štapovi od građe velikog udarnog presjeka apsorpcije.

Sa stajališta iskorištenja proizvedene topline nuklearne je reaktore najprikladnije klasificirati prema vrstama rashladnih sredstava:

a) reaktori hlađeni vodom pod tlakom (PWR i HWR),
b) reaktori hlađeni kipućom vodom (BWR, SGHWR i LWGR),
c) reaktori hlađeni plinom (GCR, AGR, HTGR i GBR) i
d) reaktori hlađeni tekućim metalima (LMFBR).

Svi reaktori trebaju obogaćeni uran ili plutonij kao nuklearno gorivo, osim reaktora koji su hlađeni i moderirani teškom vodom (HWR) i plinom hlađenih reaktora prve generacije (GCR), koji se mogu koristiti i prirodnim uranom.

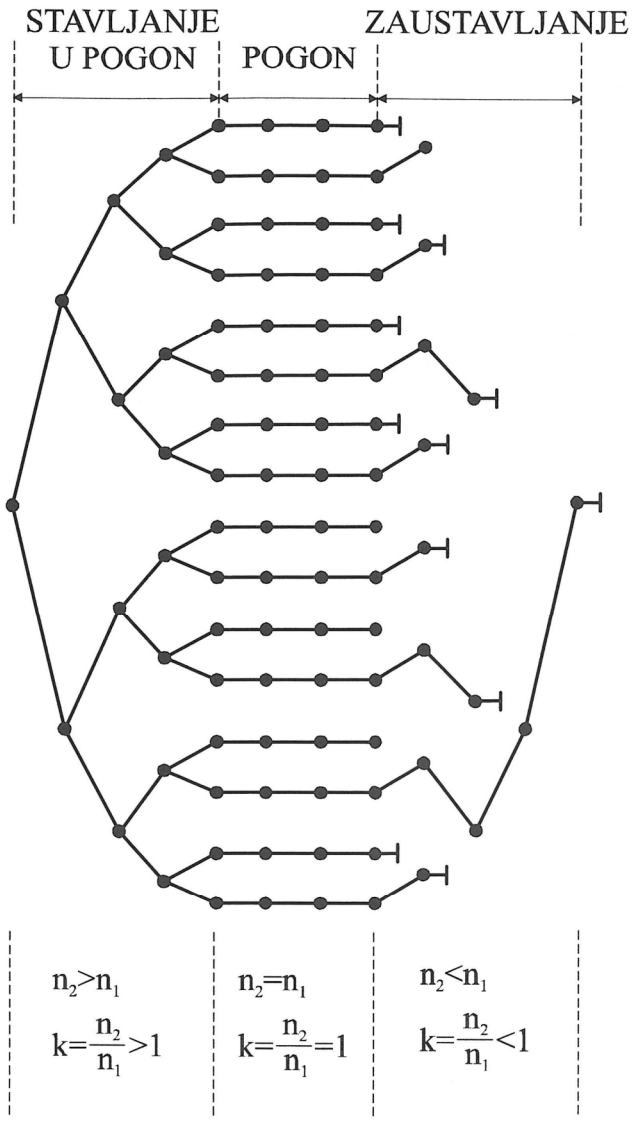


Slika 37. Osnovna shema reaktorskog dijela nuklearne elektrane

Za vrijeme stavljanja reaktora u pogon, sve dok se ne postigne potrebna snaga, ovisna o broju raspada u jedinici vremena, mora biti ispunjen uvjet da broj neutrona koji raspadom jedne jezgre izazivaju raspade drugih jezgara bude veći od jedan. Ako se s n_2 označi broj neutrona u nekoj generaciji, a s n_1 broj neutrona u prethodnoj generaciji, za vrijeme stavljanja u pogon mora biti $n_2 > n_1$. S pomoću broja neutrona iz dviju sukcesivnih generacija određuje se faktor multiplikacije k prema slijedećem izrazu:

$$k = \frac{n_2}{n_1} \tag{57}$$

Dakle, pri stavljanju reaktora u pogon (slika 38.) faktor multiplikacije mora biti $k > 1$. Kad je dostignut broj neutrona u jedinici vremena dovoljan za potrebnu snagu, mora se održavati konsatantnost broja neutrona, pa je, u tom slučaju, $n_2 = n_1$. U stacionarnom pogonu, prema tome, faktor multiplikacije iznosi $k = 1$. Međutim, kad se želi obustaviti rad reaktora, treba stvoriti takve uvjete da se iz generacije u generaciju smanjuje broj neutrona, dakle da bude $n_2 < n_1$ i da faktor multiplikacije bude manji od 1 ($k < 1$). Prema navedenome, o vrijednosti faktora multiplikacije ovisi tijek lančane reakcije. Zahtjev je za reaktore da moraju omogućiti regulaciju faktora multiplikacije, koji će biti takav da će označiti stavljanje u pogon, normalan pogon i obustavljanje reaktora bez problema.



Slika 38. Shematski prikaz nastajanja i prestanka lančane reakcije

2.5.10 Nuklearna fuzija

Fuzija, tj. spajanje lakih i teških jezgri, može se usporediti sa sagorijevanjem, tj. kemijskim spajanjem slabije vezanih atoma ili molekula u kemijski jače vezane, s tom razlikom što je u fuziji oslobođena energija za istu količinu tvari oko milijun puta veća.

Najvažnije su ove fuzijske reakcije:

$$D + D \rightarrow He^3 + n + 3,27\ MeV \tag{58}$$

$$D + D \rightarrow T + p + 4,03\ MeV \tag{59}$$

$$D + T \rightarrow He^4 + n + 17,6\ MeV \tag{60}$$

$$D + He^3 \rightarrow He^4 + p + 18,3\ MeV \tag{61}$$

Teški vodik, deuterij (D) s atomskom težinom dva, koji ulazi u sve navedene reakcije nalazi se u elementu vodiku kao izotopni sastojak jednim dijelom u pet tisuća. Izotopi vodika i helij, koji valja spajati da bi se oslobodila fuzijska energija, nabijene su čestice pa se odbijaju na udaljenostima na kojima još ne djeluju, inače znatno snažnije, ali kratka dosega, nuklearne sile.

Potreban je relativno mali ulog energije radi svladavanja električne odbojne sile prije no što može doći do oslobođenja kudikamo veće nuklearne energije. Dovede li se ta početna energija u obliku toplinske energije plinu deuteriju, fuzijska će reakcija početi kada kinetička energija čestica u plinu teškog vodika postane dovoljna za svladavanje odbojnih sila. Naziv termonuklearna reakcija za fuzijsku reakciju i dolazi upravo odatle što je zagrijavanje deuterija način za dovođenje početnoga energetskog uloga. Time se ujedno dolazi do problema koji se pojavljuju u nastojanjima da se oslobodi fuzijska energija. Naime, potrebne temperature iznose 100 milijuna stupnjeva ili više. U prvi se mah čini da taj zahtjev fuziju pretvara u neostvarivu iluziju. To su temperature koje vladaju u unutrašnjosti Sunca i zvijezda. Iznimno, u uvjetima nuklearnih eksplozija pojavljuje se i na Zemlji.

Temperature od 10 000 stupnjeva u laboratoriju su bile nedostižne prije tridesetak godina. No, napredak je u tom pogledu bio izvanredan. Danas se u plinskoj plazmi, tj. u neutralnoj smjesi pozitivnih i negativnih iona, već postižu temperature od više desetaka, pa i stotinu milijuna stupnjeva. Međutim, visoka je temperatura samo jedan od problema.

Nije dovoljno samo postići temperaturu od 100 milijuna stupnjeva. Za razvoj termonuklearne reakcije treba temperaturu u plazmi održati dovoljne gustoće i dovoljno dugo. Naime, i kada se sudare dva deuterona s dovoljnim energijama za nuklearnu reakciju, doista će do reakcije doći tek rijetko, prema kvantno-mehaničkoj vjerojatnosti procesa, izraženoj udarnim presjekom za termonuklaernu reakciju. Vjerojatnost je dana po jednom sudaru, i potrebna je stoga što veća gustoća plazme kako bi se povećao broj sudara. Kvantativan je izraz ovih zahtjeva tzv. Lawsonov kriterij, pema kojemu je uvjet za pozitivnu bilancu uložene i fuzijom dobivene energije taj da produkt gustoće plazme i vremena u kojemu se ona drži na fuzijskoj temperaturi ima određenu vrijednost.

Izrazi li se gustoća plazme brojem čestica u cm^3, n, onda produkt $n \cdot \tau$ mora biti jednak ili veći od 10^{14} $cm^{-3}s$ za D-T reakciju. Za D-D reakciju produkt mora biti veći, jer je vjerojatnost reakcije D-T za dva reda veća veličina od D-D reakcije, a uvjetovano je svojstvima jezgara deuterija i tricija, odnosno jezgara koje se dobiju fuzijom.

Zbog toga, kada se govori o fuziji, sasvim određeno misli se na D-T reakciju. Time se ujedno dolazi do novog problema. Gorivo je smjesa deuterija i tricija. No, tricij je nestabilna jezgra i u prirodi je nema, a to je isključeno njegovim poluvremenom raspada od 12 godina. On može nastati samo u nuklearnim pretvorbama. Prema tome, tricij za fuzijske reaktore treba proizvoditi. Po današnjim predodžbama o fuzijskom reaktoru, tricij će se proizvoditi iz litija reakcijama.

$$Li^6 + n \rightarrow T + He^4 + 4,8\ MeV \tag{62}$$

$$Li^7 + n \rightarrow T + He^4 + n - 2,8\ MeV \tag{63}$$

Prostor u kojemu se odvija termo-nuklearna reakcija bit će okružen debelim slojem tekućeg litija u kojemu se brzi neutroni iz D-T reakcije moderiraju i tako svoju energiju predaju litiju, ali i izazivaju nuklearne reakcije u kojima se litij cijepa i proizvodi tricij. Cirkulacijom tekućeg litija odvodit će se termonuklearna energija i produkti koji nastaju reakcijom, tj. helij i tricij.

Problem dovoljno dugog održavanja plazme na potrebnoj temperaturi vezan je uz njezinu termičku izolaciju od stijenki posude u kojoj se nalazi. Naravno da nikakvi materijali za to ne dolaze u obzir. Postoje dva načina za uspostavljanje uvjeta za fuzijsku reakciju.

Prvi se koristi magnetskim silama. Prikladnim konfiguracijama nagnetskih polja plazma se može prisiliti da se drži osi cilindrične ili toroidalne posude. To tzv. magnetsko ograničenje plazme nije stabilno i nestabilnije je što je veća gustoća plazme.

Drugi počiva na principu vrlo brzog zagrijavanja plazme, tako da se termo-nuklearna reakcija razvije prije nego što zagrijana plazma ekspandira ispod gustoće tražene Lawsonovim kriterijem. Ovakvo ograničenje plazme naziva se inercijskim, a ekspanzija plazme ograničena je samo inercijom sastojaka.

U usporedbi s drugim, prvi se način danas može nazvati konvencionalnim. Razvija se u mnogo laboratorija, a ispituje se niz različitih konfiguracija magnetskih polja. Drugi način je relativno nov. Plazma se zagrijava laserima i njezin je uspon vezan za razvoj lasera sposobnih za davanje vrlo velikih snaga u vrlo kratkim vremenskim razmacima.

Preduvjet koji se mora ispuniti želi li se razvijati termonuklearna reakcija jest zagrijavanje plazme na 100 milijuna stupnjeva ili više. To nije jedini problem, a ni najteži u fuziji, ali svakako jedan od problema. Metode su zagrijavanja plazme različite, a postignute su temperature od preko 100 milijuna stupnjeva, i to magnetskom kompresijom plazme.

Magnetska kompresija plazme izvodi se naglo rastućim magnetskim poljem usporednim s osi cilindra ili torusa u kojemu se nalazi plazma. Postupak je poznat pod nazivom "Theta pinch". Osnovni je problem pri komprimiranju plazme nestabilnost koja dovodi do toga da se mala nesimetrija magnetskih sila koja sa svih strana djeluje na plazmu pojačava i vrlo brzo plazmu izbacuje iz središnjeg položaja u dodir sa stijenkom cilindra ili torusa. Cilindrični uređaji karakterizirani su i problemom bježanja plazme na krajevima cilindra prilikom kompresije. Toroidalni uređaji nemaju takav paroblem, ali zato radijalno padanje magnetskog polja s udaljenošću od središta torusa zahtijeva dodatno magnetsko polje da bi se torus plazme mogao držati odvojen od stijenke torusa. Silnice dodatnog polja moraju obilaziti prsten plazme i mogu se proizvesti strujom kroz plazmu vanjskim strujnim namotajima. Budući da osnovno kompresijsko polje usmjereno duž prstena plazme s dodatnim poljem formira ukupno polje čije silnice poput navoja na vijku obilaze prsten plazme, govori se o tzv. "screw pinch" konfiguraciji, o "vijčanoj" kompresiji plazme. Uređaji u kojima se "screw pinch" postiže s dodatnim poljem struje kroz plazmu poznati su pod nazivom tokamak uređaja, po uređaju izrađenom u Institutu Kurčatova u Moskvi. Uređaji sa zavojnicama za dodatno polje nazivaju se stellaratorima po ovakvom uređaju izrađenom u Princetonu u SAD-u. Svaka konfiguracija za ograničenje i grijanje plazme ima svojih specifičnosti. Dok stellaratori rade u stacioniranom režimu, uređaji tipa tokamak rade pulsno, a struja pokrenuta indukcijom u plazmi služi istodobno za zagrijavanje plazme i stvaranje dodatnog stabilizacijskog polja.

Stanovita predodžba o tome koliko su se postojeći uređaji približili uvjetima nužnim za fuziju može se dobiti iz postignutih temperatura, te usporedbom postignutih vrijednosti produkta gustoće i vremena ograničenja s Lawsonovim kriterijima. Za ocjenu vrijednosti rezultata valja uzeti u obzir i to da se u današnjoj fazi pojedini tipovi uređaja usmjeravaju na ostvarenje samo jednog dijela uvjeta, primjerice temperature ili gustoće plazme. Tek će se u kasnijoj fazi moći izabrati najpovoljnija konfiguracija za ostvarenje svih potrebnih uvjeta istodobno. Očekuje se da će se europskim tokamakom JET (Joint European Torus) postići $n = 5 \cdot 10^{-14}$ cm^{-3} . s, a to znači premašenje fuzijskih uvjeta.

"Theta pinch" uređaji uspijevaju postići visoke temperature magnetskom kompresijom plazme. U takvim linearnim uređajima slobodnih krajeva postiže se temperatura od više de-

setaka milijuna stupnjeva, a u uređaju s krajevima zatvorenim s tzv. zrcalima koja sprečavaju izlaz plazmi pri kompresiji postignuta je fantastična temperatura od 200 milijuna stupnjeva (Phoenix II, Culham, Velika Britanija).

Jedna od linija istraživanja ide upravo za tim da se povoljne značajke linearnih "Theta pinch" sustava sačuvaju i u toroidalnoj konfiguraciji bitnoj za produženje vremena stabilnosti plazme.

Usporedo s razvojem uspostavljanja uvjeta za fuzijsku reakciju ocrtavaju se i tehnološki problemi budućeg fuzijskog reaktora. Jedan od njih bit će radijacijsko oštećenje građe. Energija proizvedena u D-T reakciji prenosi se iz plazme najvećim dijelom brzim neutronima, što znači da će kroz stjenke posude u kojoj se nalazi plazma prolaziti neobično intenzivan neutronski tijek koji se svoju energiju predati zaustavljajući se na debelom vanjskom omotaču od litija. Radijacijsko opterećenje prve stijenke posude bit će vrlo veliko, a dopušteno opterećenje imat će odlučni učinak na ekonomiku fuzijskog reaktora.

Kod metode inercijskog organičenja plazme magnetsko se polje ne upotrebljava za stabilizaciju pa, prema tome, čitava skupina problema otpada. Fizikalni, a dobrim dijelom i tehnološki problemi sasvim su drugi u toj metodi ekstremno brzog zagrijavanja laserom. Problem specifičan za ovaj prilaz fuziji jest razvoj lasera sposobnih da emitiraju golemu snagu kroz vrlo kratko i točno kontrolirano vrijeme. Vremenski i prostorno koncentriran laserski puls isparava kruti deuterij i pretvara ga u vruću plazmu velike gustoće u kojoj se reakcija može odvijati sve dok ekspanzijom njezina gustoća ne padne ispod vrijednosti nužne po Lawsonovu kriteriju. Da bi se i ovdje dobila predodžba o problemima što ih valja riješiti bit će potrebno navesti tipične procjene zahtjeva na potreban laserski puls.

Za isparavanje i zagrijavanje do temperature od 10^7 stjupnjeva sitne kuglice deuterija dimenzija približno 10^{-2} cm potrebna je energija od 10 J.

No zagrijavanje treba provesti u vremenu približno 10^{-9} sekunde, što znači trenutnu snagu od 10 000 MW.

Da bi se dobila pozitivna bilanca energije, prijeko potreban bio bi laserski puls još mnogo veće energije, iznad 10^6 J, u trajanju od 10^{-9} sekunde. Iako se u procesu zagrijavanja plazme kriju još mnoge nepoznanice, pa su procjene potrebne energije ovisne o mnogim pretpostavkama, sigurno je da su rezultati svih procjena daleko iznad mogućnosti današnjih lasera.

Laseri s neodimijem kao aktivnim materijalom sposobni su za energije do približno 10^4 J, ali nije vjerojatno da bi se mogli razviti do potrebnih vrijednosti. Smatra se da veću perspektivu imaju laseri s CO_2 kao aktivnim materijalom.

Vrlo je zanimljiv razvoj po kojem bi se zahtjevi na lasersku energiju reducirali za dva ili tri reda veličine i time se sasvim približili mogućnostima današnjih lasera.

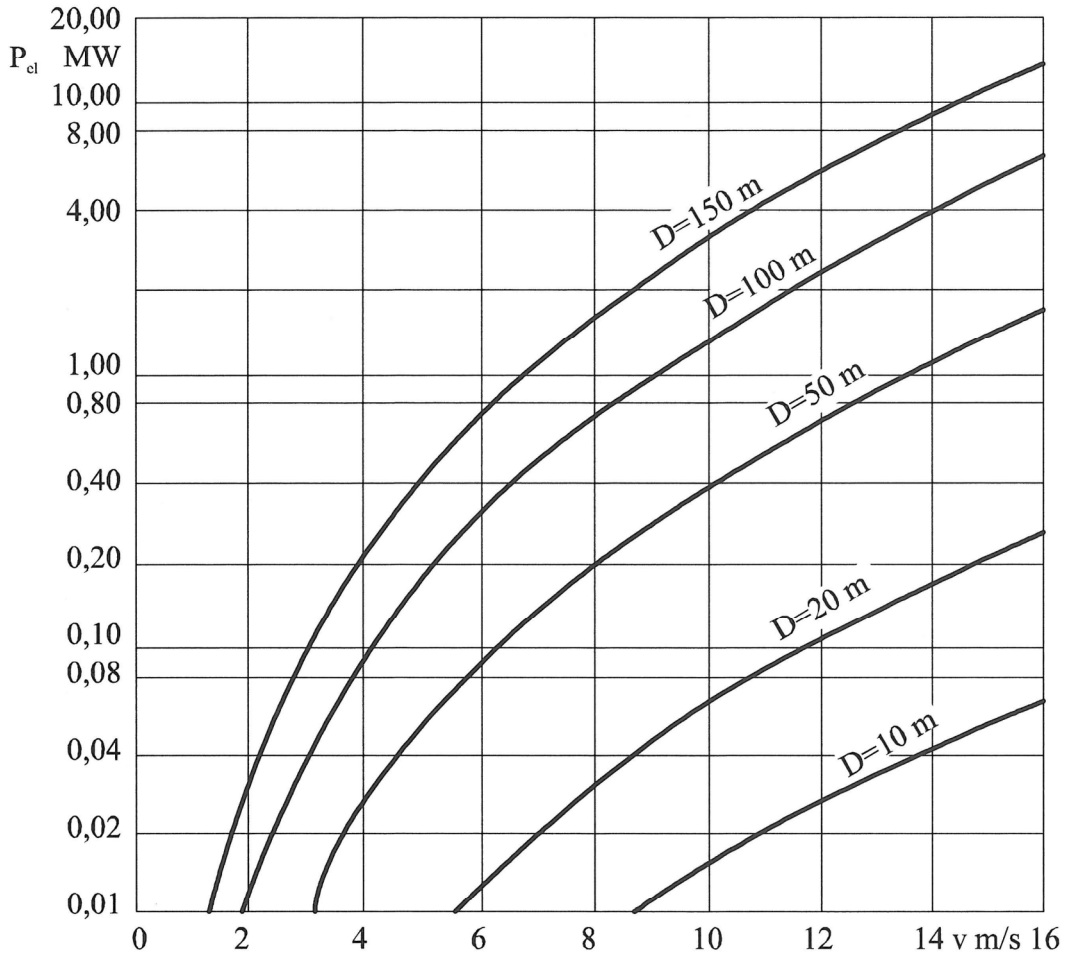
Do ove znatno povoljnije situacije došlo bi se novim principom komprimiranja plazme daleko iznad gustoće krutog tijela, obasjavanjem kuglice deuterija sa svih strana. Pri tome se isparavaju vanjski slojevi kuglice, a rezultirajuća reakcija komprimira ostatak. Kod toga se postavljaju vrlo određeni zahtjevi na vremenski tijek porasta laserskog pulsa. Eksperimenti su u tijeku i mnogi smatraju da će se laserskom fuzijom doći do pozitivne energetske bilance prije nego u magnetski ograničenoj plazmi. U svakom slučaju, laseri su područje vlo dinamičnog razvoja i nove ideje i rezultati mogu sasvim izmijeniti današnja predviđanja.

Privođenje fuzije miroljubivoj upotrebi za proizvodnju energije pokazalo se kao velik problem. Privlačnost i značenje kontrolirane fuzije takvi su da se u velikom broju istraživačkih centara ulažu veliki napori i sredstva u njegovo rješenje. Dugoročno rješenje energetskih problema čovječanstva leži u kontroliranoj fuziji, u procesu koji se u našem Suncu

odvija milijunima i milijunima godina. Sigurno je da ta dugoročna perspektiva opravdava napore koji se ulazu u ovladavanje fuzijom. Treba, međutim, istaknuti da fuzijska energija ima važnost i za razdoblje prije iscrpljenja fisijskih goriva. Po prirodi procesa pri fuziji se stvara mnogo manje radioaktivne građe i problem radioaktivnog otpada je kudikamo manji, ili beznačajan. Nadalje, materijali koji se rabe za fuziju ne mogu se zlouporabiti, kao što je to s plutonijem iz oplodnih reaktora. Iskorištavanje nuklearne fuzije omogućilo bi, nadalje, da se neobnovljiva fosilna goriva upotrijebe na racionalniji način, kao i da se uklone vrlo ozbiljni utjecaji na okoliš vezani uz njihovo izgaranje.

2.5.11 Vjetroelektrane

U prvom poglavlju opisana je mogućnost, principi i načini pretvaranja kinetičke energije vjetra u mehaničku energiju, te iz mehaničke u električnu energiju. Ovisnost električne snage na stezaljkama generatora o brzini vjetra i promjeru zračne turbine prikazana je na slici 39.

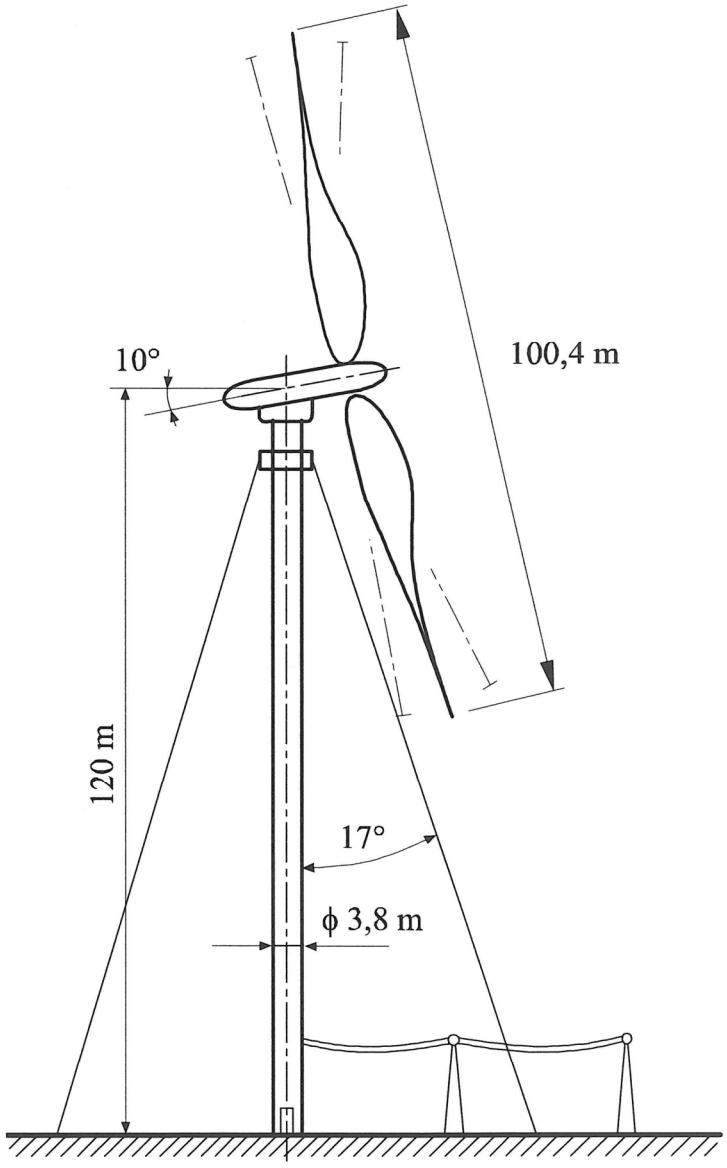


Slika 39.

Zračne turbine se obično postavljaju na tornjevima (slika 40.). Njihova visina je visina normalno veća od polumjera što ga opisuje vrh elise, kako bi se na taj način što bolje iskoristila pojava da brzina vjetra raste s visinom iznad površine tla. Za svaki konkretan slučaj (lokaciju) može se odrediti optimalna visina tornja, jer s visinom rastu i troškovi za njegovu izgradnju.

Za navedenu zračnu turbinu promjera 100.4 m postavljenu na visinu 120 m, razlika snage na turbinu (u slučaju kada je turbina u položaju okomitom na površinu) iznosi 41.3 posto. Naime, ako se snaga koja djeluje na vrh turbine označi s 1.0, na dnu turbine postiže se snaga 0.587. Ta razlika se smanjuje okretanjem kola turbine i nestaje u situaciji kada je propeler turbine horizontalan, da bi se nakon toga opet povećala. Promjena sila ima za posljedicu dodatna naprezanja i vjerojatno izvjesne vibracije, što sve zajedno poskupljuje postrojenje.

Zračna turbina se mora uvijek – da bi se energija vjetra što bolje iskoristila – postaviti tako da krug kojeg opisuje vrtnja turbine bude okomit na smjer vjetra, za što nema tehničkih prepreka.



Slika 40. Dispozicija jedne vjetroelektrane snage 2-3 MW

Regulacija brzine vrtnje postiže se smanjivanjem ili povećanjem aktivnih ploha na koje djeluje vjetar. Razvijena su dva sustava: zakretanje cijele turbine i zakretanje samo krila. Prvi sustav upotrebljava se za male turbine, a zakretanje provodi pomoću tlaka vjetra na

plohu koja se skupa s turbinom postavlja okomito na smjer vjetra. Sila na tu plohu zakreće turbinu približno vodoravne osi tako da površina kruga projicirana na ravninu okomitu na smjer vjetra, postaje sve manja što je zaokret veći. Zaokretanjem krila mijenja se kut lopatica, što za posljedicu ima promjenu sile na lopatice. Takva regulacija ima znatnih prednosti, jer može poslužiti i za regulaciju snage, pa se može ograničiti broj okretaja za vrijeme vrlo jakih vjetrova, te potpuno zaustaviti turbinu za vrijeme orkana, a osim toga služi za kočenje turbine u slučaju kvara.

U razdoblju od tridesetih do pedesetih godina prošlog stoljeća, projektiran je i izgrađen cijeli niz aeroelektrana veće snage u SAD-u, SSSR-u, Engleskoj, Danskoj, Francuskoj i Njemačkoj. Nakon toga, zbog jeftine energije zamire interes za vjetroelektrane sve do početka sedamdesetih, kada se on u ovim istim zemljama ponovo budi. Danas se u SAD-u komercijalno proizvode male aeroelektrane do 10 kW električne snage, koji svoju primjenu nalaze na udaljenijim poljoprivrednim farmama i vikend-kućama, te u određenim specijalnim namjenama, kao što su meteorološke stanice na nepristupačnim položajima i sl.

Prema veličini se aeroelektrane dijele u male do 10 kW, srednje snage reda veličine 100 kW i velike reda veličine MW.

U malim aeroelektranama zračna turbina tjera istosmjerni generator s kojim je paralelno spojen akumulator koji pohranjuje energiju za razdoblja bez vjetra. Zračne turbine još manje snage mogu se izravno koristiti za pogon crpki za dizanje vode iz podzemnih bunara. Takvi uređaji se koriste na udaljenim farmama te vikend kućama. Danas su ovakvi uređaji u SAD i Argentini, s obzirom na uštedu goriva, svojom cijenom konkurentni dizel agregatima iste namjene.

U aeroelektranama od 100 kW do nekoliko MW je ugrađen sinhroni generator koji radi paralelno s električnom mrežom.

Kod izgrađenih i planiranih velikih aeroelektrana u svijetu, iznad 1 MW je u prosjeku ostvariva specifična snaga od 200 W/m^2 površine vjetrenjače i gustoća energije od 1700 kWh/m^2 god. Takve elektrane se rade s elisama do 150 m promjera i visine stupa do 120 m. Cijena takvih postrojenja je visoka, a procjenjuje se da bi se serijskom proizvodnjom mogla sniziti, tj. spustiti na prosječnu specifičnu cijenu današnjih hidroelektrana.

2.5.12 Neposredne pretvorbe oblika energije u električnu energiju

2.5.12.1 Moguće neposredne pretvorbe

Prethodno opisane energetske pretvorbe vrlo se često ostvaruju u većem broju etapa, a u svakoj etapi pretvorbe energije nastaju gubici. Uz gubitke koji nastaju u postrojenjima za pretvorbu oblika energije, sama postrojenja za pretvorbe (često i pojedini strojevi) vrlo su složena, skupa, teška za održavanje, ograničenog vijeka trajanja itd. Zbog svega toga stupanj je djelovanja postrojenja za energetske pretvorbe često vrlo mali.

Nedostaci klasičnih postrojenja za energetske pretvorbe (osobito težina i veličina) došli su napose do izražaja kada su se morale osigurati energetske pretvorbe u astronautici, gdje se od postrojenja za pretvorbe traži da budu: pouzdana, jednostavnija, lakša i sigurnija. Zbog toga su se tražila rješenja neposrednih pretvorbi jednog oblika energije u drugi oblik, a najčešće je to izravna pretvorba oblika energije u električnu energiju.

Danas su poznate i najčešće se primjenjuju sljedeće neposredne pretvorbe oblika energije u električnu energiju.

I. neposredna pretvorba sunčane energije u električnu – fotoelektrična pretvorba,
II. neposredna pretvorba kemijske energije u električnu energiju – gorivni elementi (gorivne ćelije),
III. neposredna pretvorba toplinske energije u električnu energiju:
a) termoelektričnim postupkom,
b) termoionskim postupkom,
c) magnetohidrodinamskim generatorima,
IV. kombinacija pretvorba fotoelektrične i kemijske – fotoelektrokemijska pretvorba.

2.5.12.2 Solarne elektrane

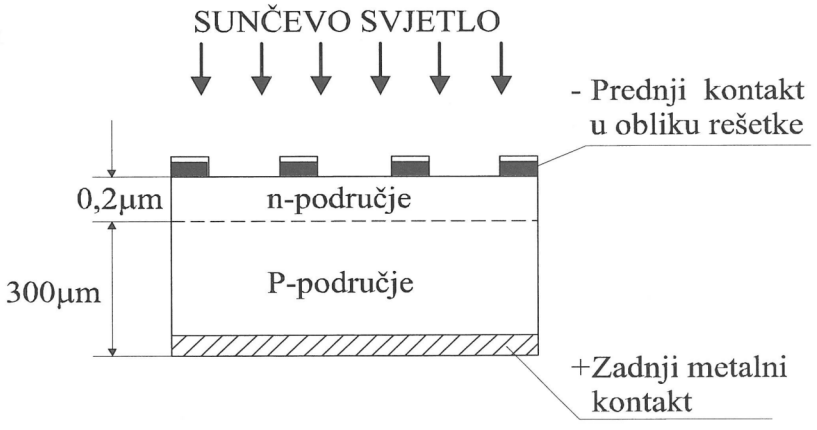
Fotonaponska pretvorba neposredna je pretvorba energije fotona u električnu energiju. Snop zraka svjetlosti je skup elektromagnetskih valova različitih frekvencija, a elektromagnetski valovi nisu ništa drugo nego bujica fotona koji imaju svoju malu ali ipak konačnu energiju. Budući da su elektromagnetski valovi različitih frekvencija, pa i strujanja fotona imaju različite energije.

Još 1893. godine Becquerel je otkrio fotoefekt na taj način što je zapazio da se jakost struje između metalnih elektroda u elektrolitu povećavala kada su se elektrode osvijetlile. Krajem devetnaestog stoljeća napravljena je prva fotoćelija od selena, a početkom dvadesetog stoljeća (1905.) Einstein objašnjava fotoefekt. Fotoelement iz selena imao je vrlo mali stupanj djelovanja (približno 1 posto), pa je pronalazak (1954. godine) fotoelementa (solarne ćelije) na bazi silicija bio veliko otkriće sa stupnjem djelovanja 10-20 posto.

$$E_f = h \cdot v \tag{64}$$

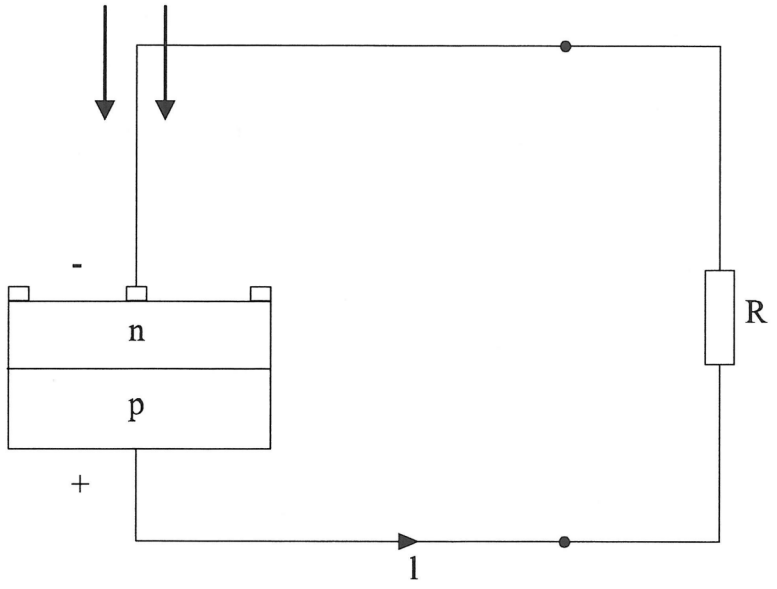
v = frekvencija fotona
h = Planckova konstanta ($h = 6.624 \times 10^{-34}\ Js$)

Iz shematskog prikaza silicijeve solarne ćelije (slika 41.) vidljivo je da se sastoji od dva tipa poluvodiča (p-tipa i n-tipa), a tako je konstruirana da svjetlosne zrake kroz tanki prozirni sloj poluvodiča (n-tipa) padaju na kontaktno područje obaju tipova poluvodiča. Obično se na prednjoj strani solarne ćelije nalazi metalna rešetka, a zadnja je strana prekrivena metalnim kontaktom. Važno je svojstvo p-n spoja njegovo ispravljačko djelovanje i mnogo lakše vodi struju kad je p-strana pozitivna, a n-strana negativna, nego kad je obratno. Dakle, p-n spoj radi kao dioda.



Slika 41. Shematski prikaz silicijeve ćelije

Svojstvo solarne ćelije da može skupljati elektrone i šupljine na odgovarajućim stranama p-n spoja, a takvo skupljanje uzrokuje elektromotornu silu na krajevima ćelije. Kada se solarna ćelija obasja svjetlošću, apsorbirani fotoni dovoljno velike energije proizvode parove elektron – šupljina, pa se uslijed unutrašnjeg električnog polja elektroni i šupljine gibaju prema suprotnim stranama. Ako su kontakti solarne ćelije spojeni s vanjskim potrošačem, kroz osvijetljenu solarnu ćeliju proteći će električna struja. (slika 42.).



Slika 42. Princip rada solarne ćelije (smjer struje)

Sunčane ćelije proizvode napon 0,5 – 0,7 V i jakost struje do 20 mA/cm^2 dok im je površina 5-10 cm^2. Da bi se dobio odgovarajući napon, odnosno snaga, ćelije se mogu spajati serijski i paralelno. Tako se dobivaju moduli solarnih ćelija u obliku ploče, a one se slažu jedna do druge u fotonaponske kolektore, koji zajedno s ostalim uređajima čine fotonaponski sustav.

Do sada su u mnogim laboratorijima načinjene i ispitane solarne ćelije od raznih poluvodičkih materijala, jedino se silicijske ćelije mogu komercijalno nabavljati. One su pouzdane, relativno dugog vijeka trajanja (15 godina) i imaju veliku primjenu kod satelita. Najveći problem kod široke primjene je njihova vrlo visoka cijena, pa se uglavnom rabe ondje gdje se ne mogu rabiti drugi izvori električne energije. U odnosu na cijenu električne energije iz klasičnih izvora (hidroelektrana, termoelektrana i nuklearnih elektrana) cijena električne energije iz solarnih ćelija je nekoliko puta veća. Iako je cijena električne energije iz solarnih ćelija visoka, ipak ima mjesta gdje je i danas opravdana njihova primjena (sateliti, izolirana planinska područja, otoci, zatim na sustavima za navodnjavanje itd.).

Danas se solarne ćelije, odnosno njihovi sustavi, intenzivno istražuju i razvijaju. Razloga za to ima više, a osnovni su:

- nemaju mehaničke pokretne dijelove koji unose dodatne gubitke i koji su podložni trošenju i oštećenjima;
- mogu se lako smjestiti na različita mjesta i u različite okoliše, vrlo blizu korisnika;
- male su težine, odnosno imaju velik omjer snage prema težini;
- ne zagađuju okoliš i u radu ne stvaraju buku;

- potrebno im je minimalno održavanje;
- modularna izvedba dopušta im vrlo široku primjenu, u području snaga od 1 μW do nekoliko stotina MW;
- dinamičke su im značajke vrlo povoljne, pogotovo u slučajevima gdje se traži vrlo brzo postizanje pune izlazne snage;
- materijal za njihovu izradu lako je dostupan.

Međutim, njihovu znatniju primjenu onemogućavale su do sada njihove loše osobine, od kojih su najznačajnije:

- visoka cijena solarnih ćelija, odnosno visoki troškovi proizvodnje električne energije u takvim solarnim sustavima;
- proizvodnja električne energije ovisi o intenzitetu svjetlosti, a pogotovo o njezinim promjenama u ciklusima dan – noć, odnosno s godišnjim dobima;
- potreba za dodatnim spremištima električne energije, tj. akumulatorskim baterijama;
- vrlo niska korisnost pretvorbe solarne energije u električnu, zbog čega je panelima solarnih ćelija ili kolektorskim sustavima nužno pokriti velike površine.

Stupanj djelovanja pretvorbe Sunčevog zračenja u električnu energiju osnova je za vrednovanje i njihove ekonomičnosti, budući da je to izravno vezano za potrebne površine panela i modula solarnih ćelija, odnosno troškove proizvodnje, zemljišta i montaže.

Osnovni pravci istraživanja i razvoja sustava za pretvorbu energije solarnog zračenja u električnu energiju usmjereni su prema smanjivanju visokih troškova izrade, povećanju stupnja djelovanja pretvorbe, usavršavanju tehnologije izrade i razvoju pogodnijih i djelotvornijih načina iskorištavanja.

Povećanje stupnja djelovanja vezano je i za razvoj novih materijala za solarne ćelije, i za nove ili savršenije tehnološke procese, odnosno načine, sustave i uvjete iskorištavanja.

Što se tiče razvoja i gradnje solarnih elektrana, mnogi problemi predstavljaju njihova znatna ograničenja, čak i pri vrlo povoljnim solarnim mogućnostima. Dodatna atmosferska ograničenja samo otežavaju situaciju i nameću potrebu za istraživanjem i razvojem satelitskih solarnih sustava, bilo da su posrijedi sustavi za prikupljanje i prijenos sunčane svjetlosti na Zemlju (sustavi orbitalnih reflektora) i njezino prikupljanje i pretvorbe u električnu energiju u postrojenjima na Zemlji, ili o sustavima za prikupljanje i pretvorbu sunčeve svjetlosti u svemiru (na prirodnim ili umjetnim satelitima), njezino slanje na Zemlju u obliku mikrovalnog snopa te ispravljanje i ponovno pretvaranje u električnu energiju. Međutim, i s tim sustavima vezano je mnogo problema. Jedni su vezani za negativan utjecaj atmosfere (raspršivanja i širenja valnih snopova s pripadajućim gubicima), a drugi za ograničene mogućnosti raspoloživih materijala u pogledu visokih napona potrebnih za mikrovalnu pretvorbu, u pogledu velikih koncentracija energije koja se odašilje ili prima, u pogledu toplinske opteretivosti najugroženijih sastavnica, ili ograničenja glede zahtjeva radiokomunikacije, izlaganja mikrovalnoj radijaciji ili zauzetosti korisne površine na Zemlji. U satelitskim solarnim sustavima puni bi se kapaciteti imali rabiti s praktično konstantnim solarnim zračenjem, što bi u odnosu na primjenu na Zemlji značilo dobitak nekoliko puta više energije.

Do ostvarenja satelitskih solarnih elektrana bit će potrebno još riješiti problem narušavanja solarnih sustava zbog izlaganja radijaciji i mehaničkim oštećenjima uzrokovanim udarima mikrometeorita. Napokon, treba odgovoriti i na pitanje ne prelazi li energija potrošena na gradnju i postavljanje takvih sustava u orbitu energiju koja se može proizvesti u životnome vijeku elektrane.

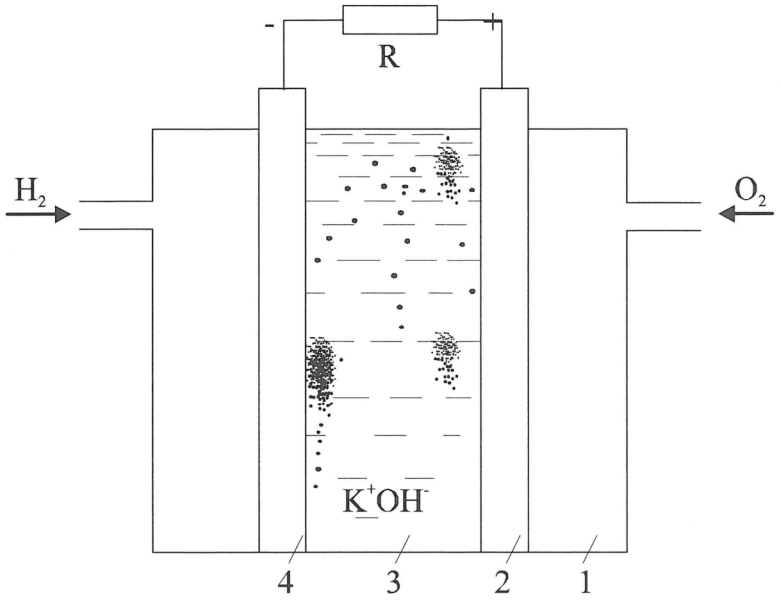
2.5.12.3 Neposredna pretvorba kemijske energije u električnu energiju

Elektrokemijske ćelije (gorivni elementi) elektrokemijski su uređaji u kojima se kemijska energija nekog kemijskog elementa ili spoja neposredno pretvara u električnu energiju. Gorivi se element općenito sastoji od dviju elektroda uronjenih u isti elektrolit (slika 43.).

Gorivo je kemijski element ili spoj visokog sadržaja unutrašnje energije koja se dovodi na anodu. Na anodi gorivo oksidira, a kao rezultat oksidacije oslobađaju se elektroni.

Oslobođeni se elektroni vode od anode te kroz vanjski strujni krug i preko trošila do katode. Na katodi tim se elektronima reducira drugi kemijski element ili spoj koji se dovodi u gorivni element kao oksidans.

Elektrode su gorivog elementa porozne, a upravo o njihovu sastavu i površini najviše ovise mehanizam i tijek navedenih reakcija.



Slika 43. Shema gorivnog elementa s vodikom i kisikom: 1-kućište, 2-katoda, 3-elektrolit, 4-anoda, R-trošilo

Prema načinu rada gorivi se elementi dijele na primarne i sekundarne. Osnovna je razlika u tome što se kod primarnih gorivnih elemenata u tijeku rada neprestano dovode novo gorivo i novi oksidans, a produkti reakcije odbacuju, dok se kod sekundarnih ili regenerativnih gorivnih elemenata produkti reakcije regeneriraju u polazne reaktante potroškom nekog od oblika energije.

Proces regeneracije produkata reakcije može se odvijati u gorivnom elementu ili izvan njega, a po prirodi je suprotan već opisanim procesima.

Tijek i priroda reakcije u gorivnom elementu ovise i o kemijskom sastavu elektrolita.

Elektrode su dijelovi gorivnih elemenata s višestrukom funkcijom. Po sastavu to su metali ili materijali s poluvodičkim svojstvima čija površina ubrzava (katalizira) elektrokemijske reakcije adsorbiranjem i disociranjem reaktanata, odnosno desorbiranjem produkata reakcije. One ujedno moraju imati dobra mehanička svojstva, visoku specifičnu površinu i poroznost, a pri tome zadržati dobru otpornost na korozivno djelovanje elektrolita i spojeva koji nastaju kao rezultat reakcije. Takva svojstva imaju primjerice platina, paladij, radij, rutenij, dijelom nikal i srebro, te grafit ako su posrijedi gorivni elementi koji rade pri srednjim i visokim tem-

peraturama. Naravno, tu treba dodati i mnoge materijale dobivene složenim tehnološkim postupcima. Elektrode su najkritičnija mjesta tehnoloških rješenja gorivnih elemenata. Sljedeći je važan element gorivnog elementa elektrolit. Elektrolit može biti tekući ili čvrst. Tekući su elektroliti polarne tekućine koje otapaju ionske kristale ili rastopljive soli najčešće alkalijskih metala (kloridi i karbonati). Najvažniji su čvrsti elektroliti ionski izmjenjivači, membrane građene od polimera s aktivnim skupinama SO_3H, COOH, OH ili NH_2, te membrane od nikal-borida i bor-nitrida. U visokotemperaturnim gorivnim elementima koriste se čvrsti elektroliti (AL_2O_3, ZrO_2 i MgO) dopirani dodatkom metala.

Gorivo je svaki kemijski element ili spoj s visokim sadržajem unutrašnje energije koju može osloboditi oksidacijom i prijeći u ionsko stanje.

Oksidans je svaka kemijska tvar koja redukcijom može preuzeti elektrone i prijeći u ionsko stanje. Najčešće su to kisik, zrak, halogeni elementi (Cl, Br, F) ili oksidirani oblici nekih redoks-sustava.

Gorivni su elementi vrlo djelotvorni elektro-kemijski pretvarači kemijske energije u električnu. Tako je primjerice izračunano da teoretska korisnost elektrokemijske pretvorbe kemijske energije ugljena u električnu energiju iznosi 99,75 posto. Praktično ostvarene vrijednosti nalaze se u području 60 do 80 posto.

Vrlo nagli napredak ostvaren je na području gorivnih elemenata čvrstog oksida. U pogonu su, uglavnom radi ispitivanja, generatorske jedinice kojima se već postižu zadovoljavajuća specifična snaga, pouzdanost i ekonomičnost, i za samostalnu proizvodnju električne energije. Postignute su i zadovoljavajuće pogonske značajke i regulacija parametara u neprekidnu radu dužem od 2000 sati.

Glavnina istraživanja i razvojnih programa okrenuta je razvoju gorivnih elemenata koji bi se koristili plinovima dobivenim rasplinjavanjem ugljena.

Međutim, budući da još uvijek nema većih iskustava s jedinicama snage iznad 2 MW, na tom području i dalje bez konkurencije ostaju procesi, odnosno postrojenja s neposrednim izgaranjem goriva, a pogotovo u proizvodnji električne energije, gdje klasične elektrane prelaze snagu od nekoliko stotina MW. S druge strane, problem lokacije takvih elektrana postaje sve veći pogotovo u većim gradovima, pa jedno od rješenja mogu biti disperzirane elektrane s generatorskim sustavima gorivnih elemenata.

Zbog svega toga očekuje se da će se uskoro ostvariti povoljna uporaba takvih sustava u kategoriji komercijalne upotrebe (dvije trećine komercijalnog tržišta koristi se snagama iznad 200 kW), odnosno u industrijskoj kombiniranoj proizvodnji u velikim gradovima.

Tri najvažnije prednosti gorivnih elemenata koje osiguravaju perspektivu njihove buduće upotrebe:

a) visok stupanj djelotvornosti (znatno viši nego u svim do sada upotrebljavanim termičkim procesima za proizvodnju električne energije);

b) mali negativni utjecaj na okoliš (količina otpadne topline iz gorivnih elemenata manja je nego iz konvencionalnih postrojenja, a produkti izgaranja, ovisno o gorivu, ili ne sadrže štetne sastojke, ili njihova količina ovisi o potpunosti izgaranja);

c) gotovo bešuman rad.

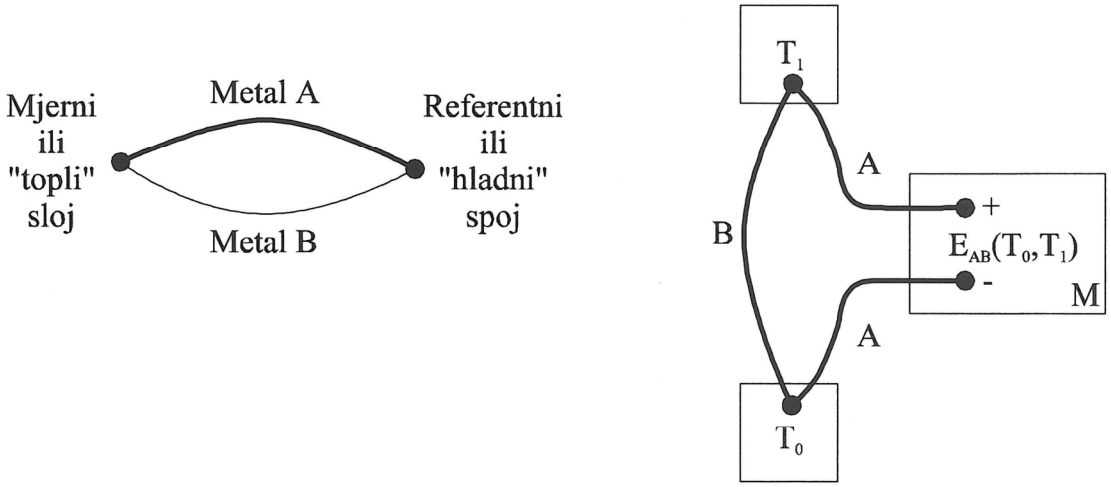
2.5.12.4 Neposredna pretvorba toplinske energije u električnu energiju

Temeljni princip termoelektrične pretvorbe osniva se na postojanju kontaktnog napona između dvaju, po izlaznome radu različita metala koji su dovedeni u međusobni dodir, odnosno prelasku slobodnih elektrona iz metala u metal i ovisnosti toga prelaska o temperaturi. Prolaz slobodnih elektrona kroz kontaktni sloj metala (ili oksida) ne odvija se potpuno slobodno.

Naime, slobodni elektron ne može napustiti površinu metala sve dok se ne svladaju sile koje ih vuku prema unutrašnjosti, odnosno dok se ne uloži određeni rad, tzv. izlazni rad. Veličine izlaznoga rada različite su za različite metale i okside, odnosno tanke slojeve oksida na metalima. Slobodni elektroni teže će napuštati površinu metala i oksida s većim izlaznim radom i obrnuto, lakše površinu metala s manjim izlaznim radom. Kao posljedica toga, dodirom dvaju metala slobodni će elektroni lakše prelaziti iz metala s manjim izlaznim radom u metal s većim izlaznim radom nego obrnuto, pa će se u metalu s većim izlaznim radom skupiti određen višak slobodnih elektrona, i on će postati negativno nabijen. U metalu s manjim izlaznim radom nastat će manjak slobodnih elektrona, i on će postati pozitivno nabijen.

Dakle, kao posljedica dodira (kontakta) dvaju metala s različitim izlaznim radovima uspostavit će se kontaktni napon. Kontaktni je napon mali i uspostavlja se samo na kontaktnoj površini. Ovisi o izlaznom radu metala i temperaturi kontakta. S porastom temperature slobodni elektroni u metalu izvode sve intenzivnije termičko gibanje, tj. imaju sve veću kinetičku energiju, odnosno sve veću sposobnost za svladavanje izlaznog rada. Na višoj temperaturi u metal s većim izlaznim radom prijeći će više slobodnih elektrona iz metala s manjim izlaznim radom, tj. povećat će se njihov kontaktni napon.

Najjednostavniji uređaj čiji se rad osniva na prije opisanom principu, tj. na principu termoelektrične pretvorbe jest termopar (termočlanak), (slika 44.)



Slika 44. Termopar i spoj za mjerenje termoelektrične elektromotorne sile

Termopar čine dvije žice od dvaju različitih metala sa spojenim krajevima. Jedan spoj (mjerni ili topli spoj) postavljen je u sredinu gdje se ima mjeriti temperatura, dok je drugi (referentni ili hladni spoj) u sredini poznate, tj. referentne, temperature. Napon nastao između dvaju spojeva približno je razmjeran razlici između temperatura dvaju spojeva i može se mjeriti uključivanjem pogodnoga mjernog instrumenta u strujni krug. Dakle, vrijedi:

$$V_{AB} = k\,(T_1 - T_0) \tag{65}$$

gdje je:

k – termoelektrični koeficijen ovisan o materijalima koji čine termopar, a nije ovisan o njihovim dimenzijama.

Veličina k ovisi, dakle, o termoparu i označuje upravo onaj napon koji se uspostavi uz razliku temperatura 1 K. Za najčešće upotrebljavane temoparove vrijednosti su te konstante:

- konstantan - željezo $5{,}2 \cdot 10^{-5}$ V/K,
- bakar - konstantan $4{,}1 \cdot 10^{-5}$ V/K,
- nikal - željezo $3{,}2 \cdot 10^{-5}$ V/K,
- platina - platinarodij $0{,}6 \cdot 10^{-5}$ V/K.

Napon termopara koji nastaje pri razlici temperatura $\Delta T = 1K$ naziva se termoelektrična sila termopara. Termopar silicij – bizmut ima najvišu poznatu termoelektričnu silu koja iznosi $5{,}2 \cdot 10^{-4}$ V/K

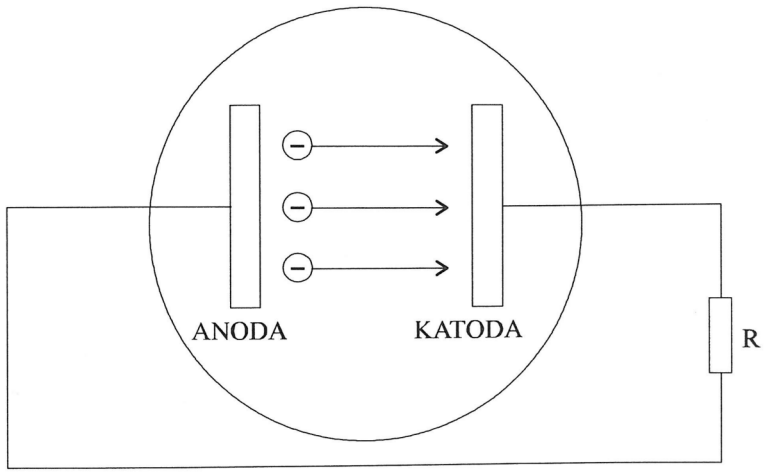
Ako se umjesto mjernog instrumenta u krug termopara uključi električno trošilo, nastali napon potjerat će električnu struju. Dakle, dobiven je izvor električne energije u kojemu se toplinska energija neposredno pretvara u električnu energiju. Pri tome se toplinska energija uzima iz spremnika više temperaturne razine da bi se dijelom pretvorila u električnu energiju, a dijelom predala okolici, tj. spremniku s nižom temperaturnom razinom.

Termoelektrični sustavi u kojima se rabe čak najbolji dostupni materijali još uvijek imaju nedostatak zbog relativno niskog stupnja djelovanja (približno 10 posto) uz istodobno velike troškove po jedinici izlazne snage. Njihova uporaba u proizvodnji električne snage, odnosno grijanju i hlađenju, zbog toga je ograničena na slučajeve u kojima su ti nedostaci manje važni od prednosti, kao što su mala veličina, lagano održavanje, nepostojanje potrebnih dijelova, bešuman rad, mala težina i dug životni vijek.

Termoionska pretvorba jedan je od najjednostavnijih oblika neposredne pretvorbe toplinske energije u električnu energiju. Osniva se na načelu da se pri zagrijavanju metala dovođenjem toplinske energije iz metala oslobađaju elektroni. Naime, zagrijavanjem se povećava kritična energija slobodnih elektrona. Kada ta energija postane dovoljna za svladavanje izlaznoga rada, elektroni se oslobađaju iz metala.

Pri normalnim temperaturama određeni broj elektrona napušta površinu svakoga vodljivog materijala, samo je njihov broj zanemarivo mali, čak toliko mali da je elektrone teško i registrirati. No, ako se vodljivi materijali zagriju na visokim temperaturama (od 1000 do 2500 K), velik broj elektrona napušta njihovu površinu. Kod većine metala do termoionske emisije dolazi pri temperaturi od 2000 K.

Najjednostavniji termoionski pretvarač čine dva metalna elementa, emiter (katoda) i kolektor (anoda), dakle, termoionska dioda (slika 45.).



Slika 45. Termoionski pretvara č

Da bi se iz emitera (katode) oslobodio elektron, treba emiteru dovesti energiju. Jedan se njezin dio troši za oslobađanje elektrona iz metala, a drugim se dijelom elektronu daje neka početna brzina (kinetička energija). Dakle, vrijedi:

$$E = \varphi + \frac{mv^2}{2} \tag{66}$$

gdje je:

E - dovedena toplinska energija,

φ - - izlazni rad metala, ili energija potrebna za "izvlačenje" elektrona iz metala,

$\frac{mv^2}{2}$ - kinetička energija elektrona izvan metala.

Za pretvorbu toplinske energije u električnu energiju rabe se elektrode otpornih metala, koji imaju veći izlazni rad, presvučene tvarima koje imaju male izlazne radove. Najčešće se kao takve tvari rabe zemnoalkalni oksidi, jer oni imaju najmanje izlazne radove.

Dovoljne emisije elektrona takvih elektroda ostvaruju se već pri temperaturama crvenog sjaja.

Kolektor, odnosno anoda, elektroda je na znatno nižoj temperaturi od emitera, i to takvoj da je njegova emisija elektrona zanemariva. Elektroni što ih je emitirala katoda prelaskom na anodu, dio kinetičke energije predaju anodi, što izaziva njezino zagrijavanje, a dio se troši za tok elektrona od anode kroz vanjski strujni krug, trošilo i natrag na katodu.

Anoda se nikada ne smije temperaturno izjednačiti s katodom, jer bi se tada uspostavila i ravnoteža emisije elektrona, odnosno pretvorba bi prestala. Dio toplinske energije koji se pretvara u električnu energiju raste s povećanjem temperaturne razlike između elektroda.

Očekuje se da će uskoro visokotemperaturni pretvarači s plazmom biti sposobni da u vanjski strujni krug daju snagu koja odgovara gustoći snage na emiteru od 10 do 40 W/cm^2, što bi značilo stupanj djelovanja pretvorbe približno 20 posto, mjereno prema stvarno danoj toplini emiteru.

Izvori topline za grijanje katode (emitera) mogu biti različiti.

Magnetohidrodinamski je generator uređaj koji toplinsku energiju nastalu izgaranjem goriva izravno pretvara u električnu energiju, dakle, bez posrednih pretvorba u unutrašnju energiju pare i mehaničku energiju turbine, odnosno generatora, koje neizbježno uključuju nove gubitke i snižavaju ukupni stupanj djelovanja kružnog procesa energetskih pretvorba u klasičnim termoelektranama. Kod magnetohidrodinamskog (MHD) generatora kružni je proces znatno kraći i odvija se pri znatno višim temperaturama, što se može iskoristiti za povećanje stupnjeva korisna djelovanja kružnih procesa postojećih postrojenja za energetske pretvorbe. Naime, temperatura izgaranja u ležištima kotlova (generatora pare) modernih termoelektrana prelazi 2250 K, ali se zbog ograničene toplinske otpornosti građe lopatice parnih turbina ne smiju zagrijati iznad 1050 K. Uzevši u obzir da stupanj djelovanja Carnotova teoretskoga kružnog procesa ovisi o maksimalnoj i minimalnoj temperaturi djelatne tvari, tj. o temperaturama između kojih se odvija kružni proces, maksimalno mogući stupanj djelovanja manji je od 0,6. Kako u praksi nema savršenih kružnih procesa, maksimalni stupnjevi djelovanja, koji se postižu s danas tehnički izvedivim procesima niži su od teoretske vrijednosti i iznose do 0,45. Da bi se ti stupnjevi djelovanja povećali u postojećim tehničkim procesima i tako ostvarila maksimalna mehanička energija, trebalo bi postići vrlo visok omjer tlakova p_{max} i p_{min} (p_{max}/p_{min}). Međutim, za temperature što ih materijali lopatica toplinskih strojeva danas mogu izdržati te vrijednosti nije moguće ostvariti u praksi.

Vodljivi materijali kod magnetohidrodinamskog (MHD)-generatora ionizirani su plinovi, a da bi se plinovi učinili električno vodljivima koliko je to potrebno, uvjeti rada zahtijevaju

temperature iznad 2250 K (3000-3300 K). Prema tome, zajedničkim radom magnetohidrodinamskog (MHD) generatora i parnih turbogeneratorskih jedinica stupnjeve djelovanja bilo bi moguće podići na vrijednosti od 0,5 do 0,6. Toplinska energija plinova izgaranja najprije bi se u MHD-generatoru izravno pretvarala u električnu energiju, a zatim bi se preostala toplinska energija plinova koji napuštaju kanal MHD-generatora, koji još uvijek imaju visoke temperature, uporabila u klasičnim turbogeneratorskim jedinicama. Time bi se znatno unaprijedile postojeće energetske pretvorbe, odnosno povećala bi se iskorištenost goriva. To je danas jedan od osnovnih ciljeva na području energetske tehnologije.

Osnovni je problem pronaći materijale sposobne da podnesu uvjete tako visokih temperatura a da, usto, budu i komercijalno povoljni. Današnje spoznaje i dostignuća u nuklearnoj fizici i fizici plazme, te u metalurgiji i u drugim granama znanosti i tehnologiji, nude stvarne osnove za rješenje toga problema.

Princip rada MHD-generatora osniva se na Faradayevu zakonu elektromagnetske indukcije, koji kaže da se elektromotorna sila inducira u vodiču koji se kreće u magnetskome polju, neovisno o agregatnom stanju vodiča.

Da bi se plin učinio električno vodljivim koliko je to potrebno, mora se zagrijati na temperaturi iznad 2250 K. Problemom dinamike električnog vođenja plinova koji su podvrgnuti djelovanju magnetskoga polja bavi se posebna grana znanosti – magnetohidrodinamika.

Kada se plin zagrije, vanjski se elektroni odvajaju od atoma (molekula) kao rezultat višestrukih sudara među atomima, pa tako plin, koji je na temperaturama ispod 2250 K električno neutralan, postaje vodljiv.

Kod još viših temperatura (3300 K i višim) neki plinovi prelaze u stanje tzv. niskotemperaturne plazme koju čine slobodni atomi, ioni nastali disocijacijom i elektroni. Niskotemperaturna plazma ima svojstvo električne vodljivosti koja ovisi o temperaturi i o stupnju ionizacije. Kod 3300 K, kada je stupanj ionizacije nizak (približno 0,1 posto), vodljivost je približno 50 posto. Poveća li se stupanj ionizacije na 1posto, vodljivosti se poveća na 80 posto. Da bi se postigla potpuna ionizacija plina potrebne su vrlo visoke temperature, tj. vrlo velike količine energije, a doprinos vodljivosti tek je 20 posto. Prema tome, za praktične svrhe nije potrebno ići na visoke stupnjeve ionizacije, jer je potrebno mnogo više energije uložiti za relativno mali doprinos vodljivosti.

Temperaturna otpornost materijala ovisi ne samo o svojstvima materijala nego i o tvari koja ga okružuje. Uvođenjem u plazmu alkalnih metala ta se temperatura snižava, pa se u tom pogledu postavljaju blaži zahtjevi za svojstva materijala, ali se s druge strane, znatno pojačava korozivno djelovanje, što unosi nova, dodatna, ograničenja.

Dodatni je problem kod MHD-generatora i potreba da se u cijevi kroz koje prolazi plazma sagradi jako magnetsko polje. Za gradnju takva polja potrebne su vrlo velike električne struje, što ujedno znači i velika zagrijavanja i gubitke energije u namotajima. Da bi se oni smanjili, otpor vodiča mora biti vrlo nizak, pa tehnologija MHD-generatora tu neizbježno uključuje dostignuća i rezultate tehnologije supravodljivih materijala.

2.5.12.5 Fotoelektrokemijska pretvorba

U procesu fotoelektrokemijske pretvorbe, uz pretvorbu solarne energije u električnu energiju odvija se i pretvorba solarne energije u kemijsku energiju u obliku kemijskog goriva, najčešće vodika. To je energetski vrlo kvalitetno gorivo u čijem se procesu oksidacije s kisikom oslobađaju velike količine topline i nastaje voda. Osim toga, nastalo kemijsko gorivo može se uporabiti u gorivim ćelijama za proizvodnju električne energije.

Elektrode fotoelektrokemijske ćelije, jedna ili obje, čvrsti su poluvodički materijali čije značajke odgovaraju karakterističnim valnim dužinama svjetlosti. U ćeliji za fotoelektrolizu vode kisik se proizvodi na anodi u procesu koji ima oblik:

$$2OH^- \rightarrow O_2 + 2H^+ + 4e^- \tag{67}$$

a vodik na katodi u procesu koji ima oblik:

$$4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H \tag{68}$$

Ukupna reakcija ima oblik:

$$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2 \tag{69}$$

Međutim, zajedničkom proizvodnjom kemijskog goriva i električne energije do sada nije postignuta zadovoljavajuća korisnost pretvorbe solarne energije u kemijsko gorivo (vodik) približno 1-2 posto, a to je znatno manje od 10 posto, što se smatra donjom granicom korisnosti solarnih pretvorba, a pogotovo daleko od teoretskih vrijednosti. Dodaju li se tome i visoki troškovi proizvodnje, odnosno nepovoljan odnos energije koju treba uložiti za proizvodnju ćelije u odnosu na energiju koja se dobiva iz ćelije, očito je da je komercijalna uporaba još uvijek vrlo daleko.

U foto-elektrokemijskim ćelijama odnos proizvedene električne energije i kemijskog goriva ovisi o sastavu elektroda, odnosno o ponašanju graničnih površina elektroda i tekućine. Kada su elektrode samo poluvodički materijali, u graničnom se prostoru proizvode električna energija i gorivo ovisno o prirodi procesa oksidacije i redukcije vezanih za vrstu otopine. Međutim, prekrije li se osnovni element ćelije, tj. poluvodička elektroda, tankim filmom nekog metala, primjerice zlata, izravno se proizvodi električna energija.

Ukupna izlazna energija fotoelektrokemijskog pretvarača, tj. zbroj kemijske energije goriva i električne energije, razmjerna je širini pojasa savijanja, odnosno potencijalu duž toga pojasa koji je "oslobođen" od elektrona. Taj napon ujedno odgovara i padu napona u vanjskome strujnom krugu. Stupanj korisnosti pretvorbe ćelije određen je odnosom energije pojasa savijanja i izlaznog rada.

Osim pretvorbe svjetlosne energije u električnu energiju i mogućnosti skladištenja proizvedene kemijske energije, moguće je još ostvariti kontrolu i upravljanje odnosa proizvedene električne i kemijske energije. Često, u usporedbi sa "suhim" fotonaponskim ćelijama znatno su smanjeni i tehnološki problemi. Potapanjem u elektrolit odmah se uspostavlja pojas savijanja, čime se postiže antireflektirajuće prekrivanje, a ujedno i štiti poluvodič od vanjskih utjecaja. Vrlo se lako ostvaruju kontakti elektroda i elektrolita (spoj kruto-tekuće), tako da otpadaju problemi vezani za temperaturnu osjetljivost spojeva.

Sve to zajedno pokazuje da fotoelektrokemijski pretvarači imaju vrlo velike mogućnosti kao uređaji za proizvodnju i uskladištenje energije, ali da bi se to ostvarilo, morat će se prije toga riješiti još mnogo problema.

3

Godišnja elektroenergetska bilanca (GEEB)

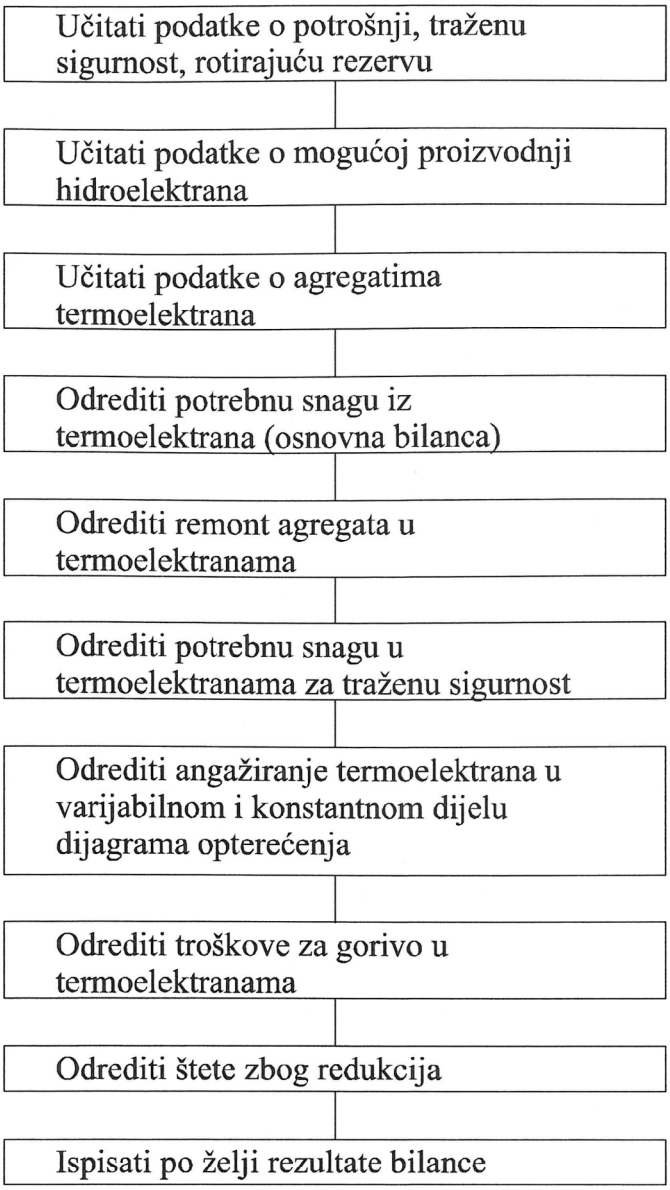
3.1 Osnovna shema elektroenergetske bilance

U elektroenergetskom sustavu u kojemu rade hidroelektrane, termoelektrane i crpnoakumulacijska postrojenja treba provesti analize mogućnosti zadovoljenja potrošnje električne energije, u svrhu saznanja kako bi se utvrdilo koliko se snage i energije iz hidroelektrana može iskoristiti, kolika je potrebna snaga i proizvodnja termoelektrana, te kakvo je i koliko je potrebno korištenje crpno-akumulacijskih postrojenja. Takvu analizu treba provesti kako bi se došlo do energetsko-ekonomskih podataka na temelju kojih je potrebno donositi odluke bilo o planiranju pravovremene izgradnje elektroenergetskog sustava, bilo o planiranju korištenja sustava. Osnovna svrha elektroenergetske bilance je u tome da se na temelju energetsko-ekonomskih pokazatelja određuju troškovi u elektroenergetskom sustavu.

Osnovna shema provedbe elektroenergetske bilance prikazana je na slici 46. Prema spomenutoj slici za provođenje elektroenergetske bilance najprije je potrebno učitati sve podatke o potrošnji električne energije za sve tjedne u godini, te poželjnu sigurnost opskrbe potrošača i potrebnu rotirajuću rezervu. Osim toga, treba učitati podatke o protocima hidroelektrana za svaki tjedan kroza sve godine promatranog hidrološkog perioda. Za agregate termoelektrana treba učitati raspoloživu snagu i snagu na pragu, snagu tehničkog minimuma, trajanje remonta i cijenu goriva po kWh. Obično se lista ulaznih podataka za agregate termoelektrana zadaje po redoslijedu angažiranja. Kriterij za redoslijed angažiranja agregata termoelektrana su troškovi za gorivo agregata od najnižeg prema višima. Iznimno od tog kriterija angažiraju se agregati ili dijelovi agregata u toplanama, jer je protutlačni rad (proizvodnja pare i vrele vode) diktiran potrebama potrošnje bez obzira na cijenu goriva.

3.2 Sigurnost opskrbe potrošača i potrebno vrijeme za remont agregata u termoelektranama

Pitanje sigurnosti opskrbe potrošača nije tehničko-energetsko pitanje nego čisto ekonomsko pitanje. Naime, svaki elektroenergetski sustav može biti toliko izgrađen da neće pri normalnim tehničko-tehnološkim prilikama doći do pomanjkanja električne energije i snage.



Slika 46. Blok-dijagram elektroenergetske bilance

Postavlja se, međutim, pitanje da li u kombiniranom elektroenergetskom sustavu, u kome je znatan udio hidroenergije i koji u strukturi potrošnje ima znatan dio tzv. konstantnih potrošača (lučne peći za proizvodnju karbida, ferolegura i elektrolize aluminija) treba težiti ostvarenju izgradnje elektrana da bude osigurana potpuna opskrba potrošača u svakoj situaciji koja se može pojaviti, odnosno koja se može predvidjeti. U spomenutom elektroenergetskom sustavu obično se može prihvatiti, a što je posljedica energetsko-ekonomskih proračuna, da u takovim sustavima nije ekonomski opravdano 100 posto - osigurati potrošače.

Uslijed nemogućnosti isporuke električne energije potrošačima, za slučaj sigurnosti opskrbe potrošača manje od 100 posto, nastaju štete kod potrošača zbog neisporučene energije (redukcija) s jedne strane, a s druge strane u elektroenergetskom sustavu treba izgraditi manje elektrana odnosno manju snagu u elektranama i proizvesti manje energije. Zbog nesigurnosti poznavanja protoka u hidroelektranama obično se kao dopunska elektrana (elektrana koju bi trebalo izgraditi od predviđene ili izračunate sigurnosti opskrbe potrošača do 100 posto sig-

urnosti) u račun uzima termoelektrana, jer u tom slučaju stoji na raspolaganju raspoloživa snaga termoelektrane s proizvodnjom koja će ovisiti o potrebama elektroenergetskog sustava.

Prema tome, u gospodarstvu zemlje postojat će jedan optimum s obzirom na sigurnost opskrbe potrošača. Razlika između koristi koje nastaju u elektroenergetskom sustavu (manja izgradnja termoelektrana) i šteta u gospodarstvu koje su posljedica redukcija može biti korist (ako je korist veća od štete) ili šteta (ako je šteta veća od koristi). Optimum u gospodarstvu zemlje bit će kada koristi postanu maksimalne.

Potrebno vrijeme za remont agregata u termoelektranama u funkciji je veličine agregata, starosti agregata, održavanja agregata i spremnosti i uvježbanosti ekipa koje izvode remont. Za veće jedinice, za starije i za slabije održavane jedinice bit će potrebno duže vrijeme za remont i obratno. Obično se pretpostavlja da će remont trajati 2, 3, 4, 5 ili 6 tjedana ovisno o svim navedenim čimbenicima.

Za potrebe elektroenergetske bilance se najčešće koriste slijedeći moduli:

- ALFoS - za predviđanje potrošnje,
- APHyPS - za proračun moguće proizvodnje hidroelektrana,
- APMaS - za određivanje rasporeda remonata agregata u termoelektranama,
- APCoS - za simulaciju prilika u elektroenergetskom sustavu.

U nastavku se daje opis navedenih modula.

3.3 Kratkoročno predviđanje potrošnje električne energije (ALFoS)

3.3.1 Osnovne postavke

Predviđanje potrošnje električne energije u idućoj godini temeljna je pretpostavka planiranja i upravljanja elektroenergetskim sustavom. Pogreške u tom smislu mogu imati značajan utjecaj na sigurnost opskrbe potrošača električnom energijom, i na veličinu troškova korištenja. Zbog toga se kao trajan zadatak nameće potreba kontinuiranog praćenja ostvarenja i preispitivanja predviđenih razina potrošnje, te razvoja novih i usavršavanja postojećih metoda predviđanja.

S tim u vezi postavljen je zadatak razrade metode za godišnje bilanciranje tj. metode godišnjeg predviđanja potrošnje električne energije, s odgovarajućom programskom podrškom za elektroničko računalo, koja će se koristiti u sektoru za korištenje za potrebe planiranja. Elementi razrade su sljedeći:

1. predviđanje godišnje potrošnje električne energije za iduću godinu;
2. predviđanje maksimalnog opterećenja;
3. sezonske oscilacije potrošnje i maksimalnog opterećenja;
4. predviđanje krivulje trajanja opterećenja;
5. potrošnje po grupama potrošača;
6. gubici na mreži prijenosa i distribucije;
7. ovisnost o utjecajnim čimbenicima (temperaturi).

Postavljeni zadatak dugoročnog predviđanja potrošnje električne energije do godine dana riješen je sektorskom metodom predviđanja potrošnje električne energije, odnosno metodom za izradu godišnje bilance. Ta metoda je dovoljno općenita da osigurava kvalitetno vođenje i predviđanje, odnosno dovoljno osjetljiva da se može prilagoditi različitim specifičnostima i potrebama.

3.3.2 Pristup problemu predviđanja potrošnje električne energije

Nema univerzalnog modela predviđanja koji bi bio dovoljno kvalitetan i osjetljiv za rješavanje bilo kojeg problema planiranja potrošnje električne energije, bez obzira na vremensko razdoblje (kratkoročno, srednjeročno, dugoročno), bez obzira na sastav i osobine potrošača (njihove krivulje opterećenja i ostale pogonske osobine), odnosno bez obzira na strukturu i značajke proizvodnog sustava. Još šire, takvog univerzalnog modela nema ni za elektroenergetske sustave približno istih veličina, sastava ili karakteristika.

Već pripremna istraživanja i analize prema pojedinim elementima zadatka pokazala su kako je nužno postavljeni model uskladiti osnovne zahtjeve modela dugoročnog predviđanja dijagrama opterećenja i uključuje određeni broj utjecaja (kao što je to primjerice klimatski utjecaj na potrošnju električne energije) specifičnih za ponašanje pojedinih grupa potrošača. Prema tome, osnovnu koncepciju modela čini princip podjele ("cijepanja") ukupne potrošnje u odvojene sektore potrošnje, određene ukupnom godišnjom potrošnjom i pripadnim koeficijentima koji održavaju njezine periodične (tjedne), dnevne i satne promjene u odnosu na prosječno stanje. Takva struktura dopušta vrlo lako prilagođavanje pojedinačnim potrebama i načinima korištenja, te različitim razinama poznavanja potrošnje. Omogućeno je obuhvaćanje rasta potrošnje zbog priključivanja novih potrošača električne energije i zbog rasta potrošnje postojećih, periodičnih oscilacija, klimatskih varijacija i promjena potrošnje zbog blagdana i izvanrednih događaja.

Način na koji će se provesti podjela ("cijepanje") ukupne potrošnje električne energije na pojedine sektore potrošnje, te način na koji će se svaki od tih sektora prikazati, specifičan je za svakog korisnika i njegovom poznavanju potrošnje električne energije. Sve to čini se prije početka predviđanja koji uključuje sve te informacije s ciljem da se iz njih izvede krivulja opterećenja za traženo razdoblje. Očito je da će kvaliteta modela, a samim time i predviđanja, uglavnom ovisiti upravo o spomenutim elementima.

3.3.3 Model sektorskog predviđanja potrošnje električne energije

Osnovu toga modela, kako je prije rečeno, čini "cijepanje" ukupne potrošnje električne energije na različite sektore potrošnje, opis krivulja opterećenja svakog od tih sektora, te izvođenje ukupne krivulje potrošnje za traženo razdoblje. Model, dakle, čine tri postupka:

a) predviđanje opće razine potrošnje električne energije za godinu za koju se predviđanje vrši;

b) odvajanje i opis različitih sektora u ukupnoj potrošnji;

c) izvođenje krivulja opterećenja sektora i ukupne krivulje opterećenja za traženo vremensko razdoblje.

Prema tome, taj model je po osobinama i model analize prošle potrošnje i model predviđanja, sa svim problemima i poteškoćama koje prate njihovu primjenu u praksi. Za kvalitetnu primjenu nužno je osigurati niz točnih podataka o potrošnji električne energije posljednjih nekoliko godina, sa svim potrebnim podacima o događajima i pojavama koji su utjecali na tu potrošnju. Razdoblje predviđanja ukupne potrošnje električne energije ovdje je godina dana, a to dopušta uključivanje nesigurnosti predviđanja u samu nesigurnost metode, na čije

se smanjenje može značajno utjecati dobrim pripremama za korištenje modela. Naime, za određeni niz godina potrošnju električne energije prate zakonitosti prema kojima se može približno točno predviđati buduća potrošnja.

3.3.3.1 Sektori potrošnje električne energije

Podjela ukupne potrošnje na pojedine sektore potrošnje uvjetovana je činjenicom da je moguće daleko lakše otkriti i opisati zakonitosti ponašanja pojedinih sektora potrošnje nego ukupne potrošnje, pogotovo što se te zakonitosti mogu značajno razlikovati od sektora do sektora. Odabir sektora potrošnje važan je za točnost modela i osjetljivost simulacije ponašanja potrošnje, pa treba biti rezultat kompromisa između sljedećih osnovnih kriterija:

- poznavanje prošle i mogućnosti predviđanja buduće godišnje potrošnje električne energije;
- poznavanje dosadašnjih i mogućnosti predviđanja budućih krivulja opterećenja, odnosno njihove uvjetovanosti;
- mogućnosti djelovanja na krivulje potrošnje sektora (djelovanje na ponašanje potrošača tijekom određenog razdoblja);
- važnosti razvoja upotrebe električne energije kod pojedinih potrošača;
- specifičnosti razvoja ili ponašanja potrošača unutar sektora potrošnje;
- utjecaja administrativnih ili ekonomskih mjera na ponašanje korisnika električne energije;
- utjecaja ostalih čimbenika na ponašanje potrošnje električne energije, itd.

Podjela ukupne potrošnje na sektore potrošnje može se izvršiti prema tipovima korisnika (kućanstva, industrija, direktni i specijalni potrošači, itd.), ili prema tipovima upotrebe (grijanje prostorija, osvjetljenje, grijanje vode, dobivanje topline visokih temperatura, itd.). Naravno, to su dva krajnja slučaja, pa su mogući i različiti slučajevi primjene obaju kriterija podjele istovremeno. Ovisno o načinu podjele, priroda informacija općenito će biti različita. Kod sektora "korisnika" najčešće se znaju podaci o godišnjoj potrošnji, ali je teško rekonstruirati krivulje opterećenja. Naprotiv, kod sektora "upotrebe" puno je lakše modelirati krivulje opterećenja nego odrediti ukupne godišnje potrošnje električne energije. Dakle, nužan je i kompromis između dvaju krajnjih stavova, tj. "svi korisnici" i "sve upotrebe".

3.3.3.2 Kalendarska obrada dana u godini

Prvi korak postupka je da se nizom koeficijenata K1, K2 i K3 identificiraju kalendarski dani (datumi) u godini koja se obrađuje. Koeficijent $K1_{jm}$ daje informaciju kojem mjesecu kalendarski dan pripada, odnosno koji je njegov redni broj u tom istom mjesecu. Formira se za sve dane u godini koja se obrađuje, i to na sljedeći način:

$$K1_{jm} = 100 \cdot k + n, \quad j = 1, \ldots, N \tag{1}$$

gdje je

m - redni broj dana u godini j;

k - redni broj mjeseca u godini;

n - redni broj dana u mjesecu;

N - ukupan broj godina koje se obrađuju.

Koeficijent $K2_{jm}$ daje informaciju kojem tjednu dan pripada, tj. ima sljedeće vrijednosti:

$$K2_{jm} = 1, \ldots, 52, \quad j = 1, \ldots, N \tag{2}$$

Konačno, koeficijent $K3_{jm}$ sadrži informaciju o tipu dana. Naime svaki dan u godini označava se vrijednošću koja ukazuje na to da li se radi o radnom danu, suboti, nedjelji, blagdanu, itd. Ovisno o tome, različitim tipovima dana pripisuju se i različiti relativni udjeli u potrošnji električne energije u tjednu (relativni udio radnog dana je 1.). Koeficijenti $K3_{jm}$ imaju sljedeće vrijednosti:

$K3_{jm} = 0$ za radni dan; (3)

$K3_{jm} = 1$ za subotu; (4)

$K3_{jm} = 2$ za nedjelju; (5)

$K3_{jm} = 3$ za ponedjeljak; (6)

$K3_{jm} = 4$ za radni dan u prazničkom razdoblju; (7)

$K3_{jm} = 5$ za subotu u prazničkom razdoblju; (8)

$K3_{jm} = 6$ za nedjelju u prazničkom razdoblju; (9)

$K3_{jm} = 7$ za ponedjeljak u prazničkom razdoblju; (10)

3.3.3.3 Godišnja potrošnja električne energije za narednu godinu

Kod svakog sektora potrošnje polazi se od predviđanja godišnje potrošnje električne energije za iduću godinu. Kod sektora "korisnika" osnova za određivanje godišnje potrošnje za iduću godinu su podaci o potrošnji za nekoliko posljednjih godina, dok se kod sektora "upotrebe" do ukupne godišnje potrošnje dolazi procjenom, modeliranjem, ili posredno, izvođenjem iz podataka o drugim djelatnostima. Prirodu predviđanja uvjetuju raspoloživi (dostupni) podaci i način njihove obrade. Najčešće su potrebne i dodatne analize u pogledu primjenjivosti stopa rasta, akcija koje se čine radi usmjeravanja razvoja potrošnje ili ostalih kriterija od interesa.

Točnost određivanja godišnje potrošnje izravno utječe na kvalitetu predviđanja, pa je kod "grubih" aproksimacija ukupne potrošnje nekorisno određivati točan oblik krivulje opterećenja. Kod predviđanja godišnje potrošnje polazi se od porasta potrošnje od godine do godine, odnosno tijekom jedne godine. Porast potrošnje je posljedica s jedne strane priključka novih potrošača, a s druge povećanja potrošnje već postojećih potrošača. Svaka od ovih pojava ovisi o nizu utjecaja, a i ne mogu se podvrgnuti nekim zakonitostima, pa se može uzeti da

postoji vjerojatnost da će se porast potrošnje raspodijeliti na cijelu godinu. Pretpostavlja se, dakle, ravnomjeran raspored tijekom godine. Budući da se porast potrošnje električne energije u nizu godina odvija po eksponencijalnom zakonu, takva zakonitost se pretpostavlja i unutar jedne godine. Kako je tu osnovna jedinica sezonske podjele jedan tjedan, godišnji rast uzima se u tjednim koracima, izvedenim iz godišnje stope rasta potrošnje električne energije sektora.

Osnova za određivanje trenda rasta potrošnje električne energije je srednja tjedna vrijednost potrošnje električne energije sektora c u godini j (slika 47.), koja iznosi:

$$\overset{1}{E}_{jc} = \frac{1}{52}\sum_{i=1}^{52} E_{ijc}, \qquad j = 1, \ldots, N-1 \tag{11}$$

gdje je
E_{ijc} - potrošnja električne energije sektora c u tjednu i godine j;
j - indeks godine promatranja (za godinu za koju se obavlja predviđanje vrijedi $j = N$).
Prosječni godišnji porast potrošnje sektora c je

$$t_c = \sqrt[N-1]{\frac{E_{jc}}{E_{1c}}} - 1, \qquad j = 1, \ldots, N-1 \tag{12}$$

što daje prosječni godišnji trend

$$T_c = 1 + t_c \tag{13}$$

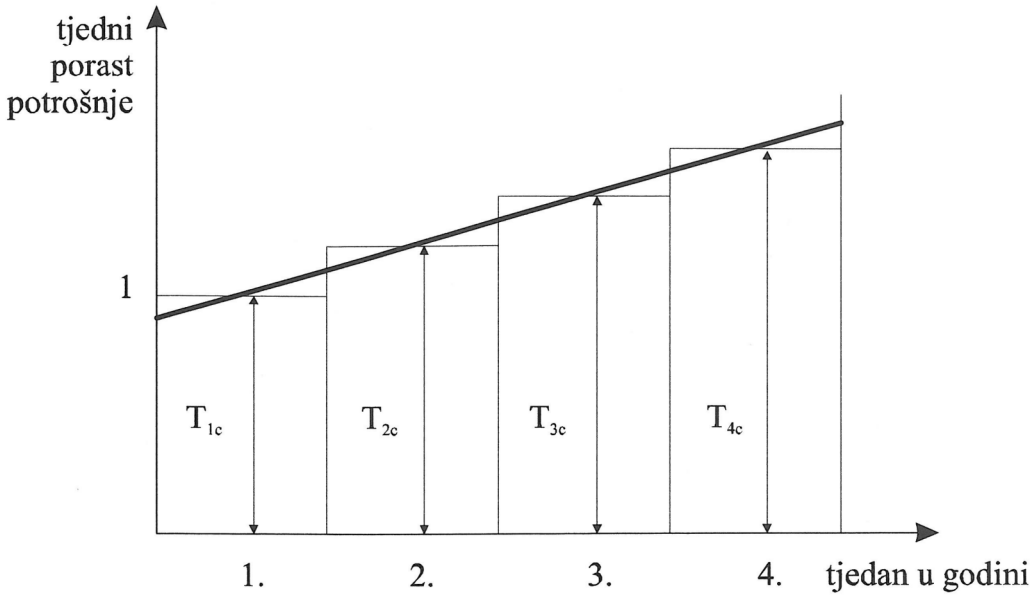
Uz raniju pretpostavku eksponencijalnog rasta potrošnje električne energije unutar godine, tjedni porast potrošnje je

$$T_{ic} = T_c^{i/52}, \qquad j = 1, \ldots, 52 \tag{14}$$

gdje je
i - indeks tjedna u godini ($i \leq 52$).
Napomena: Ukupni porast potrošnje električne energije određuje se na sljedeći način:

$$t_{ukupno} = \sum_c \frac{t_c \cdot E_{jc}}{\sum_c E_{jc}} \tag{15}$$

Vrijednost $\dfrac{t_c E_{jc}}{\sum_c E_{jc}}$ - predstavlja težinski faktor za porast potrošnje sektora.



Slika 47. Aproksimacija porasta potrošnje po tjednima uz pretpostavku eksponencijalnog rasta tijekom godine

Prema tome, srednja tjedna vrijednost potrošnje električne energije sektora c u godini za koju se obavlja predviđanje je

$$E^1_{jc(j=N)} = T_c \cdot E^1_{jc(j=N-1)} \tag{16}$$

što odgovara ukupnoj potrošnji električne energije u godini za koju se obavlja predviđanje:

$$E_{jc(j=N)} = 52 \cdot E^1_{jc(j=N)} \tag{17}$$

Tjedni porast potrošnje unutar bilo kojeg tjedna iznosi

$$t_{1c} = t_c^{1/52} \tag{18}$$

Pomoću izračunate srednje tjedne vrijednosti potrošnje električne energije sektora u narednoj godini i tjednog porasta potrošnje unutar bilo kojeg tjedna određuju se tjedne potrošnje sektora tijekom naredne godine (uvjetovane samo porastom potrošnje tijekom godine), tj. vrijedi

$$E_{ijc(j=N)} = E^1_{jc(j=N)} \cdot (1 + t_{1c})^{(i-26,5)/52}, \quad i = 1, \ldots, 52 \tag{19}$$

3.3.3.4 Opis krivulje opterećenja

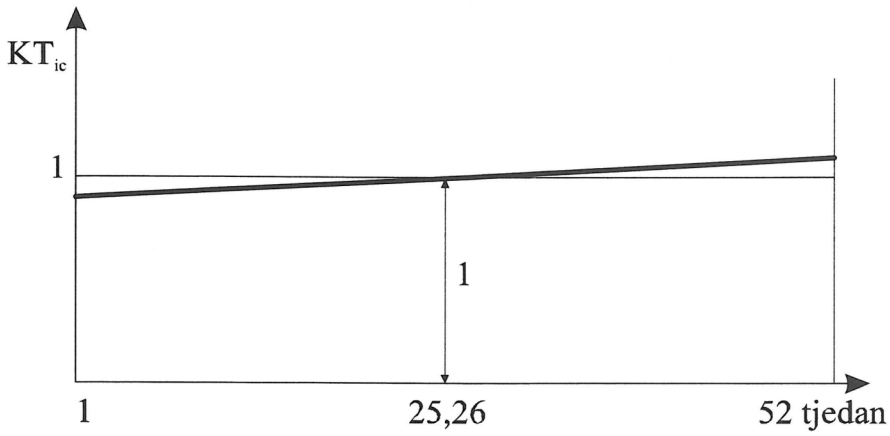
Nakon što je za svaki sektor određena ukupna godišnja potrošnja električne energije za narednu godinu, pomoću niza koeficijenata obavlja se njezina raspodjela na potrošnje u tjednima, danima i satima godine. Odgovarajućim koeficijentima obuhvaćaju se:

a) rast potrošnje tijekom godine;
b) planirani ulasci u pogon;
c) sezonske promjene potrošnje unutar godine;
d) dnevne promjene potrošnje unutar odgovarajućeg tjedna;
e) satne promjene potrošnje tijekom odgovarajućeg dana;
f) temperaturni i ostali utjecaji.

a) O rastu potrošnje tijekom godine već je bilo riječi kod određivanja ukupne godišnje potrošnje električne energije za narednu godinu. Koeficijent kojim se taj rast "raspoređuje" tijekom godine ima oblik:

$$KT_{ic} = (1 + t_{1c})^{(i-26,5)/52}, \quad i = 1, ..., 52 \tag{20}$$

Vrijednosti tih koeficijenata po tjednima godine prikazani su na slici 48.



Slika 48. Tjedni koeficijenti porasta potrošnje električne energije tijekom godine

b) Kod planiranja ulazaka u pogon većih potrošača koji značajnije utječu na porast potrošnje sektora, aproksimacija na način kako je to prije učinjeno (pretpostavka o ravnomjernom porastu potrošnje tijekom godine) sigurno ne bi dala zadovoljavajuće rezultate. Uz to, bilo bi potrebno korigirati niz koeficijenata za modeliranje bez mogućnosti oslanjanja na ostvarene podatke iz prošlosti.

Zbog svega toga, u slučaju planiranih ulazaka u pogon većih potrošača u sektoru, odnosno grupi koja pripada sektoru, postupa se na sljedeći način. Prije planiranog ulaska u pogon potrošača u sektoru (grupi) potrošnje koeficijent ulaska u pogon ima početnu vrijednost 1.0, tj.

$$F_{jc} = 1.0 \tag{21}$$

gdje je

j - indeks godine za koju se obavlja obrada (tj. $j = N$).

Nakon što se prema datumu ulaska u pogon identificira redni broj dana u godini koji mu je pridružen, tj. m_u, računa se nova vrijednost koeficijenta ulaska u pogon koji vrijedi za sve $m \geq m_u$:

$$F_{jc} = \left(1 + \frac{f_{rc}}{100}\right) \cdot u_{cr} \tag{22}$$

gdje je

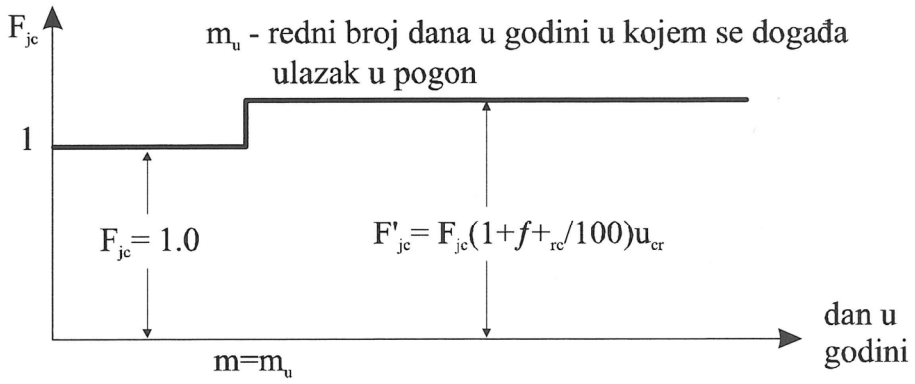
m_u - indeks dana u godini predviđanja ($j = N$) u kojem se događa ulazak pogon;

f_{rc} - postotak povećanja opterećenja potrošača u grupi r sektora c u danu godine $m = m_u$;

u_{cr} - učešće grupe potrošača r u sektoru potrošnje c.

Na taj način svi koeficijenti kojima se modeliraju krivulje opterećenja mogu se primjenjivati i dalje bez preračunavanja (korekcije). Koeficijent ulaska u pogon primjenjuje se na sve dane iza dana u godini čiji je indeks $m \geq m_u$.

Na slici 49. radi ilustracije prikazan je primjer koeficijenta planiranog ulaska u pogon za neki sektor.



Slika 49. Koeficijenti ulaska u pogon tijekom godine

c) Sezonske (tjedne) promjene potrošnje električne energije tijekom godine rezultat su cikličkih promjena životnih i radnih aktivnosti ljudi, odnosno promjene klimatskih i drugih uvjeta tijekom godine. Te promjene obuhvaćaju se koeficijentima sezonskih promjena, koji predstavljaju odnos energije tjednog prosječnog radnog dana prema energiji godišnjeg prosječnog radnog dana. Koeficijenti sezonskih promjena u stvari su relativne "težine" tjedana u ukupnoj potrošnji električne energije u godini, i to tako da je njihova suma u godini jednaka ukupnom broju tjedana u godini (tj. 52).

Osnova za njihovo određivanje su podaci o potrošnji električne energije sektora po danima u godini koja prethodi godini predviđanja (tj. za $j = N - 1$). Postupak je sljedeći. Iz podataka o dnevnim potrošnjama izdvoje se posljedice utjecaja izvanrednih događaja koji nemaju sezonski karakter (ispadi iz pogona i sl.). Sumiranjem se određuje korigirana potrošnja električne energije sektora c u tjednu i, tj. vrijedi:

$$E_{ic} = \sum_{m_i} \frac{Ed_{mjc}}{D_{icp}} \tag{23}$$

gdje je

m_i- indeks dana u tjednu i godine koja prethodi godini predviđanja, tj. za $j = N - 1$;

Ed_{mjc} - potrošnja električne energije sektora c u danu m;

D_{icp}- težinski koeficijent dana m_i (prema tipu dana) u tjednu i za sektor c;

p - indeks tipa dana u tjednu koji se određuje na sljedeći način:

$$p = K3_{jm} + 1, \quad (j = N - 1, \quad p = 1, \ldots, 8) \tag{24}$$

S druge strane, korigirana prosječna potrošnja električne energije sektora c u tjednu i, uzevši u obzir porast potrošnje, iznosi:

$$\overline{E_{ic}} = \frac{Euk_c}{52} \cdot (1 + t_{1c})^{(i-26,5)/52}, \quad i = 1, \ldots, 52 \tag{25}$$

gdje je

$$Euk_c = \sum_{m} \frac{Ed_{mjc}}{D_{icp}} \tag{26}$$

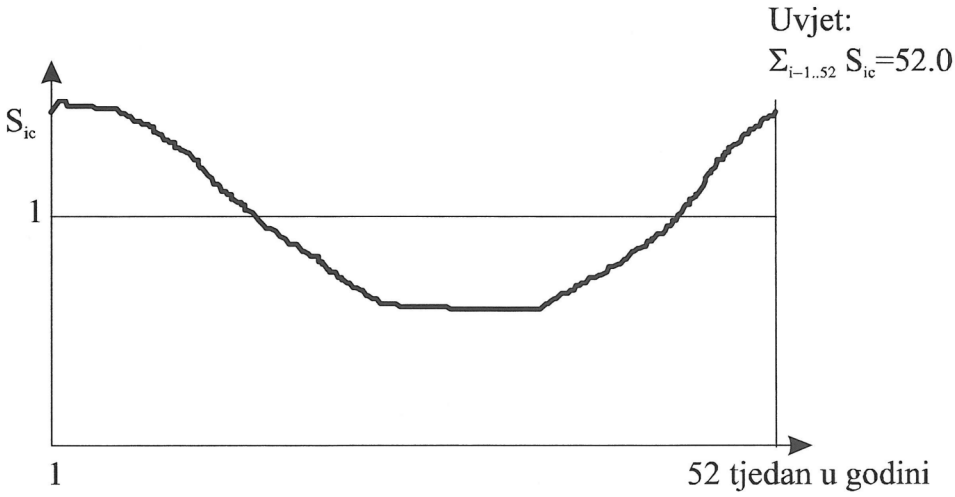
Euk_c- ukupna potrošnja električne energije sektora c u godini koja prethodi godini predviđanja (tj. za $j = N - 1$).

Konačno, koeficijent sezonske (tjedne) promjene sektora c dobije se dijeljenjem, tj.:

$$S_{ic} = \frac{E_{ic}}{\overline{E}_{ic}}, \quad i = 1, \ldots, 52 \tag{27}$$

Korekcije težinskim koeficijentima dana u godini (D_{icp}) provode se da bi se izbjegle razlike koeficijenata sezonskih promjena od godine do godine, a koje su posljedica različitog broja dana po tipovima u odgovarajućim tjednima od godine do godine.

Utjecaji odstupanja srednjih tjednih temperatura od višegodišnjih temperaturnih prosjeka obuhvaćaju se koeficijentima temperaturnog utjecaja. Radi ilustracije na slici 50 prikazan je primjer koeficijenata sezonskih (tjednih) promjena potrošnje nekog sektora u godini.



Slika 50. Koeficijenti sezonskih promjena potrošnje

d) Dnevne promjene potrošnje električne energije unutar tjedna obuhvaćaju se odgovarajućim težinskim koeficijentima koji predstavljaju energetski odnos nekog tipa dana u tjednu prema prosječnom radnom danu istog tjedna. Težinski koeficijenti prosječnog radnog dana u tjednu imaju vrijednost 1.0, tj.

$$D_{icp} = 1.0 \tag{28}$$

gdje je

p - indeks tipa dana u tjednu i za sektor c (prema relaciji 24).

Ti težinski koeficijenti određuju se za svaki sektor, tjedan u godini i tip dana u tjednu. Oni se mijenjaju tijekom godine. Računaju se pomoću podataka o dnevnim potrošnjama iz kojih su "očišćene" sve posljedice utjecaja koji nisu vezane za tip dana u tjednu (primjerice ispadi iz pogona, poremećaji, redukcije, značajna temperaturna odstupanja).

e) Satne promjene potrošnje (srednja satna opterećenja) modeliraju se koeficijentima koji predstavljaju težinski odnos u snazi promatranog sata prema prosječnoj snazi tog dana. Ti koeficijenti ovise o tjednu, tipu dana i satu u kojem se promatra potrošnja sektora. Analize ponašanja koeficijenata satnih promjena prema razdobljima godine (na tjednoj osnovi) pokazuju nepotrebnim da se satni koeficijenti određuju za svaki tjedan posebno. Naime, potrošači unutar sektora tijekom godine duže zadržavaju isti način ponašanja u određenim danima tjedna (danima jednakim po tipu), a značajnije promjene u načinu ponašanja tijekom istih dana po

tipu uočavaju se tek ako se uspoređuju duža razdoblja u godini. Dovoljna točnost ostvaruje se ako se analiza i proračun tih koeficijenata učini na mjesečnoj osnovi.

Za svaki sektor, odnosno skupinu potrošača u sektoru, modeliraju se dnevne krivulje opterećenja, kojima se onda, ovisno o sudjelovanjima grupa u sektoru, modeliraju dnevne krivulje opterećenja sektora za isti dan. Dakle, za određeni sat i dan u mjesecu vrijedi

$$M_{cspk} = \sum_r M_{rspk} \cdot u_{cr}, \quad s = 1, \ldots, 24;\ p = 1, \ldots, 8;\ k = 1, \ldots, 12 \tag{29}$$

gdje je

M_{cspk}- satni koeficijent potrošnje električne energije sektora c u satu s za tip dana p u mjesecu k;

M_{rspk}- satni koeficijent potrošnje električne energije grupe potrošača r sektora c za tip dana p u mjesecu k.

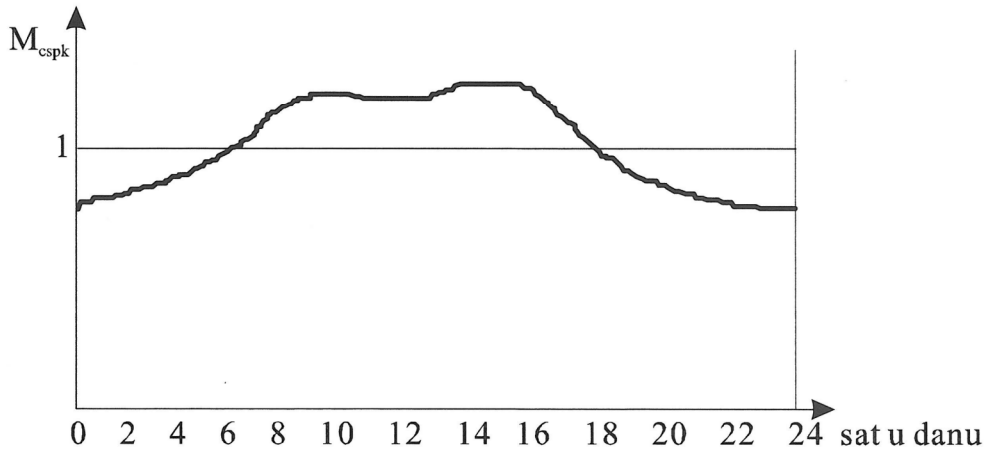
Taj postupak ponavlja se za svaki sat u danu, odnosno za svaki tip dana u mjesecu i svaki mjesec u godini. Pri tom uvijek moraju biti ispunjeni sljedeći uvjeti:

$$\sum_{s=1}^{24} M_{rspk} = 24.0 \tag{30}$$

$$\sum_{s=1}^{24} M_{cspk} = 24.0 \tag{31}$$

$$\sum_r u_{cr} = 100.0 \tag{32}$$

Radi ilustracije, na slici 51. prikazani su koeficijenti satnih promjena potrošnje, tj. relativni ili normalizirani dnevni dijagram opterećenja sektora.



Slika 51. Koeficijenti satnih promjena potrošnji (opterećenja)

f) U određenim razdobljima godine (primjerice zimsko razdoblje) svako odstupanje od prosječne temperature izaziva promjene potrošnje električne energije. Te promjene obuhvaćaju se koeficijentom temperaturne elastičnosti (λ) i pripadnim odstupanjima temperatura od prosječnih vrijednosti, a bitne su ako se postupak predviđanja provodi s naglaskom na nekoliko idućih tjedana (korištenjem dugoročne vremenske i temperaturne prognoze), ili za

analizu proteklog razdoblja koje je ranije već obrađeno. Kod analiza i u tijeku predviđanja potrošnje električne energije za razdoblje kraće od godine dana dovoljno je točno uzeti u obzir utjecaj odstupanja srednje tjedne temperature od višegodišnjeg temperaturnog prosjeka tjedna, odnosno od temperaturnog prosjeka tjedna za godinu na temelju koje su određeni koeficijenti sezonskih promjena. Naravno, sve to vrijedi za one temperaturne razine koje utječu na promjenu potrošnje električne energije. Koeficijenti temperaturnog utjecaja imaju sljedeći oblik:

$$C_{ic} = 1 + \frac{P_i - Q_i}{P_i} \cdot \lambda_c \tag{33}$$

gdje je

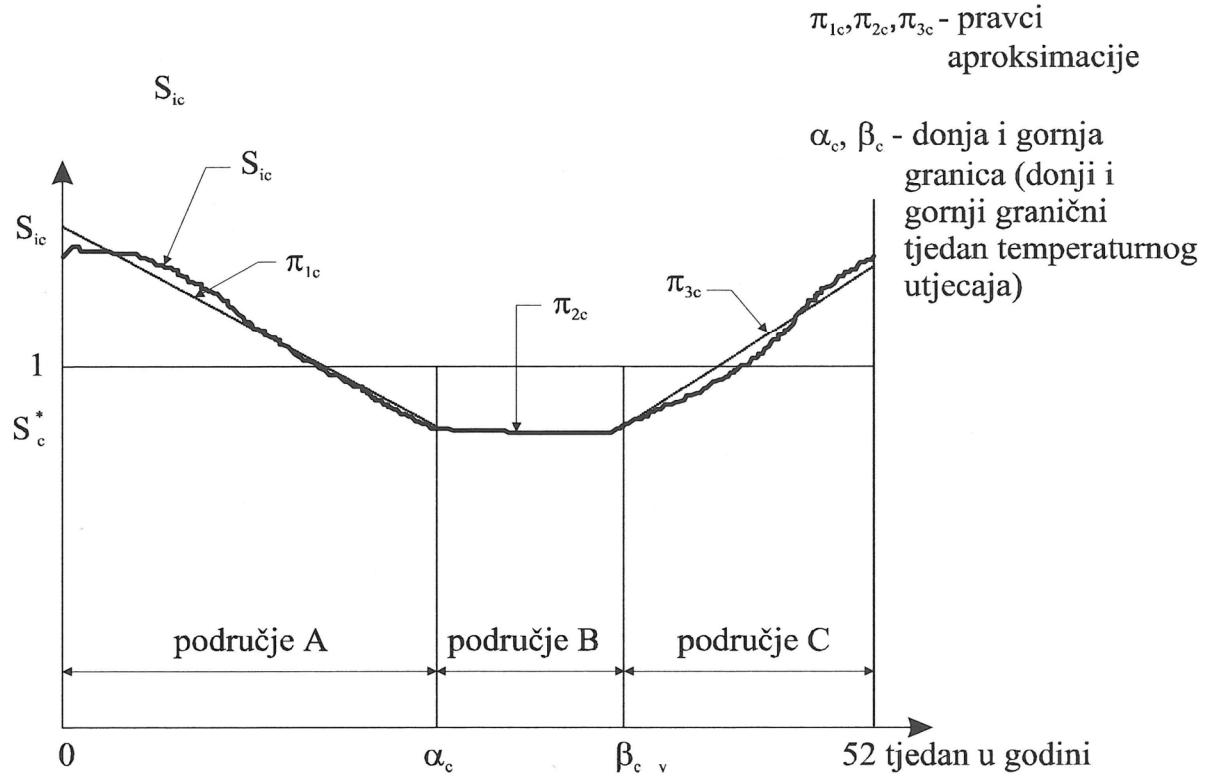
P_i - prosječna višegodišnja temperatura i-tog tjedna u Kelvinima;

Q_i - ostvarena prosječna temperatura i-tog tjedna u Kelvinima;

λ_c - koeficijent elastičnosti tjedne potrošnje električne energije sektora c ovisno o promjeni srednje tjedne temperature u odnosu na višegodišnji prosjek.

Koeficijent elastičnosti λ_c predstavlja relativnu promjenu tjedne potrošnje električne energije sektora, ako je relativno odstupanje ostvarene tjedne temperature od višegodišnjeg temperaturnog prosjeka $\pm\ 0,01$, tj. 1 posto. Ti koeficijenti određuju se pomoću podataka o ostvarenjima iz prethodnih godina. Pri tome je važno da se iz ukupne potrošnje što točnije izdvoji potrošnja sektora koji se promatra, odnosno da se iz promjena potrošnje samog sektora izdvoje utjecaji koji nisu posljedica temperaturnih promjena. Dodatne su pretpostavke da su za temperaturne razine koje utječu na promjenu potrošnje električne energije, prosječne višegodišnje temperature linearno ovisne o tjednima u godini, te da je razdoblje kada temperaturna razina ne utječe na potrošnju jednostruko, tj. da ga se može odrediti donjom i gornjom granicom. Na slici 52 prikazane su ovisnosti koeficijenata tjednih promjena potrošnje o tjednima u godini.

Koeficijenti tjednih promjena potrošnje uključuju i utjecaj odstupanja prosječnih tjednih temperatura od višegodišnjih temperaturnih prosjeka (krivulja S_{ic} na slici 52.), pa bi se ostvarenjem višegodišnjih prosjeka ti isti koeficijenti mogli prikazati pravcima π_{1c}, π_{2c} i π_{3c} na istoj slici.



Slika 52. Ovisnost koeficijenata tjednih promjena potrošnje o tjednima u godini

Koeficijenti temperaturne elastičnosti određuju se posebno za područja A i C na slici 52, odnosno kao srednja vrijednost tih dviju veličina ako se koristi jedinstveni koeficijent elastičnosti za čitavo područje od interesa (A i C). Prema tome, postupak je sljedeći: Koeficijenti smjera pravaca π_{1c}, π_{2c} su:

$$Z_{1c} = \frac{2\sum_{i=1}^{\alpha_c}(S_{ic} - S_c^*)}{\alpha_c^2}, \quad za \quad i \leq \alpha_c \tag{34}$$

$$Z_{2c} = \frac{2\sum_{i=\beta_c}^{52}(S_{ic} - S_c^*)}{(52 - \beta_c + 1)^2}, \quad za \quad i = \sum \beta_c \tag{35}$$

gdje je

S_c^* - srednja vrijednost koeficijenata tjednih promjena za tjedne unutar granica α_c i β_c, tj.:

$$S_c^* = \frac{2 \cdot \sum_{i=\alpha_c+1}^{\beta_c - 1} S_{ic}}{\beta_c - \alpha_c + 1} \tag{36}$$

gdje su:

α_c i β_c - granice unutar kojih temperaturna razina ne utječe na promjenu potrošnje sektora c.

Uz pretpostavku da su odstupanja koeficjenata tjednih promjena potrošnje od vrijednosti definiranih pravcem posljedica odstupanja prosječnih ostvarenih tjednih temperatura od više-

godišnjih temperaturnih prosjeka, koeficijenti tjednih promjena mogu se izraziti kao:

$$S_{ic} = [S_c^* + (\alpha_c - i) \cdot Z_{1c}] \cdot \left(1 + \frac{P_i - Q_i}{P_i} \cdot \lambda_{ic}\right), \quad za\ i \leq \alpha_c \tag{37}$$

odnosno

$$S_{ic} = [S_c^* + (i - \beta_c) \cdot Z_{2c}] \cdot \left(1 + \frac{P_i - Q_i}{P_i} \cdot \lambda_{ic}\right), \quad za\ i \geq \beta_c \tag{38}$$

Koeficijenti elastičnosti tjedne potrošnje električne energije sektora c su:

$$\lambda_{ic} = \left[\frac{S_{ic}}{S_c^* + (\alpha_c - i) \cdot Z_{1c}} - 1\right] \cdot \frac{P_i}{P_i - Q_i}, \quad za\ i \leq \alpha_c \tag{39}$$

$$\lambda_{ic} = \left[\frac{S_{ic}}{S_c^* + (i - \beta_c) \cdot Z_{2c}} - 1\right] \cdot \frac{P_i}{P_i - Q_i}, \quad za\ i \geq \beta_c \tag{40}$$

Konačno, koeficijent temperaturne elastičnosti za područje A (tj. za $i \leq \alpha_c$) iznosi:

$$\lambda_c^A = \frac{\sum_{i=1}^{\alpha_c} \lambda_{ic}}{\alpha_c} \tag{41}$$

odnosno, za područje C (tj. za $i \geq \beta_c$):

$$\lambda_c^C = \frac{\sum_{i=\beta_c}^{52} \lambda_{ic}}{52 - \beta_c + 1} \tag{42}$$

Srednja vrijednost koeficijenta temperaturne elastičnosti za čitavo područje je:

$$\lambda_c = \frac{\lambda_c^A + \lambda_c^C}{2} \tag{43}$$

Postupak određivanja koeficijenata temperaturne elastičnosti λ treba provoditi više puta, sve dok se ne ostvari najmanje odstupanje prema ostvarenjima potrošnje sektora u prethodnim godinama.

3.3.3.5 Broj ekvivalentnih radnih dana u godini predviđanja

Nakon što su određeni koeficijenti za modeliranje krivulja opterećenja za različita vremenska razdoblja, za svaki sektor određuje se ukupan broj ekvivalentnih radnih dana u godini koja se obrađuje. Ukupan broj ekvivalentnih radnih dana u godini za koju se obavlja predviđanje iznosi:

$$U_{jc} = \sum_{m_N} D_{icp} \cdot S_{ic} \cdot T_{ic}, \quad i = 1, \ldots, 52;\ j = N \tag{44}$$

gdje je:

m_N - indeks dana u godini za koju se obavlja predviđanje, tj. za $j = N$.

Napomena: Kada se koeficijenti za modeliranje jednom dobro odrede, mogu se koristiti kod predviđanja potrošnje za duže vremensko razdoblje bez potrebe da ih se ponovo određuje. Naime, sektore potrošnje upravo karakteriziraju "stabilne" značajke potrošnje električne energije za određena razdoblja godine, pri čemu se dinamički elementi, odnosno promjene potrošnje i tako uzimaju u obzir u obliku autonomnih koeficijenata.

Potrošnja električne energije sektora u ekvivalentnom prosječnom radnom danu je

$$E_{ekv.d_c} = \frac{E_{jc(j=N)}}{U_{jc}} \tag{45}$$

3.3.3.6 Određivanje prosječnih satnih opterećenja (potrošnje) za iduću godinu

Da bi se mogla odrediti satna opterećenja (prosječne satne potrošnje električne energije) sektora za narednu godinu, treba najprije odrediti ukupnu potrošnju električne energije sektora u danu m_N godine za koju se obavlja predviđanje, a ona iznosi

$$E_{cm_N} = E_{ekv.d_c} \cdot D_{icp} \cdot S_{ic} \cdot T_{ic} \cdot F_{jc} \tag{46}$$

gdje je:

m_N - indeks dana u godini za koju se obavlja predviđanje, tj. za $j = 1$.

Prosječna satna opterećenja, odnosno satne potrošnje električne energije, sektora c u godini za koju se obavlja predviđanje, tj . za $j = N$, su:

$$E_{csm_N} = \frac{M_{cspk} \cdot E_{cm_N}}{24}. \tag{47}$$

Konačno, ukupna potrošnja električne energije sektora c u godini za koju se provodi predviđanje iznosi:

$$E_c = \sum_{m_N} E_{cm_N}. \tag{48}$$

Kada su određene potrošnje električne energije sektora, sumiranjem prosječnih satnih opterećenja pojedinih sektora dobiju se prosječna ukupna satna opterećenja elektroenergetskog sustava:

$$E_{sm_N} = \sum_{c} E_{csm_N} . \tag{49}$$

Sumiranjem ukupne potrošnje električne energije pojedinih sektora za narednu godinu dobije se ukupna godišnja potrošnja električne energije za narednu godinu:

$$E = \sum_{c} E_c . \tag{50}$$

Dobivene vrijednosti osnova su za određivanje maksimalnih opterećenja i krivulja trajanja opterećenja za tražena razdoblja, bilo po sektorima ili za ukupni elektroenergetski sustav.

Međutim, treba naglasiti da je u modelu sektorskog predviđanja potrošnje električne energije razrađen postupak za predviđanje potrošnje električne energije za iduću godinu za potrebe godišnje bilance, a da su rezultati koji se dobiju za kraće vremenske jedinice od tjedna uvjetovani, odnosno u funkciji rezultata predviđanja potrošnje za duža vremenska razdoblja, tj. tjedan, mjesec i godinu. Težište točnosti predviđanja pomaknuto je prema dužim vremenskim razdobljima, pa je za kraća vremenska razdoblja točnost u funkciji dužih vremenskih razdoblja.

3.3.4 Potrebni ulazni podaci

Primjena razvijene metode predviđanja potrošnje električne energije, odnosno razrađenog postupka za predviđanje potrošnje električne energije za iduću godinu, tj. za potrebe godišnje bilance moguća je samo uz ispunjavanje dvaju osnovnih preduvjeta. Prvi znači prikupljanje svih potrebnih podataka o ostvarenjima potrošnje električne energije u prošlosti, odnosno

podataka o pojavama i događajima koji su na ta ostvarenja utjecali. Pod drugim se podrazumijeva obrada svih tih podataka da bi se dobili i ulazni podaci modela. To uglavnom znači izdvajanje odgovarajućih podataka po sektorima i modeliranje satnih, dnevnih i tjednih (periodičnih) promjena potrošnje električne energije.

Prema tome za postupak predviđanja potrebni su (po sektorima i ukupno):

a) srednja satna opterećenja karakterističnih dana za svaki mjesec godine (za barem jednu godinu iz razdoblja koje prethodi godini predviđanja);

b) potrošnje električne energije po danima barem jedne godine iz razdoblja koje prethodi godini predviđanja;

c) podaci o događajima i pojavama koji su značajnije utjecali na veličine navedene pod a) i b) (primjerice redukcije, ispadi, i sl.);

d) godišnje potrošnje električne energije za nekoliko godina koje prethode godini predviđanja;

e) podaci o višegodišnjim temperaturnim prosjecima tjedana;

f) podaci o ostvarenim srednjim tjednim temperaturama godine koja se uzima kao osnova za određivanje periodičnih koeficijenata promjene, odnosno podaci o prognoziranim srednjim tjednim temperaturama (ili granicama očekivanih tjednih temperatura);

g) podaci o danima (po tipu i značajkama) za godine iz kojih se obrađuju dnevne potrošnje električne energije, te za godinu za koju se obavlja predviđanje; i

h) podaci o značajnijim potrošačima koji ulaze u pogon određenog dana u godini predviđanja (na osnovi suglasnosti ili sl.).

Podaci o potrošnjama električne energije i ostalim veličinama koje služe za modeliranje promjena potrošnje na satnoj, dnevnoj i tjednoj osnovi potrebni su za svaki sektor posebno. Ostali podaci (kao primjerice podaci o temperaturama) odnose se na cijeli elektroenergetski sustav.

3.4 Proračun moguće proizvodnje hidroelektrana (APHyPS)

3.4.1 Osnovne postavke

Svakodnevni porast potreba za ukupnom energijom, pa tako i električnom, nameće kao imperativ što racionalnije korištenje svih oblika energije. Kad se radi o električnoj energiji, opada udio obnovljivih izvora iz kojih se dobiva električna energija (posebno u našoj zemlji). Jedan od tih obnovljivih izvora za dobivanje električne energije je hidroenergija, koja je i najvažniji, odnosno najzastupljeniji, obnovljivi izvor u ukupnoj proizvodnji električne energije. Stalni porast troškova goriva, a time i cijene električne energije, povećava vrijednost energije dobivene iz hidroelektrana. Zbog toga je poželjno tu hidroenergiju trošiti na najbolji mogući način, odnosno iz nje izvući najveću ekonomsku dobit.

Poznato je da se jedan dio hidropotencijala iskorištava u protočnim hidroelektranama, a drugi dio u akumulacijskim i crpnim hidroelektranama.

Kod protočnih hidroelektrana, budući da one nemaju značajniju mogućnost akumuliranja vode, neizvjesnost pojave prirodnih dotoka za samu ekspoloataciju nije neki naročito velik problem, jer se voda koristi onako kako dolazi, uz neke manje transformacije vodnih valova, ovisno kolike su mogućnosti samog kompenzacijskog bazena. Imajući to u vidu, može se

zaključiti da se kod protočnih hidroelektrana najveći ekonomski efekti mogu postići stalnim nastojanjem da se održi tehnička spremnost, odnosno raspoloživost za pogon, samih postrojenja. Jasno da i tu treba težiti što boljem iskorištenju raspoložive vode.

Kod akumulacijskih hidroelektrana stvar je znatno složenija, a uzrok problema je upravno neizvjesnost pojave dotoka. Različita dinamika punjenja i pražnjenja akumulacijskih bazena može imati znatan utjecaj na proizvodnju hidroelektrana (a time i na proizvodnju termoelektrana, odnosno na troškove proizvodnje u elektroenergetskom sustavu), kao i na sigurnost opskrbe potrošača, odnosno redukcije potrošnje električne energije. Zato je kod planiranja korištenja akumulacijskih bazena potrebno analizirati nekoliko vrlo važnih pokazatelja istodobno. To su: značajke vodotoka na kojem se nalazi akumulacija, odnos volumena akumulacije i ukupnog volumena vode koji doteče vodotokom tijekom jedne godine na promatranom profilu, uloga hidroelektrane (koja koristi akumulaciju) u elektroenergetskom sustavu, potrebe potrošača, mogućnosti termoelektrana, konfiguraciju pojedinog hidroenergetskog sliva (zbog utjecaja uzvodnih akumulacija na nizvodne akumulacijske hidroelektrane) i sl.

Do sada se, kako u našoj, tako i u drugim zemljama, pojavilo dosta različitih metoda za rješavanje problema korištenja akumulacijskih bazena. Većina tih metoda je optimizacijskog tipa kod kojih je funkcija cilja minimum promjenljivih troškova u elektroenergetskom sustavu.

Metode korištenja akumulacijskih bazena neprekidno se razvijaju i usavršavaju, a najčešće do sada upotrebljavane u našoj zemlji su:

a) Korištenje akumulacijskih bazena prema kriteriju izravnanja protoka;

b) Korištenje akumulacijskih bazena prema kriteriju izravnanja proizvodnje termoelektrana;

c) Korištenje akumulacijskih bazena prema kriteriju maksimalne proizvodnje hidroelektrana;

d) Korištenje akumulacijskih bazena prema kriteriju izravnanja proizvodnje termoelektrana uz primjenu korelacijskih veza dotoka u akumulacijski bazen, potrebne dopune iz termoelektrana i stanja u akumulacijskom bazenu;

e) Korištenje akumulacijskih bazena koje se temelji na optimizaciji elektroenergetskog sustava;

f) Korištenje akumulacijskih bazena metodom graničnih stanja.

Da se ne bi opisivale sve navedene metode načinjena je njihova usporedba. Provedena usporedba i dobiveni rezultati usporedbom daju sljedeće:

1) Kriterij izravnanja proizvodnje i kriterij maksimalne proizvodnje hidroelektrana daju nepovoljne rezultate i pored činjenice da se postupak provodi uz poznavanje svih protoka unaprijed, jer se kod primjene tih kriterija hidroelektrane promatraju izvan sustava u kojem će raditi. Ta konstatacija u većoj mjeri vrijedi za kriterij maksimalne proizvodnje hidroelektrana, jer kriterij izravnanja protoka na neki način vodi računa o propisanom ritmu punjenja i pražnjenja akumulacijskog bazena. Svi ostali kriteriji polaze od prilika u elektroenergetskom sustavu uzimajući u obzir raspored potražnje i raspored proizvodnje protočnih hidroelektrana tijekom godina.

2) Kriterij izravnanja proizvodnje termoelektrana daje nepovoljne rezultate, jer se kriterij punjenja i pražnjenja temelji na najvjerojatnijim prilikama, te se radi toga pojavljuju veoma nepovoljne situacije u slučajevima kada izostanu očekivane vode (npr. proljetne i jesenske vode), pa se u tim situacijama javljaju relativno velike redukcije snage i energije.

3) Kriterij izravnanja proizvodnje termoelektrana, kriterij izravnanja proizvodnje termo-

elektrana uz primjenu korelacijskih veza (dotoka i potrebne dopune iz termoelektrana i stanja u akumulacijskom bazenu) i kriterij graničnih stanja polaze od ekvivalentnog akumulacijskog bazena. Sve akumulacije i sve akumulacijske hidroelektrane zamjenjuju se jednim akumulacijskim bazenom i jednom akumulacijskom hidroelektranom, čime se ne uzimaju u obzir individualne značajke akumulacijskih bazena (relativni volumen akumulacije) i hidroelektrana (veličina izgradnje u odnosu na protok).

4) Svi navedeni kriteriji osim kriterija graničnih stanja, mogu dati podatke o mogućnosti proizvodnje za svaku od hidroelektrana, iako kriterij izravnanja proizvodnje termoelektrana i kriterij izravnanja proizvodnje termoelektrana uz uzimanje korelacijskih veza polaze od ekvivalentne akumulacijske hidroelektrane.

5) Kriterij izravnanja proizvodnje termoelektrana i kriterij izravnanja proizvodnje termoelektrana uz uvažavanje korelacijskih veza polaze prilikom određivanja polaznih podataka od energija, a ne uzimaju u obzir oblik dijagrama opterećenja. Jedino kriterij graničnih stanja i kriterij optimizacije elektroenergetskog sustava polaze od dnevnog dijagrama opterećenja uzimajući pri tome u obzir i snagu i energiju.

6) Kriterij izravnanja protoka, kriterij izravnanja potrebne proizvodnje termoelektrana i kriterij maksimalne proizvodnje hidroelektrana ne mogu poslužiti za elektroenergetske analize zbog nepovoljnih ekonomskih rezultata do kojih se dolazi njihovom primjenom. Pored navedenoga, kriterij izravnanja protoka i kriterij izravnanja proizvodnje termoelektrana neprihvatljivi su i zbog toga što računaju s poznavanjem protoka unaprijed.

7) Od preostalih kriterija ekonomski najnepovoljniji je kriterij izravnanja proizvodnje termoelektrana uz primjenu korelacijskih veza, ali je određivanje moguće proizvodnje hidroelektrana najjednostavnije (najkraće traje).

8) Korištenje akumulacijskih bazena koje se temelji na optimizaciji elektroenergetskog sustava daje ekonomski najpovoljnije rezultate, ali je određivanje moguće proizvodnje najkompliciranije i najduže traje.

9) Kriterij graničnih stanja daje nešto slabije ekonomske rezultate od kriterija optimizacije elektroenergetskog sustava, a i ne omogućava određivanje moguće proizvodnje pojedinih akumulacijskih hidroelektrana.

10) Prilikom određivanja moguće proizvodnje kriterij optimizacije elektroenergetskog sustava određuje proizvodnju akumulacijske hidroelektrane prema potrebama elektroenergetskog sustava, a preljevi u akumulacijskim hidroelektranama pojavljuju se samo onda kada je akumulacijski bazen pun, dok se kod ostalih kriterija za svaku akumulacijsku hidroelektranu odredi moguća proizvodnja i s takvom se ide u elektroenergetsku bilancu iz koje se određuje mogućnost plasmana.

Iz navedenih konstatacija slijedi da je, i pored nedostatka da proračun dugo traje, najpogodniji kriterij za korištenje akumulacijskih bazena kriterij koji se temelji na optimizaciji elektroenergetskog sustava. U nastavku će se dati osnovne postavke toga kriterija.

Prema tretmanu hidrologije metode bi se mogle podijeliti u stohastičke (prirodni dotok je slučajna varijabla) i determinističke (prirodne dotoke uzimaju iz niza ostvarenih vrijednosti u prošlosti).

Prema toj metodi optimizacijskog tipa izrađen je i testiran program za elektroničko računalo. U programu je otvorena mogućnost izbora mjeseca ili tjedna kao jediničnog vremenskog intervala. Taj izbor diktiraju raspoloživi podaci. Kritična točka u podacima su prirodni protoci.

3.4.2 Proizvodnja protočnih hidroelektrana

Za proračun proizvodnje protočnih hidroelektrana iskorištena je metoda tzv. prioritetnih sati.

Uz dnevno izravnanje sadržaja bazena proizvodnja elektrana računa se satno. Za takav proračun potrebni bi bili satni protoci. Budući da ne postoje satni protoci uzeti su prosječni mjesečni dotoci i za svaki dan, odnosno sat u mjesecu ili tjednu je uzet protok jednak prosječnom mjesečnom. Tjedna ili mjesečna proizvodnja pojedine protočne hidroelektrane se dobije kao suma proizvodnja u svim satima tjedna ili mjeseca.

Koristi se metoda prioritetnih sati da bi se proizvodnja hidroelektrana što više prilagodila predviđenom dijagramu potrošnje.

Dnevni dijagram potrošnje pokazuje satnu promjenu potrošnje tijekom jednog dana. Ako presložimo stupce tako da dobijemo monotono padajući niz satnih potrošnja P(s(t)), t=1,...,24 tako da vrijedi:

$$P\left[s\left(t\right)\right] \geq P\left[s\left(t+1\right)\right] \tag{51}$$

gdje je:

$P[s(t)]$ - snaga u $t-$tom satnom intervalu, niz s zove se redoslijed prioritetnih sati.

Za potrebe simulacije formiramo niz prioriteta po satima $I(t)$, $t = 1,\ldots,24$ pri čemu je prioritet najvažnijeg sata 1, sljedećeg 2 itd. Vrijedi jednakost

$$I\left(t\right) = I\left[s\left(k\right)\right] = k, \quad k = 1,\ldots,24 \tag{52}$$

Pri simulaciji rada hidroelektrane s dnevnim poravnanjem volumena bazena raspoloživa voda tj. predviđeni dotok tzv. prirodni dotok (QPR) nastojat će se iskoristiti tako da se prvo proizvodi u satu s prioritetom 1, zatim 2, 3 itd., sve dok ima raspoložive vode. Pri tom se uzima u obzir ograničenje gornje i donje kote bazena (odnosno maksimalnog i minimalnog volumena bazena). Postupak simulacije provodi se dok volumen na kraju dana ne bude jednak početnom volumenu ili dok elektrana u svim satima ne bude radila s instaliranim protokom (QI).

Na taj način raspoređeni dnevni dotok omogućava maksimalnu proizvodnju varijabilne energije i to upravo u satima kad su potrebe sustava za njom najveće.

Kao početna i ciljna vrijednost volumena bazena (VP) uzima se jedan dio maksimalnog volumena (V_{max}). Simulacija se provodi u dva ciklusa. Prvi ciklus je punjenje bazena vodom do sata s prioritetom 1. Eventualni se preljev izbjegava proizvodnjom u satima koji prethode satu s prioritetom 1.

Na taj način postiže se da je volumen bazena na kraju sata koji prethodi satu s prvim prioritetom maksimalan (a to želimo zbog maksimalnog pada). Sada kreće drugi ciklus simulacije u kojem se voda ispušta do QI u satima po redoslijedu prioriteta:

$$QR_{mk} = QI_m \qquad k = s\left(t\right) \tag{53}$$

nakon čega slijedi korekcija volumena bazena od $k-$tog do 24. sata po izrazu:

$$VT_{mt} = VT_{mt-1} + \left(QPR_{mt} - QR_{mt}\right) \cdot 3600, \quad t = k,\ldots,24; \quad k = (1\ldots24) \tag{54}$$

gdje je:

VT_{mt} - volumen bazena m-te hidroelektrane u t-tom satu (m^3)

QPR_{mt} - predviđeni prirodni dnevni dotok u m-tu hidroelektranu u t-tom satu (m^3/s)

QR_{mt} - regulirani protok m-te hidroelektrane u t-tom satu (m^3/s)

Postupak se provodi sve dok volumen akumulacije u 24. satu ne bude jednak početnom volumenu ili (u slučaju $QPR_{mt} > QI_m$) dok se u svim satima ne prerađuje instalirani protok.

U ovom slučaju javit će se preljev ($VPRE_m$) na m-toj hidroelektrani:

$$VPRE_m = VP_m + \sum_{t=1}^{24} (QPR_{mt} - QI_m) \cdot 3600 - V_{m\,\max} \tag{55}$$

koji nije moguće izbjeći.

Rezultat simulacije su satni regulirani protoci (QR_{mt}), te satni iznosi volumena bazena (VT_{mt}).

Proizvodnja se potom izračuna iz poznatog protoka i volumena za svaki sat pomoću izraza:

$$PH_{mt} = H_{mt} \cdot QR_{mt} \cdot \eta_{ag}\,(QR_{mt}), \quad m = 1, \ldots, M; \quad t = 1, \ldots, 24 \tag{56}$$

gdje je:

PH_{mt} - proizvodnja m-te hidroelektrane u t-tom satu,

H_{mt} - neto pad dobiven iz bruto pada umanjenog za gubitke u dovodu, odvodu i dizanju donje vode,

η_{ag} - stupanj djelovanja agregata [sve su to $f(QR_{mt})$].

Proizvodnja protočnih hidroelektrana računa se izvan programa za akumulacijske hidroelektrane i njihova proizvodnja se u proračunu akumulacijskih hidroelektrana odbije od predviđene potrošnje.

3.4.3 Metodološki pristup problemu korištenja sezonskih akumulacijskih bazena

Prije nego što se pođe u metodološku razradu postupka za korištenje akumulacija, navest će se neke pretpostavke koje su utjecale na izbor upravo te metode za korištenje akumulacijskih bazena.

Jedna od vrlo bitnih karakteristika elektroenergetskog sustava je njegov razvoj u smislu porasta potreba za električnom energijom. Ta dinamičnost razvoja uvjetuje i promjene u strategiji i načinu korištenja akumulacijskih bazena. Jedan od načina korištenja akumulacija određen u jednom trenutku (za jedno stanje elektroenergetskog sustava), vrlo vjerojatno neće odgovarati u nekom drugom trenutku (za drugo stanje sustava), ako su ta dva trenutka dovoljno vremenski pomaknuta (npr. desetak godina). U jednom takvom razdoblju od desetak godina može se promijeniti struktura izvora električne energije (posebno u manjim elektroenergetskim sustavima). Misli se na odnos udjela hidroenergije i termoenergije. Jasno je da o tom udjelu znatno ovisi korištenje akumulacijskih bazena. Kod većeg udjela hidroenergije korištenje akumulacija je različito u odnosu na slučaj kad je udio hidroenergije malen.

Uza sve to, može se dogoditi da se u jednom takvom razdoblju promijene neki odnosi u dijagramu opterećenja, odnosno krivulji trajanja opterećenja. Npr. znatnije se promijeni udio konstantne energije, ili odnos minimalnog i maksimalnog opterećenja u jediničnom vremenskom intervalu. Svakako da sve to utječe na način korištenja akumulacijskih bazena.

Nije potrebno posebno dokazivati da svaki elektroenergetski sustav ima neka svoja specifična obilježja koja ga razlikuju od drugih. Na primjer, elektroenergetski sustav Hrvatske ima relativno velik udio termoelektrana na tekuće gorivo u odnosu na ukupnu izgradnju. Većim promjenama cijena nafte (a time i goriva za termoelektrane) mijenja se uloga termoelektrana na tekuće gorivo. Promjena uloge termoelektrana na tekuće gorivo izaziva i promjenu načina korištenja akumulacija.

Daljnja značajka svakog elektroenergetskog sustava odnosi se na značajke samih akumulacija, hidroelektrana koje te akumulacije koriste, kao i vodotoka na kojima su akumulacije

i hidroelektrane izgrađene. Vrlo je važno za način korištenja akumulacija, kakav je odnos volumena akumulacije i volumena protoka koji se na profilu ulaska u akumulaciju pojavljuje tijekom jedne godine. Dakle, je li to akumulacija koja omogućuje višegodišnje izravnanje ili izravnanje tijekom samo jedne sezone (razdoblje od nekoliko mjeseci), ili pak još kraće.

Sljedeća stvar koju također treba uzimati u obzir prilikom planiranja korištenja akumulacija je i karakteristika pojedinog vodotoka s obzirom na pojavu vodnih valova. Dok s jedne strane postoje vodotoci čiji je protok tijekom godine prilično ujednačen, ili se s velikom sigurnošću može predvidjeti početak vodnog vala, s druge strane postoje vodotoci čije su oscilacije protoka u rasponu i nekoliko desetaka, pa i više puta. Ako je još na ovakvom vodotoku s velikim oscilacijama protoka izgrađena akumulacija relativno malog volumena onda nastaju veliki problemi u korištenju tih akumulacija.

Pristup u toj metodi pretpostavlja izravno računanje stanja u akumulacijama na kraju vremenskog intervala. Na temelju stanja na početku intervala, prirodnog dotoka u tijeku intervala i stanja na kraju intervala računa se ispuštanje iz akumulacija i proizvodnja nizvodnih hidroelektrana. Prema tome su regulirani protok, odnosno proizvodnja nizvodnih hidroelektrana, posredno dobivene veličine.

Već je odavno poznato da najveći problemi u planiranju korištenja akumulacija za godinu dana unaprijed proistječu iz neizvjesnosti pojave dotoka.

Za sada ne postoje nikakve metode (a ni izgledi da se to promijeni i u doglednoj budućnosti) koje mogu predviđati dotoke za jedno duže razdoblje unaprijed. Kad se, vezano za problem predviđanja dotoka, spominje duže razdoblje misli se na nekoliko mjeseci do godinu dana. U uvodu su spomenute dvije vrste vodotoka s obzirom na oscilacije protoka. Jedni su oni veći vodotoci čije oscilacije protoka nisu velike. Ako uz to još glavnina njihove vode potječe od topljenja snijega na planinama, onda bi se eventualno moglo govoriti o predviđanju početka vodnog vala ali vrlo teško o njegovoj veličini.

Svaki pokušaj predviđanja protoka, za duže razdoblje unaprijed, obično je pogađanje. Čak i ako bi se pretpostavilo da se može pogoditi ukupni dotok u tijeku godine dana, nemoguće je predvidjeti dinamiku njegova ostvarenja, što je vrlo bitno za režim rada akumulacija.

Iako se konstatira da ne postoji metoda za koju se može reći da u svakom slučaju rezultira optimalnim korištenjem akumulacijskih bazena, treba pokušati sve da bi se došlo do metode koja, uz određene pretpostavke, daje zadovoljavajuće rezultate.

Što se tiče hidrologije, uz spoznaju da se problemi koji su posljedica neizvjesnosti hidrologije ne mogu u cjelosti otkloniti, pokušalo ih se svesti na neku razumnu mjeru.

3.4.3.1 Metoda progresivne optimizacije

Problem određivanja optimalnog režima rada akumulacijskih hidroelektrana je vrlo složen problem, a više je razloga koji ga čine takvim.

Kao prvo, ciljna funkcija je nelinearna. Drugo, funkcija proizvodnje neke akumulacijske hidroelektrane (u općem slučaju) je neseparabilna funkcija reguliranog protoka i pada, a istovremeno je pad nelinearna funkcija sadržaja ili stanja u bazenu. Treće, postoje ograničenja na sadržaj bazena i na regulirani protok hidroelektrane. Četvrti problem, koji je već spomenut, je neizvjesnost ostvarenja dotoka, a uz to i neizvjesnost ostvarenja potrošnje predviđene za godinu dana unaprijed.

Najčešće korišteni princip pri rješavanju problema akumulacijskih bazena je dekompozicija problema za npr. dva različita vremenska horizonta. Jedan je dugoročni (godina dana unaprijed s vremenskom diskretizacijom na tjedan ili mjesec). Taj se često zove i "strateškim"

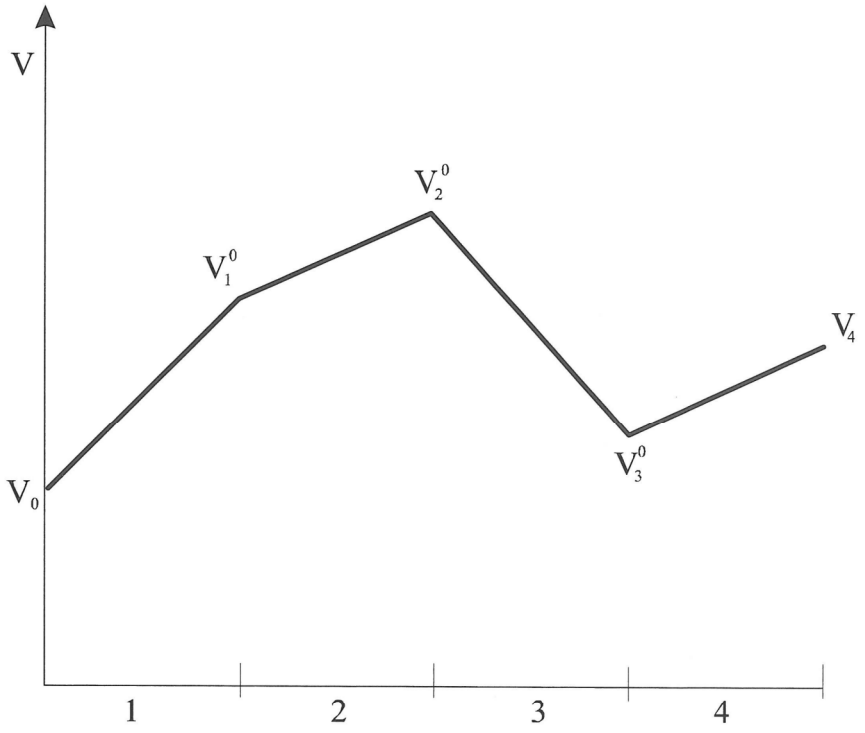
probemom. Drugi je kratkoročni (do tjedan dana, s vremenskom diskretizacijom po danima ili rjeđe po satima). Taj se zove "taktičkim" problemom.

Ovdje će se ukratko opisati samo rješavanje dugoročnog ili strateškog problema. Sustav akumulacijskih hidroelektrana je predstavljen mrežnim modelom. O načinu formiranja mrežnog modela bit će detaljnije pisano u daljnjem tekstu.

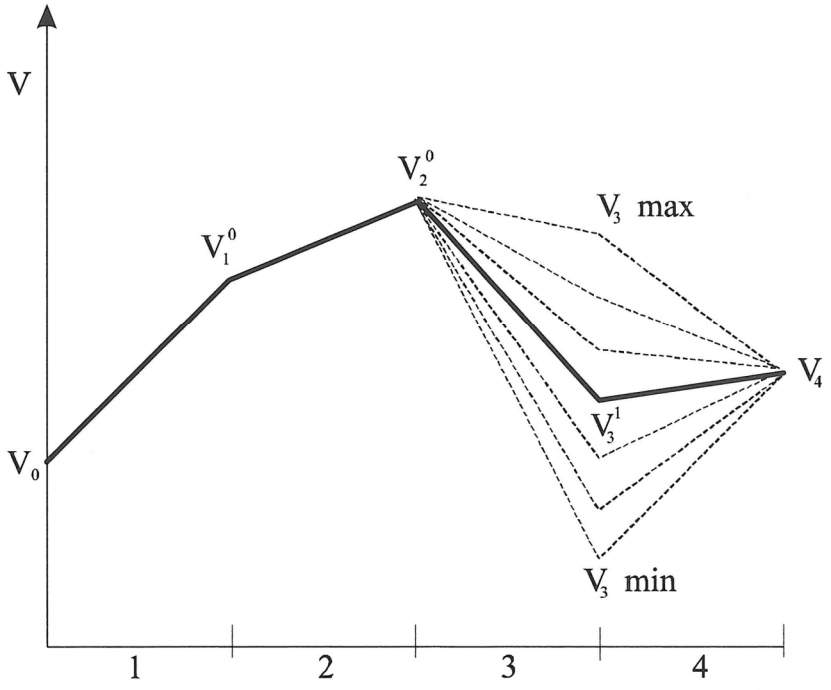
Osnovna ideja načela progresivne optimizacije sastoji se u tome da se zada početna trajektorija ukupnog stanja u svim akumulacijama na kraju svakog vremenskog intervala. Radi jednostavnijeg objašnjenja uzimamo školski primjer sustava s jednom elektranom i akumulacijom i četiri vremenska intervala (sl. 53).

Početno i konačno stanje u akumulaciji pretpostavlja se da je poznato i da je fiksno. Početna (inicijalna) trojaktorija (V_0, V_1^0, V_2^0, V_3^0, V_4) je zadana na bilo koji mogući realno ostvariv način. To drugim riječima znači da su stanja na kraju pojedinog intervala zadana unutar granica V_{min} i V_{max},s obzirom na dotok u bazen unutar tog intervala i mogućnost ispuštanja iz bazena unutar tog intervala. Za tu početnu krivulju stanja izračunaju se troškovi proizvodnje u sustavu (T_0).

Sljedeći korak je pronaći stanje na kraju trećeg intervala tako da V_2^0 i V_4 ostaju čvrsta (nepromijenjena) a da suma troškova proizvodnje u trećem i četvrtom intervalu bude minimalna (slika 54). Neka je to stanje V_3^1.

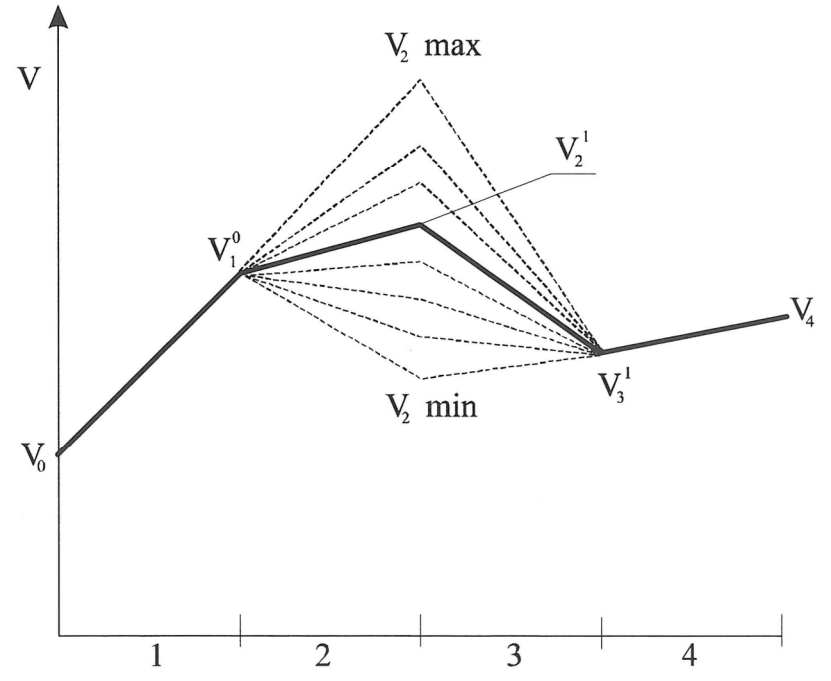


Slika 53. Početna krivulja bazena



Slika 54. Krivulja bazena nakon prve korekcije

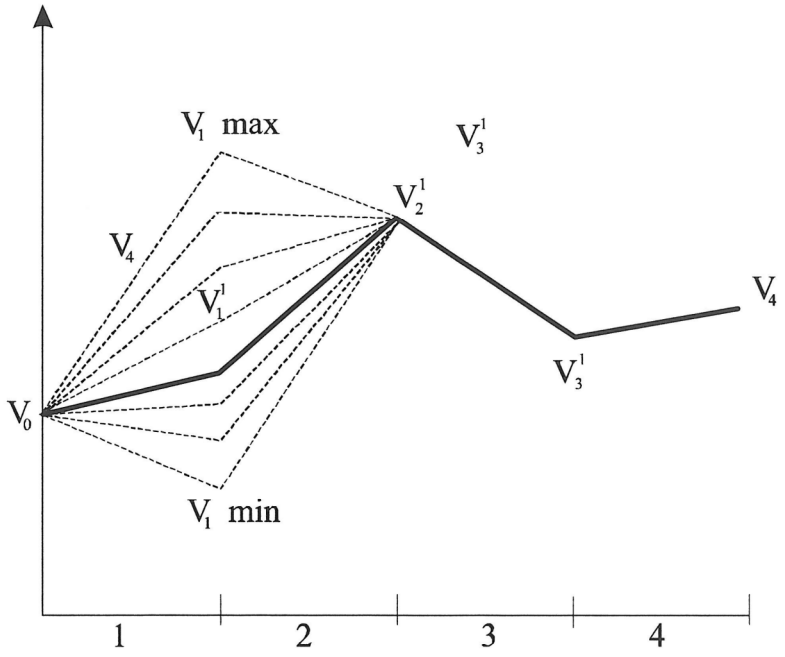
Nakon toga se dobiva nova krivulja (V_0, V_1^0, V_2^0, V_3^1, V_4). Zatim se fiksiraju stanja V_1^0 i V_3^1), a traži se stanje na kraju drugog intervala takvo kod koga je suma troškova proizvodnje u drugom i trećem intervalu minimalna (slika 55.). Neka je to stanje V_2^1.



Slika 55. Krivulja bazena nakon druge korekcije

Nova krivulja stanja nakon ovoga je (V_0, V_1^0, V_2^1, V_3^1, V_4). U sljedećem koraku se fiksiraju

stanja V_0 (ono je i tako uvijek fiksno) i V_2^1 a treba naći stanje na kraju prvog intervala takvo da je suma troškova u prvom i drugom intervalu minimalna (slika 56.). Neka je to stanje V_1^1.



Slika 56. Krivulja bazena nakon treće korekcije

Nova krivulja stanja je sada (V_0, V_1^1, V_2^1, V_3^1, V_4).

Za ovu novu krivulju stanja se opet izračunaju troškovi proizvodnje u sustavu (T_1).

Ako je $T_0 > T_1$ onda se iteracijski proces nastavlja sve dok se troškovi smanjuju, s tim da se na promjenu troškova stavlja ograničenje

$$T_n - T_{n+1} < t \tag{57}$$

gdje je t neki dovoljno mali pozitivan broj.

Na razliku stanja u akumulaciji iz dviju uzastopnih iteracija se postavlja ograničenje u obliku nekog dovoljno malog pozitivnog broja δ, koje skraćuje vrijeme proračuna, a taj uvjet se postavlja na sljedeći način:

ako je

$$\left|V^n - V^{n-1}\right| < \delta \tag{58}$$

iteracijski proces je završen.

Ovdje je uzet jedan školski primjer s jednim bazenom i četiri vremenska intervala. Postupak je sličan za bilo koji broj bazena i bilo koji broj vremenskih intervala. Iteracije se izvode po vremenskim intervalima i postupak se ponavlja dok ne bude zadovoljen jedan od uvjeta: da su smanjenje ukupnih troškova i promjena volumena u pojedinoj iteraciji manji od unaprijed zadane vrijednosti (t ili δ). Tada je iterativni proces završen.

Tretman vjerojatnosti hidrologije je riješen tako da se može odabrati vjerojatnost pojave dotoka za koju će se raditi proračun. Osnovna baza iz koje se računaju dotoci za pojedinu vjerojatnost je hidrološki niz od stanovitog broja godina.

S obzirom na to da proračun traje vrlo kratko, za razne vjerojatnosti hidrologije se vrlo brzo mogu izvesti proračuni.

Kad su na takav način određena stanja u svakom pojedinom bazenu na kraju svakog vremenskog intervala, onda se iz izraza za vodnu bilancu može izračunati ispuštanje iz svake akumulacije, a iz toga i proizvodnja svih nizvodnih hidroelektrana. Tako se primjerice ispuštanje iz akumulacije k (koje ide kroz turbine hidroelektrane uz akumulaciju) u vremenskom intervalu, može izračunati iz izraza:

$$QR_{k,j} = V_{k,j-1} + QP_{k,j} + QM_j - V_{k,j} - QS_{k,j} \tag{59}$$

gdje je:

$QR_{k,j}$ - ispuštanje iz akumulacije k u intervalu j ,

$V_{k,j-1}$ - stanje u akumulaciji k na kraju $j-1$ intervala,

$QP_{k,j}$ - prirodni dotok u akumulaciju k u intervalu j ,

QM_j - zbroj ispuštanja u intervalu j iz uzvodnih akumulacija i hidroelektrana ako takve postoje,

$V_{k,j}$ - stanje u akumulaciji k na kraju intervala j ,

$QS_{k,j}$ - zbroj preljeva i ostalih ispuštanja iz akumulacije k u intervalu j koja ne idu kroz turbine (ako takva ispuštanja postoje).

Kad su poznata sva ispuštanja iz svih akumulacija i hidroelektrana u nekom intervalu onda se lako preko energetskog koeficijenta izračuna proizvodnja bilo koje elektrane u bilo kojem vremenskom intervalu iz relacije:

$$W_{1,j} = Q_{1,j} \cdot p_{1,j} \cdot T_j \tag{60}$$

gdje je:

$W_{1,j}$ - proizvodnja hidroelektrana 1 u intervalu j,

$Q_{1,j}$ - regulirani protok hidroelektrane 1 u intervalu j,

$p_{1,j}$ - energetski koeficijent hidroelektrane 1 u intervalu j,

T_j - trajanje intervala j.

S tako izračunatom proizvodnjom svih hidroelektrana nakon svake iteracije se računaju troškovi proizvodnje u sustavu. Proizvodnja koja se dobije u posljednjoj iteraciji je onda stvarna proizvodnja hidroelektrana za uzetu vjerojatnost pojave dotoka.

3.4.3.2 Formiranje mrežnog modela akumulacijskih hidroelektrana

Ovdje će ukratko biti objašnjena koncepcija formiranja mrežnog modela za slivove s akumulacijskim hidreoelektranama.

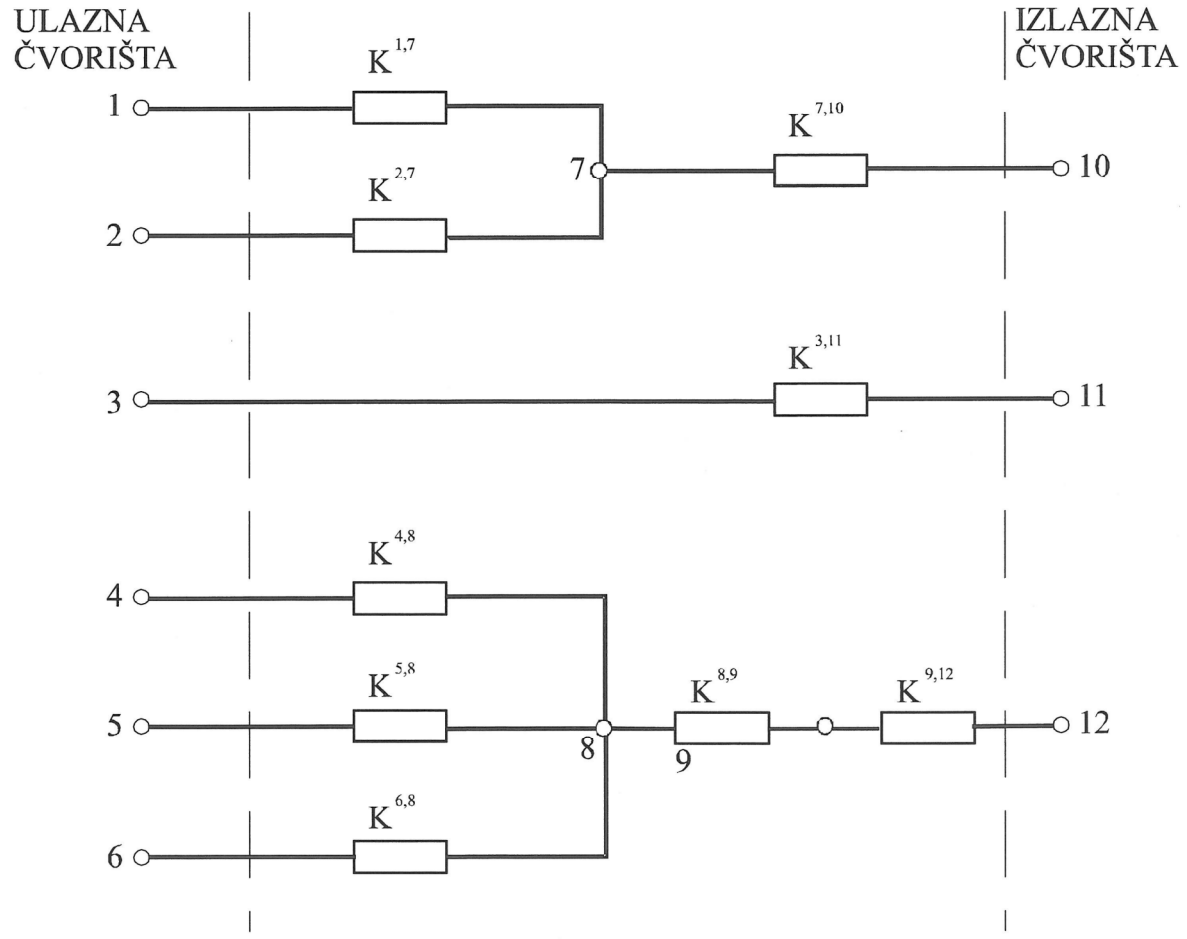
U bilo kojem elektroenergetskom sustavu se, gotovo u pravilu, nalaze vodotoci s višestrukim iskorištavanjem, odnosno s elektranama izgrađenim na više profila. Pored toga postoje i slučajevi s međudotokom, bilo da se radi o prirodnom međudotoku ili o umjetnom prevođenju voda jednog vodotoka u drugi. Tako se pojavljuju hidroenergetski sustavi s vrlo složenim međusobnim utjecajem jednih elektrana i akumulacija na druge.

Da bi se uzele u obzir sve značajke rada takvih sustava treba svaki vodotok, čije se vode koriste u akumulacijskim hidroelektranama, promatrati od prve do posljednje hidroenergetske stepenice. Pri tome se treba uzeti u obzir bilo kakav međudotok (prirodni ili umjetni), koji se pojavljuje na dužini vodotoka obuhvaćenoj energetskim iskorištenjem. Pogodan način prikaza konfiguracije vodotoka i hidroelektrana izgrađenih na tim vodotocima, kao i međusobnih utjecaja pojedinih elektrana, je mrežni model.

Na slici 57. je prikazan mrežni model koji shematski prikazuje konfiguraciju od tri vodotoka.

Osnovni elementi modela su čvorišta i grane, čvorišta su krajnje točke grane, a između njih se odvija pretvorba potencijalne energije vode u električnu energiju. Pretvorba energije

je simbolički prikazana faktorom pretvaranja. Ako u grani ne postoji hidroelektrana (takva grana je međudotok) onda je taj faktor pretvaranja jednak nuli. Grana koja ima akumulaciju dobiva poseban indikator kod učitavanja podataka o mrežnom modelu.



Slika 57. Primjer povezanosti hidroelektrana u sustavu prikazano pomoću mrežne sheme

U početnom (ulaznom) čvorištu grane registrira se dotok u hidroelektranu ili u akumulaciju (ako ona postoji) a u krajnjem (izlaznom) čvorištu registrira se regulirani protok iskorišten na turbinama elektrane. Ukoliko je taj protok u krajnjem čvorištu veći od instaliranog protoka hidroelektrane, razlika se registrira kao preljev. Ako se radi o grani koja ima akumulacijski bazen, onda se u pravilu protok ulaznog i izlaznog čvorišta razlikuje, jer se dio dotoka registriranog u ulaznom čvorištu zadržao u akumulaciji ili se pak dio vode iz akumulacije ispustio u obliku reguliranog protoka.

3.4.3.3 Faktor pretvaranja potencijalne energije vode u električnu energiju

Faktor pretvaranja se uzima različito za pojedine hidroelektrane, ovisno o tome da li je hidroelektrana s promjenljivim padom ili se pad može smatrati konstantnim. Za hidroelektrane s konstantnim padom jednak faktor pretvaranja uzima se u svim mjesecima. Za one elektrane kod kojih se pad znatnije mijenja treba učitati funkciju ovisnosti pada o stanju u bazenu, tzv. krivulju bazena $H = f(W)$. Pad se određuje na početku svakog mjeseca, ovisno o sadržaju akumulacije, a na temelju tako određenog pada i faktor pretvaranja.

Za faktor pretvaranja kod hidroelektrana s konstantnim padom uzet je odnos maksimalne

snage koju hidroelektrana može dati u određenom mjesecu i instaliranog protoka:

$$K = \frac{P_i}{Q_i} = p' \qquad \left(\frac{MW}{m^3/s}\right) \tag{61}$$

a to je u stvari izraz za specifičnu snagu. Pretpostavljeno je da hidroelektrana radi s maksimalnim protokom, pa je tu učinjena aproksimacija s obzirom na promjenu snage ovisno o promjeni reguliranog protoka.

Za hidroelektrane s promjenljivim padom specifična snaga se računa prema poznatom izrazu:

$$p' = K = (a_1 + a_2 \cdot Q + a_3 \cdot Q^2) + (b_1 + b_2 \cdot Q + b_3 \cdot Q^2) \cdot H + (c_1 + c_2 \cdot Q + c_3 \cdot Q^2) \cdot H^2 \tag{62}$$

Koeficijenti $a_1, a_2, \ldots, c_3$ za specifičnu snagu su obično poznati za svaku postojeću elektranu s promjenljivim padom, a ako nisu poznati oni se trebaju izračunati.

3.4.3.4 Označavanje elemenata mrežne sheme

Prema položaju u mrežnoj shemi (slika 57.) čvorišta svakog sliva, odnosno mrežne sheme, mogu se podijeliti u tri grupe:

- ulazna čvorišta ili čvorišta u kojima postoji prirodni dotok,
- izlazna čvorišta ili posljednja čvorišta svakog sliva,
- ostala čvorišta.

Prema toj podjeli obavlja se označavanje čvorišta. Prioritet u označavanju imaju čvorišta prve grupe. Označavanje ide prema redoslijedu vodotoka na mrežnoj shemi na sl. 57. Čvorišta druge grupe su posljednja čvorišta u mreži pa su ona posljednja i u redoslijedu označavanja. Čvorišta treće grupe (ostala čvorišta) označavaju se prema vlastitom izboru. U tom primjeru mrežna shema se sastoji od tri sliva od kojih je jedan jednostruko iskorišten, a dva imaju višestruko iskorištenje. Shema je tako prikazana da su uočljive sve faze označavanja. Prva faza označavanja sastoji se od označavanja ulaznih čvorišta vodotoka, i to tako da se prema mrežnoj shemi redom svakom čvorištu pridruži njegov broj. Druga faza označavanja odnosi se na ostala čvorišta. Na isti način, kao i kod ulaznih čvorišta, a prema mrežnoj shemi, svako od ostalih čvorišta dobije svoj broj. Posljednja, treća faza, pripada izlaznim čvorištima slivova. I kod njih, kao i kod svih ostalih, promijenjeno je isto pravilo.

U takvom načinu prikazivanja slivova mrežnom shemom (slika 57.) grana predstavlja dio vodotoka na kome se obavlja pretvorba energije, ili međudotok. Svaka grana povezuje dva čvorišta. Budući da su čvorišta označena brojevima, oznaka grana je definirana oznakom čvorišta koja ta grana povezuje.

Slivovi su također označeni brojevima. Redoslijed je uzet prema njihovom položaju u shemi na slici 57.

3.4.3.5 Matrica povezanosti i matrica faktora pretvaranja

Topologija mrežne sheme se može prikazati u matričnom obliku koji je vrlo pogodan za obradu na računalu.

Matrica povezanosti je kvadratna matrica čiji je broj stupaca i redaka jednak broju čvorišta mrežne sheme. Ona pokazuje međusobnu povezanost pojedinih čvorišta mrežne sheme. Njeni elementi su nule i jedinice. Za primjer sheme na slici 57. koja ima 12 čvorišta matrica međupovezanosti ima sljedeći izgled:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1							1					
2							1					
3											1	
4								1				
5								1				
(J)=6								1				
7										1		
8									1			
9												1
10												
11												
12												

Tablica 11c

Na mjestima gdje su praznine trebale bi doći nule, međutim, one zbog pojednostavljenja nisu upisane.

Elementi matrice (J) koji imaju vrijednost 1 pokazuju da su čvorišta koja odgovaraju presječnom retku i presječnom stupcu matrice susjedna čvorišta, odnosno da se između tih čvorišta nalazi samo jedna grana. Ako uzmemo primjerice element matrice povezanosti na mjestu (1,7) i pogledamo mrežnu shemu na slici 57. vidjet ćemo da su čvorišta 1 i 7 susjedna čvorišta. Broj elemenata matrice međupovezanosti koji su jedinice jednak je broju grana mrežne sheme.

Osim matrice međupovezanosti, koja pokazuje konfiguraciju mrežne sheme, za potpunu definiciju sheme potrebna je još jedna matrica koju ćemo nazvati matricom faktora pretvaranja. Kao što joj i samo ime govori, njezini elementi će biti faktori pretvaranja između susjednih čvorišta. To je, također, kvadratna matrica istih dimenzija kao i matrica međupovezanosti. Matrica faktora pretvaranja može imati najviše onoliko elemenata različitih od nule koliko matrica međupovezanosti ima jedinica. Dakle, maksimalni broj elemenata koji su različiti od nule jednak je broju grana mrežne sheme. Taj broj je manji od maksimalnog ako u nekoj grani nema hidroelektrane (nema pretvorbe energije), jer smo rekli da je tada faktor pretvorbe jednak nuli. Broj retka i stupca elemenata matrice faktora pretvaranja koji su različiti od nule odgovara broju retka i stupca elemenata matrice međupovezanosti koji su jednaki jedinici. Za shemu sa slike 57. matrica faktora pretvaranja izgleda ovako:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1							$K^{1,7}$					
2							$K^{2,7}$					
3											$K^{3,11}$	
4								$K^{4,8}$				
5								$K^{5,8}$				
(P)= 6								$K^{6,8}$				
7										$K^{7,10}$		
8									$K^{8,9}$			
9												$K^{9,12}$
10												
11												
12												

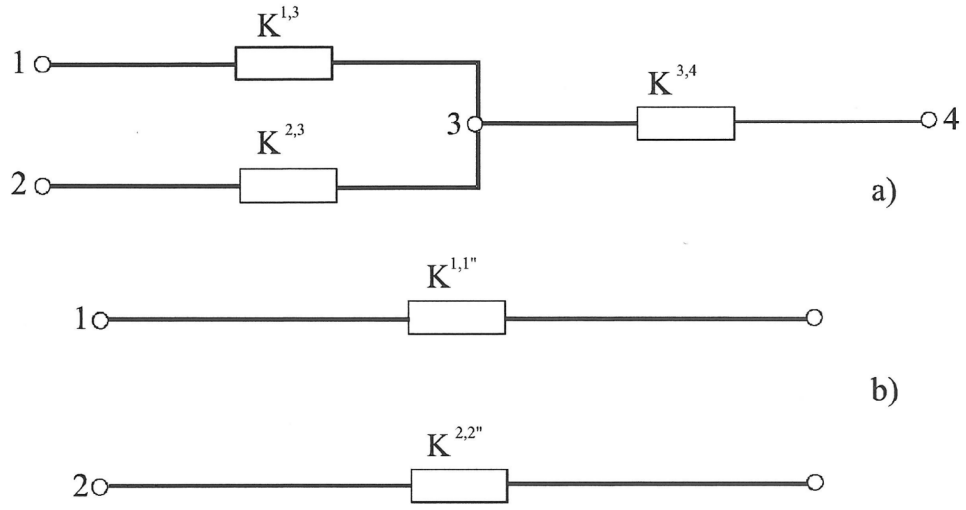
Tablica 11d

Ni u ovu matricu nisu upisivane nule na mjestima gdje su praznine.

3.4.3.6 Redukcija mrežne sheme na jednostavne grane

Kod određivanja energetske vrijednosti dotoka registriranih u ulaznim čvorištima, treba uzeti u obzir sve vodne stepenice na kojima se taj protok koristi. Da bismo taj postupak olakšali reduciramo mrežnu shemu na jednostavne grane. Na slici 58. je prikazan primjer redukcije nekog hidroenergetskog sliva, predstavljenog elementima mrežne sheme, na jednostavne grane.

Jednostavnih grana ima onoliko koliko ima ulaznih čvorišta. Prema terminologiji mrežne sheme jednostavna grana bi se mogla definirati kao grana koja nije povezana s nekom drugom granom, a faktor pretvaranja te grane jednak je zbroju faktora pretvaranja na koje protok registriran u ulaznom čvorištu nailazi do izlaznog ili posljednjeg čvorišta sliva.



Slika 58. Redukcija hidroenergetskog sliva (a) na jednostavne grane (b)

3.4.4 Punjenje akumulacijskih bazena

Ako je ukupna energetska vrijednost prirodnih dotoka u akumulacijske hidroelektane u nekom mjesecu takva, da premašuje zahtjeve za proizvodnjom iz tih hidroelektrana, nameće se potreba za punjenjem akumulacijskih bazena, kako bi se ta spremljena energija mogla iskoristiti u nekom od narednih mjeseci, kada su zahtjevi za proizvodnjom iz akumulacijskih hidroelektrana veći od ukupne energetske vrijednosti prirodnih dotoka u tom mjesecu. Prema tome bi se nužan uvjet za punjenje akumulacija mogao iskazati nejednadžbom.

$$WHA_j > WPH_j \tag{63}$$

gdje je $WHAj$ moguća proizvodnja akumulacijskih hidreoelektrana iz prirodnog dotoka u mjesecu j, a $WPHj$ je potrebna proizvodnja iz tih elektrana u mjesecu j, uz koju se može zatvoriti elektroenergetska bilanca za promatrani mjesec.

Punjenje ili energija koju treba spremiti u akumulaciju iznosi:

$$WP_j = WHA_j - WPH_j \tag{64}$$

Osnovni kriterij punjenja prema ovoj metodi je takav da je energija, koju je potrebno spremiti u pojedine akumulacije, proporcionalna mogućnostima samih akumulacija da prime

tu energiju, odnosno proporcionalna praznom prostoru u pojedinoj akumulaciji. Prazni prostor u mjesecu j se računa iz izraza:

$$WPRAZ_{k,j} = WA_{k,j} - WAK_{k,j-1} \tag{65}$$

gdje je:
$WPRAZ_{k,j}$ - prazni prostor u akumulaciji k u mjesecu j,
$WA_{k,j}$ - je maksimalni dopušteni sadržaj akumulacije k u mjesecu j, a
$WAK_{k,j-1}$ - je sadržaj akumulacije k na kraju mjeseca $j-1$ (ili na početku mjeseca j).
Ukupni prazni prostor svih akumulacija u mjesecu j je zbroj pojedinačnih:

$$WPRAZ_j = \sum_k WPRAZ_{k,j} \; . \tag{66}$$

Faktor punjenja je omjer energije koju treba spremiti i ukupnog praznog prostora:

$$f_{pu} = \frac{WP_j}{WPRAZ_j} \tag{67}$$

a punjenje pojedine akumulacije je onda

$$\Delta WP_{k,j} = WPRAZ_{k,j} \cdot f_{pu} \; . \tag{68}$$

Često se događa da se punjenje pojedine akumulacije ne može izvesti prema tako dobivenoj raspodjeli. Razlozi koji do toga dovode su različiti. Jedan od njih, koji se najčešće pojavljuje, jest ograničenje s obzirom na energetsku vrijednost prirodnog dotoka. Punjenje dobiveno u prvom koraku može biti veće od ukupne energetske vrijednosti prirodnog dotoka za neku akumulaciju. Jasno da tada mora doći do korekcije punjenja. Korekcija se obavlja tako da se najprije spremi cijeli prirodni dotok u tu akumulaciju koja nije mogla zadovoljiti kriterij punjenja u prvom koraku, pa se na ostatak potrebnog punjenja za ostale akumulacije primjenjuje postupak prema izrazima (66, 67, 68). U tom ponovljenom postupku više nije uključena ona akumulacija u koju je spremljen njezin cijeli dotok. Ako bi se isti slučaj nemogućnosti izračunatog punjenja u sljedećem koraku javio kod neke druge akumulacije, postupak ide dalje po istom načelu dok sve akumulacije ne zadovolje kriterij ukupnog punjenja.

Očito je da se radi o iterativnom postupku koji brzo konvergira, jer mu broj iteracija može, u najgorem teoretskom slučaju, dosegnuti broj akumulacija.

Ovdje je predviđena i mogućnost nastupanja jednog ekstremnog slučaja kod kojeg neke akumulacije ne mogu osigurati potrebno punjenje iz prirodnog dotoka, dok se u isto vrijeme kod jedne ili više njih može javiti manjak slobodnog prostora. Kako ne postoji mogućnost prebacivanja energije (vode) iz jedne akumulacije u drugu (ako nije tehnički izvedivo), treba provesti korekciju proizvodnje termoelektrana (smanjiti proizvodnju) za količinu energije koja se ne može spremiti, pa onda ponovno računati punjenje za sve akumulacije.

Korekciju punjenja akumulacijskih bazena traži i slučaj u kome je ukupno punjenje akumulacija veće od ukupnog slobodnog prostora u akumulacijama. Tada je potrebno smanjiti punjenje, čime proizvodnja akumulacijskih hidroelektrana postaje veća od potrebne proizvodnje. Problem se rješava smanjenjem proizvodnje termoelektrana i ponovnim računanjem punjenja akumulacija.

Sljedeća ograničenja zbog kojih se mora obavljati korekcija punjenja proizlaze iz nekih zahtjeva postavljenih, sa strane vodoprivrede, elektroprivrede ili nekog trećeg, na stanja akumulacija u pojedinim razdobljima godine. Ta ograničenja mogu biti prema minimumu ili prema maksimumu.

Nadalje, korekciju punjenja izaziva i zahtjev za određenom (minimalnom ili maksimalnom) proizvodnjom iz neke akumulacijske hidroelektrane.

Utvrdi li se za neku akumulaciju posebnom analizom da bi, zbog njenih karakteristika (volumen, prirodni dotok, instalirani protok nizvodnih elektrana), bilo opravdano održavati određeno stanje u pojedinim mjesecima ili kroz cijelu godinu, treba omogućiti da se to zadano stanje održava. Najprije se zadovolji taj kriterij (ako je moguće), a onda se obavlja raspodjela punjenja na ostale akumulacije. To isto vrijedi i kod pražnjenja akumulacija.

3.4.5 Pražnjenje akumulacijskih bazena

Suprotno u odnosu na punjenje, potreba za pražnjenjem akumulacija se javlja kad je energetska vrijednost prirodnih dotoka akumulacijskih hidroelektrana manja od potrebne proizvodnje iz tih hidroelektrana, pa se to može izraziti sljedećom nejednadžbom:

$$WHA_j < WPH_j \tag{69}$$

Energija za koju treba smanjiti sadržaj akumulacija (pražnjenje) iznosi.

$$WP_j = WPH_j - WHA_j \tag{70}$$

Za pražnjenje je, također, potrebno postaviti kriterij raspodjele na pojedine akumulacije. Svaka akumulacija sudjeluje u pražnjenju proporcionalno sadržaju energije u pojedinoj akumulaciji koji je zabilježen na početku mjeseca.

Neka je ukupni sadržaj svih akumulacija na početku mjeseca

$$WPUN_{j-1} = \sum_k WPUN_{k,j-1} \tag{71}$$

gdje je $WPUN_{k,j-1}$ sadržaj u akumulaciji k na početku mjeseca j (ili na kraju $j-1$). Faktor pražnjenja akumulacija se dobije kao omjer potrebnog pražnjenja i ukupnog sadržaja svih akumulacija:

$$f_{pr} = \frac{WP_j}{WPUN_{j-1}} \tag{72}$$

Pražnjenje pojedine akumulacije, na temelju spomenutog kriterija pražnjenja, je:

$$\Delta WP_{k,j} = WPUN_{k,j-1} \cdot f_{pr} \tag{73}$$

I kod pražnjenja su uzeta u obzir različita ograničenja koja se nameću, ili zbog potreba EES-a, ili zbog konfiguracija i parametara EES-a, ili pak zbog nekih drugih zahtjeva (vodoprivreda, zaštita od poplava i sl.). Radi tih ograničenja se pražnjenje ne može uvijek ostvariti prema kriteriju (73).

Spomenutih ograničenja koja mogu dovesti do korekcije pražnjenja ima nekoliko. Jedno od njih je provjera ukupnog ispuštanja iz akumulacije u odnosu na instalirani protok nizvodnih hidroelektrana, stanja u nizvodnim akumulacijama i međudotoke nizvodno od promatrane akumulacije. Cilj je spriječiti preljev na bilo kojoj nizvodnoj hidroelektrani ili akumulaciji, ako je to ikako moguće. Tako npr. ako bi pražnjenje iz neke akumulacije izazvalo prelijevanje na bilo kojoj nizvodnoj stepenici, to pražnjenje se smanjuje na maksimalno pražnjenje koje ne izaziva preljeve. Ostatak potrebnog ukupnog pražnjenja se onda raspodjeljuje na ostale akumulacije, opet prema kriteriju (73).

Sljedeći problem koji se može pojaviti je taj da pražnjenje neke akumulacije prema proračunu dovodi stanje u akumulaciji ispod minimalnog dopuštenog stanja. Da se to ne bi

dogodilo, ta akumulacija se prazni do minimalno dopuštenog stanja, a ostatak pražnjenja se raspodjeljuje na ostale akumulacije opet prema kriteriju (73). Proces proračuna je iterativan i nastavlja se dok sva ograničenja ne budu zadovoljena.

Kao i kod punjenja, i kod pražnjenja se može pojaviti nužnost korekcije, nisu li zadovoljeni uvjeti minimalne proizvodnje pojedine hidroelektrane, ako su ti uvjeti postavljeni, a metoda omogućava da se oni postave.

3.4.6 Proračun reguliranog protoka i proizvodnje za pojedinu akumulacijsku hidroelektranu

Kod proračuna reguliranog protoka i proizvodnje akumulacijskih hidroelektrana se primjenjuje mrežna analiza, odnosno mrežni model opisan u 3.4.3.2.

Prvi korak koji je potrebno napraviti nakon proračuna stanja u pojedinoj akumulaciji na kraju svakog mjeseca, je proračun proizvodnje jednostavnih grana. Prema tome, sadrži li jednostavna grana akumulaciju ili ne, njena proizvodnja se različito računa. Nema li jednostavna grana akumulaciju, onda je njena proizvodnja jednaka energetskoj vrijednosti dotoka u ulaznom čvorištu. Ako je bilo eventualnih preljeva, oni se uzimaju u obzir i proizvodnja se smanjuje za iznos preljeva.

Kod jednostavne grane koja ima akumulaciju proizvodnja se računa nešto drugačije, utoliko što treba uzeti u obzir promjenu stanja u akumulaciji na kraju promatranog mjeseca u odnosu na stanje na početku mjeseca. Tako bi se proizvodnja za jednostavnu granu k,k' u mjesecu j izračunala prema izrazu:

$$WJG_j^{k,k'} = WO_j^{k,k'} - \left(S_j^{k,k'} - S_{j-1}^{k,k'}\right) - WGUB_j^{k,k'} \tag{74}$$

pri čemu je:

$WJG_j^{k,k'}$ - proizvodnja jednostavne grane k, k' u mjesecu j,

$WO_j^{k,k'}$ - energetska vrijednost prirodnog dotoka ulaznog čvorišta grane k, k' u mjesecu j,

$S_{j-1}^{k,k'}$, $S_j^{k,k'}$ - stanje u akumulaciji na početku i na kraju mjeseca j,

$WGUB_j^{k,k'}$ - preljevi u grani k, k' u mjesecu j.

Nakon računanja proizvodnje za svaku jednostavnu granu, računaju se regulirani protoci jednostavnih grana. Za pojedinu granu se regulirani protok dobije iz izraza:

$$QR_j^{k,k'} = \frac{WJG_j^{k,k'}}{K_j^{k,k'} \cdot T_j} \tag{75}$$

Za izračun proizvodnje svake hidroelektrane moraju biti poznati regulirani protoci u svakom čvorištu mrežne sheme. Broj jednostavnih grana jednak je broju ulaznih čvorišta. Regulirane protoke jednostavnih grana pridružit ćemo ulaznim čvorištima. Za ostala čvorišta regulirani protok se računa primjenom matričnog računa na mrežni model hidroelektrana. Regulirani protoci čvorišta mogu se prikazati u obliku redne matrice koja ima onoliko članova koliko je čvorišta u mrežnom modelu. U početnom koraku ta matrica ima oblik:

$$|QR| = |Q_1, Q_2, Q_3, \ldots Q_k, 0, \ldots, 0| \tag{76}$$

gdje je k jednako broju ulaznih čvorišta. Za $k+1$ čvorište se regulirani protok dobije tako da se matrica pomnoži sa $j+1$ stupcem iz matrice povezanosti

$$|Q_{j+1}| = |QR| \cdot |J|_{k+1} \tag{77}$$

Takav postupak se primjenjuje za sva čvorišta od $k+1$ do n-tog, gdje je n ukupni broj čvorišta.

Regulirani protoci grana su jednaki reguliranim protocima početnih čvorišta za svaku granu.

Kad se znaju regulirani protoci grana onda se lako mogu izračunati proizvodnje u svakoj grani, odnosno u svakoj hidroelektrani. Proizvodnja grana (hidroelektrana) se dobiva množenjem faktora pretvorbe s reguliranim protokom pojedine grane i s vremenom trajanja mjeseca (ili tjedna) za koji se računa proizvodnja, pa je

$$WH_j^{k,i} = QR_j^{k,i} \cdot K_j^{k,i} \cdot T_j \tag{78}$$

gdje je:
$WH_j^{k,i}$- proizvodnja hidroelektrane u grani k,i u mjesecu j,
$QR_j^{k,i}$- regulirani protok hidroelektrane u grani k,i u mjesecu j
$K_j^{k,i}$- faktor pretvorbe u grani k,i u mjesecu j,
T_j- trajanje mjeseca j (u satima).

3.5 Određivanje remonta agregata u termoelektranama (APMaS)

3.5.1 Uvod

Potrošnja električne energije, kao najpodobnijeg energetskog oblika, u stalnom je porastu. Da bi se tako rastuća potrošnja mogla zadovoljiti, neophodno je elektroenergetski sustav dograđivati novim elementima a poglavito novim elektranama. Uz racionalno planirane izgradnje, neophodno je racionalno planirati i korištenje, odnosno opskrbu potrošača električnom energijom uz maksimalnu opravdanu sigurnost i kvalitet, te najniže troškove. U godišnjim planovima rada elektroenergetskog sustava veoma važno mjesto pripada postupku određivanja rasporeda remonta svih agregata. Remont agregata sam po sebi je jedna veoma skupa ali i neophodna rutina koja se za svaki agregat organizira u pravilu jednom godišnje. Uobičajeno je da se u posljednjem tromjesječju svake godine određuje raspored remonta svih agregata elektroenergetskog sustava za sljedeću kalendarsku godinu. Važnost određivanja rasporeda remonta agregata slijedi iz činjenice da se remontom svakog agregata u znatnoj mjeri utječe praktično na sve energetsko-ekonomske pokazatelje. Osnovni je cilj postupka određivanja rasporeda remonta održavati visoku razinu pouzdanosti rada elektroenergetskog sustava i minimizirati troškove.

Do sada je razvijeno niz postupaka za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama elektroenergetskog sustava. Mnogi od njih su navedeni u literaturi. Ovdje će se navesti i prokomentirati najkarakterističniji pristupi. Teoretski se problem određivanja rasporeda remonta može riješiti dinamičkim programiranjem (DP). Međutim, veliki broj agregata kombiniran s mogućim počecima remonta ima za posljedicu da je neophodno ispitati velik broj kombinacija što praktično onemogućava primjenu dinamičkog programiranja. Problem velikog broja kombinacija se rješava tzv. sukcesivnim aproksimacijama. Osnovna ideja postupka je da se agregati podijele u niz skupina, te se raspored remonta svake godine određuje dinamičkim programiranjem poštivajući pri tome raspored remonta agregata prethodno analiziranih skupina. Takvim se postupkom problem velikog broja kombinacija ne

rješava već samo djelomično ublažava. Yamayee i Sindeblad su dalje razvili tu metodu tako da su za računanje nekih energetsko-ekonomskih pokazatelja primijenili metodu kumulanata. Može se kazati da su dinamičke metode neefikasne u smislu potrebnog vremena za računanje na računskom stroju, a također ne uzimaju u obzir i niz praktičnih ograničenja. Dopazo i Merrill su problem planiranja remonta riješili linearnim 0-1 programiranjem. Proračun se izvodi veoma brzo, ali u razmatranje nisu uzeti u obzir energetsko-ekonomski pokazatelji kao što su vjerojatnost neisporuke snage (LOLP), troškovi goriva itd. Billinton i El-Sheikhi su predložili heuristički algoritam koji je predviđen za ujednačavanje rizika, odnosno sigurnost rada elektroenergetskog sustava. Metoda ne uvažava brojna praktična ograničenja i ne jamči pronalaženje rješenja koje zadovoljava ograničenja.

Predlaže se novi algoritam koji ujedinjuje mogućnosti heurističke metode, linearnog 0-1 programiranja i metode sistematskog pretraživanja zasnovane na sukscesivnim aproksimacijama. Predložena su i eksplicitno prezentirana nova heuristička pravila kojima se usmjerava remont svakog agregata u razdoblju u kojem je i doprinos promatranog agregata najmanji u smislu sigurnosti rada i troškova elektroenergetskog sustava. Definirano je specijalno heurističko pravilo za hidroelektrane. Osim toga metoda uzima u obzir interkonekciju sa susjednim sustavima. Kao kriterij optimalnosti razvijen je niz funkcija cilja kao što su: ujednačavanje pokazatelja pouzdanosti rada elektroenergetskog sustava (rezerva, LOLP, EUE – neisporučena energija), minimiziranje troškova goriva i troškova remonta. Za proračun troškova goriva i pokazatelja pouzdanosti korištena je metoda kumulanata. Metoda kumulanata je proširena i adaptirana tako da uzima u obzir proizvodnju u hidroelektranama elektroenergetskog sustava, te planiranu i neplaniranu razmjenu sa sustavima u interkonekciji. Brojna praktična ograničenja koja se mogu izraziti u linearnoj formi uzimaju se u obzir.

3.5.2 Opis problema

Postupak određivanja rasporeda remonta agregata u elektranama elektroenergetskog sustava može se formulirati kao optimizacijski zadatak, koji je riješen kada su poznata razdoblja (tjedni) u kojima se odvija remont svake elektrane u sustavu. Problem je potrebno formulirati na način koji, kao prvo, omogućava računanje svih neophodnih energetsko-ekonomskih pokazatelja, a zatim i da zadovoljava zahtjeve u pogledu brzine rješavanja i zauzeća memorije elektroničkog računala. Čini se najjednostavnije, s obzirom na diskretnu prirodu problema, formulirati problem određivanja rasporeda remonta agregata kao tzv. 0-1 programiranje. Tome treba dodati činjenicu da takva formulacija ne postavlja praktično nikakve zahtjeve na funkciju cilja, te se njezina vrijednost može izračunati bilo kojim prikladnim postupkom. Tako se primjerice za računanje troškova goriva kao funkcije cilja može uporabiti metoda kumulanata.

Zadatak se $0-1$ programiranja može općenito formulirati na način:

Nađi m-dimenzionalni vektor $\underline{x}$ koji minimizira ili maksimizira funkciju cilja:

$$F = f(\underline{x}) \tag{79}$$

uz ograničenja

$$g(\underline{x}) \leq \underline{b} \tag{80}$$

uz

$$x_k = 0 \; ili \; 1; \quad k = 1, \ldots, M \tag{81}$$

gdje su
$\underline{x}$ - vektor nepoznanica
$g(\underline{x})$ - ograničenja
$\underline{b}$ - vektor ograničenja
M - ukupni broj nepoznanica.

Svaki vektor $\underline{x}$ koji zadovoljava (81) predstavlja moguće rješenje. Ono moguće rješenje koje zadovoljava (80) se naziva dopušteno rješenje. Optimalno je ono dopušteno rješenje za koje se dobije minimalna ili maksimalna vrijednost funkcije cilja (79).

3.5.2.1 Nepoznanice

Budući da je trajanje remonta svakog agregata poznata veličina, na temelju poznavanja razdoblja u kojem počinje remont nekog agregata, može se lako zaključiti u kojim razdobljima će promatrani agregat biti izvan pogona zbog redovitog remonta. Proizlazi da je stvarna nepoznanica kod određivanja rasporeda remonta agregata u elektroenergetskom sustavu, određivanje početka njihovog remonta. Zbog toga se nepoznanice kod problema rasporeda remonta određuju kao periodi u kojima remont svakog pojedinog agregata može početi. Svaki $x_k (k = 1, ..., M)$ označava početak remonta određenog agregata u određenom intervalu pri čemu, x_k može poprimiti isključivo vrijednosti 0 ili 1. Nepoznanice se pridružuju svakom agregatu po listi agregata. Broj nepoznanica pridružen svakom agregatu može biti različit i proporcionalan je broju vremenskih intervala u kojima je dopušten početak remonta. Ukupni broj nepoznanica je jednak sumi nepoznanica pridruženih svakom agregatu. treba također naglasiti da od svih nepoznanica pridruženih nekom agregatu samo jedna može imati vrijednost 1. Drugim riječima, remont nekog agregata može početi samo u jednom od promatranih intervala.

3.5.2.2 Ograničenja

Zahtjevi korištenja i prilike u elektronergetskom sustavu, a i šire, mogu se uzeti u obzir kao ograničenja u optimizacijskom zadatku. Na temelju navedene definicije nepoznanica kao intervala u kojima počinje remont nekog agregata, može se formirati niz ograničenja.

a) Ograničenja snage dopuštene za remont

Ovo ograničenje određuje gornju granicu snage dopuštene za remont u svakom razdoblju te onemogućuje stavljanje u remont agregata ukupne snage veće od dopuštene. Jedno ograničenje se formira za svaki interval te ih ukupno ima koliko i intervala tj. 52 ako je tjedan osnovna vremenska jedinica odnosno godina dana interval koji se promatra (planira).

b) Ograničenja koja onemogućuju istovremeni remont dvaju ili više agregata

Praksa je pokazala da su kod planiranja remonta moguće situacije u kojima je potrebno onemogućiti istovremeni remont dvaju ili više agregata. Takve su situacije primjerice kada je zbog nedostatka kadra ili opreme (primjerice dizalice) ili uvoznih dijelova ili nedostatak kompletnih ekipa itd, nemoguće istovremeno obavljati remont dvaju ili više agregata na određenom području. Nadalje iz razloga sigurnosti opskrbe potrošača ili zbog ekonomskih razloga, često se nastoje izbjeći situacije u kojima su veliki agregati istovremeno u remontu. Ograničenja tog tipa ima onoliko koliko i intervala u kojima je moguće istovremeno odvijanje remonta dvaju ili više agregata.

c) Ograničenja koja uspostavljaju određeni raspored remonta dvaju ili više agregata

Ovaj tip ograničenja se može koristiti u slučaju da postoji potreba za sukcesivnim remontom dvaju ili više agregata. Takve su primjerice situacije kada se nastoje jedan za drugim remontirati agregati na jednom području čime se mogu osvariti određene uštede, jer radove

obavlja praktično ista ekipa. Ograničenja tog tipa ima onoliko koliko ima i intervala u kojima je moguć početak remonta bilo kojeg od agregata za koje želimo da se remont obavlja uzastopno, tj. kada se završi remont jednog agregata počinje remont drugog agregata itd.

d) Ograničenja koja onemogućuju da ukupni broj agregata istovremeno u remontu bude veći od zadanog

Ograničenja ovog tipa sprečavaju da se u remontu u određenom intervalu nađe više agregata od određenog dopuštenog broja. to ograničenje je u vezi s ukupnim brojem raspoloživih ekipa za obavljanje remonta. Ograničenja tog tipa ima koliko i intervala tj. 52, ukoliko se radi o godišnjem planiranju remonta i ukoliko je tjedan izabran kao osnovno razdoblje.

Ograničenja pod a,b,c za navedenu definiciju nepoznanica mogu se formulirati u linearnom obliku (82). Na sličan način se i ograničenja d mogu formulirati u linearnom obliku. Slijedi:

$$A\underline{x} \leq \underline{b} \tag{82}$$

gdje su

A - matrica ograničenja

$\underline{b}$ - vektor ograničenja

Linearni oblik ograničenja predstavlja bitno pojednostavnjenje, jer se time znatno olakšava postupak pretraživanja mogućih rješenja i pretraživanje se brzo usmjerava na analizu samo dopuštenih rješenja.

3.5.2.3 Funkcija cilja

Za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama elektroenergetskog sustava, u ovom radu se koristi nekoliko funkcija cilja:

- maksimiziranje pouzdanosti rada elektroenergetskog sustava (5 kriterija),
- minimiziranje troškova goriva (1 kriterij),
- minimiziranje troškova remonta (1 kriterij).

Maksimiziranje pouzdanosti rada elektroenergetskog sustava, odnosno sigurnosti opskrbe potrošača, postiže se ujednačavanjem pokazatelja pouzdanosti rada elektroenergetskog sustava. Pokazatelji pouzdanosti rada elektroenergetskog sustava pri tome su: neto-rezerva, vjerojatnost neisporuke snage (LOLP) i neisporučena energija (EUE). Za proračun LOLP-a i EUE-a se koristi metoda kumulanata.

Funkcija cilja za minimiziranje troškova goriva uzima u obzir, uz troškove goriva svakog agregata, i penale za neisporučenu energiju. Na taj način se u proračun uključuju i štete koje su posljedica situacija kada potrošači ostaju bez potrebne električne energije. Ovako određeni troškovi goriva se računaju metodom kumulanata.

Minimiziranje troškova remonta se zasniva na pretpostavci da svaki agregat treba ići u remont jednom godišnje. Troškovi remonta se dijele u dva dijela, konstantni i varijabilni dio.

3.5.3 Osnove heurističkog algoritma

Praktično najveći problem na koji se nailazi kod računanja rasporeda remonta agregata u elektroenergetskom sustavu proračuna nelinearne funkcije cilja, tako da su određena pojednostavnjenja neophodna. Primjerice za proračun remonta od 30 agregata, s mogućim počecima remonta u 12 intervala, broj potrebnih računanja nelinearne funkcije cilja je 12^{30} odnosno $2,37 \cdot 10^{32}$, što je praktično neprihvatljivo. Ukoliko se 30 agregata podijeli u pet grupa po šest agregata potrebni broj računanja funkcije cilja je 512^6 tj. $1,49 \cdot 10^7$ što je znatno manji broj ali još uvijek neprihvatljiv. Taj problem je prisutan kod sljedećih funkcija cilja:

- maksimiziranje pouzdanosti rada elektroenergetskog sustava,
- minimiziranje troškova goriva.

Kao što se vidi problem velikog broja neophodnih proračuna nije prisutan jedino kod funkcije cilja koja minimizira troškove remonta i to zbog njezina linearnog oblika. Gore navedene funkcije cilja nije moguće aproksimirati linearnom funkcijom s dovoljno točnosti, te primjena linernog 0-1 programiranja nije moguća.

Navedene poteškoće u rješavanju optimizacijskog zadatka određivanja rasporeda remonta agregata u elektroenergetskom sustavu mogu se praktično izbjeći jedino primjenom heurističkih metoda. Heurističke metode i pravila su nastala kao rezultat stanovitog iskustva u rješavanju pojedinog problema, fizikalnom poznavanju i razumijevanju problema. Vrlo često se heurističke metode temelje isključivo na osjećaju stručnjaka koji rješava problem, te im se ponekad zamjera matematička neegzaktnost. Najčešću zamjerku kod heurističkog optimiranja predstavlja činjenica da se ne može matematički jamčiti optimum. Kod problema probabilističke prirode, kao što je planiranje rasporeda remonta, zbog niza aproksimiranih parametara kao što su predviđanje potrošnje, hidrološka neizvjesnost, vjerojatnost ispada agregata itd, taj problem nije toliko izražen.

Da bi se omogućilo pronalaženje najboljeg mogućeg početka remonta svakog agregata u elektroenergetskom sustavu predlaže se niz heuristika koje će se opisati i eksplicitno odrediti za svaki kriterij.

3.5.3.1 Maksimiziranje pouzdanosti rada elektroenergetskog sustava

Maksimiziranje pouzdanosti rada se dobiva odgovarajućim optimiranjem pokazatelja pouzdanosti rada elektroenergetskog sustava kao što su rezerva, LOLP i EUE (neisporučena snaga i energija). Uočeno je da se optimiranje navedenih pokazatelja postiže ujednačavanjem njihove razine u intervalu promatranja (obično godina dana). Osnova heurističke metode za određivanje rasporeda remonta je da se remont planira agregat po agregat te da se za svaki agregat posebno odredi najbolje vrijeme za remont, odnosno da se razriješi konflikt između više mogućih početaka remonta. Pri tomu se u svakom koraku za svaki agregat definira optimalan početak remonta za određeni kriterij. Svaki agregat u postupku razmatranja mora uvažavati rješenja za sve prethodno razmatrane agregate. Jednostavno rečeno, problem određivanja rasporeda remonta agregata u elektranama elektroenergetskog sustava je transformiran u niz problema u kojima se određuje remont samo jednog agregata.

Redoslijed razmatranja je najpovoljnije formirati po opadajućim snagama agregata„ jer je i njihov utjecaj na osnovne parametre elektroenergetskog sustava kao što su rezerva, neisporučena snaga i energija, proporcionalan sa snagom agregata. Na taj način se postiže monotono približavanje optimalnom rješenju. Remont treba započeti s agregatom najveće snage da bi se završilo s agregatom najmanje snage. U heurističkom algoritmu za određivanje rasporeda remonta agregata odvija se u prostoru ili zalihe ili neisporučene snage ili neisporučene energije. Time se postiže praktično najfinije ujednačavanje promatranog parametra elektroenergetskog sustava tj. zalihe, neisporučene snage ili neisporučene energije u čitavom intervalu planiranja, najčešće 52 tjedna.

Za optimiranje pouzdanosti rada elektroenergetskog sustava formalno se koristi funkcija cilja u linearnom obliku:

$$F = \underline{c}^t \cdot \underline{x} \tag{83}$$

Pri tome vektor koeficijenata $\underline{c}$ zavisi o odabranom kriteriju i određuje se posebno za svaki kriterij. Budući da je stvarna funkcija cilja za optimiranje pouzdanosti rada elektroen-

ergetskog sustava nelinearna, koeficijenti funkcije cilja c_k se u pravilu mijenjaju u svakom koraku.

3.5.3.2 Kriterij ujednačavanja rezerve: Heurističko pravilo 1

Osnovni cilj tog kriterija je da odredi raspored remonta agregata tako da se postigne maksimalno ujednačavanje rezeve u intervalu koji se promatra. Na taj način se značajno doprinosi pouzdanosti rada elektroenergetskog sustava i sigurnosti opskrbe potrošača električnom energijom. Za svaki agregat treba odrediti vrijeme za remont u periodima s najvećom rezervom. Kako trajanje remonta obično ne traje jednu vremensku jedinicu, najbolje vrijeme za početak remonta se određuje kao najveća suma rezervi u onoliko uzastopnih perioda, koliko je trajanje remonta promatranog agregata. Na taj način se određuje najveća "udolina u prostoru snage" za "smještaj" agregata. treba dakle izračunati za svaki mogući (dozvoljeni) početak remonta agregata j, sumu rezervi kako slijedi:

Suma rezervi

$$k = \sum_{i}^{i+d_j-1} R_{ij} \quad i = p_j, \ldots, q_j;\ j = f_j, \ldots, l_j \tag{84}$$

gdje su:

R_{ij}	- rezerva u periodu i mjerodavna za određivanje remonta agregata j
p_j	- najraniji mogući period za početak remonta agregata j
q_j	- najkasniji mogući period za početak remonta agregata j
f_j	- prva u nizu nepoznanica pridruženih agregatu j
l_j	- posljednja u nizu nepoznanica pridruženih agregatu j
d_j	- trajanje remonta agregata j, izraženo u cjelobrojnim vrijednostima osnovne vremenske jedinice
j	- indeks agregata
i	- indeks perioda
k	- indeks nepoznanice

Tablica 11e

Pri tome je rezerva R_{ij} određena kako slijedi:

$$R_{ij} = S - PM_i - \sum_{j=1}^{N} P_j y_{ij} \quad i = 1, \ldots, T; \quad j = 1, \ldots, N \tag{85}$$

gdje su:

S - instalirana snaga elektroenergetskog sustava

PM_i - vršno opterećenje elektroenergetskog sustava u periodu i

P_j - snaga agregata j

N - ukupni broj agregata

T - ukupni broj perioda

$y_{ij} = 0$ - agregat j nije u remontu u periodu i

$y_{ij} = 1$ - agregat j je u remontu u periodu i

pri čemu je

$$y = f(\underline{x}) \tag{86}$$

Nakon određivanja perioda za remont svakog agregata u nizu, očigledno je, u skladu s jednadžbom (85), potrebno odrediti rezervu u svim periodima koji se promatraju. Pretpostavimo da je za $(j-1)$ agregata već određen plan remonta. Rezerva mjerodavna za određivanje vremena za remont agregata j je:

$$R_{i,j} = R_{i,j-1} - P_{j-1}, \quad i = l_{j-1}, \ldots, l_{j-1} + d_{j-1} - 1 \tag{87}$$

$i = l_{j-1}$,..., $l_{j-1} + d_{j-1} - 1$
odnosno za sve ostale periode

$$R_{i,j} = R_{i,j-1} \tag{88}$$

gdje je:
l_{j-1} - period u kojem počinje remont agregata $(j-1)$.

Lako se uočava da se za računanje trenutne zalihe u periodima gdje je agregat $(j-1)$ u remontu primjenjuje jednadžba (87), a za ostale periode jednadžba (88). Dakle, trenutnu rezervu je potrebno korigirati nakon razmatranja svakog agregata u nizu.

Odgovarajući koeficijenti c_k funkcije cilja za kriterij kojim se ujednačava rezerva su

$$c_k = suma\ rezervi_k, \quad k = f_j, \ldots, l_j \tag{89}$$

Pored određivanja trenutne razine rezerve treba tijekom postupka također odrediti i pripadajuće koeficijente c_k.

Heurističko pravilo 1: ujednačavanje rezerve

Ako je nepoznanici x_k, $f_j \leq k \leq l_j$ pridružen najveći koeficijent funkcije cilja c_k u skladu s jednadžbom (89).

Tada postavi $x_k = 1$, a vrijednost svih ostalih nepoznanica pridruženih agregatu j postavi na nulu.

Može se uočiti da heurističko pravilo 1 omogućava pronalaženje perioda za početak remonta s najvećom sumom zaliha u d_j uzastopnih perioda. Na taj način se definira najpovoljniji plan remonta pojedinog agregata u intervalu promatranja.

3.5.3.3 Kriterij ujednačavanja neisporučene snage (LOLP): Heurističko pravilo 2

Kriterij ujednačavanja neisporučene snage u intervalu promatranja ima za cilj minimalnu sveukupnu neisporučenu snagu, koja se definira kao suma neisporučenih snaga svih pojedinih razdoblja. Na taj način se maksimalno povećava sigurnost opskrbe potrošača, odnosno minimizira vjerojatnost neisporuke snage, što je jedan od prioritetnih zadataka kod planiranja pogona elektroenergetskog sustava. Kao što je prethodno kazano, postupak se odvija od agregata do agregata. Heurističko pravilo za ujednačavanje neisporučene snage funkcionira tako da se za svaki agregat odredi onaj period za početak remonta za kojeg se dobiva najmanja suma neisporučene snage u d_j uzastopnih perioda. Pripadni koeficijenti funkcije cilja su:

$$c_k = \sum_{i}^{i+d_j+1} LOLP_{ij} \quad i = p_j, ..., q_j; \quad k = f_j, ..., l_j \tag{90}$$

gdje su:
$LOLP_{ij}$ - vjerojatnost neisporuke snage u periodu "i" prije razmatranja agregata "j"

Budući da se postupak odvija agegat po agregat, nakon razmatranja svakog agregata, trenutnu neisporučenu snagu treba u svakom koraku ponovno izračunati za periode u kojima je za promatrani agregat određeno da bude u remontu. U svim ostalim periodima zadržava se vrijednost neisporučene snage iz prethodnog koraka. Koeficijenti funkcije cilja, mjerodavni za određivanje remonta sljedećeg agregata u nizu, određuju se u četiri koraka, primjenom metode kumulanata, kako slijedi:

1. Oduzmi odgovarajuće kumulante agregata j od kumulanata distribucije vjerojatnosti raspoložive snage elektroenergetskog sustava u svim periodima gdje je agregat j u remontu, tj. za razdoblje i iz intervala $l_j \leq i \leq l_j + d_j - 1$.
2. Izračunaj neisporučenu snagu u svim navedenim priodima metodom kumulanata
3. U svim ostalim periodima zadržava se vrijednost $LOLP$-a iz prethodnog koraka tj.

$$LOLP_{i,j+1} = LOLP_{i,j}, \tag{91}$$

4. Izračunaj odgovarajuće koeficijente funkcije cilja c_k pomoću jednadžbe (90), pri čemu je $j = j + 1$.

Na taj način su određeni koeficijenti c_k, na temelju kojih će se primjenom heurističkog pravila 2 odrediti period za početak remonta sljedećeg agregata u nizu.

Heuristično pravilo 2: ujednačavanje LOLP-a (neisporučene snage)

Ako je nepoznanici x_k, $f_j \leq k \leq l_j$ pridružen najmanji koeficijent funkcije cilja c_k u skladu s jednadžbom (87).

Tada postavi $x_k = 1$, a vrijednost svih ostalih nepoznanica pridruženih agregatu j postavi na nulu.

3.5.3.4 Kriterij ujednačavanja EUE-a (neisporučene energije)

Zadatak je kriterija ujednačavanja neisporučene energije (EUE), da u intervalu promatranja minimizira sveukupnu neisporučenu energiju (EUE), odnosno sumu neisporučene energije (EUE) svih pojedinih perioda. Time se povećava sigurnost opskrbe potrošača, odnosno smanjuje vjerojatnost eventualnih redukcija uz odgovarajuće uštede zbog izbjegavanja dodatnih troškova koji su posljedica neisporučene energije (penali zbog neisporučene energije, štete u gospodarstvu itd). Osnovna heuristička ideja je da se remont svakog agregata usmjerava u one periode gdje je najmanja neisporučena energija EUE.

Za ujednačavanje EUE-a predlažu se dvije varijante kriterija.

a) Varijanta 1: Heuristično pravilo 3

Heuristično pravilo za ujednačavanje EUE-a (neisporučene energije) je potrebno odrediti tako da se za svaki agregat j, u promatranom nizu agregata, odredi onaj interval za početak remonta, za kojeg se dobije najmanja suma EUE-a u dj uzastopnih intervala. Na taj način se postiže ujednačavanje odnosno minimiziranje EUE-a u intervalu promatranja, što je i cilj ovog kriterija. Odgovarajući koeficijenti funkcije cilja, mjerodavni za određivanje početka remonta agregata j su:

$$c_k = \sum_{i}^{i+d_j+1} EUE_{ij}, \quad i = p_j, \ldots, q_j; \quad k = f_j, \ldots, l_j \tag{92}$$

gdje su:

EUE_{ij} - neisporučena energija u intervalu i prije razmatranja agregata j

Slično kao i kod prethodnog kriterija ujednačavanja (neisporučene energije) $LOLP$-a, nakon određivanja početka remonta svakog agregata treba trenutni EUE ponovno izračunati,

i to za periode u kojima je promatrani agregat u remontu. Za ostale intervale zadržava se vrijednost neisporučene energije iz prethodnog koraka. Koeficijenti funkcije cilja mjerodavni za određivanje remonta sljedećeg agregata u nizu se određuju u pet koraka, primjenom metode kumulanata, kako slijedi:

1. Oduzmi odgovarajuće kumulante agregata j, od kumulanata ekvivalentne krivulje trajanja opterećenja (ELDC) u svim periodima gdje je agregat j u remontu tj. za razdoblja i iz intervala $l_j \leq i \leq l_j + d_j - 1$

2. Za sva razdoblja iz intervala $l_j \leq i \leq l_j + d_j - 1$ odredi ukupno raspoloživu snagu elektroenergetskog sustava, odnosno sumu snaga svih agregata sposobnih za pogon tj. agregata koji nisu u remontu u promatranom razdoblju. Ukupno raspoloživa snaga se može odrediti pomoću sljedeće jednadžbe:

$$RS_{ij} = S - \sum_{j=1}^{N} P_j y_{ij}, \quad i = l_j, \ldots, l_j + d_j - 1; \quad k = 1, \ldots, N \tag{93}$$

gdje je:

RS_{ij} - ukupno raspoloživa snaga elektroenergetskog sustava u razdoblju i.

Budući da se postupak određivanja rasporeda remonta odvija od agregata do agregata, ukupno raspoloživu snagu RS_{ij} je zgodnije određivati u svakom koraku na način da se oduzme snaga promatranog agregata P_j, za koji je upravo određen početak remonta, od raspložive snage elektroenergetskog sustava na određenoj razini razmatranja. Slijedi:

$$RS_{ij} = RS_{i,j-1} - P_j, \quad i = l_j, \ldots, l_j + d_j - 1 \tag{94}$$

pri čemu za $j = 1$ važi:

$$RS_{io} = S \tag{95}$$

3. Izračunaj EUE u svim navedenim periodima metodom kumulanata.

4. U svim ostalim periodima zadržava se vrijednost EUE-a iz prethodnog koraka tj.

$$EUE_{i,j+1} = EUE_{i,j} \tag{96}$$

5. Izračunaj odgovarajuće koeficijente funkcije cilja c_k pomoću jednadžbe (92), pri čemu je $j = j + 1$.

Na taj način su određeni koeficijenti c_k, na temelju kojih će se primjenom heurističkog pravila 3 odrediti period za početak remonta sljedećeg agregata u nizu.

Heuristično pravilo 3: ujednačavanje EUE-a (neisporučene energije) (1)

AKO je nepoznanici x_k, $f_j < k < l_j$ pridružen najmanji koeficijent funkcije cilja c_k u skladu s jednadžbom (89).

TADA postavi $x_k = 1$, a vrijednost svih ostalih nepoznanica pridruženih agregatu j postavi na nulu.

b) Varijanta 2: Heuristično pravilo 4

Ujednačavanje EUE-a (neisporučene energije) u intervalu promatranja, se može postići da se remont svakog agregata usmjerava u periode gdje remont promatranog agregata najmanje povećava neisporučene energije. U tom cilju je potrebno u svakom periodu od interesa, izračunati neisporučene energije bez promatranog agregata i s njim, te odrediti razliku. Za

početak remonta se određuje onaj period u kojemu je najmanja suma od d_j uzastopnih razlika neisporučene energije (EUE). Pripadni koeficijenti funkcije cilja su:

$$c_k = \sum_{i}^{i+d_j+1} (EUE_{i,j} - EUE_{i,j+1}), \quad i = p_j, \ldots, q_j; \quad k = f_j, \ldots, l_j \tag{97}$$

gdje su:

EUE_{ij} - neisporučena energija u periodu i prije razmatranja agregata j; agregat j je uračunat u $ELDC$ (ekvivalentnoj krivulji trajanja opterećenja) i RS ,

EUE_{ij+1} - neisporučena energija u periodu i agregat j nije uračunat; kumulanti oduzeti od kumulanata ELC i snaga P_j oduzeta od RS prema jednadžbi (94).

Heurističko pravilo se definira slično kao i za verziju 1. Slijedi:

Heurističko pravilo 4: ujednačavanje (neisporučene energije) EUE-a (2)

AKO je nepoznanici x_k, $f_j \leq k \leq l_j$ pridružen najmanji koeficijent funkcije cilja c_k u skladu s jednadžbom (177),

TADA postavi $x_k = 1$, a vrijednost svih ostalih nepoznanica pridruženih agregatu j postavi na nulu.

3.5.3.5 Kriterij za određivanje rasporeda remonta hidroagregata: Heurističko pravilo 5

Osnovni zahtjev kod planiranja proizvodnje hidroelektrana u elektroenergetskom sustavu je maksimalno iskorištavanje raspoloživih vodnih snaga, jer se na taj način bitno smanjuju troškovi goriva. Naime, kao što je poznato, jednom kada je hidroelektrana već izgrađena, troškovi proizvodnje su vrlo niski. Remont hidroagregata traje relativno kratko, i treba ga planirati u razdobljima kada je doprinos promatranog agregata u elektroenergetskom sustavu najmanji. Drugim riječima remont je potrebno obaviti u razdoblju malih voda, odnosno kada je i očekivana moguća proizvodnja najmanja. Proizvodnja svake hidroelektrane u elektroenergetskom sustavu se dobije postupkom određivanja moguće proizvodnje koja se uspješno primjenjuje u našoj elektroenergetskoj praksi. Stohastička priroda pojave hidroloških stanja nameće potrebu određivanja očekivane proizvodnje hidroelektrane tj. one proizvodnje koja ima najviše izgleda da se pojavi u budućnosti. Budući da praktično ne postoji korelacija hidroloških stanja iz razdoblja u razdoblje, očekivana proizvodnja svakog agregata određuje se za svako razdoblje kao aritmetička sredina svih hidroloških uzoraka. Slijedi:

$$\mu_{HE,ji} = \frac{1}{H} \sum_{h=1}^{H} W_{jih}, \quad j = 1, \ldots, T \tag{98}$$

gdje su:

μ_{HEji} - očekivana proizvodnja hidro-agregata j u razdoblju i,

W_{jih} - proizvodnja (MWh) hidro-agregata j u razdoblju i, za hidrološki uzorak h,

H - ukupni broj hidroloških uzoraka,

h - indeks hidrološkog uzorka.

Koeficijent c_k funkcije cilja se određuju prema jednadžbi:

$$c_k = \sum_{i}^{i+d_j+1} \mu_{HE,ji}, \quad i = p_j, \ldots, q_j; \quad k = f_j, \ldots, l_j \tag{99}$$

Heurističko pravilo za određivanje rasporeda remonta za hidroagregate se definira kao:

Heurističko pravilo 5: remont hidroagregata

AKO je nepoznanici x_k, $f_j \leq k \leq l_j$ pridružen najmanji koeficijent funkcije cilja c_k u skladu s jednadžbom (89),

TADA postavi $x_k = 1$, a vrijednost svih ostalih nepoznanica pridruženih agregatu j postavi na nulu.

Određivanje rasporeda remonta hidroagregata na temelju heurističkog pravila 5 se obavlja prije svih ostalih agregata, jer se želi postići maksimalno moguća proizvodnja hidroelektrana. Maksimalno iskorištenje vodnih snaga je osnova planiranja pogona svakog hidro-termo elektroenergetskog sustava te se navedeno heurističko pravilo primjenjuje i za kriterije ujednačavanja zalihe, LOLP-a (neisporučene snage) i EUE-a (neisporučene energije).

3.5.3.6 Kriterij minimiziranja troškova goriva

Za minimiziranje troškova goriva treba pretražiti sve moguće kombinacije, te za one koje zadovoljavaju ograničenja računati troškove goriva. Optimalno je ono rješenje za koje se dobiju najmanji troškovi goriva. Za proračun troškova goriva se uzima metoda kumulanata. Već je u uvodnom dijelu ovog poglavlja ilustrirano da je za svaki realni elektroenergetski sustav broj potrebnih proračuna vrlo velik, te da za praktičnu primjenu, pretraživanje svih mogućih kombinacija, ne dolazi u obzir. treba dakle, koliko god je moguće više smanjiti broj kombinacija koje će se eksplicitno pretražiti, tj. za koje će se primjenom metode kumulanata izračunati troškove goriva. U tu svrhu se predlaže niz uputa.

3.5.3.7 Upute za grupiranje agregata

Broj kombinacija rasporeda remonta agregata za koje je eksplicitno tj. metodom kumulanata potrebno računati troškove goriva može se znatno smanjiti ukoliko se ukupni broj agregata podijeli u nekoliko manjih skupina, koje se tada rješavaju svaka za sebe. Na taj način, jedan veliki problem je podijeljen na niz manjih. Podjelom u grupe se jedan algoritam eksplicitnog pretraživanja svih mogućih rješenja transformira u jedan novi, zasnovan na sukcesivnim aproksimacijama. Pri tome, kvalitet rješenja u znatnoj mjeri ovisi o načinu na koji se obavlja podjela agregata u grupe. Drugim riječima, podjela na grupe se ne smije obaviti na temelju slučajnog uzorka, tj. bilo kako, već je potrebno poštivati, koliko god je to moguće, sljedeće upute (smjernice):

1. Agregate za koje se očekuje početak remonta u periodima koji su dosta udaljeni treba staviti u različite grupe. Pri tome je potrebno da mogući početi remonta primjerice dva agregata budu toliko različiti da nije moguć scenarij po kojemu bi se dva promatrana agregata mogla nalaziti u remontu u istom razdoblju. Vrijedi i obrnuto, tj. agregati za koje, s obzirom na moguće početke remonta postoji mogućnost o istodobnom remontu, treba staviti u istu grupu. Ta uputstva se temelje na činjenici da remont agregata u određenom vremenskom intervalu ne može utjecati na troškove goriva u drugim intervalima.

2. Agregate koji su povezani ograničenjima o zabrani istovremenog remonta i (ili) ograničenjima koja uspostavljaju određeni raspored remonta, treba staviti u istu grupu.

3. Ako su grupe, dobivene podjelom na temelju uputstava 1 i 2, relativno velike, potrebno ih je podijeliti u još manje grupe. Ukupni broj grupa, kao i broj agregata u grupi se određuje na sljedeći način:

Pretpostavimo da je za sustav od N agregata broj kombinacija, koje želimo eksplicitno ispitati M, pri čemu je M iskustvena veličina. Tada se maksimalni broj agregata u svakoj grupi y definira kao maksimalna cjelobrojna veličina koja zadovoljava sljedeću nejednadžbu:

$$s^y \cdot (N/y) \leq M \tag{100}$$

gdje je:

s - ukupni broj razdoblja u kojima je moguć početak remonta svakog agregata,

Podjelu na grupe treba izvršiti po listi agregata, koja se, kako je već spomenuto formira kao opadajući niz snaga agregata. Znači da se ranije grupiraju agregati većih snaga.

3.5.3.8 Kriterij za eliminiranje suvišnih kombinacija

Zadatak je tog kriterija da eliminira, odnosno da izbjegne proračun troškova goriva za one kombinacije (rješenja), za koje se sa sigurnošću može kazati da nemaju velikih izgleda da budu optimalne. Takve kombinacije su primjerice one za koje se predviđa remont svih agregata određene grupe, u veoma kratkom intervalu ili čak u istom periodu. Potrebno je dakle, postupak pretraživanja mogućih rješenja usmjeriti u područje u kojem se vrlo vjerojatno nalazi optimalno rješenje. U tu svrhu se koriste ograničenja snage dopuštene za remont. Naime, za svaki period određuje se snaga dopuštena za remont, na sljedeći način.

Odredi se osnovno rješenje koje zadovoljava sva ograničenja. Budući da je cilj minimizirati troškove goriva, za određivanje osnovnog rješenja, najpogodnije je uporabiti kriterij ujednačavanja EUE-a (neisporučene energije). Za osnovno rješenje, za svaki period se odredi ukupna snaga u remontu. Ukupnoj snazi u remontu svakog perioda se doda jedan iznos snage, primjerice 50 MW, čime se u stvari proširuje prostor za remont. Snaga dopuštena za remont sad je:

$$SR_i = RP_i + D_p, \quad i = 1, \ldots, T \tag{101}$$

gdje su:

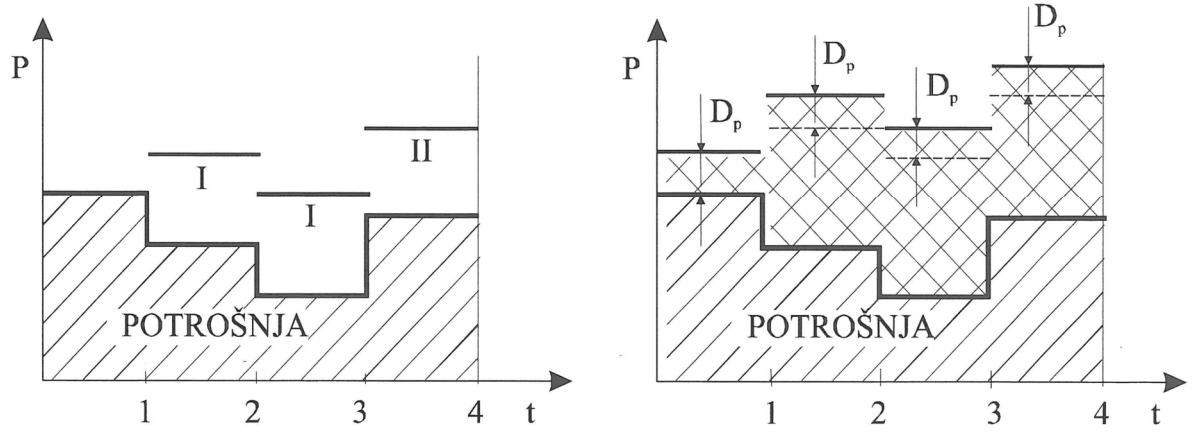
SR_i - snaga dopuštena za remont u razdoblju i,

RP_i - ukupna snaga u remontu u razdoblju i, iz osnovnog rješenja,

D_p - iznos snage kojim se proširuje prostor za pretraživanje.

Za ilustraciju neka posluži primjer sa slike 59. Na slici 59a, je dato osnovno rješenje, dok se na slici 59b, može vidjeti snaga za remont u sva 4 razdoblja. Pri tomu je $D_p = 20MW$.

Na taj način se pretraživanje usmjerava u okolinu osnovnog rješenja, odnosno pretražuju se rješenja koja su vrlo blizu optimalnom. Pri tome se broj dopuštenih rješenja povećava ako se povećava D_p.



Slika 59. Ilustracija kriterija za eliminiranje suvišnih kombinacija a) osnovno rješenje b) snaga dopuštena za remont

3.5.3.9 Kriterij minimiziranja troškova remonta

Kriterij minimiziranja troškova remonta se zasniva na poznavanju troškova remonta u zavisnosti od vremenskog razmaka između dvaju remonta. Do takvih podataka je u praksi gotovo nemoguće doći, te se stoga koeficijenti funkcije cilja procjenjuju. Koeficijenti linearne funkcije cilja uzimaju u obzir činjenicu da svaki agregat treba ići u remont jednom godišnje. Pri tome je za većinu agregata poželjno da vremenski razmak između dva uzastopna remonta bude godina dana, odnosno 52 tjedna. U slučaju da se remont obavi prije tog roka, troškovi remonta se povećavaju. Naime dugoročno gledano, ukoliko bi se svake godine realizirao prijevremeni remont ukupni broj remonata u nizu godina bi se povećao. Tako primjerice ukoliko bi za neki agregat svake godine remont počinjao dva tjedna ranije, u 26 godina bi se promatrani agregat remontirao 27 puta umjesto 26, te bi se na taj način dugoročno gledano povećali i ukupni troškovi remonta. Ta činjenica se koristi kod procjenjivanja koeficijenata funkcije cilja za one koeficijente koji se odnose na periode "prijevremenog remonta". U tu svrhu se izračunaju prosječni tjedni troškovi remonta ako da se troškovi godišnjeg redovnog remonta (poznata veličina) podijele sa 52. Slijedi

$$I = B/52 \tag{102}$$

gdje su

B - troškovi redovnog godišnjeg remonta,

I - prosječni tjedni troškovi redovnog remonta.

Prosječni tjedni troškovi remonta predstavljaju ujedno i povećanje godišnjih troškova remonta ukoliko bi remont nekog agregata svake godine počinjao ranije za jedan tjedan. Naime, u tom slučaju, u vremenskom nizu od 52 godine, ukupni broj redovnih remonata bi bio 53, te bi se godišnji troškovi redovnog remonta svake godine prosječno povećali za vrijednost I.

S obzirom na gore izneseno može se općenito kazati da će za slučaj kada remont počne w tjedana ranije od idelanog razmaka između dva uzastopna remonta (52 tjedna), prosječni godišnji troškovi remonta, dugoročno gledano, povećati se za iznos $w * I$.

Za slučaj kada remont počinje kasnije od idelanog početka tj. 52 tjedna nakon prethodnog remonta, slijedeći logiku koja je prethodno iznesena za prijevremeni remont, dugoročno gledano, prosječni godišnji troškovi remonta bi trebali biti općenito manji. Kod odgođenog početka remonta dolazi do dodatnog trošenja i oštećivanja svih dijelova, odnosno do povećane opasnosti od neočekivanih ispada i ozbiljnijih kvarova. Zbog toga je procijenjeno da se troškovi redovnog remonta ipak povećavaju. Pri tome je procijenjeno da je efekt dugoročnog smanjenja troškova remonta jednak povećanim troškovima remonta zbog odgođenog remonta.

Koeficijenti linearne funkcije cilja pridruženi agregatu j se mogu pisati kao:

$$\underline{c} = (\ldots B + 2I, B + I, B, B_1, B_2, \ldots)^t \tag{103}$$

pri čemu je:

$$B < B_1 < B_2\ . \tag{104}$$

Koeficijenti B_1, B_2 itd. su neznatno veći od B da bi se u funkciji cilja matematički rezlikovalo rješenje za idealni početak remonta od odgođenog početka. Tj.

$$B_1 = B + \tau \tag{105}$$

$$B_2 = B + 2\tau \tag{106}$$

gdje je:

$\tau = 0,00001\ B$

3.5.3.10 Postupak pretraživanja

Algoritam za određivanje rasporeda remonta agregata u elektranama elektroenergetskog sustava je organiziran na način da se, ovisno o kriteriju, primjenjuju različiti postupci pretraživanja. Svi postupci pretraživanja i svi kriteriji su dio jedinstvenog algoritma. Postupci pretraživanja uz pripadne kriterije su:

(1) Heurističko pretraživanje; kriteriji ujednačavanja pokazatelja pouzdanosti rada elektroenergetskog sustava,

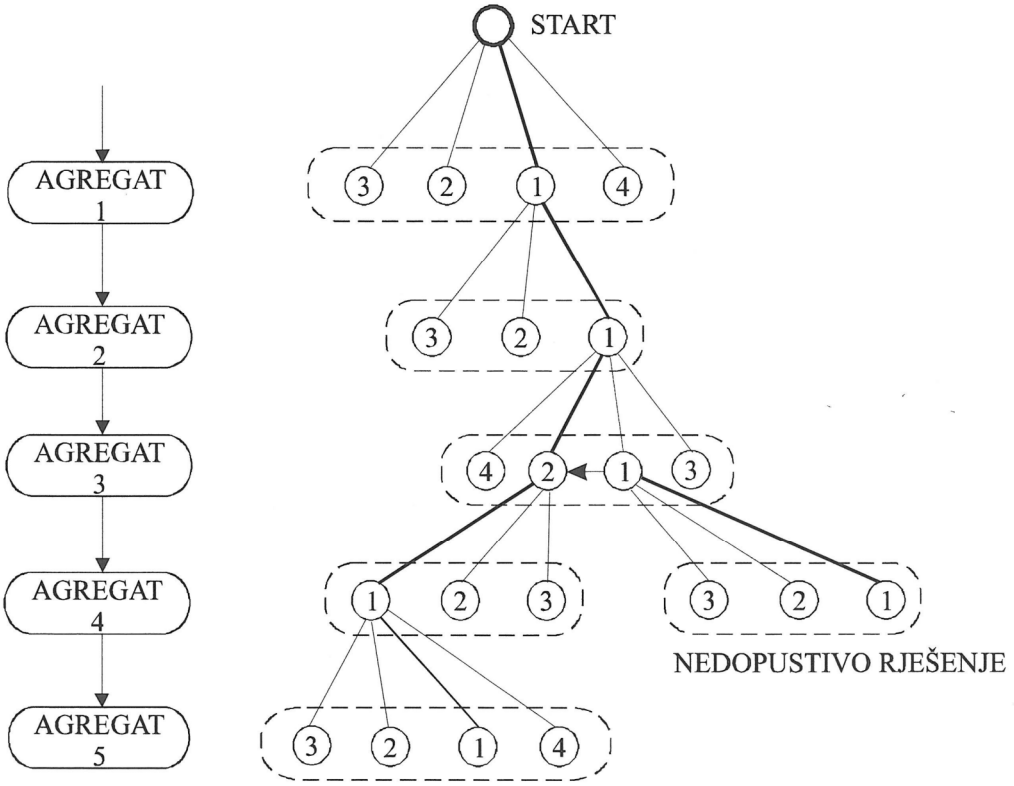
(2) Linearno 0-1 programiranje; kriterij minimiziranja troškova remonta,

(3) Sistematsko pretraživanje: kriterij minimiziranja troškova goriva.

Heurističko pretraživanje

Za kriterije ujednačavanja pokazatelja pouzdanosti rada elektroenergetskog sustava tj. rezerve. LOLP-a (neisporučena snaga) i EUE-a (neisporučena energija) koristi se Heurističko pretraživanje. Postupak heurističkog pretraživanja je organiziran hijerarhijski na način da se analizira agregat po agregat. Pri tome je redoslijed pretraživanja agregata utvrđen listom prioriteta. U elektroenergetskom sustavu sa hidro i termoelektranama, hidro-agregati se stavljaju u vrh liste prioriteta, jer je cilj kod svakog planiranja pogona mješovitog elektroenergetskog sustava maksimalno iskoristiti energiju vode. Hidro-agregati su u listi prioriteta u pravilu postavljeni kao opadajući niz ukupnih mogućih proizvodnja. Termo-agregati slijede na listi iza hidroagregata i poredani su kao opadajući niz instaliranih snaga agregata, jer je i doprinos svakog agregata u smislu pouzdanosti rada elektroenergetskog sustava, u najvećoj mjeri ovisan o snazi agregata.

Prostor pretraživanja mogućih rješenja se može prikazati stablom rješenja prema slici 60.



Slika 60. Stablo rješenja

Čvorišta na svakoj razini predstavljaju skup svih mogućih rješenja, odnosno mogućih početaka remonta, za odeđeni agregat. Čvorišta u jednom skupu, pridružena svakom agregatu su poredana s lijeva na desno, odnosno od najranijeg od najkasnijeg perioda u kojem je moguć početak remonta. Takvih skupova općenito ima više, ali se kod heurističkog pretraživanja razmatra samo jedan i to onaj koji se nadovezuje na odluku u prethodnom koraku odnosno za prethodni agregat. Na svakoj razini analizira se pripadni agregat i donosi odluka o početku remonta promatranog agregata u skladu s odgovarajućim heurističkim pravilima koja su prethodno podrobno opisana. Svako čvorište, odnosno staza kojom se do konkretnog čvorišta došlo, definira djelomično rješenje (period u kojem počinje remont) za promatrani kao i za sve prethodne agregate. Cjelovito rješenje rasporeda remonta agregata se može ilustrirati kao staza od vrha do dna stabla rješenja. Također se može zaključiti, na temelju slike, da u slučaju većeg broja agregata i(ili) većeg broja mogućih početaka remonta za svaki agregat, dolazi do eksplozije ukupnog broja svih mogućih rješenja. Zahvaljujući heurističkoj metodi i pravilima, postupak pretraživanja je bitno pojednostavljen.

Za razliku od do sada poznatih heurističkih algoritama, heuristička metoda razvijena u ovom radu jamči pronalaženje dopustivog rješenja ako takvo rješenje postoji. Provjera dopustivosti rješenja, odnosno izbjegavanje "slijepih staza" na stablu rješenja izvodi se pomoću testova koji su prvi put uvedeni u lit. [9]. Definicija nepoznanica kao perioda u kojem počinje remont nekog agregata, kao i ograničenja u linearnom obliku, omogućavaju uporabu navedenih testova za brzu provjeru dopustivosti rješenja. Svi testovi su detaljno opisani u radovima [9,10]. Valja napomenuti da se testovi kod heurističkog pretraživanja u ovoj metodi koriste u bitno drugačijem kontekstu postupka pretraživanja.

Proračun počinje formiranjem matrice ograničenja i vektora uvjeta. Zatim se izračunaju pokazatelji pouzdanosti elektroenergetskog sustava (rezerva, LOLP, EUE) za situaciju u kojoj nijedan agregat nije u remontu. Nakon toga slijedi određivanje nominalnog rješenja na temelju jednog od heurističkih pravila 1-4. Nominalno rješenje je u pravilu nedopustivo. Ukoliko je nominalno rješenje dopustivo, tada je nominalno rješenje ujedno i optimalno rješenje te se postupak pretraživanja završava. Ukoliko nije, postupak se nastavlja. U nastavku se analizira agregat po agregat i određuje najbolje rješenje za svaki agregat na temelju određenog heurističkog kriterija. Pri tome se svi mogući počeci remonta, odnosno sva rješenja za određeni agregat poredaju u odgovarajući niz u kojem je najbolje rješenje prvo u nizu. Testovima se provjerava dopustivost rješenja za svaki agregat. Zahvaljujući testovima izbjegavaju se slijepe staze. Naime testovi "pravovremeno" ukazuju na nedopustivost rješenja za neki agregat te povratak uz stablo rješenja, sa ciljem da se pronađe dopustivo rješenje, nije potreban. Testovi ustvari zabranjuju određena rješenja za neke agregate. Neka rješenja mogu biti i najbolja s obzirom na postavljene kriterije ali su nedopustiva. U tom slučaju se uzima sljedeće nezabranjeno najbolje rješenje iz niza mogućih rješenja. Kada je za određeni agregat definiran optimalni početak remonta, uvijek je potrebno ponovno računati pokazatelje pouzdanosti rada EES-a. Na temelju korigiranih pokazatelja pouzdanosti donosi se odluka o optimalnom početku remonta sljedećeg agregata u nizu. Postupak se završava kada se za posljednji agregat odredi najbolje dopustivo rješenje. U postupku pretraživanja svaki agregat mora uvažavati rješenja svih prethodno analiziranih agregata.

Linearno 0-1 programiranje

Zbog činjenice da su i funkcija cilja i ograničenja u linearnom obliku, za kriterij minimiziranja troškova remonta je moguće koristiti linearno 0-1 programiranje koje je detaljno opisano u radovima [9,10]. Osnovna ideja ovog postupka pretraživanja je da se pretražuju samo moguća rješenja, te je trajanje proračuna znatno manje. Testovi omogućuju ukidanje

suvišnih (irelevantnih) ograničenja i nepoznanica, što još više smanjuje trajanje proračuna. Redoslijedom pretraživanja mogućih rješenja može se još više smanjiti trajanje proračuna. Budući da je funkciju cilja potrebno minimizirati, za svaki agregat formira se lista rastućih pripadnih koeficijenata funkcije cilja. Za početno ili nominalno rješenje odabire se za svaki agregat ono rješenje za koje je pripadni koeficijent funkcije cilja najmanji, odnosno prvo rješenje u formiranom nizu.

Sistematsko pretraživanje

Za kriterij minimiziranja troškova goriva koristi se tzv. sistematsko pretraživanje. Osnova je tog pretraživanja da se za sva dopustiva rješenja metodom kumulanata izračunaju troškovi goriva, a zatim da se odabere ono rješenje za koje su se dobili najmanji troškovi goriva. Pretraživanje je organizirano tako da se analiziraju samo cjelovita rješenja odnosno rješenja koja za svaki agregat imaju specifičan početak remonta. Pri tome se polazi od lijeve staze sa stabla rješenja. Dopustivost svakog rješenja provjerava se testovima. Samo za dopustiva rješenja računaju se troškovi goriva. Na taj način se većina rješenja pretražuje implicitno tj. bez računanja troškova goriva.

3.6 Simulacija prilika u elektroenergetskom sustavu (APCoS)

3.6.1 Postavke modela

U programskom paketu godišnjeg planiranja rada elektroenergetskog sustava simulacija prilika, ili kako je neki zovu elektroenergetska bilanca, je završna faza. Ona rabi rezultate ostalih dijelova programskog paketa. To su: predviđanje potrošnje, proizvodnja hidreoelektrana i remont termoelektrana. Svi ti dijelovi godišnje bilance su automatski, preko baze podataka, povezani i koriste se rezultatima pojedinog dijela kao ulaznim podacima. U slijedu izvođenja, prvo ide predviđanje potrošnje, zatim proizvodnja hidroelektrana koja rabi rezultate predviđanja potrošnje, zatim remont termoelektrana koji rabi rezultate dvaju prethodno spomenutih dijelova i na kraju je simulacija prilika koja rabi rezultate svih prethodnih kao ulazne podatke.

U svijetu je rađeno dosta modela koji su pokušali simulirati bilanciranje u elektroenergetskom sustavu. Oni se najviše razlikuju u dijelu koji se odnosi na aproksimaciju krivulje trajanja opterećenja i u dijelu koji se odnosi na redoslijed angažiranja elektrana.

Kada se govori o aproksimaciji krivulje trajanja opterećenja, u našoj elektroprivrednoj praksi situacija se mijenjala ovisno o mogućnostima računala. Prvi model koji je razvijen za elektroenergetsku bilancu (autor prof. Požar) imao je aproksimaciju krivulje trajanja opterećenja s tri pravca. To je bio pojednostavljen način opisivanja odnosa u elektroenergetskom sustavu, koji je bio primjeren raspoloživim tehničkim pomagalima.

S razvojem bržih računala i softverske podrške pojavljivala su se neka složenija (ali i bliža stvarnim odnosima) rješenja aproksimacije krivulje trajanja opterećenja, kao npr. polinom, Furierov red i konačno metoda kumulanata.

Što se tiče redoslijeda i načina angažiranja elektrana unutar krivulje trajanja opterećenja, također je bilo nekoliko faza razvitka modela, u skladu s mogućnostima računala.

Prethodne verzije programa za elektroenergetsku bilancu, koji će ovdje biti opisan, radile su sa sumarnim modelom hidroelektranama, a raspodjela opterećenja među elektranama

izvođena je u dva koraka. U prvom koraku se raspodjela načinila na hidroelektrane i na termoelektrane, a u drugom koraku između termoelektrana samo za dio krivulje trajanja opterećenja koji se pokriva termoelekranama.

Ta najnovija verzija programa za simulaciju, za aproksimaciju krivulje trajanja uzima metodu kumulanata, a raspodjela opterećenja na termoelektrane se izvodi istodobno promatrajući utjecaj i hidroelektrana i termoelektrana.

3.6.2 Potrošnja električne energije

Predviđanje potrošnje električne energije zasniva se na ostvarenim satnim opterećenjima iz nekoliko prošlih godina. Na temelju tih opterećenja izradi se predviđanje za npr. sljedeću godinu za koju se priprema godišnja elektroenergetska bilanca. Rezultat predviđanja su također satna opterećenja koja se koriste za definiranje krivulje trajanja opterećenja. Predviđena satna opterećenja su kao rezultat programskog sustava godišnjeg predviđanja električne energije (ALFoS) spremljena u bazu podataka, odakle ih kao ulazne podatke uzima programski sustav simulacije prilika u elektroenergetskom sustavu (APCoS). Da bi se iz satnih opterećenja, poredanih u opadajućem slijedu, dobila krivulja trajanja opterećenja pogodnog oblika za matematičku obradu (tijekom proračuna treba obavljati integraciju ispod te krivulje), ona se aproksimira kontinuiranom funkcijom.

3.6.2.1 Aproksimacija krivulje trajanja opterećenja

Aproksimacija krivulje trajanja opterećenja postiže se upotrebom Gram-Charlierova reda koji se sastoji od funkcije normalne distribucije i njezinih derivacija, a koristi se metoda kumulanata koja ima opću sličnost između oblika krivulje trajanja opterećenja i kumulativne funkcije normalne distribucije. Funkcija distribucije Gram-Charlierova reda ima osnovni oblik:

$$F(z) = \sum \delta_i \cdot \Theta(z), \quad za \;\; i = 0, 1, 2, 3, \ldots \tag{107}$$

gdje je

δ_i- koeficijenti reda sastavljeni iz kumulanata,

Θ_i - funkcija normalne distribucije,

z - standardna varijabla.

Krivulja trajanja opterećenja ima sličnosti s kumulativnom krivuljom normalne distribucije, pa je izraz za kumulativnu funkciju Gram-Charlierova reda integral funkcije $F(z)$:

$$E(z) = \int_z^{\infty} \sum \delta_i \cdot \Theta_i(z)\, \mathrm{d}z\,. \tag{108}$$

Daljnjim integriranjem funkcije $E(z)$ dobije se energija ispod krivulje trajanja opterećenja:

$$W_t = \sigma \cdot T \int^{\infty} \int^{\infty} \sum \delta_i \cdot \Theta_i(z)\, \mathrm{d}z\,. \tag{109}$$

U izraz je uključena σ - standardna devijacija zato što se integriranje izvodi preko standardne varijable z.

Osnova reda je funkcija normalne distribucije oblika

$$\Theta_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-z^2}{2}} \tag{110}$$

gdje je:

z - standardna varijabla koja se računa prema izrazu $z = \dfrac{P - \mu}{\sigma}$,

P - ekvivalentno opterećenje za koje se računa ekvivalentna krivulja trajanja opterećenja,

μ - srednja vrijednost koja se određuje prema izrazu

$$\mu = \frac{1}{n} \sum v_i \cdot P_i \tag{111}$$

n - ukupan broj promatranja,

v - apsolutna frekvencija,

σ - standardna devijacija koja se određuje prema izrazu

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum (P_i - \mu)^2 . \tag{112}$$

Ostali članovi reda su derivacije funkcije normalne distribucije. Općenito se može za derivacije normalne distribucije napisati da je

$$\Theta = \frac{(-1)^i}{\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-z^2}{2}} \cdot H_i(z) \tag{113}$$

gdje je:

$H_i(z)$- skraćeni zapis za Hermiteov polinom.

$$H_i(z) = z^i + 1 \cdot \delta_2^i z^{i-2} + 1 \cdot 3 \cdot \delta_4^i z^{i-4} - 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \delta_6^i z^{i-6} + \ldots \tag{114}$$

Budući da prvi i drugi koeficijenti (δ_1 i δ_2) imaju vrijednost 0, Gram-Charlierov red za funkciju distribucije glasi:

$$F(z) = \Theta_0 + \delta_3 \Theta_3(z) + \delta_4 \Theta_4(z) + \ldots \tag{115}$$

ili

$$F(z) = \Theta_0 - \frac{1}{3!} K_{s3} \cdot \Theta_3(z) + \frac{1}{4!} K_{s4} \Theta_4(z) \ldots \tag{116}$$

gdje su K_{s3} i K_{s4} - standardne vrijednosti kumulanata i mogu se izračunati preko kumulanata i standardne devijacije $K_{sj} = \dfrac{K_j}{\sigma^j}$ Vrijednost kumulanta K_j određuje se preko momenta višeg reda prema izrazu:

$$K_j = \mu_j - \sum_{i=1}^{j-3} \binom{j-1}{i} \cdot \mu_{j-1-i} \cdot K_{i+1}, \quad za \quad j = 3, 4, \ldots \tag{117}$$

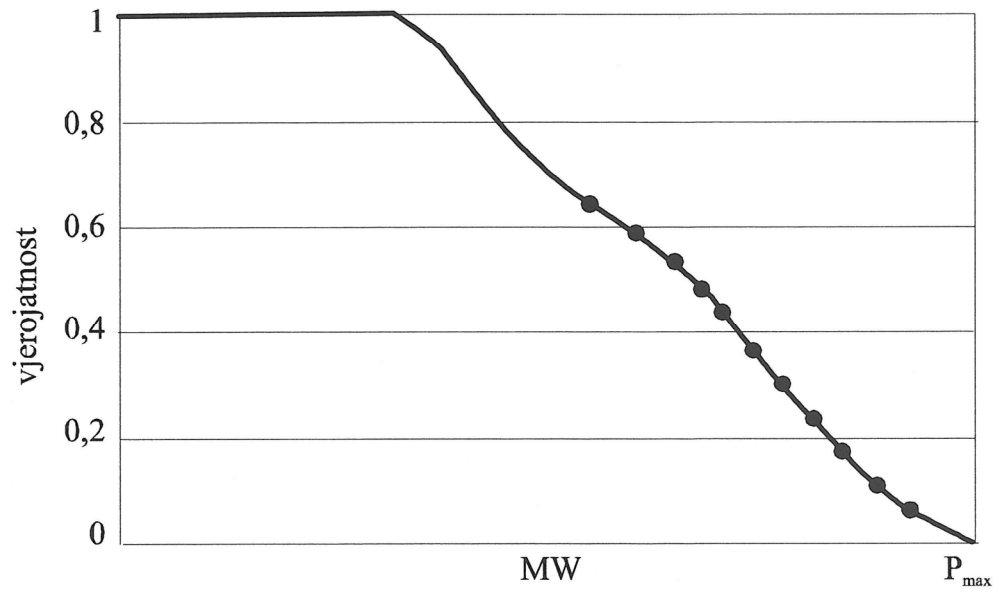
Za prvi i drugi kumulant uzima se da je:

$$\mu_1 = \mu = K_1, \quad \mu_2 = \sigma^2 = K_2 . \tag{118}$$

Krivulja trajanja opterećenja opisuje se kumulativnom funkcijom distribucije, pa Gram-Charlierov red za kumulativnu funkciju distribucije glasi:

$$E(z) = \int_z^\infty \Theta_0(z)\,\mathrm{d}z + \frac{1}{3!} K_{s3} \Theta_2(z) - \frac{1}{4!} K_{s4} \Theta_3(z) + \ldots \tag{119}$$

Krivulja trajanja opterećenja prikazana je na slici 61.



Slika 61. Krivulja trajanja opterećenja

3.6.2.2 Utjecaj temperature

Za potrošnju električne energije u određenom elektroenergetskom sustavu veliku važnost ima utjecaj temperature, posebno za elektroenergetski sustav Hrvatske u zimskom razdoblju. U osnovnom proračunu krivulja trajanja opterećenja određuje se za prosječnu temperaturu. Moguća odstupanja temperature, bez obzira na manju vjerojatnost događaja mogu znatno utjecati na odnose u elektroenergetskom sustavu, odnosno na mogućnost zadovoljenja potrošnje električne energije.

Osnovna pretpostavka novog modela je da nije dovoljno poznavati krivulju trajanja za prosječnu temperaturu, već je potrebno istražiti prilike u elektroenergetskom sustavu i za višu odnosno nižu temperaturu. Model omogućava da se umjesto prosječne temperature promatraju jedna ili dvije više temperature od prosjeka s odgovarajućom vjerojatnošću, odnosno jedna ili dvije niže temperature od prosjeka, također s odgovarajućom vjerojatnošću.

Analizom utjecaja temperature kod svake grupe potrošača korigiraju se srednja satna opterećenja za promatranu vremensku jedinicu, a iz srednjih satnih opterećenja odredi se krivulja trajanja opterećenja. Model omogućuje da se svaka vremenska jedinica predstavi s jednom, tri (prosjek + dvije) ili pet (prosjek + četiri) krivulje trajanja opterećenja s odgovarajućom vjerojatnošću događanja.

Ako se radi s više temperatura, odnosno s više varijanta potrošnje (tri ili pet), onda se svakoj od njih pridružuje određena vjerojatnost s tim da mora biti zadovoljen uvjet:

$$\sum_{i=1}^{n} p_i = 1 \tag{120}$$

gdje je n broj temperatura, a p_i je vjerojatnost određene potrošnje vezane s odgovarajućom temperaturom. U tom se slučaju prosječne veličine opterećenja računaju prema izrazu:

$$P = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot p_i \tag{121}$$

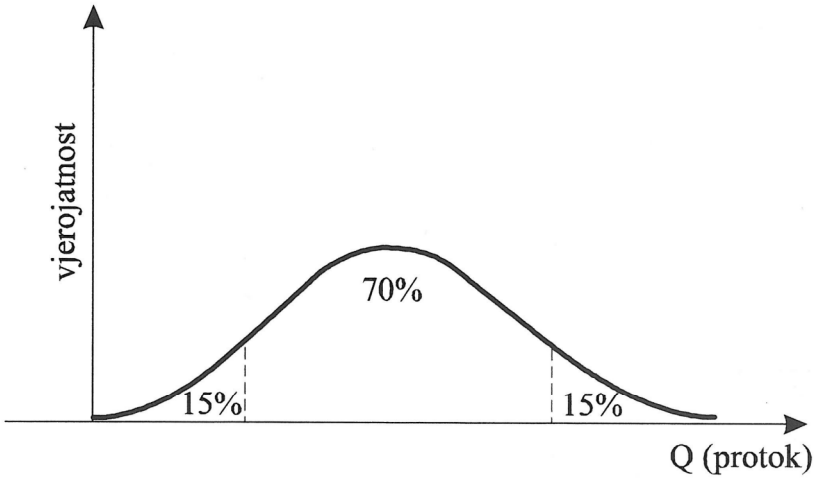
gdje je:
P - prosječno opterećenje,
P_i - opterećenje pojedine temperaturne varijante,
p_i - vjerojatnost pojedinog opterećenja koje odgovara određenoj temperaturi.

3.6.3 Tretman hidrologije

Hidrološke prilike na nekom području su dinamički i količinski neponovljive. Budući da su protoci kontinuirana slučajna varijabla, broj mogućih ostvarenja je beskonačan, a vjerojatnost ostvarenja svake pojedinačne diskretne vrijednosti jednaka je nuli. To u praktičnom smislu znači da je nemoguće predvidjeti dotoke za godinu dana unaprijed. Da bi se donekle ublažili problemi koje izaziva neizvjesnost hidrologije, koriste se neka pojednostavljena rješenja. Jedno od njih je da se pretpostavi kako će se ostvariti dotoci unutar granica, minimalnih i maksimalnih, ostvarenih u prošlosti. Ta pretpostavka ima vrlo veliku vjerojatnost, ali još uvijek ne odgovara sigurnom događaju (vjerojatnost 100 posto). Naime, postoji određena (iako mala) vjerojatnost da se ostvari dotok manji od najmanjeg zabilježenog u prošlosti, ili veći od najvećeg zabilježenog u prošlosti.

Zbog činjenice da je protok kontinuirana slučajna varijabla i da ostvarenje bilo koje diskretne vrijednosti ima vjerojatnost jednaku nuli, uvodi se pojam intervala vrijednosti kontinuirane slučajne varijable (protoka), a tim intervalima se pridružuju određene vjerojatnosti pojave.

U tom modelu za simulaciju moguća proizvodnja hidroelektrana se može analizirati na tri načina. Prvi od njih je da se promatra samo jedna hidrološka varijanta (npr. prosječna) kojoj se pridružuju vjerojatnost jednaka 1 ili 100 posto. Drugi način je da se radi s tri hidrologije (slika 62.) i to tako da se za sušnu uzme prosjek od 15 posto najmanjih voda, za vlažnu prosjek 15 posto najvećih voda, te za normalnu hidrologiju prosjek 70 posto voda između sušnih i vlažnih.



Slika 62. Vjerojatnost pojave hidrologije

Treći način je da se radi s pet hidroloških slučajeva. Za pet slučajeva hidrologije pretpostavljene su sljedeće vjerojatnosti: 15 posto, 15 posto, 40 posto, 15 posto, 15 posto. U sva tri načina suma vjerojatnosti hidroloških slučajeva treba biti jednaka 1 (100 posto).

Ako se radi s tri ili s pet hidroloških slučajeva, iz njih se računa prosječni slučaj na način da se veličine za pojedini slučaj množe s vjerojatnošću slučaja kao težinskim faktorom.

$$W_s = \sum_{i=1}^{n} W_i \cdot p_i \tag{122}$$

gdje je:
W_s - prosječna vrijednost proizvodnje,
W_i - vrijednost proizvodnje za pojedini hidrološki slučaj,
p_i - vjerojatnost pojedinog hidrološkog slučaja,
n - broj hidroloških slučajeva.

Osnova za računanje moguće proizvodnje hidroelektrana za pojedini hidrološki slučaj (ili za pojedinu vjerojatnost) je 40-godišnji niz proizvodnji za svaku pojedinu hidrolelektranu koji se dobije kao rezultat programa godišnjeg plana proizvodnje hidroelektrana.

3.6.4 Probabilistička simulacija proizvodnje pojedine elektrane

Koncept korištenja probabilističke simulacije za procjenu proizvodnje elektrana i troškova proizvodnje prvi put je uveden 1967. godine i polako je prihvaćen u sve većem broju zemalja, tako da je danas u upotrebi u cijeloj Americi i u velikom broju europskih zemalja. Općenito, tehnika probabilističke simulacije za proračun troškova proizvodnje elektrana primjenjuje se za određeno vremensko razdoblje (u našem slučaju tjedan ili mjesec). Za primjenu modela probabilističke simulacije potrebne su sljedeće osnovne informacije: krivulja trajanja opterećenja za svaku osnovnu vremensku jedinicu (tjedan ili mjesec), redoslijed angažiranja termoelektrana, odnosno troškovi goriva za termoelektrane, značajke agregata (snaga, faktor raspoloživosti) kao i značajke hidroelektrana (maksimalna snaga, ukupna i konstantna proizvodnja). Za hidroelektrane se pretpostavlja da je vjerojatnost neplaniranog ispada jednaka nuli, odnosno da faktor raspoloživosti iznosi 1. Jedna od najvećih prednosti tog probabilističkog modela simulacije mogućnost je uzimanja u proračun efekta slučajnog događaja kao što je prinudni ili neplanirani ispad neke termoelektrane iz pogona.

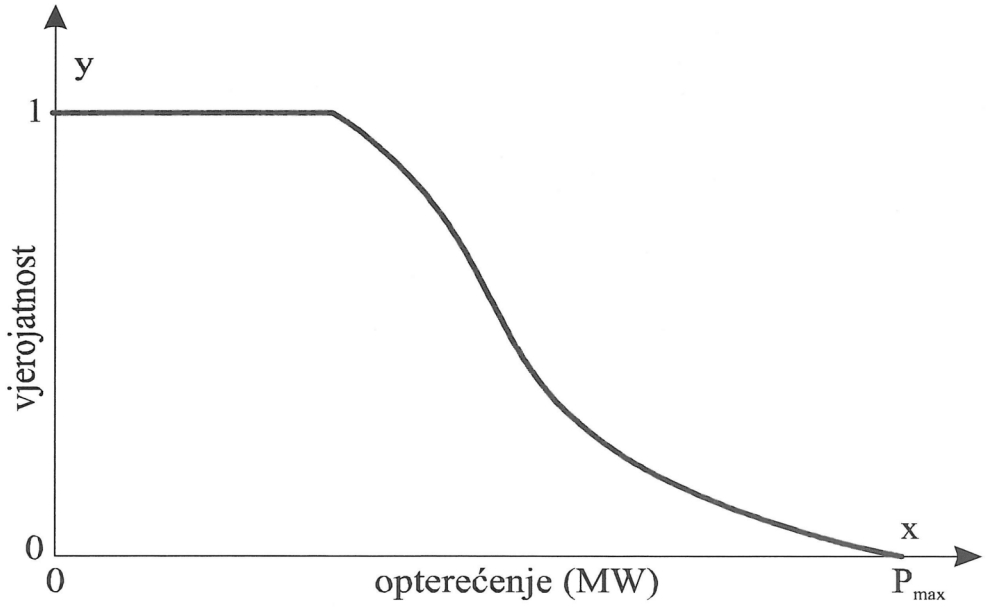
3.6.4.1 Osnove koncepta probabilističke simulacije

Osnova probabilističke simulacije je invertirana krivulja trajanja opterećenja (sl. 63) za čiju se aproksimaciju koristi metoda kumulanata. Broj kumulanata koji se uzimaju u proračun u slučaju ovog programa je 14. S krivulje trajanja opterećenja na invertiranu krivulju trajanja opterećenja prelazi se tako da se opterećenje koje je kod krivulje trajanja opterererećenja na osi y kod invertirane krivulje nanosi na os x, a trajanje (vrijeme) koje je kod krivulje trajanja opterćenja na osi x kod invertirane krivulje nanosi na os y. Dijeljenjem y osi s invertirane krivulje s ukupnim trajanjem vremenske jedinice (tjedan ili mjesec) dobiva se relativno trajanje opterećenja. To relativno trajanje opterećenja ima značenje vjerojatnosti da će opterećenje biti jednako ili veće od određene vrijednosti.

Operacijom integriranja ispod te krivulje, ako se integracija obavlja između pojednih točaka na apscisnoj osi, dobiva se proizvodnja pojedine elektrane (sl. 64). Izraz iz kojeg se dobiva proizvodnja pojedine elektrane ima oblik:

$$W_i = T \cdot \int_a^b L(x)\, \mathrm{d}x \tag{123}$$

gdje je:
Wi - proizvodnja i-te elektrane,
T - trajanje osnovne vremenske jedinice,
$L(x)$ - krivulja trajanja opterećenja,
a- suma snaga elektrana 1,2,3, ... , $i-1$,
b - suma snaga elektrana 1,2,3, ... , i .



Slika 63. Invertirana krivulja trajanja opterećenja

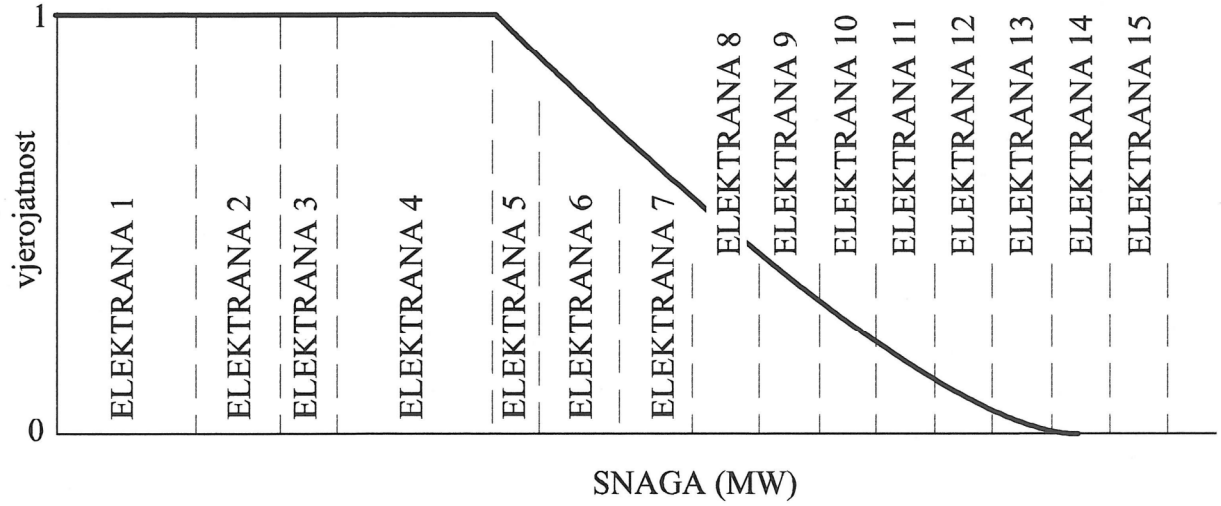
Za izvedbu tog proračuna treba unaprijed definirati redoslijed angažiranja elektrana. Za termoelektrane taj redoslijed je određen cijenom goriva u termoelektranama (ranije se angažira termoelektrane s jeftinijim gorivom). Kod hidroelektrane, kao što će se vidjeti kasnije, u konstantnom dijelu redoslijed nije bitan, a u varijabilnom dijelu redoslijed je određen varijabilnim vremenom pojedine hidroelektrane (ranije se angažiraju hidroelektrane s dužim varijabilnim vremenom).

Izraz (123) daje točan rezultat za pojedinu elektranu ako je raspoloživost svih elektrana 100 posto. Međutim, kao što je bilo navedeno pretpostavka je da samo hidroelektrane imaju raspoloživost 100 posto, dok je raspoloživost za termoelektrane manja, što znači da postoji određena vjerojatnost prinudnog ispada iz pogona za pojedinu termoelektranu.

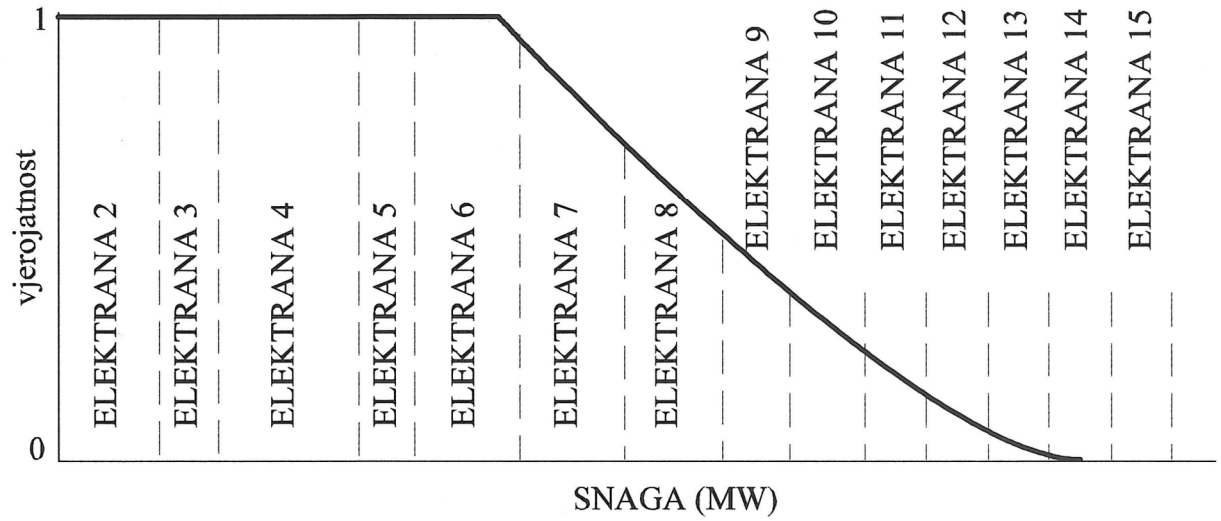
U najjednostavnijem stohastičkom modelu za tretiranje raspoloživosti elektrana, dva moguća stanja definiraju svaku elektranu. Elektrana je potpuno raspoloživa za pogon (sa 100 posto-tnom snagom) ili je potpuno neraspoloživa za pogon (snaga jednaka nuli). Svakom od ta dva stanja se pridružuje vjerojatnost da se elektrana nalazi u pojedinom stanju. Neka je p_i vjerojatnost da je elektrana potpuno raspoloživa za pogon, a neka je q_i vjerojatnost da elektrana nije raspoloživa za pogon. Ako je pretpostavka da elektrana može biti samo u jednom od ta dva stanja, onda za vjerojatnosti ovih stanja mora vrijediti izraz:

$$p_i + q_i = 1 \tag{124}$$

a to je vjerojatnost sigurnog događaja.



Slika 64. Angažiranje elektrana kad su sve elektrane raspolo žive sa 100 posto



Slika 65. Angažiranje elektrana kada elektrana 1 nije raspoloživa

Najveća poteškoća koja se javlja kod upotrebe krivulje trajanja, uz primjenu stohastičkog modela, točna je procjena položaja neke od elektrana u krivulji trajanja (primjerice elekrana i), ako neka elektrana koja je po redoslijedu angažiranja prije (primjerice elektrana i-n), neplanirano ispadne iz pogona. Poredak u kome su elektrane nacrtane na slici 65. pokazuje kakvo će biti angažiranje elekrana ako elektrana br.1 nije raspoloživa, odnosno ako neplanirano ispadne iz pogona. Usporedbom slika 64. i 65. očito je da će sve elektrane biti pomaknute ulijevo za dužinu koja odgovara snazi elektrane 1. Vrlo je bitno kod toga uočiti da se značajne promjene u očekivanoj proizvodnji događaju kod nekih elektrana, a posebno onih u vrhu krivulje trajanja.

Pokušajmo izračunati kolika je očekivana energija koju će proizvesti elektrana 1. Ako je elektrana 1 raspoloživa, ukupna energija koju ona treba proizvesti bit će jednaka površini koju ona zauzima ispod krivulje trajanja (slika 64). Međutim, ako elektrana 1 nije raspoloživa, one

neće moći proizvesti nikakvu energiju. Budući da se unaprijed ne može znati hoće li elektrana biti raspoloživa ili neće, prosječna očekivana proizvodnja elektrane 1 se može izračunati množenjem površine ispod krivulje trajanja koja pripada elektrani 1 s vjerojatnošću da će elektrana biti raspoloživa.

$$W_1 = p_1 \cdot T \cdot \int_{a_1}^{b_1} L(x)\,\mathrm{d}x \tag{125}$$

Ispad drugih elektrana nema utjecaja na proizvodnju elektrane 1, jer se njena pozicija ispod krivulje trajanja ne mijenja izlaskom iz pogona bilo koje druge elektrane.

Isto tako proizvodnja elektrane 2 izravno ovisi o ispadu elektrane 1, ali ispad neke druge elekrane (3,4,5 ili neke druge) nema nikakvog utjecaja na proizvodnju elektrane 2. Kad je elektrana 2 raspoloživa (vjerojatnost tog događaja je p_2), ona će biti angažirana u skladu sa slikom 64. ako je elektrana 1 raspoloživa, a u skladu sa slikom 65. ako elektrana 1 nije raspoloživa. Međutim, ako elektrana 2 nije raspoloživa ona neće moći proizvesti nikakvu energiju. Prema stohastičkom modelu, energija koju će proizvesti elektrana 2 računa se prema izrazu:

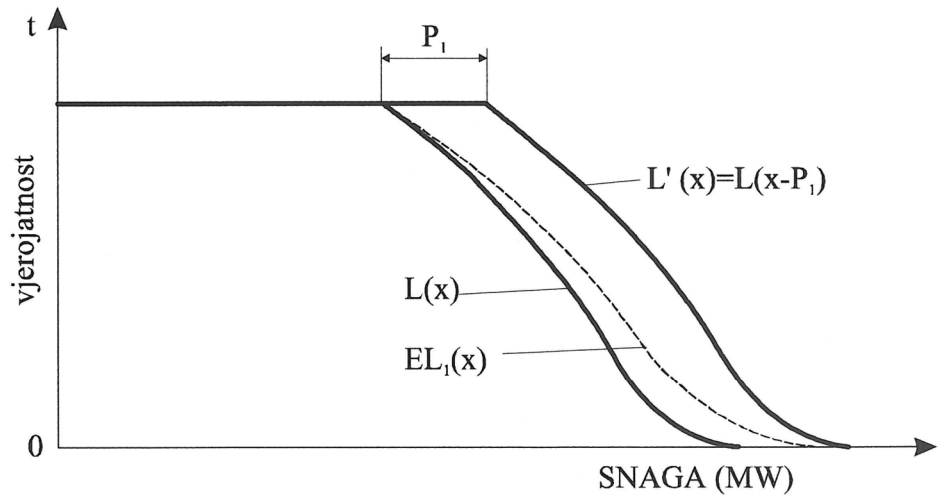
$$W_2 = p_2 \cdot T \cdot \left[p_1 \cdot \int_{a_2}^{b_2} L(x)\,\mathrm{d}x + q_1 \int_{\alpha_2}^{\beta_2} L(x)\,\mathrm{d}x \right] \tag{126}$$

gdje je:

a_2, b_2 - granice integriranja na temelju angažiranja prema slici 64.

α_2, β_2 - granice integriranja na temelju angažiranja prema slici 65.

Umjesto razmatranja dviju odvojenih pozicija angažiranja, alternativni i ekvivalentni prikaz situacije ispada elektrane 1 je taj da se elektrana ostavi na svojoj "originalnoj" poziciji a da se invertirana krivulja trajanja pomakne u desno za snagu elektrane 1 (slika 66).



Slika 66. Prikaz ekvivalentne krivulje trajanja opterećenja

Ako $L(x)$ predstavlja originalnu invertiranu krivulju trajanja opterećenja, a $L'(x)$ krivulju nastalu pomakom u desno krivulje $L(x)$ za snagu P_1 (instalirana snaga elekrane 1), onda vrijedi izraz:

$$L(x) = L(x - P_1) \tag{127}$$

a isto tako i izraz:

$$\int_{\alpha_2}^{\beta_2} L'(x)\,\mathrm{d}x = \int_{a_2}^{b_2} L\,(x - P_1)\,\mathrm{d}x\,. \tag{128}$$

Vjerojatnost da će elektrana 2 biti angažirana prema krivulji $L'(x)$ je p_1, a vjerojatnost da će elektrana 2 biti angažirana prema krivulji $L'(x)$ je q_1. Supstitucijom izraza (128) u izraz (126) i njegovim sređivanjem slijedi da se očekivana proizvodnja elektrane 2 može računati prema izrazu:

$$W_2 = p_2 \cdot T \cdot \int_{a_2}^{b_2} [p_1 \cdot L\,(x) + q_1 \cdot L\,(x - P_1)]\,\mathrm{d}x \tag{129}$$

Izraz (129) pokazuje da se efekt neplaniranog ispada elektrane može kombinirati s opterećenjem sustava u jednu varijablu koju smo nazvali ekvivalentno opterećenje, a ono se može definirati kao:

$$EL_{i-1} = L + O_i \tag{130}$$

gdje je:

EL_{i-1} - ekvivalentno opterećenje koje je rezultat uzimanja u obzir ispada elektrana koje su po redoslijedu angažiranja ispred elektrane i, na pr. elekrane 1,2,3,..., $i-1$,

L - krivulja trajanja opterećenja sustava,

O_i - dodatna proizvodnja koja se zahtijeva od elektrane i, zbog ispada elektrana koje su u redoslijedu angažiranja prije elektrane i, npr. 1,2,3,...,$i-1$.

Za elektranu i osnovno opterećenje se može odrediti iz originalne invertirane krivulje trajanja opterećenja (L) kao:

$$L = L\,(x)\,. \tag{131}$$

Dodatno opterećenje uzrokovano ispadom elektrane 1 određuje se kao razlika između krivulja $L(x - P_1)$ i $L(x)$, dakle:

$$O_i = L\,(x - P_1) - L\,(x) \tag{132}$$

a za dobivanje ekvivalentne krivulje trajanja opterećenja za elektranu 2 treba dodatno opterećenje uzrokovano ispadom elektrane 1 pomnožiti s vjerojatnošću potrebe pokrivanja tog dodatnog opterećenja:

$$EL_1 = L\,(x) + q_1 \cdot [L\,(x - P_1) - L\,(x)]\,. \tag{133}$$

Nakon sređivanja izraza (133) i uvođenja izraza 217., izraz (133) postaje:

$$EL_1 = p_1 \cdot L\,(x) + q_1 \cdot L\,(x - P_1) \tag{134}$$

a to je crtkana krivulja na slici 66.

Supstitucijom izraza (134) u izraz (129) dobije se izraz za računanje proizvodnje elektrane 2:

$$W_2 = p_2 \cdot T \cdot \int_{a_2}^{b_2} EL_1\,(x)\,\mathrm{d}x\,. \tag{135}$$

Kod proračuna proizvodnje elektrane 3 treba uzeti u obzir mogućnost neplaniranog ispada i elektrane 1 i elektrane 2. Ekvivalentna krivulja trajanja opterećenja (EL_1) uključuje efekt ispada elektrane 1. Elektrana 3 bi bila angažirana u skladu s tom ekvivalentnom krivuljom ako je elektrana 2 raspoloživa. Ako elektrana 2 nije raspoloživa, ekvivalentnu krivulju trajanja opterećenja treba pomaknuti udesno za iznos snage elektrane 2 (P_2). Te dvije krivulje

(ekvivalentna EL_1) i ta pomaknuta u desno za P_2) se mogu kombinirati u novu ekvivalentnu krivulju (EL_2) koristeći izraz (133) i zamjenjujući L sa EL_1.

Metodom probabilističke simulacije se računa proizvodnja pojedine elektrane tako da se najprije računa ekvivalentna krivulja trajanja opterećenja za tu elektranu, a onda se integriranjem te krivulje između granica koje odgovaraju snazi te elektrane dobije proizvodnja elektrane.

Ekvivalentna krivulja trajanja opterećenja za prvu elektranu je invertirana krivulja trajanja opterećenja (sl. 63). Dakle:

$$EL_0 = L \tag{136}$$

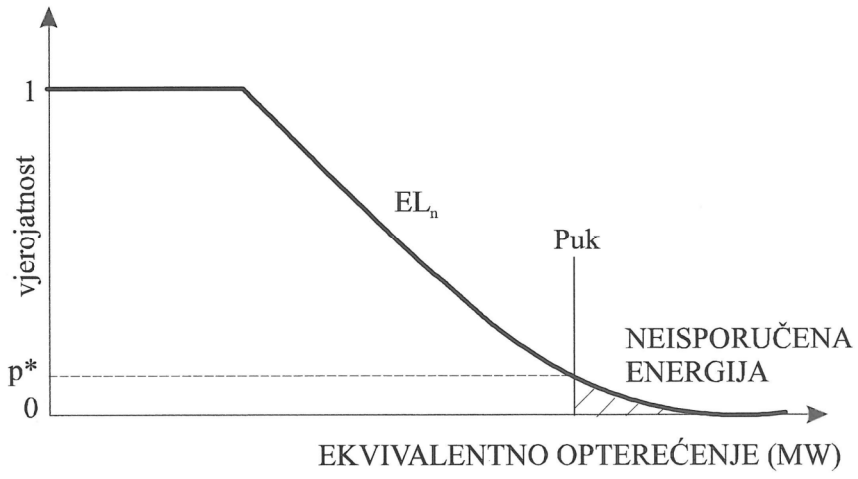
Za svaku sljedeću elektranu ekvivalentna krivulja trajanja opterećenja se dobije iz izraza:

$$EL_n(x) = p_n \cdot EL_{n-1}(x) + q_n \cdot EL_{n-1}(x - P_n) \tag{137}$$

a očekivana proizvodnja se dobije iz izraza:

$$W_n = p_n \cdot \int_{a_n}^{b_n} EL_{n-1}(x)\,\mathrm{d}x \tag{138}$$

Ta procedura se ponavlja za svaku elektranu dok se ne dobije konačna ekvivalentna krivulja trajanja opterećenja, koja u sebi uključuje efekte mogućeg ispada svih jedinica. Iz te konačne ekvivalentne krivulje se mogu izračunati još dvije veličine koje su pokazatelji sigurnosti opskrbe potrošača. Slika 67. pokazuje konačnu ekvivalentnu krivulju opterećenja sa ukupnom raspoloživom snagom u elektroenergetskom sustavu (P_{uk}). U skladu s definicijom ekvivalentne krivulje opterećenja evidentno je da je p^* vjerojatnost da će ekvivalentno opterećenje biti jednako ili veće od ukupne raspoložive snage u elektroenergetskom sustavu. U tom slučaju elektroenergetski sustav nije u stanju podmiriti sve potrebe potrošača. Ta veličina, odnosno vjerojatnost p^* je u stručnoj literaturi i praksi poznata pod nazivom LOLP (loss-of-load probability).



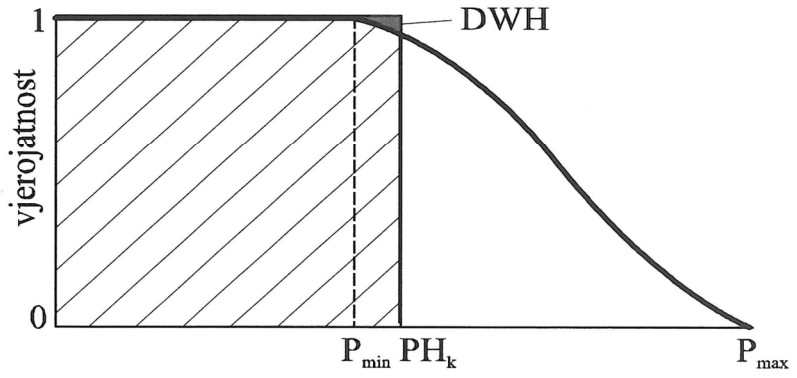
Slika 67. Konačna ekvivalentna krivulja trajanja opterećenja, LOLP(p^*) i neisporučena energija

Prostor ispod krivulje desno od P_{uk} (šrafirana površina) predstavlja očekivanu neisporučenu energiju, dakle energiju koju elektroenergetski sustav nije u stanju isporučiti potrošačima.

3.6.5 Anagažiranje elektrana unutar krivulje trajanja opterećenja

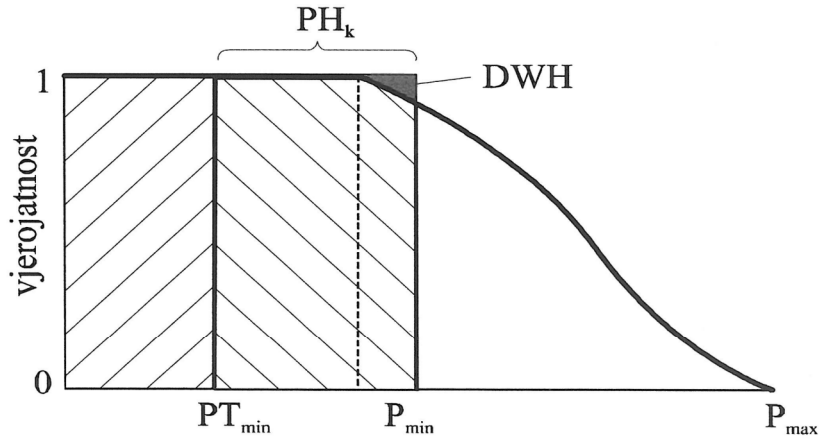
U prethodnom poglavlju je opisan osnovni koncept probabilističkog modela simulacije prilika u elektroenergetskom sustavu. U sljedećem tekstu se opisuje bilanciranje, odnosno smještaj hidroelektrana i termoelektrana u krivulji trajanja opterećenja.

Najprije se radi raspodjela opterećenja na konstantni dio hidroelektrana i tehničke minimume termoelektrana. Ukoliko nastupi slučaj da je konstantna snaga (PH_k) veća od minimalnog opterećenja (P_{min}), onda u konstantnom dijelu nije potrebno angažirati termoelektrane (slika 68.). U tom slučaju se pojavljuju preljevi kod hidroelektrana (DWH).



Slika 68. Slučaj kad je konstantna snaga hidroelektrana veća od minimalnog opterećenja

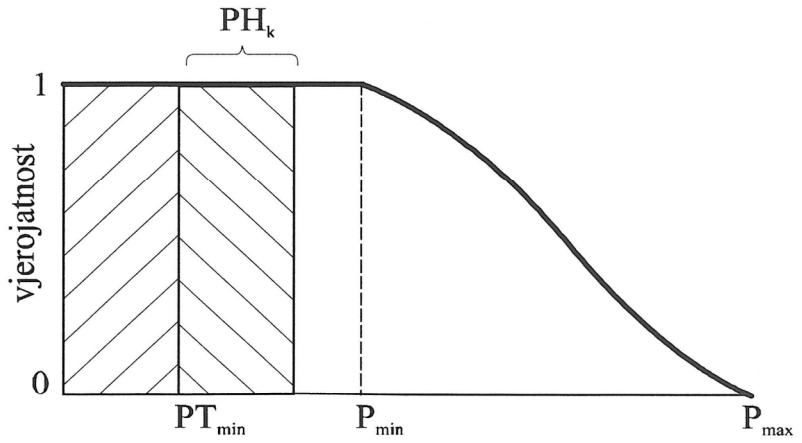
Ako nastupi slučaj da je zbroj konstantnih snaga hidroelektrana i tehničkog minimuma termoelektrana veći od minimalnog opterećenja, također se pojavljuju preljevi kod hidroelekrana.



Slika 69. Slučaj kad je zbroj tehničkih minimuma termoelektrana i konstantne snage hidroelektrana veći od minimalnog optrećenja

U slučaju da je zbroj tehničkih mnimuma termoelektrana i konstantne snage hidroelektrana manji od minimalnog opterećenja (slika 70.), preostali dio konstantnog opterećenja,

u krivulji trajanja, popunjava se preostalim dijelom termoelektrana (iznad tehničkog minimuma), i to, kao što je prije napomenuto, prema cijenama goriva. Najprije se angažiraju termoelektrane s jeftinijim gorivom.



Slika 70. Slučaj kad je zbroj tehničkih minimuma termoelektrana i konstantne snage hidroelektrana manji od minimalnog opterećenja

Što se tiče konstantnog dijela hidroelektrana, ovdje su istaknuta samo tri karakteristična slučaja. Naravno da postoji još mogućih slučajeva, npr. kad se hidroelektrane iz varijabilnog dijela prebacuju u konstantni dio, ali sa smanjenom snagom. Međutim, svi ti slučajevi se ovdje neće opisivati, jer je cilj da se objasne samo osnovni principi raspodjele opterećenja na pojedinu elektranu (principi bilanciranja) u programu simulacije prilika u elektroenergetskom sustavu.

Nakon globalne raspodjele za konstantni dio, prelazi se na raspodjelu za varijabilni dio u krivulji trajanja opterećenja. Najprije se izračuna trajanje korištenja varijabilne snage svake hidroelektrane (TVH). Izraz za to je:

$$TVH = \frac{WUH - WKH}{PUH - WKH \cdot \dfrac{1000}{TU}} \cdot \frac{1000}{TU} \tag{139}$$

Pojedine oznake u izrazu (139) znače:
TVH - trajanje korištenja varijabilne snage pojedine hidroelektrane,
WUH - ukupna energija hidroelektrane,
WKH - konstantna energija hidroelektrane,
PUH - maksimalna snaga hidroelektrane,
TU - trajanje osnovnog vremenskog intervala u satima.

Trajanje korištenja varijabilne snage pojedine hidroelektrane (varijabilno vrijeme) je kriterij prema kojem se određuje redoslijed angažiranja hidroelektrana u varijabilnom dijelu krivulje trajanja opterećenja.

Najprije se angažiraju hidroelektrane s dužim iskorištenjem varijabilne snage, a one s kraćim iskorištenjem se guraju prema vrhu krivulje trajanja opterećenja.

Za pronalaženje položaja varijabilne snage pojedine hidroelektrane u varijabilnom dijelu krivulje trajanja opterećenja, koristi se jedna iteracijska procedura. Varijabilna snaga u

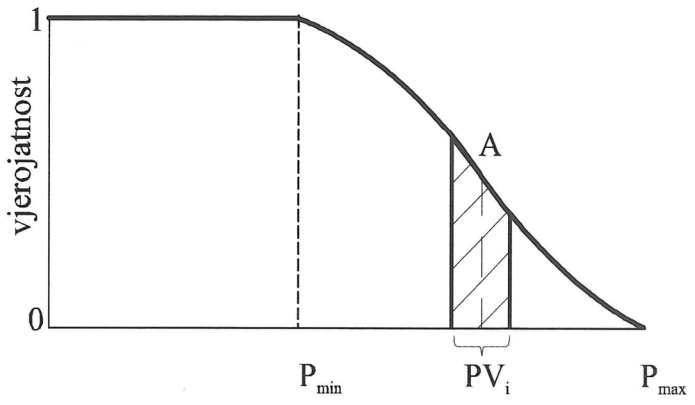
krivulji trajanja opterećenja se izračuna kao razlika maksimalne i minimalne snage, dakle:

$$PV = P_{\max} - P_{\min} \tag{140}$$

Ta se varijabilna snaga podijeli u segmente od po 1 MW, dakle koliko je MW varijabilne snage toliko je segmenata u varijabilnom dijelu krivulje trajanja. Za svaki taj segment je potrebno naći vjerojatnost da će opterećenje biti jednako ili veće od snage koja odgovara tom segmentu. Ta vjerojatnost ima značenje relativnog trajanja opterećenja koje odgovara tom segmentu. Prijelaz s vjerojatnosti na trajanje segmenta izvodi se množenjem vjerojatnosti s TU (trajanje osnovnog vremenskog intervala).

Iteracijski proces se provodi za sve hidroelektrane i sve segmente. Krene se npr. od vrha krivulje trajanja opterećenja, što znači od segmenta s najmanjim trajanjem, i traži se mjesto za prvu elektranu. Kad se trajanje opterećenja koje odgovara nekom segmentu izjednači s varijabilnim vremenom te hidroelektrane, onda je nađena pozicija za tu hidroelektranu u varijabilnom dijelu krivulje trajanja opterećenja.

Točka izjednačavanja (točka A) na krivulji trajanja opterećenja odgovara središnjoj točki varijabilne snage hidroelektrane (sl. 71). Nakon iznalaženja središnje točke, a poznavajući varijabilnu snagu hidroelektrane, lako se nađe položaj, odnosno, početna i krajnja točka varijabilne snage za hidroelektranu i (PV_i).



Slika 71. Traženje položaja u varijabilnom dijelu krivulje trajanja za i-tu hidroelektranu

Izjednačavanje središnje točke varijabilne snage hidroelektrane sa segmentom snage čije je trajanje jednako trajanju korištenja varijabilne snage i-te hidroelektrane treba zbog nagiba krivulje trajanja opterećenja. Time se varijabilna proiozvodnja i-te hidroelektrane (trapezna šrafirana površina na slici 71.) nastoji što potpunije iskoristiti ispod krivulje trajanja. Nakon nalaženja pozicije za i-tu hidroelektranu provodi se kontrola iskorištenja varijabilne proizvodnje te hidroelektrane, na način da se zbrajaju energije svih segmenata od po 1 MW koje prekriva varijabilna snaga PV_i. Ako je proizvodnja znatno različita od varijabilne energije s kojom se na početku ulazi u proračun (WHV) onda se obavlja korekcija položaja i-te hidroelektrane guranjem u lijevo ili u desno (ovisno o predznaku razlike) u krivulji trajanja.

Kad se takva iterativna procedura izvede za sve hidroelektrane i nađu njihove pozicije unutar krivulje trajanja opterećenja, ostali nepopunjeni dio se pokriva termoelektranama, preostalim dijelom iznad tehničkog minimuma.

I u varijabilnom dijelu krivulje trajanja se može pojaviti velik broj slučajeva koji će zahtijevati odstupanja od nekih do sada usvojenih načela. Jedan primjer za to je potreba da se neka

hidroelektrana prebaci iz varijabilnog dijela u konstantni, ali sa smanjenom snagom. Drugi primjer može biti slučaj kad je zbroj varijabilnih snaga i varijabilnih proizvodnja hidroelektrana veći od varijabilnog opterećenja i varijabilne energije u krivulji trajanja opterećenja. Nakon svake potrebne korekcije za bilo koju elektranu treba ponovno provesti kompletan iterativni postupak bilanciranja i za konstantni i za varijabilni dio trajanja opterećenja„ jer pomak jedne od elektrana u krivulji trajanja utječe i na neke druge elektrane. Proces dosta brzo konvergira pa se nakon nekoliko iteracija dobije kombinacija termoelektrana i hidroelektrana koja uzima u obzir potrebe za energijom i snagom, mogućnosti hidroelektrana i raspoloživost termoelektrana uz minimum troškova za gorivo.

3.6.5.1 Rotirajuća rezerva

Svrha rotirajuće rezerve je da u vrlo kratkom vrememnu (do najviše pet minuta) preuzme na sebe opterećenje koje je pokrivala proizvodna jedinica koja iznenada (slučajno) ispadne iz pogona. Ona treba biti tako raspodijeljena da ispad jedne ili više proizvodnih jedinica ne izazove pad frekvencije u elektroenergetskom sustavu ispod prihvatljive granice.

Veličina i način raspodjele rotirajuće rezerve ovise o mnogim uvjetima u elektroenergetskom sustavu. Ne postoji u svijetu opće prihvaćeno pravilo vezano za veličinu rotirajuće rezerve. To u najvećoj mjeri ovisi o vrsti, veličini i broju proizvodnih jedinica u elektroenergetskom sustavu. Naravno da na to utječe stupanj sigurnosti koji se želi imati pri radu elektroenergetskog sustava, što izravno utječe i na troškove pogona u elektroenergetskom sustavu. Pored toga, kriteriji za određivanje rotirajuće rezerve ovise o tome radi li elektroenergetski sustav izolirano ili je preko vodova dovoljnog prijenosnog kapaciteta vezan s drugim elektroenergetskim sustavima.

U stranoj literaturi se najčešće sreću dva načina određivanja veličine rotirajuće rezerve. Jedan od njih je da se rotirajuća rezerva određuje kao umnožak nekog faktora (k) i snage najvećeg agregata u pogonu (P_{imax}) dakle:

$$RR = k \cdot P_{i\max} \tag{141}$$

pri čemu je RR snaga rotirajuće rezerve. Faktor k može imati vrijednost veću, jednaku ili manju od 1.

Drugi način je da se snaga rotirajuće rezerve računa kombinirano iz snage najvećeg angažiranog agregata i maksimalnog opterećenja u elektroenergetskom sustavu. Izraz za rotirajuću rezervu u tom slučaju je sljedeći:

$$RR = k \cdot P_{i\max} + c \cdot P_{\max} \tag{142}$$

gdje je:
RR - snaga rotirajuće rezerve,
k - faktor (multiplikator) snage najvećeg agregata u pogonu,
P_{imax} - snaga najvećeg agregata u pogonu,
C - faktor (multiplikator) maksimalnog opterećenja u elektroenergetskom sustavu,
P_{max} - maksimalno opterećenje u elektroenergetskom sustavu.

Budući da ne postoje neki strogi općeprihvaćeni kriteriji za određivanje snage rotirajuće rezerve, ona je više rezultat iskustva i procjene nego nekih egzaktnih proračuna. U našem slučaju se snaga rotirajuće rezerve računa iz izraza:

$$RR_j = 0.05 \cdot P_{\max j} + \sqrt{P_{\max j}} \tag{143}$$

gdje indeks j znači redni broj osnovnog vremenskog intervala (tjedna ili mjeseca).

Što se tiče raspodjele rotirajuće rezerve na pojedine proizvodne jedinice, to jako zavisi, u prvom redu, o vrsti proizvodnih jedinica (prevladavaju li hidroelektrane ili termoelektrane, zatim koliko je plinskih termoelektrana). Kao neko opće pravilo može se reći da je bolje, s obzirom na sigurnost, rasporediti rotirajuću rezervu na više jedinica nego se koncentrirati na manji broj jedinica, iako se s ekonomskog aspekta to može činiti neopravdanim.

U našem slučaju se rotirajuća rezerva raspodjeljuje na hidroelektane, ako je neiskorištena snaga hidroelektrana veća ili jednaka rotirajućoj rezervi. Dakle, vrijedi izraz

$$RRH_j = RR_j \tag{144}$$

uz uvjet da je $DPH_j \geq RR_j$, gdje je RRH snaga rotirajuće rezerve iz hidroelektrana, DPH je neangažirana snaga iz hidroelektrana, RR je ukupna potrebna snaga rotirajuće rezerve dok j označava redni broj vremenskog intervala.

Za slučaj da je $DPH_j < RR_j$ onda je snaga rotirajuće rezerve iz hidroelektrana:

$$RRH_j = DPH_j\ , \tag{145}$$

a snaga rotirajuće rezerve iz termoelektrana (RRT) je:

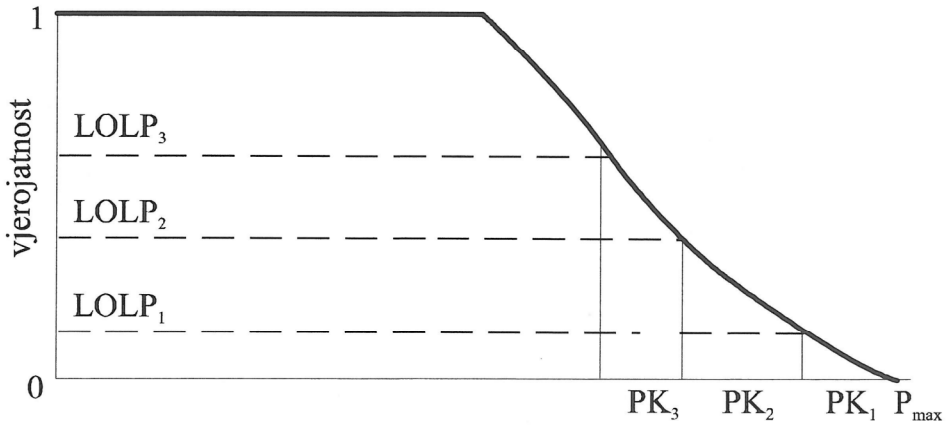
$$RRT_j = RR_j - RRH_j\ . \tag{146}$$

3.6.6 Redukcije potrošnje električne energije

Osnovna metodologija i algoritam proračuna redukcija opisani su u poglavlju 3.5.3.4.. Da bi se mogla praviti razlika u odnosu prema redukciji raznih vrsta potrošača,, jer su i štete od redukcija za razne vrste potrošača različite, u tom programu simulacije je moguće zadovoljiti do četiri različite vrste potrošača gdje je prva skupina nazvana "ostala potrošnja" a ostale tri skupine su nazvane "skupine konstantnih potrošača". Za sve četiri skupine treba zadati štete neisporučene energije po kWh, a za sve skupine konstantnih potrošača treba zadati i snagu pojedine grupe potrošača.

Kod računanja reducirane energije pojedine skupine potrošača postupa se na način da se najprije izračuna $LOLP$. Ako je $LOLP \leq LOLP_1$ (slika 72.) to znači da se reducira samo prva grupa konstantnih potrošača i to ona koja ima najmanje štete zbog neisporučene energije (snaga te grupe na slici 72. označena je s PK_1).

Ako je$LOLP_1 \leq LOLP \leq LOLP_2$ to znači da se reducira kompletno prva grupa konstantnih potrošača (snage PK_1) i dio ili cijela druga grupa konstantnih potrošača (snage PK_2).



Slika 72. Primjer proračuna reducirane energije za pojedinu grupu potrošača

Za slučaj da je$LOLP_2 \leq LOLP \leq LOLP_3$ reduciraju se kompletno prva i druga skupina konstantnih potrošača (snaga $PK_1 + PK_2$) i dio ili cijela treća skupina konstantnih potrošača (snage PK_3).

I na koncu, ako je $LOLP > LOLP_3$ reduciraju se kompletno sve tri skupine konstantnih potrošača (snaga $PK_1 + PK_2 + PK_3$) i dio skupine "ostala potrošnja".

Računanje šteta zbog redukcije pojedine skupine potrošača izvodi se prema izrazu:

$$S_i = WR_i \cdot CR_i \tag{147}$$

gdje je:

S_i - štete zbog redukcije i-te skupine potrošača,

WR_i- reducirana energija i-te skupine potrošača,

CR_i- štete po neisporučenom kWh za i-tu skupinu potrošača.

4

Vrednovanje elektrana u elektroenergetskom sustavu

4.1 Metodološki pristup

Valorizacija nekog elektroenergetskog objekta ili njegovih varijantnih rješenja zahtijeva temeljitu, korektnu i dugotrajnu pripremu podloga, odnosno ulaznih podataka. U osnovi se takav rad može podijeliti u tri faze i to:

- određivanje energetskog doprinosa promatranog objekta ili njegovih varijantnih rješenja;
- određivanje doprinosa tog objekta u elektroenergetskom sustavu;
- energetsko-ekonomska analiza razmatranih varijantnih rješenja s izborom najpovoljnije.

Pod energetskim doprinosom se ovdje zapravo podrazumijeva moguća proizvodnja električne energije promatranog hidroenergetskog objekta. Proračun moguće proizvodnje se obavlja uz uvažavanje svih relevantnih faktora te specifičnosti i ograničenja koja se postavljaju na taj objekt, kroz moguću proizvodnju se zapravo stječe dojam o izdašnosti vodotoka i veličini objekta. Budući da ona u energetsko-ekonomskoj analizi figurira kao jedna od glavnih čimbenika, treba pokloniti veliku pozornost da se korektno i obradi.

Razvoj računarske i elektroenergetske znanosti, te uporaba suvremenih elektroničkih računala omogućili su kvalitetno i brzo određivanje moguće proizvodnje hidroelektrane. U posljednje vrijeme hidroelektrana nije samo elektroenergetski objekt za proizvodnju električne energije, već se njenom izgradnjom ostvaruju i drugi učinci.

Hidroelektrane koje se danas grade ili se planira njihova izgradnja su uglavnom višenamjenskog karaktera. Osim proizvodnje električne energije, izgradnjom hidroelektrana, odnosno hidroenergetskog objekta, postižu se i drugi učinci kao primjerice obrana od poplava urbanih sredina i poljoprivrednih površina, navodnjavanje, ribogojstvo, turizam i rekreacija, zaštita rijeke od erozije, opskrba pitkom vodom, itd.

Nakon određene (izračunate) moguće proizvodnje hidroelektrane, određuje se njezin doprinos u elektroenergetskom sustavu (elektroenergetske bilance). Doprinosi u elektroenergetskom sustavu se nakon toga energetsko-ekonomski valoriziraju i bira se najpovoljnije rješenje.

Zato se valorizaciju energetskog doprinosa svake elektrane može provesti isključivo kroz kompleksnu analizu zadovoljenja predviđene potrošnje električne energije uzimajući pri tome u obzir sve specifičnosti sustava, počev od značajka potrošnje, pa do značajka postrojenja, njihove raspoloživosti, raspoloživosti energetskog resursa. U elektroenergetskim sustavima s većim udjelom proizvodnje hidroelektrana u ukupnom zadovoljenju potreba, raspoloživost hidroenergije, neizvjesnost pojave dotoka u iznosu i vremenskoj dinamici posebno čine problem planiranja razvoja sustava složenim, a prema tome i valorizaciju energetskog doprinosa takvih postrojenja izuzetno kompleksnim zadatkom. U modelu za analizu prilika u elektroen-

ergetskom sustavu treba simulirati rad svakog postrojenja (primjerice crpno-akumulacijskog postrojenja s vlastitim dotokom u gornji akumulacijski bazen), što zahtijeva detaljniju obradu u modelu svakog tipa postrojenja uz uvažavanje svih specifičnosti koje proizlaze iz same izvedbe postrojenja ili karakteristika dotoka.

Metoda koja se upotrebljava za valorizaciju energetskog doprinosa hidroelektrana, koristi se već više godina u svim analizama razvoja elektroenergetskog sustava. Ona se temelji na vrlo iscrpnoj analizi prilika u sustavu, pri čemu se neizvjesnost hidrologije obuhvaća kroz simuliranje velikog broja hidroloških prilika.

U osnovi se valorizacija energetskog doprinosa elektrana svodi na valorizaciju doprinosa kroz snagu i energiju koju neka elektrana može proizvesti. Energetski doprinos u snazi jedne hidroelektrane, zbog neizvjesnosti hidrologije (nepovoljne hidrologije u kritičnom razdoblju sustava), može biti znatno manji nego što je instalirana snaga hidroelektrana, što svakako smanjuje povoljnost promatrane hidroelektrane u odnosu na neka druga elektroenergetska postrojenja. Jednako tako iskorištena proizvodnja hidroelektrane, zbog strukturne proizvodnje ostalih elektrana u sustavu, može također biti manja od očekivane proizvodnje. Ekonomska valorizacija elektrana provodi se metodom aktualizacije svih troškova koji se pojavljuju kroz razdoblje izgradnje i korištenja elektrane, usporedbom s alternativnim rješenjem koje može u potpunosti energetski zamijeniti promatranu elektranu.

4.2 Energetsko-ekonomska vrijednost elektrana

Kao energetsko-ekonomska vrijednost neke elektrane može se smatrati smanjenje troškova u elektroenergetskom sustavu koji se ostvaruje izgradnjom promatrane elektrane. To smanjenje troškova sastoji se od:

a) smanjenja ili povećanja stalnih troškova u sustavu koji se pojavljuje zbog toga, što se izgradnjom promatrane elektrane smanjuje potreba izgradnje elektrana za zadovoljenje potražnje,

b) smanjenja ili povećanja promjenljivih troškova u sustavu, jer se proizvodnjom u promatranoj elektrani smanuju ili povećavaju promjenljivi troškovi u drugim elektranama sustava i

c) smanjenje ili povećanje šteta zbog redukcija.

Te tri vrijednosti mogu se izračunati pomoću elektroenergetske bilance. Postupak pri određivanju energetsko-ekonomske vrijednosti elektrane, radi se tako da se jednom simulira pogon elektroenergetskog sustava uz pretpostavku da je promatrana elektrana izgrađena, a drugi put uz pretpostavku da takve elektrane nema i da se gradi dodatna termoelektrana tolike snage kojom se postiže ista sigurnost opskrbe potrošača kao kad se gradi promatrana elektrana. Iz rezultata bilanca dobivaju se podaci iz kojih se mogu odrediti doprinosi pojedine elektrane u elektroenergetskom sustavu, odnosno njihova energetsko-ekonomska vrijednost.

Treba naglasiti da se pri određivanju energetsko-ekonomske vrijednosti uzimaju u obzir sve značajke elektrana. Primjerice, akumulacijska hidroelektrana imat će manju vrijednost potrebne izgradnje termoeletrana (P_t) za istu sigurnost opskrbe potrošača nego protočna hidroelektrana, jer će postrojenje akumulacije osigurati veću uštedu snage termoelektrana. U razdoblju, kad je potrebno angažirati najveće snage termoelektrana moguća je veća proizvodnja u akumulacijskim nego u protočnim hidroelektranama. To vrijedi i za protočne hidroelektrane, pa će veću energetsku vrijednost imati ona protočna hidroelektrana koja ima raspored prirodnih protoka različit od rasporeda prirodnih protoka u većini hidroelektrana u elektroenergetskom sustavu.

Svi navedeni podaci dobivaju se iz dviju elektroenergetskih bilanca, od kojih je jedna izrađena uz pretpostavku da je izgrađena promatrana elektrana, a druga da promatrana elektrana nije izgrađena, ali da je postignuta jednaka sigurnost opskrbe potrošača izgradnjom dodatne snage u termoelektranama. Obje su elektroenergetske bilance energetski istovrijedne, jer se računa s jednakom opskrbljenošću potrošača, a raspored proizvodnje u svim elektranama sustava odgovara onome koji bi se ostvario u realnom sustavu.

Opisani postupak može se uporabiti i za određivanje energetsko-ekonomske vrijednosti već izgrađenih elektrana, ali i za određivanje takve vrijednosti za elektrane koje će se tek graditi. Na temelju relativne energetsko-ekonomske vrijednosti, koja je jednaka omjeru energetsko-ekonomske vrijednosti i godišnjih troškova u promatranoj elektrani, može se odrediti ekonomski efekt izgradnje promatrane elektrane izražen kao iznos ušteda u sustavu po jedinici troškova. Svakako da je povoljnija ona elektrana koja ima veću relativnu energetsko-ekonomsku vrijednost, pa će biti opravdano da ona bude ranije izgrađena.

Da se što objektivnije odrede energetsko-ekonomske vrijednosti, nije dovoljno promatrati prilike samo u jednoj hidrološkoj godini, već treba uzeti u obzir prilike u nizu godina (obično se računa s nizom i do 40 godina). Tada se mogu uzeti u obzir gotovo sve hidrološke situacije koje se mogu pojaviti u elektroenergetskom sustavu, kako s obzirom na vrijednosti protoka u hidroelektranama, tako i s obzirom na raspored protoka tijekom godine. Analiza prilika u nizu godina pogotovo je važna za određivanje snaga u prvom članu izraza za energetsko-ekonomsku vrijednost.

Jedan je od osnovnih zadataka elektrana da budu sposobne za pogon. Ta je sposobnost interesantna za sigurnost opskrbe potrošača bez obzira je li njihova snaga trenutačno potrebna elektroenergetskom sustavu ili nije. Osim toga, sposobnost za pogon jedini je element na koji može utjecati kolektiv elektrane, jer na nju utječu održavanje postrojenja, trajanje remonta, pripremljenost za remont i kvaliteta obavljenog remonta. Zbog toga je neophodno potrebno sposobnost za pogon uključiti u izračunavanje energetsko-ekonomske vrijednosti elektrane. To se može postići uvođenjem korekcijskog faktora kojim se množi energetsko-ekonomska vrijednost elektrane određena već navedenim izrazima.

Korekcijski faktor određen je omjerom trajanja spremnosti za pogon i trajanje godine (obje veličine u satima). Tako primjerice ako je elektrana bila sposobna tijekom 7.800 sati/god. korekcijski faktor iznosi 0,8904, jer godina ima 8.760 sati.

Prilikom određivanja korekcijskog faktora treba uzeti u obzir sve nesposobnosti za pogon bez obzira na uzroke te nesposobnosti (remont, kvar, viša sila). Naravno da kvar na bilo kojem dijelu elektrane, kojim se smanjuje sposobnost za proizvodnju, ima utjecaja na korekcijski faktor. Tako primjerice kvar na kotlu smanjuje sposobnost elektrane za proizvodnju bez obzira na to što su turbina i generator sposobni za pogon. To vrijedi primjerice i za kvar na strujnom transformatoru na generatorskom odvodu bez obzira na potpunu ispravnost svih drugih dijelova elektrane. Pri određivanju korekcijskog faktora treba uzeti u obzir i parcijalnu snagu elektrane (njezinu sposobnost i nesposobnost).

U faktor raspoloživosti treba uključiti i sva odstupanja od "voznog reda" zadanog od dispečera. Smanjenje ili povećanje opterećenja u odnosu na zadani vozni red treba smatrati kao nesposobnost za proizvodnju. Odstupanje od voznog reda i trajanje toga odstupanja treba uzeti u obzir prilikom određivanja korekcijskog faktora.

4.3 Planiranje izgradnje novih elektrana

U nastavku se, vrlo sažeto, daje primjer ili procedura kod planiranja, gdje se, u što većoj mjeri, trebaju uvažiti okolnosti u kojima bi neka nova elektrana (ili nove elektrane) trebala biti u pogonu. To, prije svega, podrazumijeva procjenu tržišta koje će biti relevantno za promatranu elektranu. Procjena tržišta uključuje predviđenu potrošnju električne energije na području koje je tržištem obuhvaćeno, zatim moguću novu izgradnju koja se može pojaviti na tržištu, ili drugim riječima procjenu buduće strukture izvora elektroenergetskog sustava te dinamiku "gašcnja" (izlaska iz pogona) postojećih elektrana u elektroenergetskom sustavu. Ako se radi o termoelektrani-kandidatu za izgradnju, bilo na plin, ugljen ili tekuće gorivo, od presudne će važnosti biti kretanje cijena energenata u budućnosti. To vrijedi, kako za specifični energent koji koristi promatrana elektrana, tako i za ostale energente koji su mu konkurencija. Stalni troškovi pogona i održavanja promatrane elektrane, svojim manjim ili većim udjelom u specifičnom trošku po proizvedenom kWh, utječu na buduću poziciju elektrane pa i njih treba pokušati što realnije procijeniti. Dio stalnih troškova koji se odnose na investiciju je poznat. Sljedeći ključni element, koji u bitnome utječu na odluku o gradnji elektrane, je cijena električne energije tijekom životnog vijeka elektrane. Tu cijenu, koja se mijenja iz dana u dan (čak i satno), treba procijeniti na neku prosječnu godišnju razinu.

Samo iz tih nekoliko naprijed navedenih analiza, koje je nužno učiniti, a treba ih znatno više, razvidno je da je planiranje izgradnje novih elektrana vrlo složena zadaća. To planiranje se provodi u više koraka, s tim da se neki dijelovi ili neki koraci procesa planiranja moraju ponavljati više puta (iterativni postupak).

Iako plan obuhvaća razdoblje do 30 godina, taj plan se ne treba promatrati kao nešto čvrsto, nepromjenjivo, sve do tog roka. Naprotiv, eventualna valjanost plana može biti samo do početka gradnje prve elektrane iz plana ili čak samo do donošenja odluke o gradnji prve elektrane. Odmah nakon toga se može početi izrađivati novi ili pak novelirani plan, posebice ako je došlo do znakovite promjene nekih pretpostavka na kojima je utemeljen postojeći plan. Zašto tako? Planiranje izgradnje novih elektrana, a i ostalih dijelova elektroenergetskog sustava, treba biti jedan kontinuirani proces, to ne završava izradom nekog plana. Promjene okruženja u kojem će pojedina nova elektrana raditi tako su brze i tako velike da je nužno stalno biti u korak s događanjima. Aktualnost nekog plana, naročito ako njegova izrada traje predugo, upitna je i u trenutku njegovog završetka. To osobito vrijedi za velike sustave gdje svake godine u pogon treba ući po nekoliko elektrana.

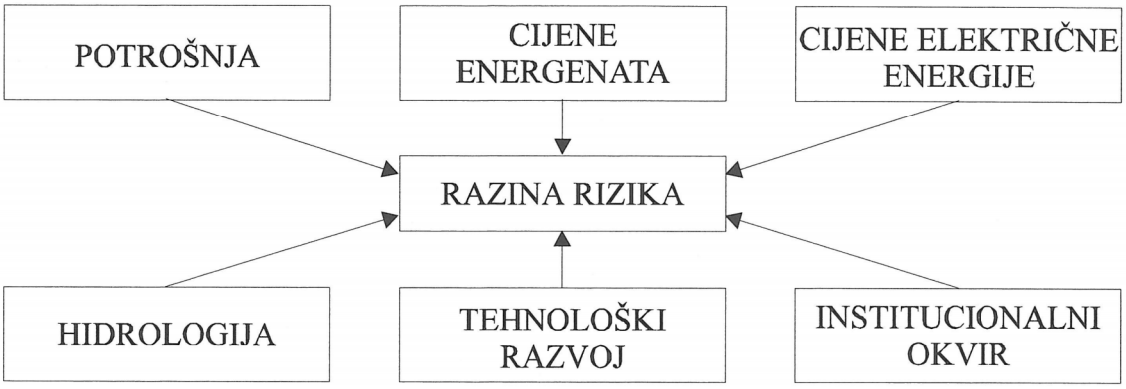
Pitanje koje se danas, u uvjetima tržišta, kao jedno od ključnih, postavlja pred planere je: zašto onda uopće planirati na tako dugi rok (20 do 30 godina)? Koliko to ima smisla? Pa osnovna potreba za tako dugo razdoblje planiranja proizlazi iz nužnosti pokušaja definiranja okvirnih uvjeta u kojima će raditi nova elektrana. Već je rečeno da je životni vijek elektrana, ovisno o tipu, 25 do 50, pa i više godina. Da bi se uopće moglo prosuđivati o opravdanosti gradnje neke elektrane, kao o poslovnoj odluci, treba analizirati strukturu i konkurentnost elektrana koje se nalaze u okruženju (na tržištu) u kojem će raditi promatrana elektrana. Stoga je, dakle, nužno raditi planove za duže razdoblje, ali u smislu podloga za donošenje odluka o izgradnji, plan je aktualan (primjerice za slučaj Hrvatske) samo do odluke o prvoj elektrani. Nakon toga se odmah treba početi raditi novi plan.

Izrađeni plan izgradnje elektrana, u novim zakonskim okvirima, nije obvezatan nizakoga. Nadalje, taj plan nije dovoljan ni jednom investitoru za odluku o gradnji prve po redoslijedu, niti bilo koje druge, elektrane iz plana. Dugoročni plan je samo jedna indikacija koja bi elektrana, uz pretpostavljene uvjete, bila najbolja po kriteriju minimalnog troška.

Prije odluka o izgradnji elektrane potrebne su još mnoge dodatne analize. Ovisno o zakonskoj regulativi pojedine zemlje, procedure, potrebne dozvole i s tim u vezi potrebne studije (kao što je primjerice studija utjecaja na okoliš) su različite. U tom kontekstu se to ostavlja po strani, pretpostavljajući da su sve potrebne dozvole neupitne, konačna faza u planiranju, prije odluke o izgradnji, gledano sa strane investitora, studija je opravdanosti (engl. feasibility study) izgradnje. Ta studija treba, što je moguće detaljnije i objektivnije, simulirati uvjete u kojima će elektrana raditi, i ona je osnova za donošenje poslovne odluke je li ta elektrana, u financijskom smislu, opravdana ili nije. Studija treba odgovoriti koliko i uz koji rizik se isplati graditi promatranu elektranu.

Bez obzira na sve provedene analize, koje su uz ostalo vrlo složene, neizvjesnosti kroz tako dugo razdoblje su i dalje velike. Rizik s kojim su i dalje suočeni potencijalni investitori je toliko velik da se pokušavaju pronaći načini osiguranja od rizika, ako ne potpuno osiguranje, onda barem raspodjela rizika s nekim drugim. To je i osnovni razlog zašto se kod planiranja izradnje elektrana toliko pozornosti poklanja teoriji rizika, odnosno načinima i mogućnostima upravljanja rizicima. U modele za planiranje izgradnje elektrana, kako u one dugoročne, tako i u kratkoročne modele za simulaciju uvjeta na tržištu električne energije nastoje se ugraditi novi alati koji rade analizu i upravljanje rizicima.

Neki od najbitnijih elemenata rizika povezanog za isplativost određene elektrane-kandidata za izgradnju, prikazani su na slici 73.



Slika 73. Elementi rizika

Kako se pojedina sastavnica rizika može odražavati na moguću proizvodnju elektrane-kandidata za izgradnju?

Potrošnja električne energije na određenom području (tržištu) se najčešće ne razvija potpuno u skladu s predviđanjima za cijelo razdoblje planiranja. Ona u pojedinoj godini može biti manja ili veća od predviđene. Ako je predviđena potrošnja potcijenjena, odnosno ostvarenje veće od predviđanja, to otvara dodatni prostor i za proizvodnju promatrane elektrane-kandidata za izgradnju, što u isto vrijeme znači i smanjenje rizika za isplativost elektrane. Ukoliko je, pak, predviđena potrošnja precijenjena (ostvarenje manje od predviđenog), onda se prostor za proizvodnju promatrane elektrane sužava, ostvariva proizvodnja je manja od one procijenjene iz vremena izrade studije opravdanosti izgradnje. To znači povećanje rizika isplativosti elektrane. Svakako da je taj drugi slučaj znatno nepovoljniji od prvog.

Cijene energenata također mogu bitno uvećati razinu rizika povezanu uz isplativost elektrane. Iako je kretanje cijena energenata ponekad moguće u različitim smjerovima (jedni

poskupljuju, drugima cijene mogu ostati na istoj razini ili čak i pojeftiniti), češći je slučaj da promjena cijene svih ide u istom smjeru, s tim da kod jednih može postojati određeni vremenski pomak promjene cijene u odnosu na druge energente. Dakako, da se u realnom životu mogu pojaviti vrlo različite kombinacije. Sniženje cijene energenta koji koristi neka nova elektrana, ukoliko ne postoji relativno veće sniženje cijena ostalih energenata, jača poziciju promatrane elektrane. S druge strane, porast cijene energenta koji koristi nova elektrana čini poziciju te elektrane lošijom (povećava rizik), ako se ne bilježi relativno veći porast cijena ostalih energenata.

Cijena električne energije na tržištu ima vrlo znakovit utjecaj na poziciju promatrane elektrane. U razdobljima kad su troškovi proizvodnje promatrane elektrane dovoljno manji od cijena po kojima se može plasirati energija na tržištu, promatrana elektrana povećava svoju moguću proizvodnju i razina rizika se smanjuje. U obrnutom slučaju može cijena iz te elektrane u određenim razdobljima biti veća od one koju prizna tržište, proizvodnja elektrane se smanjuje i razina rizika raste.

Hidrologija je čimbenik koji ima specifičan karakter u smislu utjecaja na razinu rizika elektrane-kandidata za izgradnju. Mjera u kojoj hidrologija utječe na razinu rizika ovisi o udjelu hidroelektrana u ukupnoj instaliranoj snazi elektrana, i to ne samo u elektroenergetskom sustavu zemlje u kojoj je elektrana locirana, nego šire, na području potencijalnog tržišta. Kod planiranja izgradnje elektrana se hidrologija tretira na različite načine, od jedne (prosječne) do više hidrologija kojima su pridružene određene vjerojatnosti. U konačnici se to uvijek svodi na prosječnu hidrologiju. U svim godinama razdoblja planiranja računa se s jednakom hidrologijom. Uzme li se u razmatranje razdoblje od dvadeset godina, velika je vjerojatnost da će prosječna ostvarena hidrologija u tih dvadeset godina biti vrlo blizu onoj prosječnoj s kojom se provodio postupak planiranja i na temelju koje se definirala moguća proizvodnja elektrane-kandidata za izgradnju. Moglo bi se postaviti pitanje: pa u čemu je problem s hidrologijom? Ili kako to hidrologija utječe na razinu rizika?

Ostvarena hidrologija, posebno u svojoj dinamici tijekom godine, pa čak i po količini, gotovo nikada nije jednaka onoj prosječnoj s kojom se ulazi u proceduru planiranja. Više godina za redom hidrologija može biti sušnija od prosječne, ali isto tako i vlažnija od prosječne. Kada se radi o hidroelektrani-kandidatu za izgradnju, onda vlažnija hidrologija znači veću moguću proizvodnju hidroelektrane, odnosno manji rizik za povrat kapitala i ostvarenje profita. S druge strane, kod vlažne hidrologije može izgledati da i ta hidroelektrana ima manje mjesta na tržištu, jer ostale hidroelektrane također povećavaju proizvodnju. To je samo prividno, odnosno to bi bilo točno kad bi na potencijalnom tržištu egzistirale samo hidroelektrane. Ali kako se (u pravilu) radi o mješovitom (hidro-termo) sustavu, hidroelektrana potiskuje termoelektranu (ili termoelektrane) i plasman proizvodnje hidroelektrane je neupitan.

Kad se radi o termoelektrani kao kandidatu za izgradnju, utjecaj hidrologije je nešto drugačiji. Ako se ostvari hidrologija vlažnija od prosječne, onda je proizvodnja hidroelektrana veća, čime se smanjuje prostor za plasman proizvodnje iz termoelektrana. Bez obzira što dugoročno to nije problem (ostvarenje se kroz duži niz godina približi statističkom prosjeku), ako se nekoliko godina za redom dogodi vrlo vlažna hidrologija, može doći do problema s novčanim tokovima te termoelektrane. Može biti ugrožena njena likvidnost. Problem je jače izražen ako je ta elektrana jedina elektrana u portfelju vlasnika elektrane. Radi li se o elektrani koja je dio nekog većeg portfelja, problem je nešto manje izražen. Međutim, bez obzira na veličinu portfelja, elektrana se, u tržišnim uvjetima, ne gradi ako nije poznato da će donositi dobit, odnosno da će biti isplativa.

Tehnološki razvoj, kao jedan od čimbenika faktora rizika također treba biti vrlo studiozno

vrednovan kod procjene rizika za neku elektranu-kandidata za izgradnju. Pod tehnološkim razvojem se, u tom kontekstu, podrazumijeva razvoj tehnologija proizvodnje električne energije. To se može ostvarivati u dvama segmentima. Jedan je poboljšanje razine učinkovitosti kod iste tehnologije, a drugi je razvoj novih (konkurentnih) tehnologija. Kada se govori o poboljšanju učinkovitosti određene tehnologije, svjedoci smo značajnog napretka u tehnologiji plinskih turbina. Dok još uvijek u nekim sustavima postoje plinske turbine čija je učinkovitost do 30 posto, najnoviji tipovi plinskih turbina imaju učinkovitost koja je i preko 55 posto. Radi li se o kogeneraciji ukupna iskoristivost goriva pri proizvodnji električne energije i topline penje se i na 80 posto. Također, visoka iskorištenja goriva postižu se i korištenjem kombiniranih plinsko-parnih elektrana.

I kod termoelektrana loženih ugljenom, u posljednjih dvadeset godina je učinjen bitan napredak.

S druge strane, tehnologija nekih obnovljivih izvora električne energije (prije svega vjetra) se tako brzo poboljšava da se može očekivati bitno smanjenje, po pitanju jedinične cijene električne energije.

Utjecaj razvoja tehnologije je bitno veći kod termoelektrana nego kod hidroelektrana. Ako je elektrana-kandidat za izgradnju plinska, logična je pretpostavka da će svaka nova plinska elektrana koja se izradi nakon promatrane, imati jednaku ili bolju učinkovitost. To daje mogućnost i ponude niže cijene na tržištu, što znači da ta elektrana koja je već u pogonu (starija) gubi mogućnost plasmana dijela proizvodnje. Isto se može reći i za elektrane ložene ugljenom, novije imaju bolji faktor iskorištenja i mogu ponuditi nešto nižu cijenu.

Kod hidroelektrana je napredak tehnologije dosta sporiji, ali vrijedi ono što je rečeno i za hidrologiju. To potiskivanje uvijek ide na račun termoelektrana,, jer hidroelektrana, posebno za neko kraće razdoblje, može ponuditi cijenu samo malo višu od 0 (nula), što termoelektrane ne mogu izdržati.

Institucionalni okvir može na nekoliko načina utjecati na sudbinu elektrana (na njihove financijske prilike). Jedan od načina je karakterističan za sustave gdje nije potpuno otvoreno tržište. To su sustavi gdje jedan dio kupaca (povlašteni kupci) može birati opskrbljivača energijom, a drugi dio kupaca je u režimu regulacije (tarifni kupci). U takvim okolnostima je određeni broj elektrana vezan ugovorno u obvezi javne usluge, i ima zajamčenu cijenu koja je definirana tarifnim sustavom. Daljnjim otvaranjem tržišta (o čemu odlučuje Vlada) neke od elektrana koje su u obvezi javne usluge sada moraju na tržište, gdje je situacija za neke od tih elektrana znatno teža, nego dok su bile "zaštićene" zajamčenom cijenom u obvezi javne usluge.

Slično se događa i kod uvođenja obveze da dio portfelja, odnosno dio energije koju nude proizvođači mora biti tzv. zelena energija.

Ono što se također može ubrojiti u institucionalni okvir su ekološka ograničenja, odnosno zakoni i podzakonski akti kojima se uređuje stanje glede zaštite okoliša. Tu su i razne međunarodne konvencije i protokoli. Administrativnim mjerama proizašlim iz zakona i podzakonskih akata te iz međunarodnih konvencija i protokola, određeni tip elektrana se može dovesti u bitno nepovoljniju poziciju na tržištu. Tako primjerice elektrane ložene ugljenom mogu biti prisiljene smanjiti proizvodnju ili moraju ugraditi neke skupe uređaje za pročišćavanje dimnih plinova, koji ranije nisu bili potrebni. Ili se na ugljen kao gorivo mogu nametnuti relativno visoke takse. Bilo koja od tih mjera pogoršava tržišnu poziciju termoelektrana na ugljen.

Ovdje su navedeni neki od važnijih elemenata rizika koji prate nove elektrane. Naravno da ih ima još, ali ovi navedeni su od najvećeg utjecaja na razinu rizika.

5

Razvoj elektroenergetskog sustava

5.1 Općenito o razvoju

Uz postojanje brojnih društveno-političkih i društveno-ekonomskih poredaka, ljudsko je društvo zapravo biološki sustav podložan prirodnim zakonima razvoja.

Budući da se ljudsko društvo zbog različitih povijesnih uvjeta i okolnosti nejednako razvijalo, danas postoje velike razlike s obzirom na etape u razvoju između regija, zemalja i pojedinih dijelova unutar tih zemalja.

S obzirom na takve razlike, vrlo je teško definirati sam razvoj. Postavlja se pitanje – što je razvoj, je li cilj razvoja ekonomski rast ili je to ljudsko blagostanje? Odmah nakon toga pojavljuje se problem kako definirati blagostanje. Govoreći o blagostanju, trebalo bi, uz materijalna dobra, uzeti u obzir i ekološka, socijalna, kulturna i politička dobra. U tom bi se slučaju razvoj mogao definirati kao porast ekonomske, ekološke, kulturne, sociološke i političke razine življenja. Do danas je pojam razvoja uglavnom označavao ubrzanje gospodarskog rasta, što je uzrokovalo sve veći jaz među pojedinim dijelovima svijeta, zemljama i narodima.

Pri objašnjenju pojma razvoja treba još kazati da se ekonomska dobra, za razliku od društvenih dobara, mogu dovoljno točno kvantificirati, pa stoga društveni ciljevi vrlo često u razvojnim planovima stoje samo kao apstrakcija. Zato je ubrzanje ekonomskog rasta bio glavni oslonac razvoja, a i danas je glavna njegova orijentacija.

Trenutačno, raspodjela gospodarske i političke moći unutar pojedinih zemalja i između pojedinih zemalja u svijetu određuje mogućnosti utjecaja svake zemlje na kretanja u gospodarstvu određene zemlje i u svijetu. Svaka od njih nastoji što više povećati svoj utjecaj na gospodarsku politiku, kako bi u razvojnome smislu stekla prednosti u odnosu na druge. Ne samo pojedine zemlje, nego i velike multinacionalne kompanije žele imati kontrolu nad sirovinama, energijom i robom od vitalne važnosti za život čovjeka, a preko toga i političku kontrolu pojedinih, često zaraćenih naroda.

Potrošnja električne energije vezana je za velik broj utjecajnih činitelja koji su specifični za svako područje (porast stanovništva, razvoj znanosti i tehnike, gospodarski razvoj, zemljopisni položaj, standard). Osim toga što je djelovanje tih činitelja različito od područja do područja i unutar jednog područja, vremenski se mijenja i intenzitet djelovanja, što ima kao posljedicu osciliranje potrošnje oko neke osnovne linije trenda.

Ovisnost današnjeg društva o električnoj energiji najbolje potvrđuju povremeni poremećaji u njezinoj isporuci. Oni uzrokuju zastoje u proizvodnji, a time i velike materijalne gubitke, te neisporučivanje robe na tržišta, tj. pojavu kriza kojih je rješavanje složeno i nesigurno.

Iz toga slijedi da se problemi razvoja elektroenergetike ne mogu promatrati niti proučavati izvan konteksta razvoja ukupnoga društveno-ekonomskog sustava određene zemlje, pa

čak ni izvan konteksta razvoja međunarodnih političkih i ekonomskih odnosa. To svakako najbolje potvrđuje stalna prisutnost različitih, u nekim elementima suprotnih interesa koji se neprestano prelamaju kroz razvoj elektroenergetike. Stoga razvojni ciljevi elektroenergetike ne mogu biti autonomni, nego ih moraju crpsti iz razvojnih ciljeva ukupne ekonomske politike.

Između mnogih problema s kojima se čovječanstvo suočava glede projekcije razvoja (povećanje pučanstva, smanjenje obradive površine, problem hrane i vode, ograničenost sirovina i energije, očuvanje okoliša, itd.), najveći i najsloženiji problemi za rješavanje su nove tehnologije s utjecajem na društveno-ekonomske odnose, višu razinu znanosti i zaštitu okoliša.

Veza između društveno-ekonomskih promjena i tehnološkog razvoja pokazuje da tehnološki razvoj uvijek nose neke određene društvene skupine koje s novim tehnologijama žele sebi osigurati tržišta i dobru zaradu. Prema tome, tehnologija se može smatrati sredstvom za postizanje određenih društvenih ciljeva (zbivanja), iako je pojam tehnologije mnogo širi, jer zadire u sve pore društva, od tehničkih, preko ekonomskih do organizacijsko-društvenih dimenzija.

Tehnologija kroza znanost i tehniku traži sve manji utjecaj političkog nadzora, ali u isto vrijeme zarobljava čovjeka kao prirodno biće. Isto tako, kroz neravnomjeran razvoj tehnologije bogatije zemlje s novim tehnologijama proširuju svoju društvenu moć i granice utjecaja, te veoma često mijenjaju i političke odnose u svijetu, ili dijelovima svijeta.

Problem ekonomskog rasta, koji je posljedica uvođenja novih tehnologija, ima najčešće za posljedicu povećanje nezaposlenosti, osobito u situacijama kada uvođenje novih tehnologija nije bilo pripremljeno i postupno uvođeno. Naime, nove tehnologije, s većom automatizacijom procesa, obično traže mnogo manje radnika, pa toga treba biti svjestan tko počne planirati uvođenja novih tehnologija. Odmah treba početi s prekvalifikacijom jednog dijela radnika koji bi mogli raditi na novim tehnologijama, a za jedan dio radnika treba na vrijeme tražiti novo zaposlenje, jer je kriza nezaposlenosti jedna od najtežih opasnosti za svako društvo.

Na temelju kazanoga, nužno je, dakle, prije određivanja ekoloških kriterija načiniti detaljnu analizu mogućnosti društvene zajednice da plati određenu cijenu za smanjenje štetnih poremećaja u okolišu. Ta cijena ne smije biti tako visoka da postane kočnicom daljega gospodarskog rasta, ali ni preniska tako da ekološki poremećaji postanu kočnicom tog istog rasta. Pritom je nužno ispravno usmjeriti raspoloživa sredstva u ona područja gdje će se postići najveći pozitivni učinci. To treba biti temeljni putokaz za planiranje razvoja gospodarstva u cjelini. Pri takvom se pristupu glavni problemi svode na izbor kriterija koje treba primijeniti u alokaciji raspoloživih sredstava za zaštitu i unapređenje čovjekova okoliša kao i metoda koje pritom treba uporabiti.

Kako se problem električne energije, odnosno problem opskrbe potrošača energijom, sve više zaoštrava zbog složenijih problema u osiguravanju dovoljnih količina prirodnih oblika energije i zaštite okoliša, valja očekivati da će u budućnosti biti problema oko osiguranja potrebnih količina električne energije. Naime, poznato je da su elektroenergetski sustavi dosta tromi, da su promjene moguće, ali su polagane, jer traže i dosta vremena i dosta sredstava, pa se zbog toga moraju elektroenergetska predviđanja obavljati za velik broj godina unaprijed. Globalna predviđanja i razmišljanja o mogućnostima osiguranja potrebnih količina električne energije i zaštite okoliša moraju sezati u daleku budućnost.

Bez obzira na raznolikost veza između društveno-ekonomskog razvoja i razvoja elektroenergetike, mogu se pojavni oblici utjecaja elektroenergetike na društveno-ekonomski razvoj svrstati u pet osnovnih grupa:

- elektroenergetski sustav kao dobavljač električne energije utječe na produktivnost rada u gospodarstvu, te na njenu rentabilnost ovisno o cijeni električne energije;
- elektroenergetski sustav se javlja i kao važan faktor razvoja i onih dijelova gospodarstva čiji se proizvodi koriste kod razvoja i izgradnje elektroenergetskog sustava;
- električna energija, osnova je za rad niza aparata, kao što su elektromotori i razna električna trošila, pa razvoj proizvođača tih aparata u velikoj mjeri ovisi o količini, kvaliteti i uvjetima dobave električne energije, tj. ovisi o radu i razvoju elektroenergetskog sustava;
- elektroenergetika svojim razvojem i radom utječe na uvjete rada ostalih dijelova gospodarstva, što naročito dolazi do izražaja u odnosu na vodoprivredu, poljoprivredu, toplinsku i ostale djelatnosti;
- elektroenergetski sustav je i bitna sastavnica općedruštvenog razvoja zbog njenog vitalnog značaja za podizanje životnog standarda ljudi i razvoja javnih sredstava komunikacija, koje znatno doprinose podizanju kulturne i političke razine stanovništva.

Prema tome, društvena efikasnost i ekonomska racionalnost razvoja elektroenergetskog sustava ukazuju na neophodnost uspostavljanja veza u procesu razvoja elektroenergetskog sustava s razvojem energetike i općim društveno-ekonomskim razvojem, tj. da se u simultanom procesu izrade:
- planovi društveno-ekonomskog razvoja,
- planovi razvoja energetike,
- planovi razvoja elektroenergetskog sustava.

Proces je stvaranja koncepcija razvoja odnosno donošenja planova simultan, jer se jedino tako uvažava objektivna činjenica da se elektroenergetski sustav, a napose energetika, može pojaviti i kao ograničavajući faktor općeg društveno-ekonomskog razvoja.

Ako bi se pokušala formirati ljestvica prioriteta današnjih ljudskih potreba, uvažavajući dostignuća modernog doba i način života suvremenog čovjeka, električna energija bi zasigurno zauzimala vrlo visoko mjesto. Znano je da još uvijek jedan veliki dio čovječanstva (procjene govore o dvije milijarde ljudi) nema pristup električnoj mreži. Istina, postoje ponegdje i u tim dijelovima svijeta razne instalacije, kao primjerice solarni paneli, male vjetroelektrane ili neki diezel generatori, ali to je toliko rijetko da se s pravom može reći da je tom dijelu ljudske populacije električna energija još uvijek nedostupna. Usprkos toj činjenici, opskrba svih ljudi električnom energijom se smatra civilizacijskom obvezom današnjeg doba. Stoga je vrlo ozbiljno pitanje kako uz tezu – koja se sve češće i sve jače ističe u prvi plan – da je električna energija roba kao i svaka druga, i da se prema njoj tako treba i odnositi, ispuniti tu civilizacijsku obvezu.

Bez obzira na sve ozbiljniji pristup racionalnoj uporabi električne energije i na razvoj sve učinkovitijih trošila, potrebe za električnom energijom, kontinuirano rastu. Taj porast potreba za električnom energijom je posebice izražen u nerazvijenim zemljama, gdje su godišnje stope porasta i preko pet posto. Godišnje stope porasta u razvijenim zemljama su znatno niže, ali s obzirom na dostignutu razinu potrošnje, već i mali postotak porasta traži dosta velike nove proizvodne kapacitete. Dodatni zahtjevi su – ili će vrlo brzo biti – uzrokovani postupnim gašenjem postojećih kapaciteta radi isteka njihovog životnog vijeka.

Uza svu opasnost koja prijeti okolišu, izazvanu znatnim dijelom i proizvodnjom električne energije, čiji utjecaj i na zdravlje ljudi ne treba potcijeniti, potrošnja energije, a posebice potrošnja električne energije, iz dana u dan je sve veća.

Da bi zemlje s vrlo niskom potrošnjom električne energije po stanovniku dostigle i približno prihvatljivu razinu gospodarskog razvitka, uvjet bez kojeg to nije moguće, povećanje je potrošnje električne energije po stanovniku. Kako se u tom kontekstu najčešće radi o

zemljama s velikom populacijom, može se očekivati da će biti potrebne vrlo velike količine električne energije kako bi se u ovim zemljama osigurali, koliko-toliko, prihvatljivi uvjeti za život.

Dakle, nema dvojbe da će i dalje trebati graditi nove proizvodne, a i prijenosne kapacitete, kako bi se podmirile stalno rastuće potrebe za električnom energijom. Dio proizvodnih kapaciteta će pokrivati rastuće potrebe, a dio će biti zamjenski kapaciteti za one kojima će postupno istjecati životni vijek.

Postoje određene specifičnosti, kako u tehnološkom, tako i u društvenom smislu, koje električnu energiju ipak razlikuju od većine drugih vrsta robe. Naravno, ovime se ne želi reći da električna energija nema baš nikakve atribute robe, nego se želi reći da je ona jedna posebna kategorija robe. Neki nedavni događaji su pokazali da se električna energija u tržišnim okolnostima tretira kao roba, dok je ima dovoljno. Čim su se pojavili problemi u osiguravanju dovoljnih količina, ona se počela tretirati kao socijalni, pa čak i politički problem.

Ono što se ne može osporiti, u smislu obilježja robe, je to da je treba plaćati, i to u onoj mjeri i na onaj način kako se i troši. Svaki potrošač, dakle, treba pokriti troškove koje svojom potrošnjom, po količini i dinamici, izaziva u elektroenergetskom sustavu. Sama činjenica da je dugi niz godina, a u velikom broju zemalja je tako i danas, cijena električne energije bila i dio socijalne politike, pokazuje jednu posebnost električne energije u odnosu na druge vrste robe. U gotovo svim, pa i najrazvijenijim zemljama, postoje kategorije kupaca (novi termin za nekadašnje potrošače) koji nemaju prihode dostatne za podmirenje svih egzistencijalnih troškova, među kojima je i električna energija. Vjerojatno će tako biti još puno godina. U takvim slučajevima je potrebna pomoć države kroz različite oblike socijalnih davanja. Međutim, nužno je da takve kategorije kupaca dobivaju određenu novčanu pomoć, ali da oni plaćaju potrošenu električnu energiju. Jedino će se na taj način kod tih kupaca razvijati svijest o tome da ta energija nije nešto što se može proizvoditi bez troškova. To bi saznanje trebalo poticati kupce na racionalnije ponašanje kod potrošnje električne energije.

Nije dobro da se država miješa u poslovanje elektroprivrednih poduzeća kako bi kroz nerealno niske cijene pokušavala riješiti dio socijalnih problema građana. Ako bi se takva praksa nastavila, postoji opasnost da elektroprivredna poduzeća dožive financijski slom, pa onda ni oni kupci koji bi mogli i htjeli plaćati električnu energiju neće moći imati tu energiju. Naravno, to je jedan krajnje nepoželjan scenarij s vrlo malom vjerojatnošću. No, o tome treba razmišljati kod kreiranja socijalne politike i njenog mogućeg utjecaja na poslovanje elektroprivrednih poduzeća.

5.2 Metode planiranja u elektroenergetskom sustavu

Planiranje u elektroenergetskom sustavu gdje postoji samo jedno elektroprivredno poduzeće, i to u državnom vlasništvu (značajka mnogih zemalja i danas), ima za cilj sigurnu opskrbu svih kupaca električnom energijom, uz što nižu cijenu te energije. Dakle, najviši prioritet u procesu planiranja ima sigurna opskrba, s tim da se traži i minimalni trošak pogona elektroenergetskog sustava u datim uvjetima. Profit elektroprivrednog poduzeća nije bio u prvom planu.

Do početka devedesetih godina prošlog stoljeća većina zemalja u svijetu je imala monopolnu, vertikalno organiziranu elektroenergetsku djelatnost. To s jedne strane znači da nije bilo konkurencije, ne samo na strani opskrbe kupaca, nego ni u segmentu proizvodnje, osim

vrlo malog udjela proizvodnje za vlastite potrebe i isporuke eventualnih viškova u mrežu. S druge strane, vertikalna organizacija znači da su u jednoj kompaniji bile zastupljene sve tri osnovne elektroenergetske djelatnosti, proizvodnja, prijenos i distribucija. Današnje stanje u većini razvijenih zemalja a osobito zemalja EU-a, je bitno izmijenjeno. U međuvremenu, dakle nakon 1990. godine pa do danas, dogodile su se vrlo velike promjene, kako u strukturi vlasništva, tako i u organizacijskom ustroju i stvaranju konkurencije u području proizvodnje električne energije i u području opskrbe električnom energijom. Planiranje pojedinih osnovnih djelatnosti elektroenergetike, u uvjetima monopola i u uvjetima djelomično ili potpuno otvorenog tržišta, odvija se u različitom institucionalnom, financijskom i tehnološkom okruženju.

Vertikalno organizirane elektroprivredne organizacije se, na određenom području, koje se obično podudara s državnim granicama, jedine bave proizvodnjom, prijenosom i distribucijom električne energije. Osim toga, imaju monopol na razmjenu električne energije sa susjednim elektroprivrednim organizacijama. Vlasnik takve elektroprivredne organizacije je obično država koja i određuje cijenu električne energije. Prema tome, u zadanim okvirima ekonomskog poslovanja, elektroprivreda može utjecati na ostvarivanje profita jedino smanjenjem troška za proizvodnju električne energije. U takvim je okolnostima razvijen pristup planiranju razvoja elektroenergetskog sustava nazvan "metoda najmanjeg troška", koja analizira moguće opcije razvoja elektroenergetskog sustava i odabire varijantu koja ima najmanje troškove kroz određeno plansko razdoblje, svedene obično na početnu godinu razmatranja, da bi se različite varijante razvoja uopće i mogle uspoređivati. Jedan korak dalje u razradi toga planskog koncepta je bio utjecaj na ponašanje kupaca, jer se shvatilo kako elektroenergetski sustav čine ne samo proizvodna postrojenja i mreža, nego i trošila. Temelj toga koncepta je bilo uspoređivanje mogućnosti smanjenja potrošnje (ili preraspodjele opterećenja u pojedinim karakterističnim satima) kod kupaca s varijantom nove izgradnje elektrana, što znači izbjegavanje nove izgradnje elektrana, ako se ta potrošnja može izbjeći određenim zahvatima kod kupaca. To je u biti predstavljalo proširenje metode najmanjeg troška na trošila. Takva aktivnost na strani potrošnje je nazvana "upravljanje potrošnjom".

Nakon što je početkom devedesetih godina prošloga stoljeća briga o okolišu dobila na značenju i postala nezaobilazan problem u procesu planiranja u elektroenergetici, pojavio se jedan dodatni princip, koji je proširio metodu minimalnog troška. Bit tog načela je uključivanje obnovljivih izvora električne energije, kao integralnog dijela rješenja funkcije cilja minimalnog troška. Ni danas, a tada još manje, sve te tehnologije proizvodnje električne energije na osnovi obnovljivih izvora nisu konkurentne (u čisto ekonomskom smislu) konvencionalnim tehnologijama za proizvodnju električne energije. Zato se poticajnim mjerama države nastojalo otvoriti prostora za ulazak obnovljivih izvora električne energije. Bez obzira što su ti izvori bili (a još su uvijek) skuplji od konvencionalnih izvora, oni se grade i njihova se gradnja još jače potiče. Kao što je već napomenuto, osnovni razlog je ublažavanje štetnog utjecaja proizvodnje električne energije na okoliš. Metoda minimalnog troška, proširena s upravljanjem, potrošnjom i konačno s uključivanjem obnovljivih izvora, nazvana je metodom integralnog planiranja.

Vodeći računa o kompleksnosti problema koji su prisutni u razvoju elektroprivrede, treba istaći i sumarni sadržaj planova njenog razvoja. Planovi razvoja elektroprivrede sastoje se od:

- planiranja razvoja potrošnje električne energije;
- planiranja dugoročne elektroenergetske bilance;
- planiranja razvoja elektroenergetskog sustava.

Da bi se navedena planiranja mogla ostvariti, treba poznavati ili odrediti:

- dugoročnu politiku cijena električne energije;
- financiranje proširene reprodukcije.

Proces razvoja elektroenergetskog sustava se odvija u uvjetima kontinuiranih promjena: porasta potrošnje električne energije, tehničkog napretka, razvoja urbanih sredina, društveno-ekonomskih promjena u svijetu i ostalog. Te kontinuirane promjene nameću potrebu kontinuiranog određivanja i preispitivanja koncepcije razvoja elektroenergetskog sustava, što znači da se može planiranje proširene reprodukcije u elektroprivredi shvatiti kao kontinuirani proces njenog prilagođavanja promjenama. Zato se ne smije razmatranje proširene reprodukcije svesti na puku izradu planova razvoja elektroprivrede, već se radi o kontinuiranom procesu analiziranja, usuglašavanja i određivanja razvojne koncepcije, a u okviru tog procesa se donose planovi razvoja za određena razdoblja:

- dugoročni planovi razvoja elektroenergetskog sustava koji se donose za razdoblje od 20-30 godina,
- srednjoročni programi razvoja elektroenergetskog sustava za razdoblje od 10-15 godina,
- kratkoročni programi razvoja koji se zapravo svode na planove izgradnje objekata u elektroenergetskom sustavu.

Ni jedan od tih planova ne smije nametati statičnu koncepciju proširene reprodukcije, već održavati društveno optimalnu koncepciju razvoja elektroprivrede gledanu u određenom vremenu i podložnu promjenama. Dakle, razvoj elektroprivrede ne usmjerava se statičnim planovima, već dinamičkom procesu planiranja, koji podrazumijeva pravodobnu izradu različitih planskih dokumenata.

Na temelju takvih duljina razdoblja planiranja razvile su se i različite metode (teorije) ili filozofije planiranja. Te metode su u pravilu rezultirale i nekim programskim (računalnim) alatima koji su služili kao pomoć ili sredstvo pri izradi planova razvoja. Kako su se problemi planiranja usložnjavali, nastojalo se dograđivati i metode planiranja pa tako i programske alate. Tu je, gotovo uvijek, bilo dosta raskoraka, odnosno kašnjenja u prilagodbi. Naime, ti programi su najčešće prilično složeni, neki s vrlo kompliciranim algoritmima. Zbog toga je bilo potrebno prilično i vremena i novca da se usklade s potrebama prakse, nametnutim pojavom novih problema. U takvim okolnostima, gdje se kao ograničenja javljaju i novac i vrijeme, kao i nedostatak pravih rješenja, pojavljivali su se različiti programski paketi koji su s vremenom pali u zaborav. Preživjeli su samo oni koji su imali snažnu financijsku potporu. Kada se kaže "preživjeli", želi se reći da su prihvaćeni i korišteni u većem broju zemalja. Inače je gotovo svaka veća svjetska elektroprivreda imala razvijen neki vlastiti model. I za potrebe Hrvatske elektroprivrede razvijeni su vlastiti modeli, a opisani su u prethodnim poglavljima (analize dnevnog dijagrama opterećenja, moguća proizvodnja hidroelektrana, elektroenergetska bilanca, itd.) koje polaze od ostvarenja u prošlosti i pokušaja da se matematičkim korelacijama prošlost prenese u budućnost uzimajući u obzir već ostvareni razvoj u drugim zemljama.

Tehnički napredak pomagala, odnosno razvoj računala, doprinio je usavršavanju postojećih i razvijanju novih metoda predviđanja potrošnje električne energije. U osnovi metode predviđanja mogu se podijeliti:

- prema načinu određivanja veze kojom se pokazuje odnos potrošnje električne energije i odabranih utjecajnih faktora (nezavisna kada se potrošnja promatra samo u funkciji vremena, zavisna kada se promatra u funkciji jednog ili više utjecajnih faktora),
- prema tehnici predviđanja (ekstrapolacijom, korelacijom, ili kombinacijom jedne i druge),
- prema karakteru proračuna (deterministički, probabilistički ili stohastički).

Podjela metoda sama po sebi ne prejudicira kriterije koji su presudni za predviđanje potrošnje, već ih stvara u toku samog procesa predviđanja prema upotrebljivosti rezultata. Jedna te ista metoda primijenjena u različitim uvjetima može dati u jednom slučaju pouzdane rezultate, a u drugom slučaju potpuno neupotrebljive. Postupak predviđanja može se primijeniti u četiri etape:

- analiza ostvarenja u prošlosti,
- izbor prikladnih metoda i utjecajnih faktora,
- proračun budućih trendova potrošnje električne energije,
- analiza rezultata proračuna i konačna ocjena budućih trendova.

5.2.1 GDP (brutto domaći proizvod) kao glavni indikator za dugoročna predviđanja potrošnje

Brutto domaći proizvod (GDP – Gross Domestic Product) se najčešće uzima kao vodeći čimbenik uz koji se vezuje potrošnja električne energije. Postoji dosta čvrsta povezanost između tih dviju veličina. Taj odnos, naravno, nije stalan kroz višegodišnje razdoblje, ali je nepobitno da je trend (porast ili smanjenje) GDP-a ono što određuje i trend (porast ili smanjenje) potrošnje električne energije. Povećanje proizvodnje u raznim segmentima gospodarstva (uz pretpostavku istih tehnologija) ima za posljedicu i povećanu potrošnju električne energije. Isto tako povećanje razine osobnog prihoda, odnosno osobnog standarda znači i veću potrošnju električne energije.

Mjera koja izražava međuovisnost (korelaciju) između GDP-a i potrošnje električne energije naziva se elastičnost. Ona znači relativnu promjenu potrošnje električne energije kod relativne promjene GDP-a. To se može izraziti kako slijedi:

$$e = \frac{\Delta W}{\Delta GDP} \tag{1}$$

gdje je:
e – elastičnost,
ΔW – postotna promjena potrošnje električne energije,
ΔGDP – postotna promjena GDP-a.

Ako je elastičnost u nekoj zemlji jednaka 1, to znači da kod porasta GDP-a za jedan posto potrošnja električne energije također poraste za jedan posto. Ako je elastičnost manja od jedan onda to znači da povećanje GDP-a za jedan posto rezultira povećanjem potrošnje električne energije za manje od jedan posto. Smanjenjem elastičnosti se, dakle, povećava energetska učinkovitost (mjereno prema GDP-u). Gospodarstva razvijenih zemalja imaju elastičnost manju nego ona u nerazvijenim zemljama ili zemljama u razvoju. To proizlazi iz tehnološke i organizacijske prednosti razvijenih u odnosu na nerazvijene zemlje.

Apsolutni omjer potrošnje električne energije i GDP-a izražava energetsku intenzivnost (mjereno prema GDP-u). Sljedeći izraz prikazuje energetsku intenzivnost:

$$i = \frac{W}{GDP} \tag{2}$$

gdje je i energetska intenzivnost. I kod energetske intenzivnosti vrijedi da gospodarstva razvijenih zemalja imaju u pravilu manju energetsku intenzivnost nego gospodarstva nerazvijenih. Može postojati neka iznimka, ali to ovisi od slučaja do slučaja i povezano je s više čimbenika, kao što je primjerice struktura gospodarstva, klimatski uvjeti, veličina zemlje, primarni energetski resursi, i sl.

5.2.2 Nezavisne metode predviđanja potrošnje električne energije

Podjela metoda predviđanja izvršena je prema karakteru varijabla koje se promatraju u funkcijskoj vezi s potrošnjom električne energije, a u cilju predviđanja buduće potrošnje. U slučaju nezavisnih metoda predviđanja, nezavisnih po tome što se ne promatra nikakav utjecaj na razvoj potrošnje, analizira se njezin vremenski razvoj u prošlosti i na temelju njega se predviđa buduća potrošnja.

Analiza razvoja potrošnje u prošlosti pokazuje da potrošnja električne energije stalno raste, te da se i u budućnosti može očekivati nastavak zakonitosti rasta. Uzimajući tu činjenicu u obzir kao jedan od osnovnih zakona razvoja potrošnje, problemi predviđanja buduće potrošnje svode se na određivanje porasta potrošnje. Najjednostavniji način predviđanja potrošnje temelji se na pretpostavci o konstantnom porastu potrošnje u budućnosti

$$W_t = W_0 \left(1 + p\right)^t \tag{3}$$

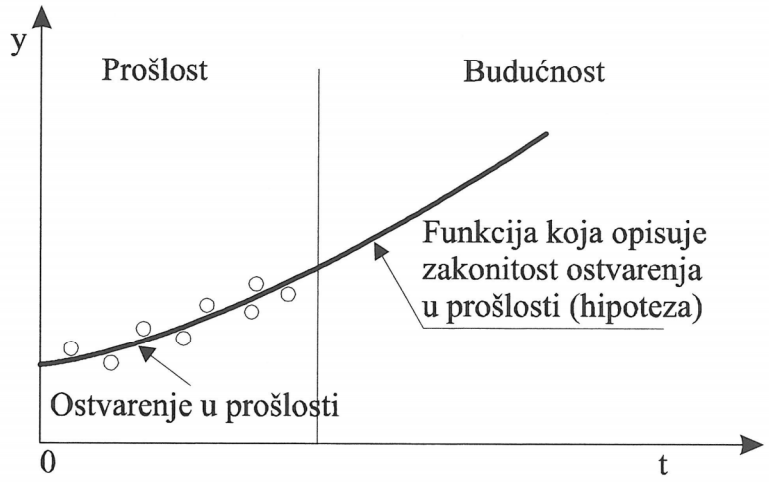
gdje je:
W_t - potrošnja u vremenu t,
W_0 – potrošnja na početku promatranog razdoblja,
p – prosječni godišnji porast potrošnje za cijelo promatrano razdoblje,
t – vrijeme iskazano u godinama.

Budući da je porast potrošnje vremenski ovisna varijabla (nije konstantan i mijenja se od godine do godine) takav izraz se najčešće ne koristi u postupku predviđanja potrošnje, nego za ocjenu prosječnog porasta potrošnje za prošla ili buduća razdoblja. Prosječni porast računa se prema izrazu:

$$p = \left(10^{\frac{\log W_t - \log W_0}{t}} - 1 \right) \cdot 100. \tag{4}$$

Analizu ostvarenja u prošlosti, u svrhu iznalaženja zakonitosti za budućnost može se učiniti na temelju:
- potrošnje električne energije na promatranom području,
- ostvarenja porasta potrošnje promatranog područja,
- ostvarenja maksimalnog opterećenja i faktora opterećenja,
- ostvarenja potrošnje u promatranom području i drugim područjima (koja imaju veću potrošnju električne energije) s ciljem da se odredi opća zakonitost potrošnje električne energije koja proizlazi iz povijesnog razvoja potrošnje.

Zakonitost ostvarenja (slika 73.) iskazuje se preko neke matematičke funkcije (krivulje), tako da se problem predviđanja svodi na izbor matematičkog oblika funkcije i određivanja njenih parametara (konstanta).



Slika 73. Predviđanje na temelju ostvarenja u prošlosti

Postoji osam do deset standardnih analitičkih funkcija koje se koriste za analizu ostvarenja odnosno za predviđanje potrošnje električne energije, od kojih su najčešće:

- logistička krivulja

$$y = \frac{a}{1 + be^{-ct}} \left(ili \ \log y = \frac{a}{1 + be^{-ct}} \right) \tag{5}$$

- eksponencijalna krivulja

$$y = ae^{bt} \tag{6}$$

- logistički pravac

$$\log y = a + bt^t \tag{7}$$

- logistička parabola

$$\log y = a + bt^t + ct^2 \tag{8}$$

Za određivanje konstanta analitičke funkcije koristi se metoda minimuma kvadrata odstupanja koja se može odrediti u općem izrazu:

$$\varepsilon\,(a, b, c...) = \sum_{t=1} \left(y_t - y_t^0 \right) \tag{9}$$

gdje su a, b i c ... konstante analitičke funkcije,
y_t vrijednost funkcije u točci t,
y_{t0} ostvarenje u prošlosti u točci t,
N broj točaka ostvarenja iz prošlosti.

Uvjet za postojanje minimuma funkcije ε je da parcijalna derivacija po nepoznanicama (a, b, c ...) bude jednaka nuli:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial a} = 0; \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial b} = 0; \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial c} = 0 \ldots \tag{10}$$

Kod određenog broja analitičkih funkcija taj se problem može linearizirati, tj. svesti na sustav od n jednadžbi s n nepoznanica, gdje je n broj konstanti analitičke funkcije. Ondje gdje to nije moguće (kao u slučaju logističke funkcije) primjenjuje se iterativna metoda približavanja, odnosno minimiziranja kvadrata odstupanja.

5.2.3 Zavisne metode dugoročnog predviđanja potrošnje električne energije

Električna energija zbog svoje raširene primjene, a prema tome i značaja, ima velik utjecaj na razvoj cjelokupnog prirodnog sustava. Kako je električna energija jedna od osnovnih komponenta energetskog sustava, način gospodarenja unutar elektroenergetskog sustava ima utjecaj na funkcioniranje energetskog sustava i obrnuto. Uvažavanjem međusobnih utjecaja i određivanjem njihove zakonitosti u prošlosti moguće je odrediti potrošnju u budućnosti. To je ujedno i temeljna pretpostavka zavisnih metoda predviđanja potrošnje električne energije.

Ovisnost potrošnje električne energije o drugim utjecajnim veličinama (primjerice društvenom proizvodu, cijenama, ukupnoj potrošnji energije itd.) detaljno je opisana u poglavlju 3.3. (ALFOS).

5.2.4 MAED Model (Model za analizu energetske potrošnje)

MAED (Model for Analysis of Energy Demand) je simulacijski model kojim se radi dugoročna projekcija energetskih potreba neke zemlje ili regije. Pokrovitelj i ovlašteni distributer modela je IAEA (Međunarodna agencija za atomsku energiju), i model je do sada korišten u više od 80 zemalja svijeta. Model se oslanja na neke dugoročne projekcije gospodarskog, demografskog, socio-političkog razvoja zemlje. Kako bi se uzeo u obzir utjecaj neizvjesnosti ostvarenja pretpostavljenih dugoročnih projekcija, primijenjen je tzv. scenarijski pristup. U skladu s takvim pristupom rade se određene pretpostavke o promjenama dugoročnih razvojnih osobina zemlje. Izrađuju se različiti scenariji ostvarenja pojedinih analiziranih karakteristika. Iznimno je važna pri tome konzistentnost među tim scenarijima. Nije logično primjerice imati scenarij s novim tehnologijama, a zadržavati jednaku ili čak smanjivati energetsku učinkovitost.

Polazište kod predviđanja potrošnje električne energije je projekcija gospodarskog rasta tijekom razdoblja planiranja (razdoblja za koje se radi predviđanje potrošnje električne energije). Da bi se mogla izraditi projekcija gospodarskog rasta treba prije izraditi projekcije nekih elemenata, primjerice demografski razvitak (promjena populacije), politiku zapošljavanja, odnos države prema novim tehnologijama, odnos prema obrazovanju... Uzimajući u obzir navedene (a i neke druge) elemente, za pojedine sektore gospodarstva rade se projekcije razvitka te potrošnje pojedinih oblika energije, između ostalih i električne energije.

Ukratko, metodologija MAED se sastoji od nekoliko ključnih postupaka:

- podjela ukupne potrošnje energije na nekoliko sektora potrošnje,
- definiranje socijalnih, gospodarskih i tehnoloških parametara koji imaju utjecaja na pojedini sektor potrošnje,
- uspostava odnosa (u matematičkom smislu) između potrošnje energije i parametara koji utječu na potrošnju,
- konstrukcija konzistentnih scenarija socijalnog, gospodarskog i tehnološkog razvitka zemlje,
- analiza rezultata za potrošnju energije iz svakog scenarija,
- odabir "najvjerojatnijeg" scenarija između svih analiziranih.

Jedan segment modela MAED uzima potrošnju električne energije iz odabranog scenarija i posebno je priprema za WASP (model za planiranje izgradnje elektrana). Model MAED transformira godišnju potrošnju električne energije u satna opterećenja (kronološki poredak) od kojih se rade krivulje trajanja opterećenja potrebne za model WASP.

5.2.5 Napomene uz metode za dugoročno predviđanje potrošnje električne energije

Ne postoji, međutim, suglasnost u mišljenjima koja je od tih metoda najupotrebljivija. Zbog toga je nužno primijeniti različite metode i kritičkom procjenom odrediti raspon potrošnje u budućnosti. Taj će raspon biti svakako manji što je ta budućnost bliža, jer se s većom sigurnošću može procijeniti razvoj.

Pri procjeni buduće potrošnje električne energije mora se uzeti u obzir razvoj energetsko intenzivnih potrošača (primjerice elektrolize aluminija), jer se njihov razvoj ne može obuhvatiti nikakvim metodama predviđanja.

Utjecaj takvih energetsko intenzivnih potrošača može biti znatan na razvoj elektroenergetskog sustava, pa je neophodno pri planiranju gradnje takvih potrošača uzeti u obzir i potrebne zahvate u elektroenergetskom sustavu (potrebne investicije, utjecaj na troškove proizvodnje). Tek potpunim obuhvatom svih reperkusija povezanih s gradnjom velikih potrošača može se ocijeniti ekonomski efekat takve gradnje. Shvaćanje, naime, da će već biti električne energije i to po cijeni koja je povoljna za takvog velikog potrošača (a on normalno računa na relativno niske cijene), nije prihvatljivo ni društveno opravdano. Pri tome je vrlo korisno razmotriti i moguća alternativna energetska rješenja, računajući pri tome sa svim investicijama i troškovima koje traži gradnja takvih potrošača.

Na razvoj potrošnje električne energije imat će znatan utjecaj i opća energetska politika. Potrošačima često stoje na raspolaganju alternativni energetski izvori, a njihov izbor ovisi o nizu faktora (cijena, raspoloživost, sigurnost, udobnost). U situaciji kad nema određene energetske politike, kad postoji velika nesigurnost s obzirom na raspoloživost nekih oblika energije (primjerice loživo ulje), kad se dugo čeka, uz znatnu neizvjesnost, na priključak primjerice na plinsku mrežu, potrošači će se, a to naročito vrijedi za male potrošače koji se lakše prilagođavaju situaciji (primjerice kućanstva), orijentirati na električnu energiju, jer za povećanje potrošnje i za priključak novih trošila u kućanstvu lako se izbjegava traženje dozvola, a objektivno je otežano uvođenje pouzdane kontrole.

Planiranje razvoja potrošnje električne energije nužno je provesti jedinstveno za sve djelatnosti (proizvodnja, prijenos i razdioba) bez obzira na organizacijske oblike i na međusobne ekonomske odnose, jer postoji čvrsta ovisnost među tim djelatnostima.

Dosadašnji razvoj pokazuje da je potrošnja električne energije brže rasla od potrošnje ukupne energije, jer se sve više razvijaju tehnološki procesi na bazi električne energije, jer sve veće količine takve energije traži mehanizacija i automatizacija u industriji, jer je njezina uporaba najudobnija za male potrošače, te što se električna energija može vrlo jednostavno transformirati u sve korisne oblike energije (mehanička, kemijska, toplinska i rasvjetna energija). Iz tih razloga treba očekivati i dalje brži porast potrošnje električne energije od porasta ukupne energije, ali takav razvoj uvjetovat će i uporaba novih oblika energije. Nuklearna energija može se iskoristiti u velikom opsegu samo nakon transformacije u električnu energiju, a to vrijedi i za energiju Sunčeva zračenja, za geotermičku energiju i za energiju nuklearne fuzije. Sve će to imati utjecaja na budući razvoj potrošnje električne energije, pa treba i s tim računati pri planiranju razvoja.

5.3 Metode i modeli za planiranje izgradnje elektroenergetskog sustava

Planiranje izgradnje elektroenergetskog sustava je jedan iznimno važan posao, ne samo za elektroenergetiku, nego i za cjelokupno gospodarstvo. Sigurna opskrba električnom energijom je nešto što se danas smatra uvjetom bez kojega se ne može. Stoga se tom problemu uvijek nastojalo prići maksimalno ozbiljno, premda se ponekad u tome nije uspijevalo. U određenim slučajevima je to bilo zbog nedovoljnog znanja, u nekim drugim slučajevima zbog nedostatka financijskih sredstava, a u velikom broju slučajeva je to bilo zbog vrlo snažnog utjecaja politike na neke investicijske odluke.

Kada se govori o metodologiji, odnosno modelima koji su se koristili ili se još uvijek koriste kod planiranja izgradnje elektroenergetskog sustava, poznato je da ih se pojavilo dosta. Neki od njih su bili više korišteni nego ostali. Dosta zemalja, ili velikih elektroprivrednih kompanija je imalo svoje vlastite modele za planiranje. Svrha toga je bila omogućiti maksimalno uključivanje specifičnosti pojedine zemlje ili elektroenergetskog sustava. Dio tih modela je bio simulacijskog tipa, dok je veći dio optimizacijskog tipa, a neki su modeli kombinirali oba navedena pristupa. Mogućnosti tih modela su uglavnom podudarne s njihovom složenošću (u smislu algoritma kojim se koriste). Postoje neki koji su vrlo jednostavni (engl. screening ili break even) koji izbor novih elektrana temelje na usporedbi godišnjih specifičnih troškova (kn/MW godišnje), ali im je i domet vrlo skroman. Druga (znano veća) skupina modela koristi relativno složene matematičke alate (WASP, SIPRA, LOGOS), pa su im i mogućnosti daleko veće. Naravno da je potrebna svojevrsna ravnoteža između dviju krajnosti. Kompliciranost u pogledu tehnike optimiranja ne znači nužno i bolji model. Što se tiče optimizacijskih tehnika, najčešće se koriste dinamičko programiranje, linearno programiranje i gradijentna metoda.

5.4 Planiranje dugoročne elektroenergetske bilance (model SIPRA)

O metodi za izradu dugoročnih elektroenergetskih bilanca ovise rezultati svih analiza, od određivanja potrebe izgradnje proizvodnih postrojenja, izbora elektrana i određivanja energetske vrijednosti elektrana. Zbog toga je potrebno primijeniti metodu kojom se što je moguće bolje i točnije simuliraju odnosi u promatranom elektroenergetskom sustavu, i koja daje sve potrebne podatke za spomenute analize.

Poznatom i u nas korištenom metodom konstantne i varijabilne energije i snage (detaljno opisanoj u točci 5.6) može se, dovoljno točno za potrebe planiranja, odrediti mogućnost iskorištenja vode u hidroelektranama i iskorištenja njihovih snaga, potrebno angažiranje svakog agregata u termoelektranama i njegovu potrebnu proizvodnju, optimalno angažiranje crpno-akumulacijskih postrojenja s njihovom proizvodnjom i potrebnim povećanjem proizvodnje u hidroelektranama i termoelektranama za crpljenje vode u akumulacijske bazene tih postrojenja. Kao rezultat takvih analiza provedenih za svaki tjedan dobivaju se podaci o preljevima vode u hidroelektranama, o troškovima za gorivo u svim termoelektranama, o potrebnom angažiranju snaga termoelektrana i o iskorištenju snaga hidroelektrana, o potrebnim eventualnim redukcijama potrošnje, o rasporedu remonta u termoelektranama i o najpovoljnijem rasporedu remonta u hidroelektranama.

Budući da nije moguće unaprijed predvidjeti raspored prirodnih dotoka u hidroelektranama, analiza se provodi za hidrološke prilike u nizu godina iz prošlosti (obično za razdoblje od 40 godina), pa se tako dolazi do podataka o mogućim pojavama u budućnosti i o vjerojatnosti tih pojava. Analiza prilika u nizu godina iz prošlosti služi u prvom redu za određivanje potrebne izgradnje novih elektrana,, jer ona ovisi o prilikama u razdobljima kad su mogućnosti proizvodnje u hidroelektranama male i kad se istodobno pojavljuje velika potražnja električne energije.

Analize pokazuju da nije opravdano izgrađivati elektroenergetski sustav tako da on u svim prilikama, pa i u najnepovoljnijim, može potpuno zadovoljiti potražnju (to je tzv. sigurnost od 100 posto), jer bi to tražilo povećanje izgradnje elektrana za osiguranje potražnje u prilikama koje se vrlo, vrlo rijetko pojavljuju. Neophodno je, međutim, odrediti poželjnu sigurnost opskrbe potrošača, a ona je određena kao omjer dana u kojima se ne ostvaruje potpuna opskrba potrošača i ukupnog broja dana u godini. Danas se računa sa sigurnošću od 95 posto, što znači da se gradi toliko elektrana kojima se osigurava potpuna opskrba potrošača u 95 posto slučajeva, dok se u pet posto slučajeva računa s većim ili manjim redukcijama. To, međutim, ne znači da će se u svakoj godini pojaviti 5posto dana kad će biti potrebne redukcije, jer će biti godina kad redukcije uopće neće biti potrebne, ali i godina kad će redukcije trajati i duže od 5 posto dana. To naravno ovisi o hidrološkim prilikama, o kojima ovisi proizvodnja u hidroelektranama. Pokazuje se, naime, da je povoljno ostvariti veću sigurnost što je veći udio proizvodnje u termoelektranama u ukupnoj proizvodnji u sustavu, te što je manji udio velikih potrošača u ukupnoj potrošnji.

5.4.1 Planiranje izgradnje elektroenergetskog sustava

Elektroenergetski sustav sastavljen je od elektrana, rasklopnih postrojenja, prijenosne i razdjelne mreže. U principu postoji vrlo mnogo tehnički mogućih rješenja (različiti tipovi elektrana, različiti parametri tih tipova elektrana, različiti naponi, različite konfiguracije mreža, različite lokacije postrojenja itd.). S druge strane postoji niz ograničenja uvjetovanih geografskim položajem, rezervama energetskih izvora, lokacijom potrošača itd. Zbog svega toga treba odrediti strategiju razvoja elektroenergetskog sustava, a kojom se određuju temeljni pravci razvoja. Među te pravce razvoja mogu se uvrstiti: dalje iskorištenje vodnih snaga s određivanjem prioriteta prema vodotocima, određivanje struktura termoelektrana (konvencionalne i nuklearne elektrane), izgradnje termoelektrana na drugim područjima, izgradnje toplana za grijanje u gradovima i za opskrbu toplinom industrije u tim gradovima s određivanjem energetskih goriva za takve toplane, potrebni udio crpnoakumulacijskih postrojenja, jer analize pokazuju da je potrebna samo ograničena snaga takvih postrojenja u elektroenergetskom sustavu, opravdanost povećanja instaliranih snaga već izgrađenih hidroelektrana, parametri termoelektrana, a među njima u prvom redu jedinične snage sa stajališta utjecaja na elektroenergetski sustav (raspoloživost takvih agregata i utjecaj na potrebnu rezervu u sustavu), razvoj prenosne mreže (prijelaz na viši napon, eventualno eliminiranje nekih od postojećih napona), itd.

Takva strategija treba, osim toga, inicirati istraživanja u drugim energetskim granama (istraživanja nalazišta ugljena i urana, analiza raspoloživosti loživog ulja u rafinerijama za već izgrađene termoelektrane i toplane, eventualna uporaba geotermičke energije), da stimulira gradnju industrijskih toplana u industriji, da stimulira razvoj proizvodnje opreme potrebne daljem razvoju elektroenergetskog sustava u strojarskoj i elektrostrojarskoj industriji.

Prilikom određivanja strategije razvoja treba razvoj uskladiti s ostalim gospodarskim granama koje mogu imati utjecaja na izgradnju objekata u elektroenergetskom sustavu, odnosno

na koje može imati utjecaja razvoj elektroenergetskog sustava (vodoprivreda, melioracije, opskrba toplinom, industrija energetske opreme i sl.).

5.4.2 Način izbora elektrana i postrojenja za izgradnju

Na temelju utvrđene strategije razvoja elektroenergetskog sustava moguće je odrediti i program istražnih radova, studija i projekata koje treba pripremiti da bi se omogućio što objektivniji izbor objekata. Uz to treba odrediti razinu obrade sa svrhom da se s jedne strane osigura racionalna uporaba sredstava, a s druge strane da se osiguraju vjerodostojni energetski i ekonomski elementi za međusobnu usporedbu projekata.

Nakon što su revidirani projekti i kad su svedeni svi energetski i ekonomski pokazatelji prema istim kriterijima, postoji osnovica za izbor elektrana i ostalih postrojenja.

Uporabom elektroničkih računala danas postoje mogućnosti da se analizira utjecaj svake od mogućih kombinacija elektrana na prilike u elektroenergetskom sustavu i to ne samo u prvoj godini pogona nego i za cijelo vrijeme trajanja eksploatacije. Osnova je za takve analize primjena metode za dugoročne elektroenergetske bilance kojom se simuliraju prilike u elektroenergetskom sustavu uz različite pretpostavke izgradnje elektrana. Usporedbom troškova, uzevši u obzir utjecaj vremena (aktualizacija), za različite varijante izgradnje elektrana, može se doći do zaključka o najpovoljnijoj varijanti redoslijeda izgradnje. Pri tome se uzima u obzir trajanje gradnje uz uračunavanje interkalarnih kamata i ograničenja koja se mogu pojaviti (primjerice postepena gradnja agregata na istoj lokaciji). Budući da se promatra samo ograničeno vremensko razdoblje, pa bilo to i razdoblje od 20 godina, koje je kraće od vijeka trajanja elektrana, uzima se u obzir i preostala vrijednost elektrana na kraju promatranog razdoblja.

Budući da se najčešće radi o velikom broju elektrana, pa prema tome o ogromnom broju kombinacija, treba provesti prethodnu eliminaciju onih elektrana koje sigurno ne dolaze u uži izbor, sa svrhom da se broj mogućih kombinacija svede na praktički prihvatljivu mjeru.

Osim osnovnog kriterija (energetsko-ekonomska vrijednost elektrane) koji se osniva na troškovima u sustavu kao cjelini, treba uvažiti i dodatne kriterije.

Dodatni kriteriji u izboru elektrana imaju cilj da mjere učinak izbora elektrana na opći društveno-ekonomski razvoj, i među njima se mogu istaći utjecaj na platnu bilancu zemlje, učinak na korištenje kapaciteta kod dobavljača i učinak na zaposlenost.

Učinak na platnu bilancu zemlje uključuje minimiziranje, odnosno ograničenje uvoza investicijske opreme i prirodnih oblika energije, ali tijekom cijelog vijeka elektrane. Očito je da je elektrana to prihvatljivija što je manji odljev deviznih sredstava što ga ona uzrokuje.

Učinak na korištenje kapaciteta dobavljača je prisutan zbog toga što se elektroenergetski sustav pojavljuje kao potrošač niza proizvoda, bez kojih je razvoj i rad sustava nemoguć. To se u prvom redu odnosi na građevinske radove, energetsku opremu i ugljen u mjeri u kojoj se troši kao izvor prirodnog oblika energije. Doprinos elektrane boljem iskorištenju kod industrije koja radi za potrebe elektroenergetskog sustava može se mjeriti viškom rada do kojeg dolazi zbog izgradnje i rada promatrane elektrane. Što je taj višak rada veći, to je elektrana društveno prihvatljivija.

Učinak na zaposlenost u elektroenergetskom sustavu nije značajan ali je značajan u ostalim gospodarskim granama koje rade za potrebe elektroenergetskog sustava. Elektrana je to prihvatljivija sa stanovišta društva, što ima povoljniji utjecaj na zaposlenost radnika kod svojih dobavljača.

Osim već navedenih mogućih učinaka izbora elektrana na društveno-ekonomski razvoj, mogu se pojaviti i neki koje je teško ili nemoguće mjeriti, ali ih ipak treba uzeti u obzir

pri izboru elektrana, te ih izraziti u kvalitativnom obliku. Njih možemo nazvati dodatnim utjecajima projekta, a među njima se mogu istaći:

- utjecaj na podizanje industrijske tradicije;
- utjecaj na prirodni okoliš;
- utjecaj na ekonomsku nezavisnost zemlje;
- utjecaj na vojno-stratešku nezavisnost zemlje;
- utjecaj na očuvanje ili narušavanje povijesnih vrednota.

U procesu razvoja elektroenergetskog sustava mogu se pojaviti mnogobrojni dodatni utjecaji, pa treba stalno analizirati društveno-ekonomsko značenje projekta, kako bi se i njih uzelo u obzir pri izboru elektrana. U svakom slučaju pozitivne učinke elektrane u spomenutom pogledu treba smatrati društvenim koristima, a negativne društvenim troškovima izbora elektrane. Redoslijed izgradnje elektrana treba biti optimalan sa stajališta društva, a ne pojedinih njegovih dijelova.

Iz takve analize dobivaju se podaci o redoslijedu izgradnje elektrana, o rokovima početka gradnje, o kretanju proizvodnih cijena energije, o dinamici investiranja, o potrebnim količinama goriva itd, što može poslužiti za izradu konzistentnog plana razvoja.

Paralelno, ili u kombinaciji, s modelom WASP u Hrvatskoj se koristio i još uvijek koristi SIPRA (Simulacija planova razvoja), koji je i razvijen u Hrvatskoj. Ta dva modela se dosta dobro nadopunjuju i o njima će se detaljnije govoriti u nastavku.

5.5 Temeljne postavke i obilježja WASP modela

Prva verzija modela WASP nastala je početkom sedamdesetih godina. Budući da je nastao u SAD prilagođen je sustavu s dominantnim udjelom termoelektrana. S početkom korištenja, u raznim zemljama, za izradu dugoročnog plana izgradnje elektrana, uočavane su manjkavosti modela, i javljala se potreba za uključivanjem dodatnih elemenata u proračun. Tako je model, kroz nekoliko verzija, poboljšavan, i danas su na raspolaganju dvije verzije WASP-III plus i WASP-IV. Ta posljednja verzija je novija i razlikuje se od prethodne u mogućnosti simuliranja crpno-akumulacijskih elektrana, mogućnosti ograničenja emisija iz termoelektrana, ograničenja godišnje količine goriva, ograničenje godišnje proizvodnje za neke termoelektrane i mogućnost fiksiranja (zadavanje od strane planera) remonta. Ono što je izgubila nova verzija, u odnosu na prethodnu, mogućnost je dijeljenja hidroelektrana u dvije skupine. Naime, prethodna verzija je imala mogućnost grupiranja hidroelektrana u dvije skupine, dok nova verzija sve elektrane predstavlja jednom skupinom, a drugu skupinu je "prekrila" crpna elektrana (ili više crpnih elektrana ako ih ima).

WASP je programski paket modularnog tipa, koji se sastoji od većeg broja modula koji izvode određene operacije. U sve module je ugrađen sustav provjera, tako da se eventualne pogreške u ulaznim podacima vrlo brzo otkriju i ne radi se nepotrebno izvođenje kompletnog modela prije nego što se te pogreške otklone.

U prvom modulu se definiraju neki opći podaci, kao npr. razdoblje za koje se radi plan, broj osnovnih vremenskih intervala na koje se dijeli godina, broj uzoraka hidrologije za koje će se raditi proračuni te pripadajuća vjerojatnost svakog uzorka. Nakon toga je potrebno definirati značajke potrošnje. Zatim se definiraju značajke postojećeg sustava (svih postojećih elektrana), uključujući predviđene izlaske iz pogona i već definirane ulaske u pogon (to se odnosi na elektrane čija je gradnja već u tijeku). Činom definiranja elektrana-kandidata za izgradnju i njihovih karakteristika, završena je glavnina posla oko ulaznih podataka. Sljedeća

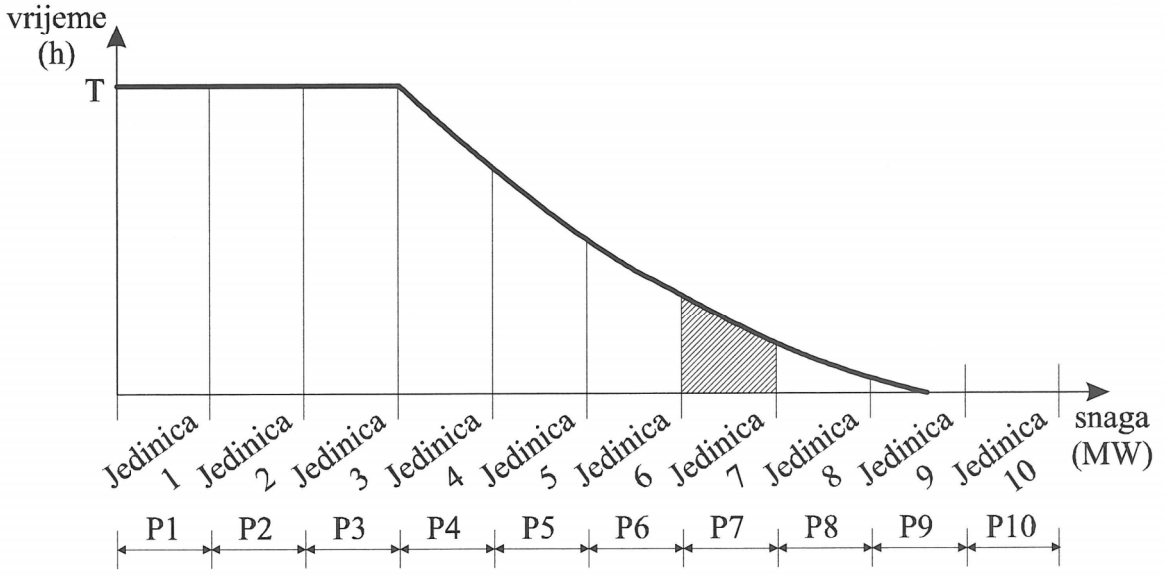
radnja je generiranje svih mogućih kombinacija (koje zadovoljavaju postavljena ograničenja) elektrana-kandidata koje se dodaju postojećim elektranama kako bi se podmirila potrošnja u pojedinoj godini. Za sve te kombinacije se izrađuje simulacija prilika (elektroenergetska bilanca) za svaku hidrologiju, za svaki mjesec, u svim godinama razdoblja planiranja. Kod proračuna bilanci (ako se radi o verziji WASP-IV) mogu se pojaviti ograničenja na emisije, količine goriva ili godišnje proizvodnje za pojedine elektrane, naravno ako su ta ograničenja unaprijed zadana. To se rješava linearnim programiranjem. Svi ti proračuni bilance provlače se kroz model koji dodaje investicijske troškove (plus interkalarne kamate) na svaku kombinaciju novih elektrana. Takvi troškovi prolaze kroz filter (dinamičko programiranje) koji odabire najbolju kombinaciju novih elektrana (onu koja zajedno s postojećim elektranama daje najmanje ukupne troškove u sustavu tijekom cijelog razdoblja planiranja). Time je proračun završen i slijedi ispisivanje svih rezultata za optimalno rješenje.

Kao i kod svih modela, tako je i kod WASP-a algoritam zasnovan na određenoj metodologiji koja je specifična za pojedini model. Iako su neki dijelovi različitih modela temeljeni na sličnim principima, postoje neke značajke koje su među modelima dosta različite. Ono što je temeljno za pojedini model za planiranje razvoja (posebice proizvodnog dijela) elektroenergetskog sustava može se grupirati u dvije osnovne kategorije, tehničku i financijsku. U kategoriju tehničkih elemenata ulaze: aproksimacija krivulje trajanja opterećenja (ili dijagrama opterećenja ako se koristi kronološki redoslijed), tretman raspoloživosti termoelektrana, tretman hidroelektrana i vjerojatnosti hidrologije, raspodjela remonta termoelektrana, razina zalihe u sustavu, tretman sigurnosti opskrbe (LOLP i trošak neisporučene energije). U financijsku kategoriju idu: izračun sadašnje vrijednosti, distribucija kapitalnih troškova tijekom razdoblja izgradnje, diskontiranje, eskaliranje cijena, interkalarna kamata, proračun preostale vrijednosti (metoda umanjenja vrijednosti ili deprecijacija), i tok novca.

5.5.1 Krivulja trajanja opterećenja za model WASP

Količinu i vremensku promjenu potrošnje model WASP predstavlja preko krivulje trajanja opterećenja, i to invertirane i normalizirane. Maksimalni broj jediničnih vremenskih intervala u godini je 12, dakle najmanja vremenska jedinica je jedan mjesec.

Korištenje krivulje trajanja opterećenja ima svojih dobrih strana ali i nedostataka. Osnovni princip metode je prikazan na slici 74, gdje su elektrane (ili preciznije rečeno proizvodne jedinice) "poslagane" uzduž apscise invertirane krivulje trajanja opterećenja.



Slika 74. Redoslijed angažiranja jedinica unutar invertirane krivulje trajanja opterećenja

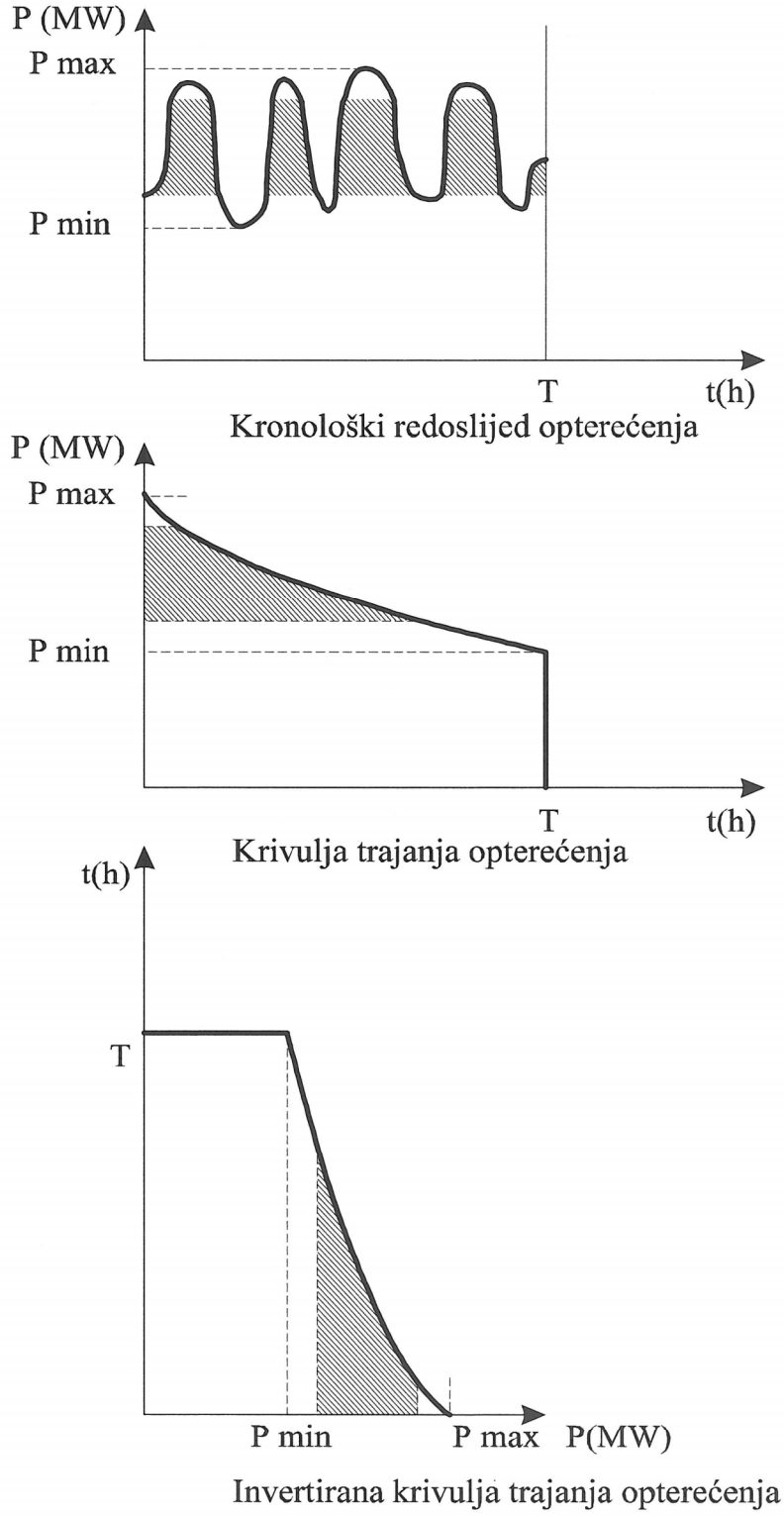
Redoslijed proizvodnih jedinica je zasnovan na troškovima proizvodnje, od nižih k višim, s lijeva na desno. Površina koju zauzimaju pojedina jedinica ispod krivulje trajanja opterećenja proporcionalna je proizvodnji te jedinice.

Odnos između kronološki poredanih opterećenja, krivulje trajanja opterećenja i invertirane krivulje trajanja opterećenja pokazuje slika 75. Sa slike se može uočiti jedna od dobrih strana korištenja krivulje trajanja umjesto kronološkog redoslijeda. Kod krivulje trajanja opterećenja proizvodnja jedne jedinice se računa jednokratno, dok se primjerice za mjesec dana kronološkog redoslijeda za svaki dan treba računati proizvodnja te jedinice. Nadalje, krivulja trajanja opterećenja je temelj vjerojatnog (probabilističkog) tretmana nepredviđenog ispada jedinica iz pogona. Jedna vrlo bitna značajka krivulje trajanja opterećenja je da ona (samo jedna) može predstavljati praktično neizmjeran broj kronoloških ostvarenja.

Loša strana krivulje trajanja opterećenja je gubitak kronologije, posebice u slučajevima gdje je to bitno. Takav slučaj je svakako dnevno planiranje pogona gdje za svaki sat treba odrediti snagu, odnosno proizvodnju svake jedinice.

Sljedeći nedostatak korištenja krivulje trajanja opterećenja osjeća se kod redoslijeda angažiranja elektrana. Redoslijed angažiranja je rezultat dvaju elemenata (istovremeno), a to je izbor jedinica i troškova proizvodnje pojedine jedinice. Dok jedan redoslijed angažiranja može adekvatno reprezentirati jedan set jedinica, dotle se tijekom duljeg razdoblja (kao što je mjesec) taj set jedinica koje su u pogonu može više puta mijenjati. To se ne može predstaviti krivuljom trajanja, jer ona pretpostavlja samo jedan konkretan set jedinica koje su u pogonu tijekom jediničnog vremenskog intervala, a to je u ovom slučaju jedan mjesec.

Kao što je navedeno, jedna od dobrih strana krivulje trajanja opterećenja je pogodnost uvođenja probabilističkog pristupa kod ispada jedinica iz pogona. Metoda bilanciranja, koristeći se vjerojatnošću ispada jedinica iz pogona, svodi se na konstrukciju tzv. ekvivalentne krivulje trajanja opterećenja.



Slika 75. Kronološki redosljed, krivulja trajanja i invertirana krivulja trajanja opterećenja

5.5.2 Tretman neraspoloživosti termoelektrana

Metoda bilanciranja koja se koristi u WASP-u zasniva se na tzv. probabilističkoj simulaciji. Osnovne informacije potrebne za proračun jesu: krivulja trajanja opterećenja, redosli-

jed angažiranja agregata, značajke svakog agregata, troškovi goriva te moguća proizvodnja hidroelektrana. Metoda simulira učinke neplaniranog ispada iz pogona pojedinog agregata (tretira ih kao slučajne događaje).

Ako se ordinata invertirane krivulje trajanja opterećenja (sl. 75) promatra kao vjerojatnost (u granicama od 0 do 1), onda svaka točka ordinate predstavlja vjerojatnost da će opterećenje u tom trenutku biti jednako ili veće od onoga koje odgovara toj točki. Integriranjem ispod krivulje u određenim granicama dobiva se očekivana proizvodnja pojedinog agregata:

$$W_i = T \cdot \int_{P_{i-1}}^{Pi} L\,(x)\,\mathrm{d}x \tag{11}$$

gdje je

W_i – očekivana proizvodnja i-tog agregata

T – vrijeme rada agregata ispod krivulje trajanja opterećenja,

$L(x)$ – krivulja trajanja opterećenja

P_{i-1} – ukupna angažirana snaga agregata 1, 2, 3, ..., $i-1$

P_i – ukupna angažirana snaga agregata 1, 2, 3, ..., i.

Daljnji tok proračuna se odvija prema poznatoj metodi konvolucije programskog paketa za godišnju simulaciju prilika u elektroenergetskom sustavu.

5.5.3 Tretman hidroelektrana i vjerojatnosti hidrologije

Tretman hidroelektrana jedna je od slabijih točaka modela WASP, iako je pristup sličan kao i kod većine modela za dugoročno planiranje razvoja elektroenergetskog sustava. Značajke svake pojedine hidroelektrane koje model uzima u obzir su sljedeće: instalirana snaga, volumen akumulacijskog bazena, ukupna proizvodnja, konstantna energija i raspoloživa snaga (za svaki mjesec i za svaku vjerojatnost hidrologije). Svaka hidroelektrana se raspoređuje u jednu od dviju skupina. Na taj način model razmatra samo dvije ekvivalentne (sintetičke) elektrane. Značajke ekvivalentnih elektrana odražavaju zbroj tih karakteristika pojedinačnih elektrana koje se nalaze u toj skupini. Ekvivalentne elektrane se formiraju kako slijedi:

$$P_{1j} = \sum_{i=1}^{N} P_{i,j} \tag{12}$$

$$W_{uk1j} = \sum_{i=1}^{N} W_{uki,j} \tag{13}$$

$$W_{k1j} = \sum_{i=1}^{N} W_{ki,j} \tag{14}$$

gdje:

P_{1j} - označava ukupnu raspoloživu snagu svih hidroelektrana u grupi 1, u mjesecu j,

W_{uk1j} - ukupna energija svih hidroelektrana u grupi 1, u mjesecu j,

W_{k1j} - konstantna energija svih hidroelektrana u grupi 1, u mjesecu j,

N - broj elektrana u grupi 1.

Oznake P_{1j}; W_{ukij}; W_{kij} predstavljaju raspoloživu snagu, ukupnu energiju i konstantnu proizvodnju svake pojedine elektrane u grupi 1, u mjesecu j. Te se vrijednosti za svaku hidroelektranu (po mjesecima) i za svaku vjerojatnost hidrologije računaju izvan modela

WASP (primjerice po metodi opisanoj u programskom paketu godišnje elektroenergetske bilance - GEEB, ili pak nekim drugim modelom). Te su vrijednosti za WASP samo ulazni podatak.

Na jednak način se određuju značajke druge ekvivalentne elektrane (druga grupa elektrana kojih ima M).

Model WASP ima mogućnost rada s pet hidroloških uzoraka proizvodnje hidroelektrana. Svakom uzorku (hidrološkom slučaju) se dodjeljuje određena vjerojatnost ostvarenja. Zbroj relativnih vrijednosti svih vjerojatnosti treba biti jednak 1. Odabir reprezentativne vrijednosti za pojedini hidrološki slučaj i pridruživanje vjerojatnosti je isto kao kod naprijed opisanog modela godišnje elektroenergetske bilance (GEEB). Dakle, protok se promatra kao kontinuirana slučajna varijabla. Cijelo moguće područje slučajnog događaja se dijeli na intervale (do pet intervala) i, ovisno o broju uzoraka u pojedinom intervalu, računa se pripadana vjerojatnost svakog intervala. Model WASP izrađuje proračun bilanca za sve hidrološke slučajeve, a prosječna vrijednost dobiva se tako da svaki slučaj sudjeluje u prosjeku s težinskim faktorom koji odgovara pripadnoj vjerojatnosti.

Ne postoji neko čvrsto pravilo prema kojem se hidroelektrane raspoređuju u dvije skupine. To se ostavlja planeru na izbor. Kao jedan od mogućih načina podjele može biti: jedna grupa protočne, druga grupa akumulacijske. Ono što karakterizira pojedinu grupu su stalni troškovi pogona i održavanja (kn/kW mjesečno). Dakle, postoji mogućnost razlikovanja dviju skupina elektrana prema troškovima održavanja i pogona.

Sve što vrijedi za postojeće hidroelektrane, vrijedi i za hidroelektrane - kandidate za izgradnju. Ono što je problem kod hidroelektrana kandidata jest redoslijed pojedinih elektrana u jednoj od dviju grupa. Model radi tako da uspoređuje prvu elektranu s liste u jednoj grupi sa svim elektranama iz druge grupe, izrađuje proračun za sve kombinacije i traži minimum troškova. Ne mogu se "preskakati" elektrane u pojedinoj grupi, što znači da je redoslijed izgradnje elektrana iz pojedine grupe definiran poretkom elektrana u grupi (redoslijedom kod unosa podataka). Očito je da redoslijed unosa podataka ili način formiranja liste hidroelektrana kandidata za izgradnju, treba načiniti vrlo pozorno. Inače se može dogoditi da model prije izabere za izgradnju neku hidroelektranu koja je lošije rješenje nego neka druga. WASP sam po sebi ne definira kriterije slaganja liste hidroelektrana kandidata. Stoga se pojavila potreba nalaženja rješenja za taj problem. Jedna od ideja je korištenje nekog drugog modela u kombinaciji s WASP-om, kako bi se pokušao ublažiti spomenuti problem. To je model SIPRA koji je razvijen u Hrvatskoj (Energetski institut "Hrvoje Požar"). Za taj je model bitno to da se koristi metodom relativne energetsko-ekonomske vrijednosti (REEV).

Pomoću te metode se dobiva prilično objektivan redoslijed hidroelektrana kandidata za izgradnju, prema njihovom energetskom i financijskom (troškovnom) doprinosu elektroenergetskom sustavu. Taj se redoslijed onda koristi kao ulaz u model WASP.

5.5.4 Raspodjela remonta termoagregata

Remont termoagregata je jedna redovita procedura, koja se u modelu pretpostavlja kao planski izlazak iz pogona svakog termoagregata u svakoj godini. Trajanje remonta je unaprijed definirano za svaki agregat, i za pojedini agregat je jednako u svakoj godini. Trajanje remonta i njegov raspored tijekom godine ima utjecaja i na troškove pogona i na razinu rezerve u elektroenergetskom sustavu.

Pri određivanju rasporeda remonta model WASP koristi logikom ujednačavanja rezerve u sustavu tijekom godine. To znači da remonti najvećih jedinica obavljaju u razdobljima s najvećom rezervom u sustavu. Agregati se grupiraju u razrede ili klase (prema instaliranoj

snazi). Značenje tog grupiranja je više izraženo kod većih sustava (s desecima ili čak stotinama agregata). U razdoblju s najvećom rezervom u sustavu raspoređuju se agregati najveće klase (najvećih instaliranih snaga), zatim se promatra u kojem razdoblju je najveća rezerva kad su već definirani remonti agregata iz najveće klase i u to razdoblje se postavlja remont agregata sljedeće klase po veličini, i tako se proces nastavlja dok se ne definira remont za svaki agregat. Algoritam počinje računanjem minimalne rezerve za svaki mjesec (svako jedinično razdoblje) u godini:

$$PR_{\min,j} = PRASP_j - P_{\max,j} \tag{15}$$

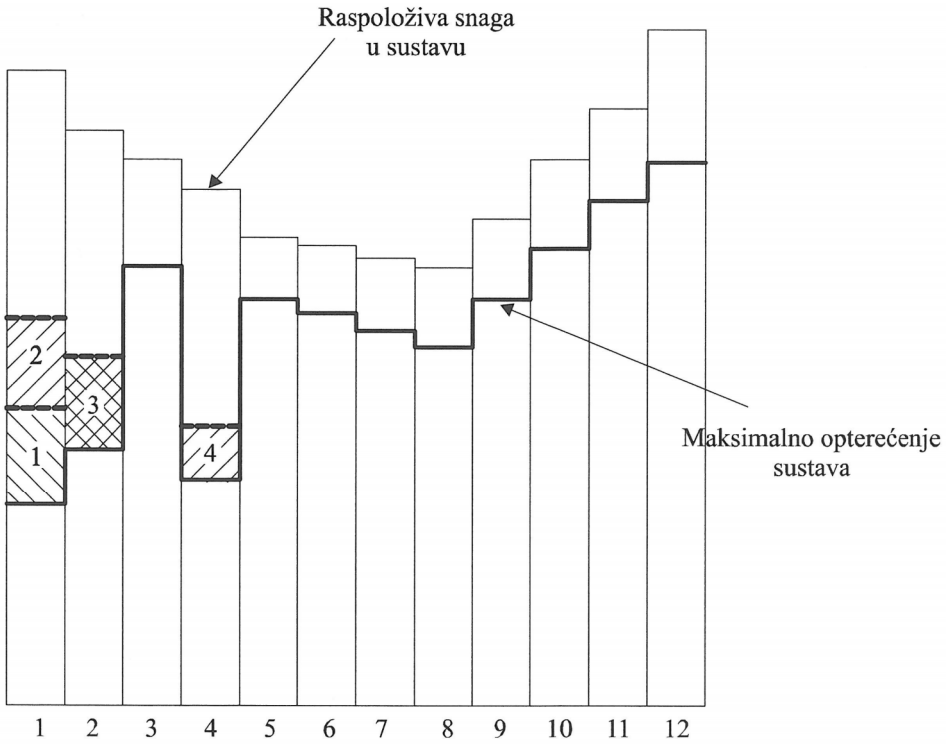
gdje je:
$PR_{\min,j}$ - minimalna rezerva (MW) u sustavu u mjesecu j,
$PRASP_j$ - ukupna snaga (MW) koja je na raspolaganju u sustavu u mjesecu j,
$P_{\max,j}$ - maksimalno opterećenje (MW) sustava u mjesecu j.

Prostor (MW) za remont u pojedinom mjesecu se računa kao razlika minimalne rezerve i zbroja snaga agregata čiji je remont već definiran za taj mjesec (ako to jest već definirano), pa vrijedi jednadžba:

$$PREO_j = PR_{\min,j} - PREM_j \tag{16}$$

gdje je:
$PREO_j$ - prostor (MW) za remont u mjesecu j,
$PREM_j$ - ukupna snaga agregata čiji je remont već definiran u mjesecu j.

Na slici 76. je ilustriran proces raspodjele remonta agregata. Ukupna raspoloživa snaga elektrana po mjesecima varira zbog različite raspoložive snage hidroelektrana u pojedinom mjesecu.



Slika 76. Raspored remonta po klasama agregata

Svaki je agregat pridružen jednoj klasi koja je po veličini najbliža snazi agregata. Neka je, u cilju pojednostavljenja, instalirana snaga svakog agregata u određenoj klasi jednaka. Tada je ukupni zahtjev za remontom za promatranu klasu:

$$MWDG = \sum_i PI_i \cdot REMD(i) \cdot NA(i) \tag{17}$$

uz sljedeće značenje pojedinih oznaka:
$MWDG$ - ukupni zahtjev za remontom (MW dana/godina) za pojedinu klasu,
PI_i- instalirana snaga (MW) pojedinog agregata
$REMD(i)$ - trajanje remonta pojedinog agregata (dana/godina) u elektrani i,
$NA(i)$ - broj agregata u elektrani i.

Blok remonta predstavlja ukupnu snagu koja može biti u remontu u pojedinom mjesecu, a računa se prema izrazu:

$$RBL = PKLR \cdot T \tag{18}$$

RBL - prostor raspoloživ u jednom bloku remonta (MWdana),
$PKLR$ - snaga klase remonta (MW),
T - trajanje mjeseca (dana).

Broj blokova remonta (NBLR) za pojedinu klasu se računa prema izrazu:

$$NBLR = \frac{MWDG}{RBL} \tag{19}$$

Blokovi se sukcesivno pridružuju mjesecima s najvećim prostorom za remont. Slika 76. pokazuje jedan primjer raspodjele triju blokova remonta (šrafirane površine s oznakama 1; 2 i 3). Prvi blok je pridružen prvom mjesecu, jer prvi mjesec ima najveći prostor za remont. Drugi blok je također pridružen prvom mjesecu, jer prvi mjesec i nakon "preuzimanja" prvog bloka i dalje ima najveći prostor za remont. Nakon raspodjele remonta prvih dvaju blokova u prvi mjesec, drugi mjesec ima najveći prostor za remont i u njega je smješten treći blok.

Broj blokova remonta najčešće nije cijeli broj nego decimalni. To znači da na kraju preostaje jedan dio bloka. Kako se mjesec ne može dijeliti na dijelove (mjesec je najmanja vremenska jedinica u modelu), potrebno je činiti korekciju kako bi preostali dio bloka remonta bio postavljen na trajanje od jednog mjeseca, kao što prikazuje šrafirana površina s oznakom 4, na slici 76. Korigirana snaga preostalog bloka se računa kao:

$$PKOR = \frac{PREOST}{T} \tag{20}$$

gdje pojedine oznake znače:
$PKOR$ - korigirana snaga (MW) za preostali dio bloka remonta,
$PPREOST$ - preostali dio bloka remonta (MWdana),
T - trajanje mjeseca (dana).

Ovakvom korekcijom se postiže precizno ispunjenje zahtjeva za remontom (MWdana), ali se generira jedna anomalija, a to je da snaga koja je u remontu u preostalom bloku nije korektna (ona je manja nego stvarna, ali dulje je u remontu). Dakako, da se većim brojem klasa remonta pojavljuje i veći broj ovakvih slučajeva, što unosi određene poremećaje u proračun. Iz tog razloga se preporučuje broj klasa remonta ograničiti do sedam.

Vjerojatnost da će neka klasa remonta biti u remontu u određenom mjesecu, računa se kao omjer blokova remonta smještenih u taj mjesec i ukupnog broja blokova remonta:

$$p(j) = \frac{NBL(j)}{NBLR} \tag{21}$$

Na isti način se tretira i vjerojatnost da će pojedini agregat iz promatrane klase biti u remontu u tom mjesecu.

Ako se sa BRD(j) označi broj dana po svakom mjesecu koliko je pojedini agregat u remontu, onda se to računa kao:

$$BRD\,(j) = REMD\,(i) \cdot p\,(j) \tag{22}$$

Blokovi remonta za pojedinu klasu remonta, a time i za pojedini agregat, nisu pridruženi sukcesivnim mjesecima (jedan za drugim), nego mogu biti različito raspoređeni tijekom cijele godine. To je još jedno odstupanje u odnosu na najčešću praksu. Bez obzira na to, proračun se izvodi na jedan konzistentan način, u smislu da svaki agregat bude u remontu onoliko dana koliko se za njega i predviđa. Međutim, ostaje činjenica da se slika raspoložive snage u sustavu u nekim mjesecima iskrivljuje.

5.5.5 Razina rezerve u sustavu

Svaki elektroenergetski sustav, dijelom zbog redovitog održavanja (remonta), a dijelom zbog neplaniranog ispada, treba imati određenu rezervu (rezervu snage) u proizvodnim kapacitetima (to propisuju i pravila UCTE). Ta rezerva bi, u načelu, trebala biti funkcija maksimalnog opterećenja sustava i snage najvećeg agregata u sustavu.

Kod čistog termo-sustava smatra se da je dovoljna rezerva snage približno 20 posto (to, kao što je navedeno, ovisi o veličini samog sustava, o veličini najveće jedinice u sustavu i o pouzdanosti rada elektrana u sustavu). Kod mješovitog hidro-termo sustava potrebna je veća rezerva snage, sukladno udjelu hidroelektrana u ukupnoj proizvodnji električne energije i u ukupnoj instaliranoj snazi u elektroenergetskom sustavu. Što je taj udio veći, potrebna je i veća rezerva snage. Ako bi se rad sustava promatrao samo u određenom kratkom razdoblju ili pak u stvarnom (realnom) vremenu, onda veći udio hidroelektrana ne mora nužno značiti i veću potrebnu rezervu. Posebice ako hidroelektrane sa znatno promjenljivim padom u tom razdoblju rade s padom koji je maksimalan ili blizu maksimalnom. Međutim, kod dugoročnog planiranja razvoja elektroenergetskog sustava u obzir se mora uzimati vjerojatnost hidrologije, ili dinamička raspoloživost dotoka. Hidroelektrane imaju bitno manji faktor iskorištenja maksimalne snage nego termoelektrane (osim u iznimnim slučajevima vršnih termoelektrana ili elektrana sa skupim gorivom). Stoga u mješovitom hidro-termo ili pretežito hidrosustavu treba veća rezerva snage nego u "čistom" termo sustavu.

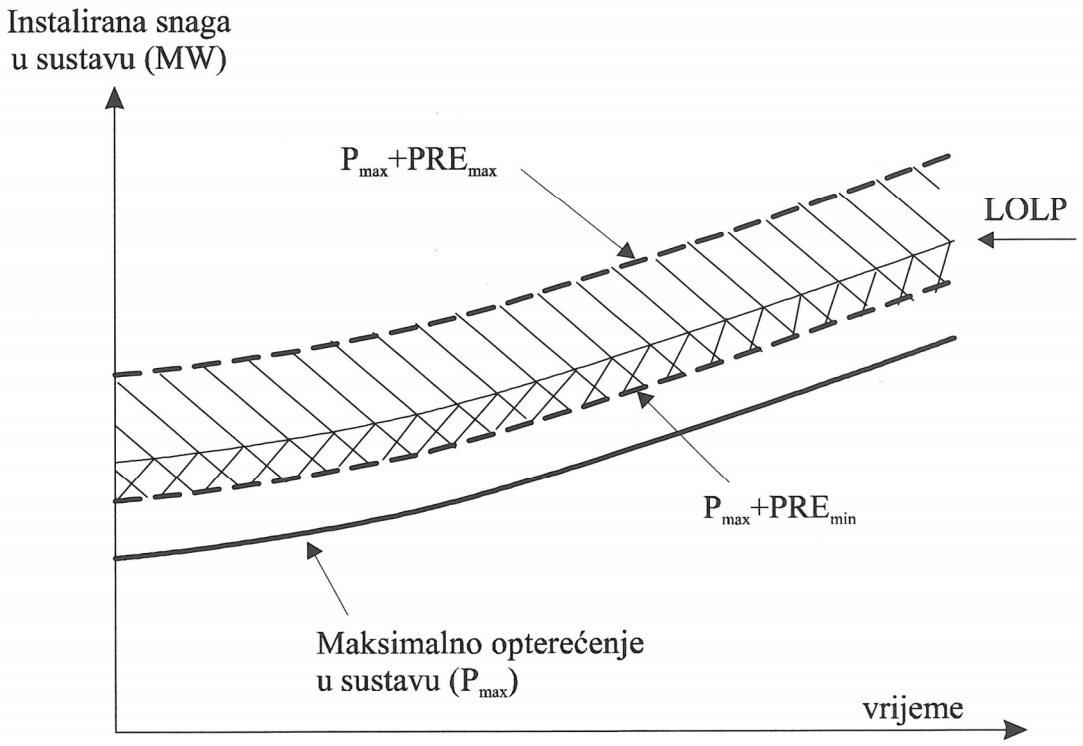
Model WASP rabi dvije razine rezerve (minimalnu i maksimalnu) u odnosu na koje dimenzionira sustav, odnosno definira izgradnju sustava. Te dvije razine rezerve su potrebne kao ograničenja za model. Minimalna rezerva se postavlja kao donja granica ispod koje se ni u kojem slučaju ne može ići. Maksimalna rezerva se obično postavlja višom od objektivno potrebne i ona služi kao ograničenje prema gore, iznad kojeg se ne bi trebalo ići. Svaka kombinacija elektrana (struktura sustava) koja, u bilo kojoj godini razdoblja planiranja, ne zadovoljava uvjet rezerve, biva odbačena, tj. ne može ići u konkurenciju kao mogući plan izgradnje elektroenergetskog sustava. Te dvije granice predstavljaju tzv. "širinu tunela" kroz koji model treba proći, kako bi našao optimalnu strukturu ili izgradnju sustava, uz pretpostavljena ograničenja. Na slici 77. se to zorno prikazuje. Oznake na slici znače:

$P_{\max}$ - maksimalno opterećenje u sustavu u pojedinoj godini (MW),

$PRE_{\max}$- maksimalna razina rezerve (MW),

$PRE_{\min}$ - minimalna prihvatljiva razina rezerve (MW).

Razina rezerve se unutar postavljenih granica može regulirati visinom troškova neisporučene energije i graničnom vrijednošću LOLP-a. Rezerva se uvijek računa iz kombinacije postojećih elektrana i elektrana koje mogu doći u obzir za izgradnju u pojedinoj godini.



Slika 77. Širina tunela definirana granicama rezerve u sustavu

5.5.6 Sigurnost opskrbe potrošnje (vjerojatnost nedostatka snage LOLP i neisporučena energija - EUE)

Sigurnost opskrbe potrošnje se u modelu WASP izražava preko dviju veličina. Jedna je vjerojatnost nedostatka snage (LOLP), a druga je neisporučena energija (EUE). LOLP je definiran kao postotak vremena (od ukupnog vremena mjesečno ili godišnje) u kojem je opterećenje u sustavu veće od ukupne raspoložive snage svih elektrana u sustavu. Neisporučena energija je dio potrošnje u sustavu koji ne može biti podmiren proizvodnjom iz elektrana sustava za vrijeme nedostatka snage.

Proračun vrijednosti za vjerojatnost nedostatka snage (LOLP) i neisporučenu energiju (EUE) odvija se tijekom već spominjane probabilističke simulacije metodom konvolucije, gdje se formiraju ekvivalentne krivulje trajanja opterećenja, koje uzimaju u obzir vjerojatnost ispada pojedinog termoagregata iz pogona.

Kako je invertirana krivulja trajanja opterećenja, a i ekvivalentne krivulje, aproksimirana Fourierovim redom, izrađen je poseban algoritam za računanje LOLP-a i EUE-a. Slika 78. prikazuje osnovne veličine i ograničenja koja su bitna za proračun. Oznake na slici 78. imaju značenja kako slijedi:

ICP - instalirana snaga u sustavu,

KTO - početna krivulja trajanja opterećenja,

$Y_N(x)...EKTO_N$- ekvivalentne krivulje trajanja opterećenja,

$P_{\min}$, $P_{\max}$ - minimalno i maksimalno opterećenje u sustavu,

$TCAP$ - snaga iz termoelektrana neraspoloživa za sustav (zbog neplaniranog ispada iz pogona),

$x_{lim} = P_{\max} + TCAP$,

$x_{end} = P_{\max} + 2 \cdot P_{\min}$,

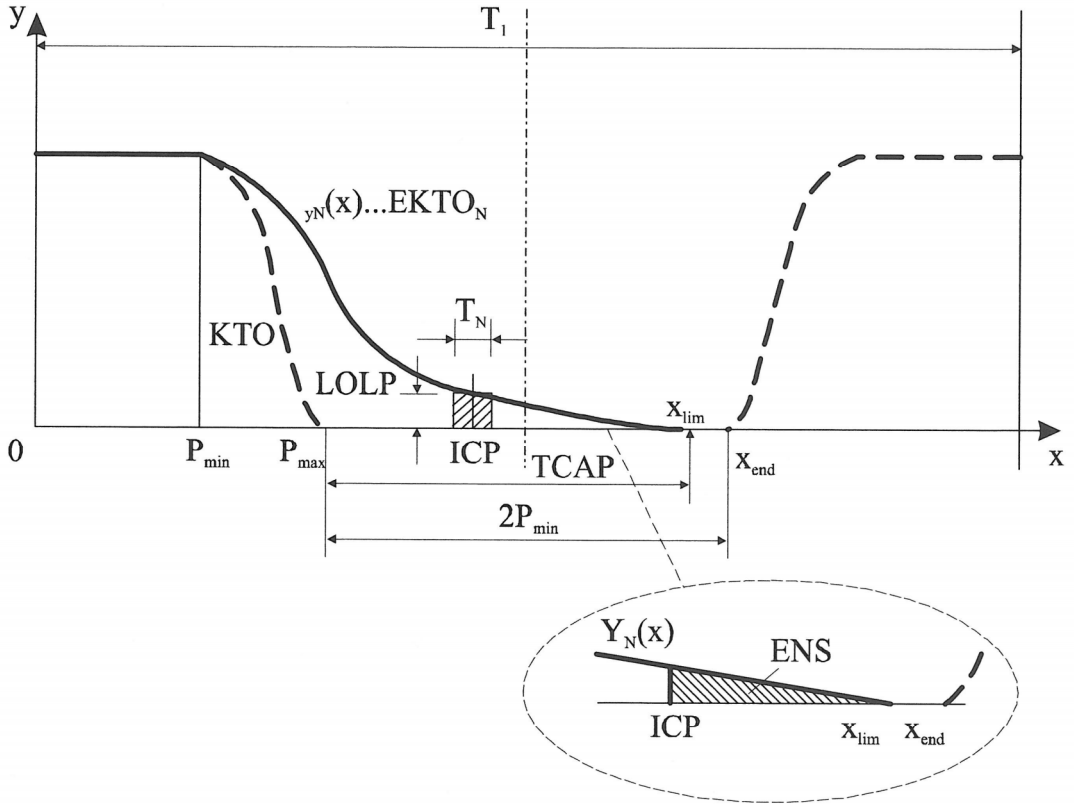
$T_1 = 2 \cdot (P_{\max} + P_{\min})$, predstavlja periodu kosinusne funkcije prvog harmonika,

$T_N = \dfrac{T_1}{n_f}$, predstavlja periodu najvišeg harmonika korištenog u aproksimaciji KTO,

n_f - broj članova Fourier-ova reda korištenih za aproksimaciju KTO,

x - opterećenje (dio od $P_{\max}$),

y - vrijeme (dio od T),



Slika 78. Proračun vrijednosti za LOLP i EUE u modelu WASP

Aproksimacija EKTO Fourirerovim redom je vrlo precizna do točke xend (slika 78.), koja je jednaka zbroju maksimalnog opterećenja i dvostrukog minimalnog opterećenja. *Međutim, događaju se i slučajevi koji prelaze vrijednost* x_{end}.

U tzv. "normalnim slučajevima", kad je x manje ili jednako x_{end}, da bi se izbjegle oscilacije LOLP-a uvođenjem viših harmonika Fourierova reda, LOLP se određuje za točku ICP, kao što je prikazano na sl. 78. Izraz za računanje LOLP-a je:

$$LOLP = \frac{1}{T_N} \int_{ICP-\frac{1}{2}T_N}^{ICP+\frac{1}{2}T_N} y_N(x)\,\mathrm{d}x \qquad (23)$$

gdje je $Y_N(x)$ konačna EKTO. Neisporučena energija (EUE) se računa integriranjem površine ispod $Y_N(x)$, od ICP do x_{lim}, dakle:

$$EUE = T \cdot P_{\max} \cdot \int_{ICP}^{x_{\lim}} y_N(x)\,\mathrm{d}x. \tag{24}$$

Ako su vrijednosti integrala u izrazima (23) ili (24) manje od nule, odgovarajuće vrijednosti za LOLP i EUE se izjednače s nulom.

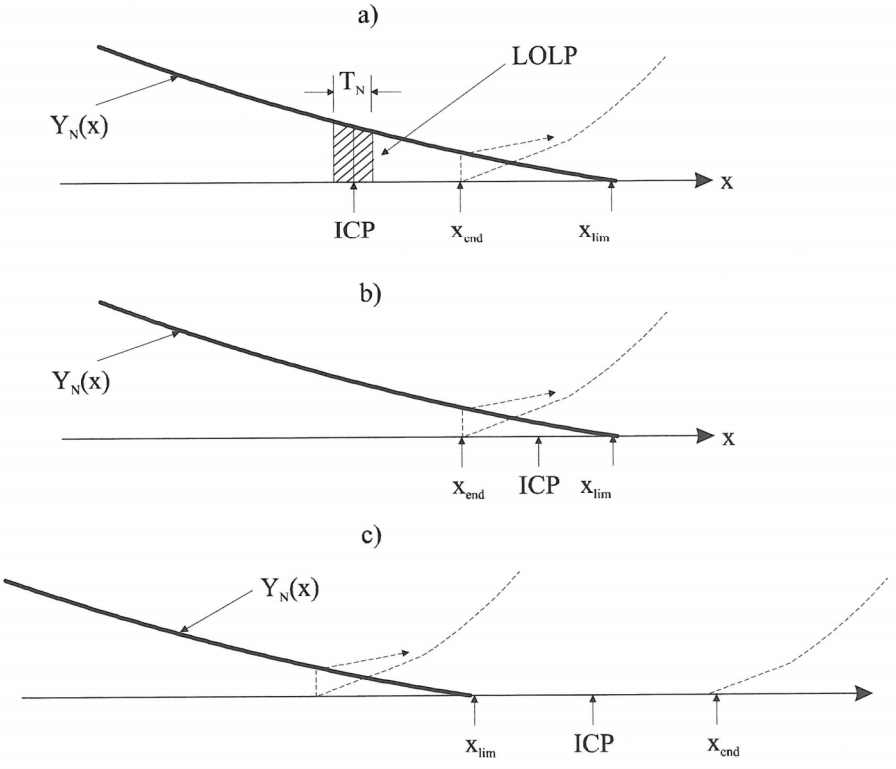
Kod proračuna vrijednosti LOLP i EUE mogu se pojaviti neki granični slučajevi, koji su prikazani na slici 79.

Jedan takav granični slučaj (slika 79a) je kad je $x_{\lim}$ veći od x_{end}, ali je ICP još uvijek u granicama gdje vrijedi Fourirerova aproksimacija ($ICP < x_{\text{end}}$). LOLP se opet računa prema izrazu (23), dok se za proračun vrijednosti EUE ne uzima u obzir prostor ispod EKTO za opterećenja veća od x_{end}. Za taj slučaj izraz (24) ima oblik:

$$EUE = T \cdot P_{\max} \cdot \int_{ICP}^{x_{end}} y_N(x)\,\mathrm{d}x \tag{25}$$

Drugi slučaj (slika 79b), gdje je $x_{\text{end}} < ICP < x_{\lim}$, tada se LOLP i EUE izjednače s nulom, iako postoje neki (vrlo mali) iznos za LOLP i EUE, ali ih je vrlo teško odrediti.

Treći slučaj (slika 79c), gdje je $x_{\lim} < ICP < x_{\text{end}}$; LOLP i EUE se izjednačavaju s nulom.



Slika 79. Granični slučajevi kod proračuna vrijednosti za LOLP i EUE

5.5.7 Ekonomski proračuni u WASP modelu

Krajnji rezultat modela WASP je optimalni plan izgradnje elektroenergetskog sustava kroz kompletno razdoblje planiranja (do maksimalno 30 godina). Kriterij optimuma je minimum ukupnih diskontiranih troškova u elektroenergetskom sustavu, uz određena ograničenja koja zadaje planer. Svaka potencijalna kombinacija elektrana-kandidata za izgradnju, vrednovana je kroz funkciju troškova. Funkcija cilja (minimum ukupnih troškova tijekom cijelog razdoblja planiranja) sastavljena je od nekoliko komponenata:

- troškovi investicija ili kapitalni troškovi (TK),
- troškovi goriva (TG),
- troškovi pogona i održavanja (TPO),
- troškovi neisporučene energije ($TEUE$),
- preostala vrijednost elektrana (PR).

Oblik funkcije cilja je:

$$UKTR_j = \sum_{t=1}^{t=T} (TK_{j,t} - PR_{j,t} + TG_{j,t} + TPO_{j,t} + TEUE_{j,t}) \tag{26}$$

gdje iznos $UKTR_{j,t}$ predstavlja ukupne troškove u sustavu za neki plan razvoja j, t je vrijeme u godinama (1, 2, ..., T), a T je ukupni broj godina razdoblja planiranja. Optimalni plan razvoja je onaj čija je funkcija cilja, ili čiji su ukupni troškovi tijekom razdoblja planiranja najmanji.

Neka je $[VT_t]$ vektor koji sadrži sve elektrane koje su u sustavu u godini t za dati plan razvoja, tada $[VT_t]$ mora ispunjavati sljedeći uvjet:

$$[VT_t] = [VT_{t-1}] + [EGR_t] - [ZE_t] + [NE_t] \tag{27}$$

gdje $[EGR_t]$ predstavlja vektor elektrana koje su već u izgradnji na početku razdoblja planiranja i za koje se već zna da ulaze u pogon u godini t, $[ZE_t]$ je vektor elektrana koje se zatvaraju u godini t (završetak životnog vijeka), a $[NE_t]$ je vektor novih elektrana koje ulaze u pogon u godini t (elektrane dodate optimizacijskim postupkom).

Komponente troškova od kojih je sastavljena funkcija cilja (izraz 26) nastaju u različito vrijeme. Da bi objektivna usporedba pojedinih troškova bila moguća, provodi se diskontiranje svih troškova na referentnu godinu, za koju se najčešće uzima prva godina razdoblja planiranja. Kod diskontiranja troškova goriva, troškova održavanja i pogona, te troškova neisporučene energije, pretpostavlja se da nastaju u sredini godine, dok se za investicijske troškove i preostalu vrijednost uzima da nastaju na početku godine. Svi troškovi se diskontiraju po jednakoj diskontnoj stopi (d_s). Dakle, kod proračuna ukupnih troškova koristi se klasična metoda neto sadašnje vrijednosti.

5.5.8 Uvažavanje ekoloških ograničenja

Prethodna verzija WASP-a (WASP-III plus) nije imala mogućnost izravnog uključivanja ekoloških ograničenja u proces optimizacije. Postojala je mogućnost uzimanja u obzir utjecaja na okoliš i troškova u vezi s tim kroz iterativnu proceduru, izvođenjem većeg broja proračuna. Tako se moglo promatrati termoelektrane na ugljen, jednom bez uređaja za odsumporavanje (eng. Flue Gas Desulfurization-FGD), a drugi put s uređajem za odsumporavanje, na način da se povećaju investicijski troškovi termoelektrana na ugljen za cijenu takvih uređaja. Usporedbom rezultata dvaju proračuna prosuđuje se što znači, za budući optimalni plan izgradnje, obveza ugradnje uređaja FGD. Ovisno o razini limita emisije SO_2 može se koristiti učinkovitiji ili manje učinkovit uređaj FGD. Dakako da je onda i cijena uređaja različita.

Druga mogućnost utjecaja na emisije iz elektrana je bila uvođenje eksternih troškova preko penalizacije pojedine vrste goriva (povećanjem cijene goriva na ulazu elektrane), čijom se uporabom i emitiraju onečišćujuće tvari ili polutanti. Opet je bilo potrebno izvoditi više proračuna, s različitim razinama penalizacije i na osnovu razlike rezultata pojedinog proračuna procjenjivati o utjecaju uvođenja eksternih troškova na optimalno rješenje proizašlo iz modela. Tu je posebno pitanje načina i objektivnosti određivanja razine eksternih troškova ili razine penalizacije pojedinog goriva.

Međutim, ni jedna od navedenih mogućnosti nije imala nadzor nad emisijama. Moglo se samo, na temelju potrošenog goriva u pojedinoj elektrani i nekog prosječnog faktora emisije elektrane računati količine emitiranih onečišćivača.

Osim već navedenih mogućnosti, nova verzija WASP-a (WASP-IV) ima mogućnost izravnog ograničenja količine pojedine onečišćujuće tvari (godišnji iznos, uz mogućnost specificiranja mjesečne distribucije tog godišnjeg iznosa). Limit se može postaviti na samo jednu elektranu, grupu elektrana ili na kompletni sustav, odnosno na sve elektrane u sustavu koje emitiraju određenu onečišćujuću tvar. Optimalno rješenje se traži tako da limit emisija mora biti zadovoljen.

Ograničenja se mogu postaviti i na godišnju potrošnju određenog tipa goriva, a isto tako i na ukupnu proizvodnju pojedine elektrane ili grupe elektrana. Ta su dva ograničenja izravno povezana, ali se može koristiti i njihova kombinacija.

Logika algoritma je da se kombinacijom metode probabilističke simulacije, kojom se računaju proizvodnje elektrana i troškovi pogona sustava, i metode linearnog programiranja, koja vodi računa o postavljenim ograničenjima, pronađe optimalno rješenje. Opet je funkcija cilja minimum ukupnih troškova u sustavu, ali sada uz zadovoljenje novih ograničenja. Kako je metoda probabilističke simulacije već opisana, u nastavku se daje najosnovniji opis korištenja metode linearnog programiranja u svrhu traženja optimuma uz postavljena ograničenja.

Neka se sustav sastoji od N jedinica (agregata). Za jedinicu i oznaka W_i znači očekivanu proizvodnju (MWh), a c_i trošak proizvodnje 1 MWh. Ako postoji M grupnih ograničenja, neka I_j predstavlja set agregata koji pripadaju grupi j. Jedan agregat može biti povezan s više grupnih ograničenja, sa samo jednim ili s ni jednim ograničenjem. Pozitivni broj $LIMIT_j$, $j = 1, ..., M$ označava iznos ograničenja za pojedinu grupu. Ako pozitivni broj kstij predstavlja količinu od limita $LIMIT_j$ koji odgovara proizvodnji 1 MWh agregata ($i \in I_j$), primjerice kg emisije SO_2 po proizvedenom MWh u agregatu i, onda se ograničenje u skladu s metodologijom linearnog programiranja može napisati kao:

$$\sum_{i \in I_j} kst_{ij} \cdot W_i \leq LIMIT_j, \quad za \ \ j = 1, \ldots, M \ . \tag{28}$$

Troškovi proizvodnje u sustavu su

$$TR = \sum_{i \in I_j} c_i \cdot W_i \ . \tag{29}$$

Može se dogoditi da ne postoji ni jedan redoslijed angažiranja agregata u sustavu, u nekom jediničnom vremenskom intervalu (mjesecu), kod kojeg je, uz proizvodnje W_i, zadovoljen uvjet (28). Stoga će u tom mjesecu biti potrebno imati nekoliko redoslijeda angažiranja agregata, od kojih će svaki trajati samo jedan dio mjeseca. Neka se ti redoslijedi angažiranja zovu strategije. Maksimalan (teorijski) broj tih strategija je $N!$ U stvarnosti je to uvijek manje, jer neke od permutacija otpadaju iz praktičnih razloga. Jedan primjer je da se nuklearna elektrana ili termoelektrana ložena ugljenom ne koristi u vrhu krivulje trajanja opterećenja, nego uvijek dolazi kao bazna.

Ako S_1,..,S_k označavaju strategije koje dolaze u obzir, i neka je K njihov ukupan broj, za svaku strategiju, u skladu s redoslijedom angažiranja, treba izračunati troškove proizvodnje u sustavu. Označi li se očekivana proizvodnja za pojedinu strategiju kao WS_{ki}, onda se troškovi proizvodnje u promatranom mjesecu, uz uvjet da se cijeli mjesec koristi samo strategija k, računaju prema izrazu:

$$TR_k = \sum_{i=1}^{N} c_i \cdot WS_{ki}, \quad za \quad k = 1, \ldots, K \, . \tag{30}$$

Ukoliko bi se u cijelom mjesecu rabila strategija k, onda se dio ograničenja koji je potrošen korištenjem strategije k, povezan s grupom agregata j, računa iz izraza:

$$R_{kj} = \sum_{i \in I_j} kst_{ij} \cdot WS_{ki}, \quad za \quad k = 1, ..., K; \quad j = 1, ..., M \, . \tag{31}$$

Za svaku strategiju S_k veličina t_k predstavlja relativno trajanje strategije u promatranom mjesecu, što je ujedno i težinski faktor s kojim strategija S_k sudjeluje u ograničenju j. Težinski faktor za svaku strategiju treba odrediti uz uvjet minimalnih troškova u sustavu, gdje su istovremeno zadovoljena sva grupna ograničenja. To se može odrediti rješavanjem sljedećeg problema linearnog programiranja:

$$\min \sum_{k=1}^{K} TR_k \cdot t_k \tag{32}$$

uz

$$\sum_{k=1}^{K} R_{kj} \cdot t_k \leq LIMIT_j, \quad j = 1, \ldots, M \tag{33}$$

$$\sum_{k=1}^{K} t_k = 1 \tag{34}$$

$$t_k \geq 0, \quad k = 1, \ldots, K \, . \tag{35}$$

Nakon rješavanja naprijed navedenog problema linearnog programiranja i uz uporabu optimalnog rješenja za t_k, prosječna vrijednost za LOLP i EUE za pojedini mjesec se računa iz sljedećih izraza:

$$LOLP = \sum_{k=1}^{K} LOLP_k \cdot t_k \tag{36}$$

$$EUE = \sum_{k=1}^{K} EUE_k \cdot t_k \, . \tag{37}$$

Na sličan način se računa i očekivana proizvodnja pojedinog agregata za cijeli mjesec:

$$W_i = \sum_{k=1}^{K} WS_{ki} \cdot t_k, \quad za \; i = 1, \ldots, N \, . \tag{38}$$

U nekim slučajevima gdje su grupna ograničenja vrlo niska može se dogoditi da ne postoji rješenje problema. Tada je potrebno ili redefinirati ograničenja ili uvesti nove strategije. U ekstremnom slučaju rješenje može biti postignuto (u matematičkom smislu). Međutim, rješenje

može biti takvo da sve elektrane koje participiraju u grupnom ograničenju budu izostavljene iz redoslijeda angažiranja, odnosno budu u tom mjesecu izvan pogona. Takvo rješenje nema praktičnu vrijednost, ono je samo teorijsko zadovoljenje svih ograničenja. Naime, u tom slučaju LOLP i EUE mogu poprimiti vrlo velike vrijednosti, koje su s aspekta sigurnosti opskrbe neprihvatljive. To se događa, jer nije uvedena nikakva penalizacija na LOLP i EUE.

Da bi se taj problem izbjegao uvode se penalizirajući faktori, primjerice α za LOLP i β za EUE. Rješenje se postiže u dva koraka. U prvom koraku se traže minimalne penalizirane prosječne vrijednosti za LOLP i EUE rješavanjem problema linearnog programiranja:

$$\min \sum_{k=1}^{K} (\alpha \cdot LOLP_k + \beta \cdot EUE_k) \cdot t_k \tag{39}$$

uz ograničenja

$$\sum_{k=1}^{K} R_{kj} \cdot t_k \leq LIMIT_j, \quad j = 1, \ldots, M \tag{40}$$

$$\sum_{k=1}^{K} t_k = 1 \tag{41}$$

$$t_k \geq 0, \quad k = 1, \ldots, K\,. \tag{42}$$

Ako μ predstavlja optimalno rješenje problema definiranog izrazima (39) – (42) onda u drugom koraku treba riješiti sljedeći problem:

$$\min \sum_{k=1}^{K} TR_k \cdot t_k \tag{43}$$

$$\sum_{k=1}^{K} R_{kj} \cdot t_k \leq LIMIT_j, \quad j = 1, \ldots, M \tag{44}$$

uz ograničenja:

$$\sum_{k=1}^{K} t_k = 1 \tag{45}$$

$$\sum_{k=1}^{K} (\alpha \cdot LOLP_k + \beta \cdot EUE_k) \cdot t_k = \mu \tag{46}$$

$$t_k \geq 0, \quad k = 1, \ldots, K\,. \tag{47}$$

Vidljivo je da je problem (43) – (47) formiran tako što je problem (32) – (35) proširen s uvjetom definiranim u (39). Ovaj uvjet ili ograničenje (39) osigurava rješenje s minimalnim zbrojem penaliziranih vrijednosti za LOLP i EUE. Ukoliko kao dio optimalnog rješenja ne postoji ni jedna strategija kod koje je potrebno izbacivati iz pogona neki agregat, onda su rješenja problema (32) – (35) i problema (43) – (47) jednaka.

Zaključno se može reći da ta metoda treba zadovoljiti dva cilja. Prvi je cilj pronaći moguće rješenje u što manje iteracija, a drugi cilj je izbor takve kombinacije strategija koja daje što niže vrijednosti za LOLP i EUE.

5.6 Model SIPRA (Simulacija planova razvoja)

Programski model se koristi za određivanje potrebne izgradnje sustava, s obzirom na broj, vrstu te dinamiku ulaska u pogon novih elektrana. Pored toga, model SIPRA omogućuje usporedbu različitih tipova elektrana kroz njihovu energetsko-ekonomsku valorizaciju. Model je osmišljen tako da se energetsko-ekonomskom valorizacijom pojedinih rješenja dolazi do optimalnog plana razvoja.

Tri su osnovna dijela od kojih je model sastavljen: učitavanje podataka, proračun energetsko-ekonomske vrijednosti elektrana-kandidata za izgradnju te postupak simulacije planova razvoja. Cijeli postupak planiranja izvodi se u interaktivnom radu. Time je osigurana mogućnost kontrole ulaznih podataka, provjera međurezultata te usmjeravanje (skraćivanje) postupka simulacije.

Elektrane-kandidati za izgradnju uvrštavaju se u proračun s pojedinačnim značajkama i troškovima.

Model SIPRA je zasnovan na sličnoj filozofiji planiranja kao i model WASP, ali koristi i neka različita rješenja. Za razliku od modela WASP koji krivulju trajanja opterećenja aproksimira Fourierovim redom, SIPRA se koriste metodom kumulanata. Dok WASP optimalno rješenje nalazi optimizacijskim postupkom (dinamičko programiranje), SIPRA model radi simulacije, dakle iz većeg broja pokušaja se odabire onaj koji ima minimum troškova. Taj način simulacije nije primjeren za veće sustave, gdje u obzir dolazi veći broj elektrana kandidata, jer je tada broj kombinacija jako velik i nije praktično izvoditi pojedinačni proračun za sve kombinacije u interaktivnom radu.

Može se reći da je WASP model učinkovitiji, a posebno nova verzija koja ima i neke dodatne mogućnosti kada se radi o ekološkim ograničenjima.

Zašto je onda bitno spomenuti model SIPRA? Svaki model, u usporedbi s nekim drugim modelom, ima svoje prednosti i nedostatke. Da bi se dobili pouzdaniji rezultati, korisno je kombinirati više modela. Ovdje je iskorištena jedna mogućnost modela SIPRA, koja ne postoji u modelu WASP. Naime, model WASP ima specifičan tretman hidroelektrana. Sve hidroelektrane u sustavu (postojeće i kandidati za izgradnju) podijeljene su u dvije skupine A i B), plus jedna skupina za crpne elektrane, ako ih ima. Kriterij te podjele nije strogo definiran. Ideja je da se one razlikuju po fiksnim troškovima pogona i održavanja, koji se izjednačavaju za svaku hidroelektranu iz pojedine skupine.

Međutim, kod slaganja liste elektrana nije unaprijed poznat energetsko-ekonomski bonitet pojedine hidroelektrane. Taj bonitet, osim o energetskim i ekonomskim značajkama elektrane, ovisi i o strukturi sustava i vremenu ulaska u pogon. Da bi se došlo do liste ili redoslijeda boniteta pojedinih hidroelektrana, može se iskoristiti model SIPRA koji koristi (već prije spomenutu) metodu relativne energetsko-ekonomske vrijednosti elektrana. Može se reći da je to jedno originalno rješenje kombinacije dva modela. Dakako, da se model SIPRA može koristiti i za kompletnu izradu dugoročnog plana razvoja elektroenergetskog sustava (izgradnja elektrana) i ti rezultati se mogu usporediti s rezultatima WASP-a. Time rezultati modela dobivaju na težini, odnosno moguće je dijelom ublažiti utjecaj samog modela na rezultate proračuna.

5.6.1 Opća struktura i mogućnosti programskog paketa

Programski paket je razvijen u cilju određivanja potrebne veličine izgradnje, strukture elektrana te vremena ulaska u pogon novih postrojenja elektroenergetskog sustava. Osim toga on omogućuje usporedbu različitih elektroenergetskih postrojenja istog ili različitog tipa

uz njihovu ekonomsku valorizaciju. Programski paket je razvijen tako da obavlja energetsko-ekonomsku valorizaciju cjelokupnih planova razvoja te tako omogući i ispitivanje osjetljivosti rezultata na promjene gospodarskih i energetskih parametara.

Da bi se na odgovarajući način zadovoljili svi postavljeni zadaci razvijen je općenit programski paket koji u sebi sadrži nove spoznaje o planiranju razvoja elektroenergetskog sustava.

Program je sastavljen od skoro stotinu potprograma, a može se podijeliti na tri osnovna dijela: učitavanje podataka, proračun energetsko-ekonomske vrijednosti elektrana-kandidata za izbor i postupak simulacije planova razvoja. Cijeli postupak planiranja izveden je u interaktivnom radu planer-računalo, što omogućuje kontrolu podataka, uspoređivanje rezultata i usmjeravanje i skraćivanje postupka optimizacije.

Programsko je rješenje takvo da može uz male promjene raditi za bilo koji broj energetskih postrojenja, elektrana-kandidata za izbor ili različito vrijeme planiranja, naravno, ukoliko neka od veličina prelazi odabrane standardne vrijednosti. Proračun se zbog duljine trajanja obavlja u više koraka.

Programski je riješeno pohranjivanje rezultata proračuna te njihova kasnija uporaba, tako da se program može prekidati iako je rađen kao cjelina.

Elektrane-kandidati za izbor uvrštavaju se u proračun s pojedinačnim značajkama i troškovima, što bitno povećava izbor u odnosu na uvrštavanje elektrana po tipovima, te tako osigurava korektnije rezultate. Tijekom planiranja javljaju se razni uvjeti na vrijeme ulaska pojedinih postrojenja, mogućnosti proizvodnje industrije za energetiku, vremenski pomak u gradnji nekih objekata pa su takvi slučajevi tretirani kao ograničenja u postupku simulacije. Takav pristup uz adekvatnu simulaciju prilika u elektroenergetskom sustavu te ekonomsku valorizaciju ukupnih planova razvoja osiguravaju veliku točnost i daju velike mogućnosti postupku planiranja.

5.6.2 Opis osnovnih funkcija programa

U razradi metode planiranja treba dati odgovor na više pitanja koja bi se mogla formulirati na sljedeći način:

· Kako aproksimirati odnose u elektroenergetskom sustavu?

· Kako opisati funkciju cilja da se omogući ekonomska valorizacija doprinosa elektrane ili grupe elektrana u sustavu?

· Kako odabrati najpovoljniju kombinaciju izgradnje elektrana (optimalni razvojni plan) uzimajući u obzir ograničenja iz realnog prostora i vremena?

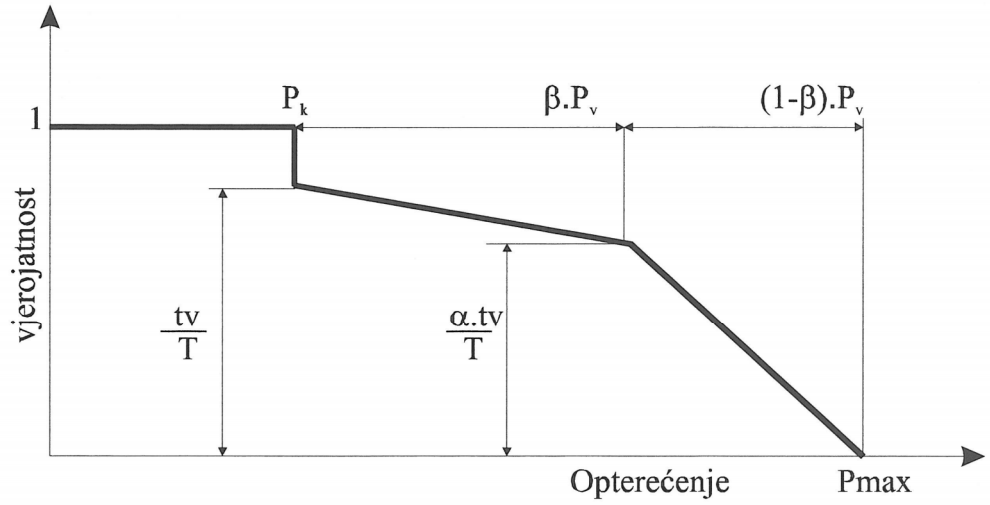
U okviru tih pitanja razrađena su rješenja koja će biti opisana kao zasebne cjeline ugrađene u cjelokupni program.

5.6.3 Elektroenergetska bilanca

Elektroenergetska bilanca predstavlja simulaciju prilika u nekom elektroenergetskom sustavu, gdje se kroz model opisan matematičkim jednadžbama aproksimiraju odnosi iz realnog elektroenergetskog sustava. Bez obzira na razinu obrade, uvijek se radi o aproksimaciji pa se rješenja mogu usporediti po visini pogreške koja se aproksimiranjem postiže. Elektroenergetska bilanca u sebi uključuje bilance snage i energije, troškove proizvodnje, remont, sigurnost opskrbe potrošača i utjecaj hidrologije.

5.6.4 Potrošnja električne energije

Potrošnja električne energije i njene značajke u osnovnim vremenskim jedinicama opisuju se krivuljom trajanja opterećenja. Aproksimacija se izvodi s tri pravca (slika 80) za svaku vremensku jedinicu, a zadaje se sa šest parametara: maksimalno opterećenje P_{max}, ukupna potrošnja W_u, konstantna potrošnja W_k, trajanje varijabilnih opterećenja t_v i konstante α i β.



Slika 80. Krivulja trajanja opterećenja

Razvijena metoda nije ograničena oblikom krivulje trajanja opterećenja s tri pravca, jer je moguće koristiti i krivulju s više pravaca, ili kontinuiranu krivulju.

5.6.5 Hidroelektrane

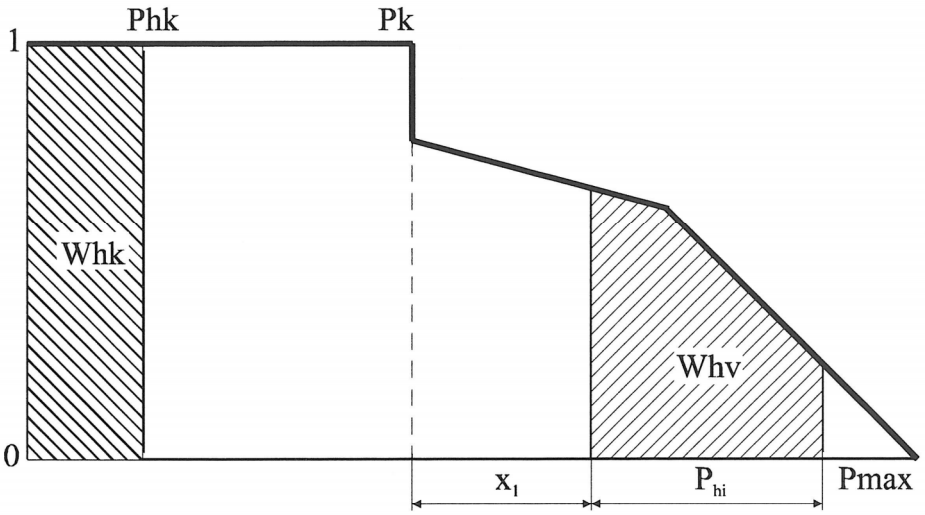
U analizu zadovoljenja potrošnje električne energije starta se s mogućom proizvodnjom hidroelektrana (W_{hm}) , a rezultat proračuna je iskoristiva proizvodnja hidroelektrana (W_{hi}). Između tih dviju proizvodnja vrijedi nejednadžba: $W_{hm} \geq W_{hi}$, a razlika proizvodnje, ako postoji, jesu preljevi.

Angažiranje hidroelektrana izvodi se po kriteriju maksimalnog iskorištenja snage i energije iz hidroelektrana. Praktično, to znači da se za hidroelektrane traži takav položaj u krivulji trajanja opterećenja u kojem će ona, po mogućnosti u potpunosti iskoristiti raspoloživu snagu i energiju. Traženje najpovoljnijeg položaja hidroelektrana odnosi se na varijabilni dio moguće proizvodnje hidroelektrana, jer je položaj hidroelektrana u konstantnom dijelu sam po sebi jednoznačno određen (slika 81). Problem raspodjele opterećenja u varijabilnom dijelu opisan je sljedećim izrazom:

$$W_{hv} = T \int_{P_1}^{P_1+P_{hvi1}} E(P)\,\mathrm{d}P \tag{48}$$

gdje je P_1 – opterećenje u varijabilnom dijelu kojim je određen položaj hidroelektrana, P_{hvi} – iskoristiva snaga hidroelektrana koja je u najpovoljnijem slučaju jednaka maksimalno mogućoj snazi u varijabilnom dijelu, $E(P)$ – funkcija vjerojatnosti pojave opterećenja, a

T – trajanje osnovne vremenske jedinice. Ako je krivulja trajanja opterećenja razlomljena funkcija (tri pravca) rješenje se traži pretraživanjem najpovoljnijeg položaja hidroelektrana.



Slika 81. Položaj hidroelektrana u krivulji trajanja opterećenja

$$W_{hk} + W_{hv} = W_{hi} \leq W_{hm} \tag{49}$$

$$P_{hk} + P_{hv} = P_{h\max i} \leq P_{h\max} \tag{50}$$

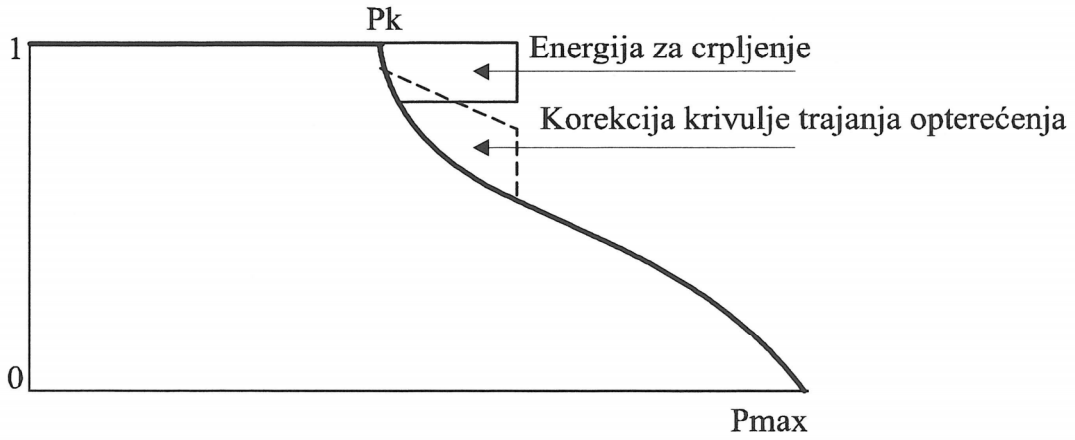
$$\Delta P_h = P_{h\max} - P_{h\max i} \tag{51}$$

Prethodno su navedene osnove bilanciranja hidroelektrana za jednu vremensku jedinicu. Ukupni proračun temelji se na višegodišnjem hidrološkom razdoblju i ponavlja se za svaku vremensku jedinicu i svaki hidrološki slučaj.

5.6.6 Crpno–akumulacijska postrojenja

Rad crpno–akumulacijskih postrojenja određuje se prema potrebama sustava po kriterijima minimuma troškova u elektroenergetskom sustavu, tako da se povećanje proizvodnje zbog crpljenja kompenzira povećanjem proizvodnje termoelektrana s nižim specifičnim troškovima na teret termoelektrana s višim specifičnim troškovima. U cilju da se objektivizira tretman crpno-akumulacijskih postrojenja, promatra se rad crpaka u vremenu i s opterećenjem koja proizlaze iz njihovih karakteristika, odnosno karakteristika elektroenergetskog sustava (slika 82).

U slučaju kad postoji dotok u gornji akumulacijski bazen, rad crpno-akumulacijskih postrojenja se optimira kao dopuna vlastitom dotoku.



Slika 82. Korekcija krivulje trajanja opterećenja za crpni rad crpno-akumulacijskog postrojenja

5.6.7 Termoelektrane i nuklearne elektrane

Potrebna proizvodnja termoelektrana određuje se po kriteriju minimuma troškova, a uz uvažavanje očekivane raspoloživosti svakog agregata. Proračun potrebne proizvodnje termoelektrana temelji se na sljedećim principima:

- redoslijed angažiranja termoelektrana određuje se prema specifičnim troškovima za gorivo,
- vjerojatnost neplaniranih ispada je jednaka u bilo kojem trenutku osnovne vremenske jedinice i nezavisna je o veličini opterećenja ili ispada nekog drugog agregata.

Za proračun proizvodnje termoelektrana i nuklearnih elektrana rabi se metoda kumulanata, kod koje je iskorištena generalna sličnost oblika krivulje trajanja opterećenja i kumulativne funkcije normalne distribucije. Krivulja trajanja opterećenja opisuje se Gram-Charlierovim redom:

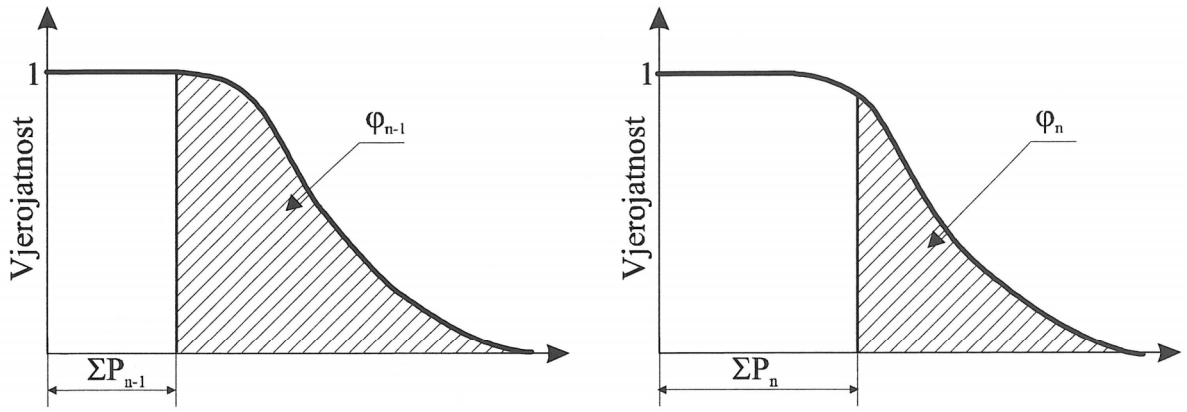
$$E(z) = \int_{z}^{\omega} \sum \delta_i \cdot \phi_i(z)\,\mathrm{d}z \tag{52}$$

gdje je z – standardna varijabla, δ_i- koeficijenti reda sastavljeni od kumulanata, a ϕ_i- funkcija normalne distribucije i njene derivacije. Energija ispod krivulje trajanja opterećenja dobije se kao integral funkcije $E(z)$

$$\varphi_n = \sigma \cdot T \int_{z}^{\omega} \int_{z}^{\omega} \delta_i \cdot \phi_i(z)\,\mathrm{d}z \tag{53}$$

U izrazu su σ- standardna devijacija, a T - trajanje vremenske jedinice.

Proizvodnja bilo koje termoelektrane određuje se kao razlika energije ispod krivulje trajanja opterećenja (slika 83.) prije (φ_{n-1}) i poslije (φ_n) angažiranja promatrane elektrane.



Slika 83. Proračun proizvodnje termoelektrana

$$W_n = \varphi_{n-1} - \varphi_n \tag{54}$$

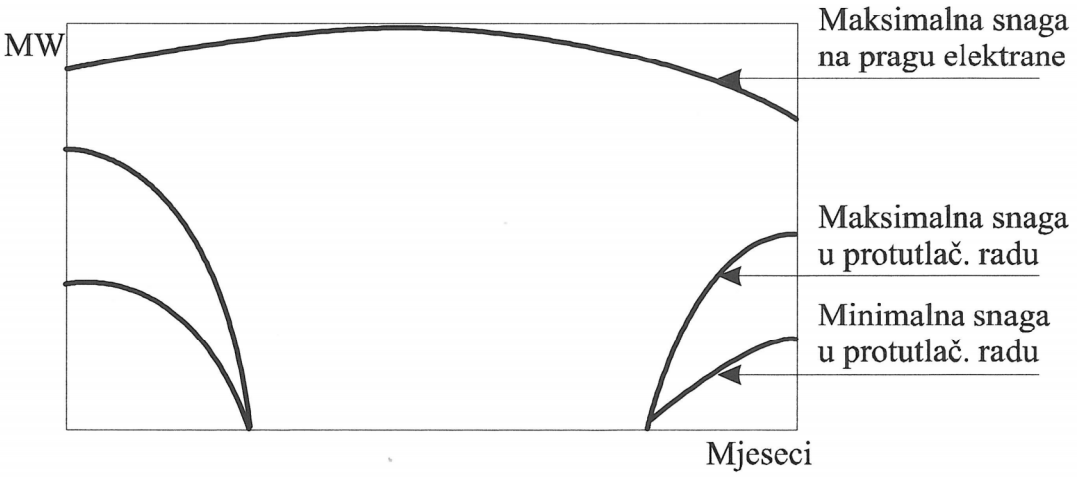
Energija φ_n umanjena je u odnosu na energiju φ_{n-1} za moguću proizvodnju elektrane n i uvećana za neostvarenu proizvodnju elektrane n zbog njezine neraspoloživosti. Pri proračunu proizvodnje termoelektrana uzima se ograničenje u proizvodnji s obzirom na tehnički minimum elektrana. Razvijenim postupkom uzimaju se u proračun razlike u tretmanu tehničkog minimuma za elektrane koje u potpunosti mogu zadovoljiti predviđenu potrošnju za slučaj stopostotne raspoloživosti elektrana i one čije angažiranje dolazi u obzir u slučaju ispada jedne ili više elektrana.

Rješenjem u metodi omogućeno je bilanciranje elektrana koje, osim ograničenja na maksimalnu snagu i tehničkih minimuma, imaju i ograničenje na moguću proizvodnju, različitu tijekom godine. Njihov položaj u krivulji trajanja opterećenja određuje se iterativnim putem, traženjem položaja u kojem će biti usklađene mogućnosti elektrane i potrebe u potrošnji električne energije. Ograničenja u snazi i energiji, kao što je navedeno mogu biti različita u svakoj vremenskoj jedinici.

5.6.8 Termoelektrane–toplane

Zbog svojih specifičnosti u proizvodnji električne energije kod termoelektrana-toplana pojavljuje se veći broj ograničenja nego kod klasičnih termoelektrana. Zato su termoelektrane-toplane u svakoj vremenskoj jedinici predstavljene sa četiri dodatna parametra:

- maksimalna snaga na pragu elektrane pri maksimalnom oduzimanju topline,
- maksimalna snaga kod protutlačnog rada elektrane,
- minimalna snaga kod protutlačnog rada elektrane,
- ukupna protutlačna proizvodnja elektrane.



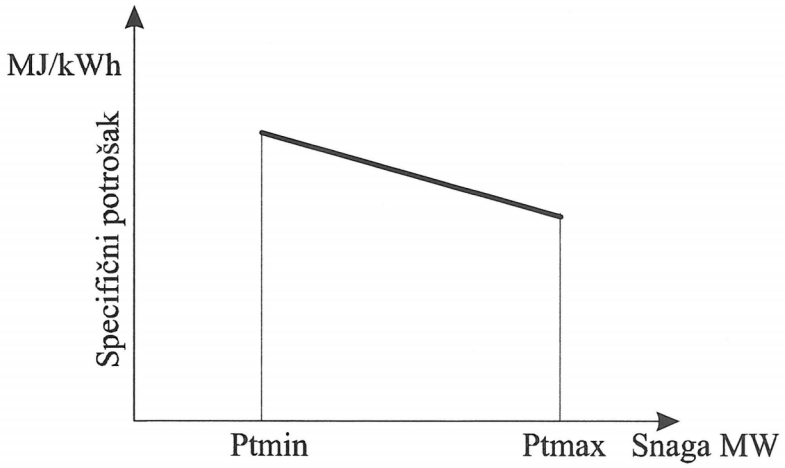
Slika 84.Sezonske oscilacije snage kod termoelektrana-toplana

Navedeni podaci (slika 84.) odgovaraju očekivanim potrebama za toplinom i ne promatraju se moguće oscilacije zbog temparature, jer se ne promatraju ni kod potrošnje električne energije.

Zbog ograničene proizvodnje u protutlačnom radu, položaj termoelektrane-toplane u krivulji trajanja opterećenja određuje se iterativnim putem, slično kao i kod termoelektrana s ograničenom proizvodnjom.

5.6.9 Troškovi proizvodnje termoenergetskih postrojenja

Pod troškovima proizvodnje podrazumijevaju se troškovi za gorivo u termoelektranama. Specifični potrošak elektrana promatra se u funkciji angažirane snage. Uzet je najjednostavniji oblik funkcije – pravac (slika 85).

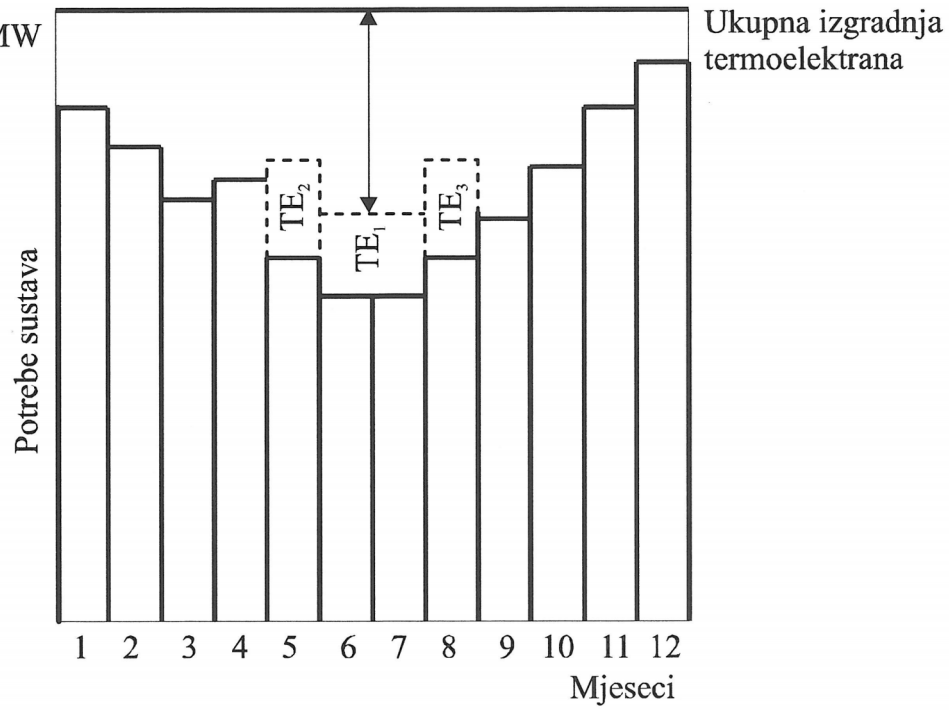


Slika 85. Specifični potrošak u ovisnosti o angažiranoj snazi

5.6.10 Remont termoelektrana

Remont se određuje prema reprezentativnoj hidrologiji, i kao takav se uzima u obzir za sve hidrološke prilike koje se u bilanci promatraju. Reprezentativna hidrologija se računa kao i kod određivanja sigurnosti zadovoljenja potrošnje pa se, umjesto optimizacijskog postupka, može računati s pojednostavljenim kriterijem za remont.

Kriterij povoljnosti remonta termoelektrana je ujednačenje rezerve u sustavu u svim razdobljima godine, što znači da se najveći remont planira u razdoblju najmanjih potreba sustava, a najmanji u razdoblju najvećih potreba sustava (slika 86).



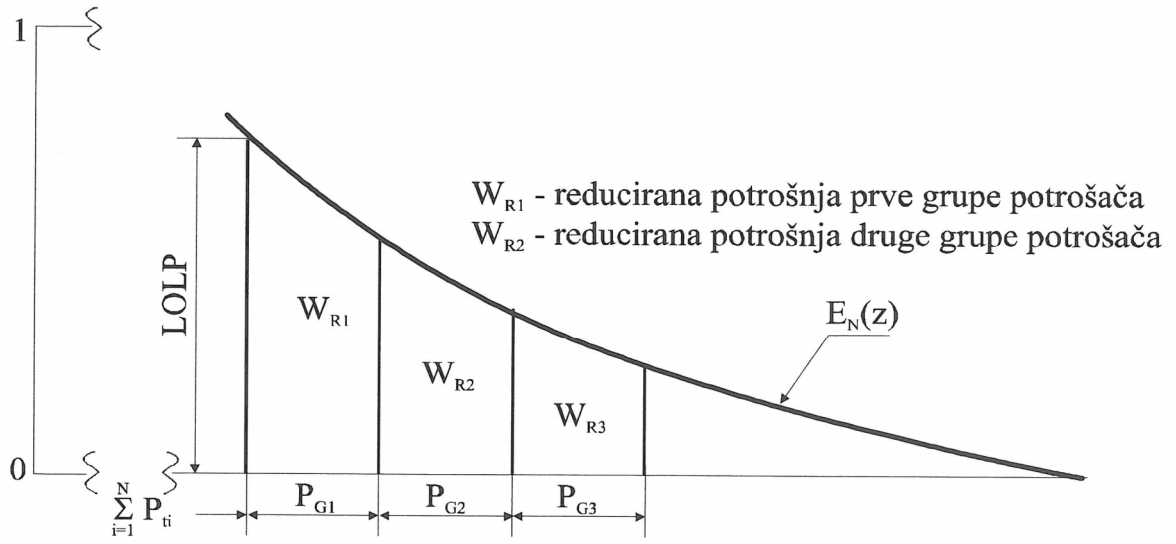
Slika 86. Sezonske oscilacije potreba sustava u reprezentativnoj godini i raspored remonta

5.6.11 Nezadovoljena potrošnja

Nezadovoljena potrošnja određuje se kao integral po krivulji $E_N(z)$ (slika 87.) nakon angažiranja posljednje elektrane u granicama Z_N i ω, što odgovara ukupnoj snazi termoelektrana $\sum_{i=1}^{N} P_{ti}$ umanjenoj za rezervu iz termoelektrana R_T.

$$W_R = T \cdot \sigma_N \int_{\sum_{i=1}^{N} P_{t_i} - R_t}^{\omega} E_N(z)\,\mathrm{d}z\,.$$

Iz zbroja snaga isključene su termoelektrane koje su u promatranoj vremenskoj jedinici u remontu. Nezadovoljena potrošnja je posljedica nedostatka snage u sustavu pa se primjenjuje selektivni način reduciranja potrošnje po grupama potrošača prema slici. Prioritet u reduciranju imaju potrošači s najmanjim specifičnim štetama, jer se njima uskraćuje najveći dio energije pa su time i ukupne štete najmanje.



Slika 87. Reducirana energija po grupama potrošača

5.6.12 Sigurnost opskrbe potrošača

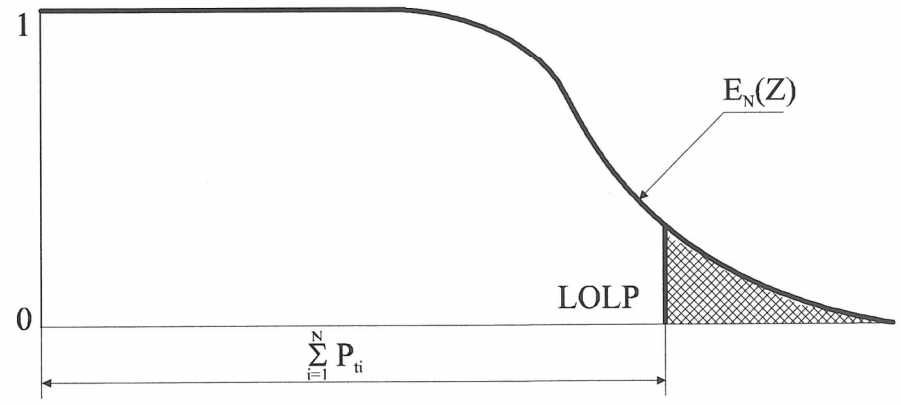
Čimbenici koji utječu na razinu potrebne izgradnje proizvodnih postrojenja mogu se podijeliti u tri grupe :

- neizvjesnost proizvodnje hidroelektrana po količini i dinamici,
- neraspoloživost proizvodnih postrojenja,
- zalihe sustava, povezanost s ostalim sustavima i mogućnost prilagođavanja rada velikih potrošača potrebama sustava.

Moguća proizvodnja hidroelektrana računa se iz hidrološkog niza podataka posebno za svaku osnovnu jedinicu, a godišnja proizvodnja se određuje kao suma mjesečnih proizvodnja. Kod dimenzioniranja izgradnje sustava, problem neizvjesnosti se obuhvaća preko reprezentativne proizvodnje hidroelektrana, koja ima odabranu vjerojatnost pojave, a određuje se za svaku osnovnu vremensku jedinicu posebno. Reprezentativna hidrologija računa se iz krivulje trajanja moguće proizvodnje hidroelektrana koja se može aproksimirati Gram-Charlierovim redom (slika 88). Izborom reprezentativne hidrologije određuje se dimenzija utjecaja hidrologije na potrebnu izgradnju sustava.

Kao mjera neraspoloživosti termoelektrana, odnosno utjecaja neraspoloživosti termoelektrana na potrebnu izgradnju sustava, uvodi se termin LOLP (Loss-of-Load Probabillity) koji znači vjerojatnost da će u sustavu za zadovoljenje potrošnje nedostajati snage.

LOLP je vrijednost funkcije $E_N\,(z)$ nakon angažiranja posljednje (N-te) elektrane kod snaga $\sum_{i=1}^{N} P_{ti}$.



Slika 88. Vjerojatnost nezadovoljenja snage

Potrebna izgrađenost proizvodnih postrojenja smatra se postignutom ako je, za reprezentativnu hidrologiju, ostvarena unaprijed zadana prosječna godišnja vrijednost LOLP-a.

5.6.13 Ekonomski odnosi

Metoda se temelji na traženju minimuma funkcije cilja koja je sastavljena od različitih vrsta troškova koji se pojavljuju izgradnjom i korištenjem elektroenergetskog sustava: troškova izgradnje (investicija), stalnih i promjenjivih troškova i troškova zbog neisporučene energije (štete zbog redukcija). U funkciju cilja ulazi i preostala vrijednost postrojenja, ako je razdoblje u kojem promatramo rad postrojenja kraće od životnog vijeka toga postrojenja.

Izbor najpovoljnijeg plana razvoja elektroenergetskog sustava načinjen je na temelju vrednovanja planova razvoja koji se međusobno razlikuju prema broju i strukturi novih postrojenja. Taj način je egzaktniji, ali u primjeni složeniji, jer znatno povećava broj mogućih kombinacija. Zbog toga je predloženo kombinirano rješenje, koje se sastoji od dva koraka: predselekcije na temelju pojedinačnog vrednovanja elektrana i izbora planova razvoja na temelju vrednovanja planova za cijelo razdoblje. Mogući planovi razvoja simuliraju se uz uvažavanje rezultata predselekcije. Na to se nadovezuje problem uključivanja ograničenja koja proizlaze iz realnog vremena i prostora, što znatno smanjuje broj kombinacija, a sam metodološki pristup rješavanja problema kroz simulaciju u interaktivnom radu planer-računalo u potpunosti rješava taj problem.

5.6.14 Funkcija cilja

Funkcija cilja je funkcija troškova koja se sastoji od troškova izgradnje C', stalnih troškova C'_g, troškova proizvodnje C'', troškova neisporučene energije potrošačima C''' i preostale vrijednosti postrojenja C'_p:

$$\phi = C' + C'_g + C'' + C''' - C'_p \tag{55}$$

Funkcija cilja se sastoji od troškova koji se pojavljuju u različitim razdobljima pa se svode na zajedničku razinu metodom sadašnje vrijednosti ili metodom aktualizacije. Aktualizacija označava nalaženje sadašnje vrijednosti budućih koristi i troškova po određenoj kalkulativnoj diskontnoj stopi (stopi aktualizacije). Promjena budućih troškova cijena uzeta je preko stope inflacije i to tako da stopa inflacije predstavlja prosječni godišnji rast cijena.

Investicijski troškovi se računaju preko sume korigiranih godišnjih iznosa. Korigirani godišnji iznos, odnosno eskalirana vrijednost bilo kojeg dijela investicije, angažiranog u

nekoj godini u budućnosti može se odrediti iz izraza:

$$\Delta C'_e = C' \cdot d_m \left(1 + i_e\right)^{(N_t - n_c + m - 1) - N_{oe}} \tag{56}$$

gdje je C' – ukupni iznos investicija u godini N_{oe}, d_m je postotak godišnjih ulaganja u godini m, i_e godišnja stopa inflacije, N_t je godina ulaska u pogon, $n_c$je broj godina gradnje objekta, m je redni broj godine u kojoj se ulaže promatrani dio investicije. Ukupni troškovi izgradnje povećavaju se za troškove kapitala, odnosno za interkalarnu kamatu. Ona se ukamaćuje prema dinamici angažiranja sredstava metodom polugodišnjeg obračuna kamata:

$$C'_k = C' \sum_{m=1}^{n_c} d_m \left(1 + i_e\right)^{(N_t - n_c + m - 1) - N_{oe}} \cdot \left[\left(1 + i_{ik/2}\right)^{2 \cdot (n_c - m + 1) - 1} - 1\right] \tag{57}$$

gdje je i_{ik} – stopa interkalarne kamate. Sredstva koja se ulažu treba aktualizirati na godinu u kojoj se zaključuje investicija, odnosno na godinu početka pogona:

$$C'_{ea} = C' \sum_{m=1}^{n_c} d_m \left(1 + i_e\right)^{(N_t - n_c + m - 1) - N_{oe}} \cdot \left(1 + i_a\right)^{(n_c - m + i)} \tag{58}$$

gdje je i_a stopa aktualizacije .

Aktualizirana vrijednost investicija na referentnu godinu dobije se tako da se aktualizira iznos investicija koji je aktualiziran na godinu početka pogona i uvećan za obračunatu interkalarnu kamatu:

$$C'_{eak} = \left(C'_{ea} + C'_k\right) \cdot \left(1 + i_a\right)^{N_o - N_t} \tag{59}$$

gdje je N_o referentna godina za aktualizaciju.

Proračun eskalacije cijena za stalne troškove provodi se isto kao i kod investicijskih troškova, u odnosu na referentnu godinu. Ta godina je u pravilu za sve proračune ista, jer se nastoji da se svi elementi proračuna svedu na istu godinu. Izraz za proračun eskalirane i aktualizirane vrijednosti stalnih troškova, koji se temelji na principu da se stalni troškovi obračunavaju na kraju godine, glasi:

$$C'_{gea} = r_g \cdot C' \left(1 + i_a\right)^{(N_o - N_t) - 1} \cdot \left(1 + i_e\right)^{(N_t - N_{oe}) + 1} \tag{60}$$

gdje r_g – relativna vrijednost stalnih troškova u odnosu na investiciju C'.

Promjenjivi troškovi ovise o ostvarenoj proizvodnji elektrana i oni su u stvari troškovi za gorivo u termoelektranama i nuklearnim elektranama. Kako se angažiranjem novih elektrana prilike u sustavu mijenjaju u proračun je potrebno uzeti troškove postojećih i novih elektrana. Obračun troškova također se izvodi na kraju godine pa se za eskalaciju koriste slični izrazi:

$$C''_{ea} = C'' \left(1 + i_a\right)^{(N_o - N_t) - 1} \cdot \left(1 + i_e\right)^{(N_t - N_{oe}) + 1} \tag{61}$$

Štete zbog redukcije su uključene u funkciju cilja iz razloga vrednovanja sigurnosti, a kako su to po karakteru troškova promjenjivi troškovi, primjenjivat će se isti izrazi kao i kod promjenjivih troškova:

$$C'''_{ea} = C''' \left(1 + i_a\right)^{(N_o - N_t) - 1} \cdot \left(1 + i_e\right)^{(N_t - N_{oe}) + 1} \tag{62}$$

Preostala vrijednost elektrane predstavlja ostatak vrijednosti elektrane nakon posljednje godine promatranog razdoblja. Najčešće se uzima linearno otpisivanje vrijednosti, tako da elektrana nakon isteka životnog vijeka ima vrijednost nula i računa se prema izrazu:

$$C'_{\mathrm{p}} = \left(1 - \frac{L_p}{L_e}\right) C' \tag{63}$$

gdje je L_e životni vijek elektrane, L_p broj godina pogona elektrane unutar planskog razdoblja. Ako se radi o elektrani kod koje se razlikuje životna dob pojedine komponente postrojenja, objektivnije je preostalu vrijednost izračunati za svaku komponentu postrojenja pa je:

$$C'_{\mathrm{p}} = \left(1 - \frac{L_p}{L_{E_g}}\right) \cdot P_{\mathrm{g}} \cdot C' + \left(1 - \frac{L_p}{L_{E_o}}\right) \cdot P_o \cdot C' \tag{64}$$

gdje je L_{E_g} životna dob građevinskog dijela elektrane, L_{E_o} životna dob opreme, P_{g} udio građevinskog dijela u ukupnoj investiciji, P_o udio opreme u ukupnoj investiciji. Ako se uzme u obzir inflacija i troškovi kapitala, preostala vrijednost može se izračunati po izrazu:

$$C'_{\mathrm{pe}} = \left(1 - \frac{L_p}{L_E}\right)(C'_{ea} + C'_k) \ . \tag{65}$$

Ako se pretpostavi da će se inflacijski tokovi nastaviti i nakon ulaska u pogon elektrane, potrebno je provesti revalorizaciju ostatka vrijednosti i ponovo je aktualizirati, jer se funkcija cilja sastoji od aktualiziranih troškova:

$$C'_{\mathrm{pea}} = \left(1 - \frac{L_p}{L_E}\right)(C'_{\mathrm{ea}} + C'_{\mathrm{k}})\,(1 + i_e)^{L_p} \cdot (1 + i_a)^{N_o - (N_t - L_p)} \tag{66}$$

5.6.15 Predselekcija elektrana

Predselekcija elektrana se radi zbog međusobne usporedbe elektrana i određivanja prioriteta u izgradnji. Usporedba se izvodi na temelju energetsko-ekonomske vrijednosti elektrana koja predstavlja ekonomskim mjerilima valoriziran energetski doprinos svake promatrane elektrane u elektroenergetskom sustavu. Proračun energetsko-ekonomske vrijednosti uključuje objektiviziranje energetskog doprinosa promatrane elektrane nadomještanjem s ekvivalentnom elektranom koja je u potpunosti zamjenjuje i usporedbu funkcija troškova s promatranom elektranom ΦPE ili s ekvivalentnom elektranom ΦEE. Funkcije troškova su:

$$\Phi PE = C'PE + C'_{\mathrm{g}}PE + C''PE + C'''PE - C'_{\mathrm{p}}PE \ , \tag{67}$$

$$\Phi EE = C'EE + C'_{\mathrm{g}}EE + C''EE + C'''EE - C'_{\mathrm{p}}EE \ . \tag{68}$$

Odnosno, ako se promatraju razlike troškova za gorivo i redukcija, koje nastaju kao posljedica angažiranja elektrane u sustavu, korigirane funkcije troškova glase:

$$\Phi^K PE = C'PE + C'_{\mathrm{g}}PE - C'_{\mathrm{p}}PE \ , \tag{69}$$

$$\Phi^K EE = C'EE + C'_{\mathrm{g}}EE + \Delta C'' + \Delta C''' - C'_{\mathrm{p}}EE \ . \tag{70}$$

Omjerom korigirane funkcije troškova ekvivalentne i promatrane elektrane dobije se relativna energetsko-ekonomska vrijednost elektrane:

$$e_r = \frac{\Phi^K EE}{\Phi^K PE} \ . \tag{71}$$

Prema njezinoj vrijednosti ocjenjuje se povoljnost izgradnje promatrane elektrane u elektroenergetskom sustavu, i može se formirati lista prioriteta elektrana za gradnju. Kako se prilike u elektroenergetskom sustavu mijenjaju gradnjom novih elektrana treba proračunom

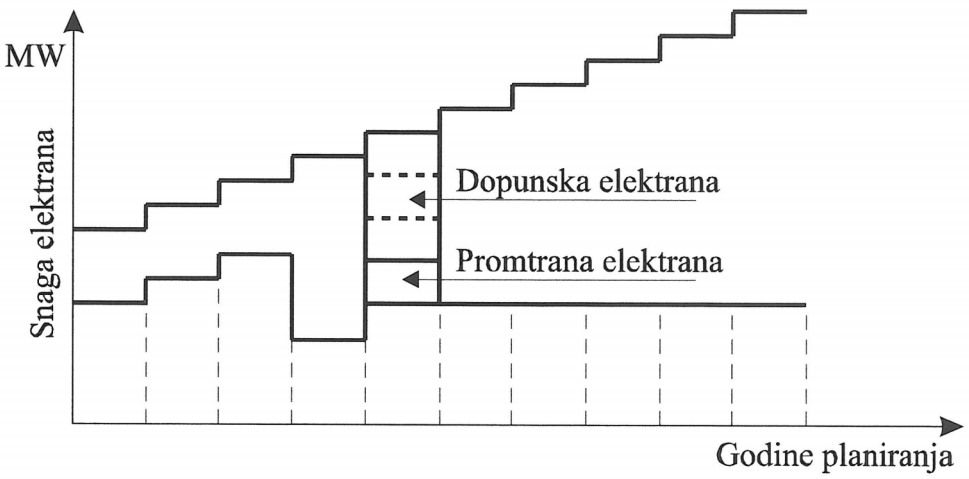
obuhvatiti i te promjene. Te promjene ne mogu se obuhvatiti izravnim postupkom, jer je struktura elektrana konačni cilj proračuna pa se rješenje traži proračunom u dva koraka. Prvo se određuje energetsko-ekonomska vrijednost u karakterističnoj godini iz razdoblja planiranja (slika 89a i slika 89b).

Rezultati tog proračuna omogućuju izradu približnog scenarija razvoja sustava. U drugom koraku određuje se energetsko-ekonomska vrijednost elektrana kroz cijelo razdoblje planiranja gdje se struktura elektrana pretpostavlja prema rezultatima prvog koraka proračuna (slika 90).

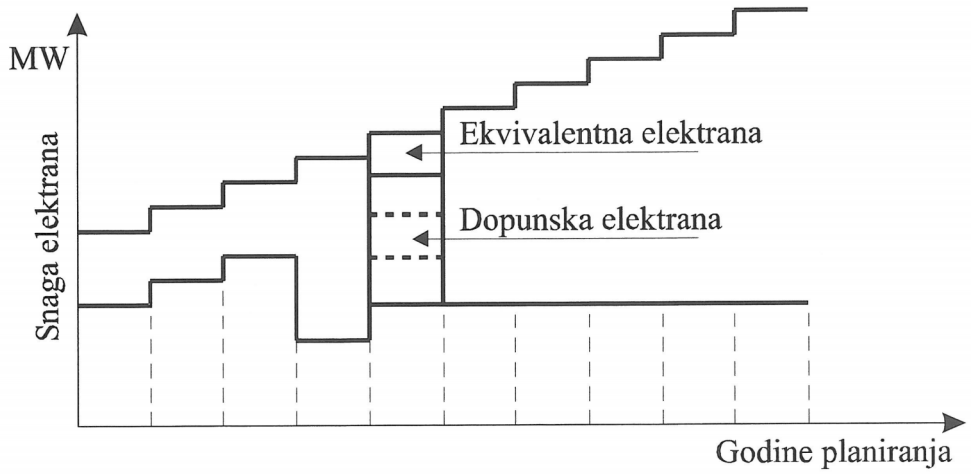
Razlike koje se pojavljuju u energetskom doprinosu u svakoj od godina planiranja obuhvaćaju se proračunom u obliku sume ukupnih aktualiziranih troškova. Opći izraz za takav pristup određivanju energetsko-ekonomske vrijednosti:

$$\Phi^K EE = \sum_{L=1}^{L_p} \left(\Delta C'_e EE + \Delta C'_{ge} EE + \Delta C''_e EE + \Delta C'''_e EE - \Delta C'_{pe} EE \right) \qquad (72)$$

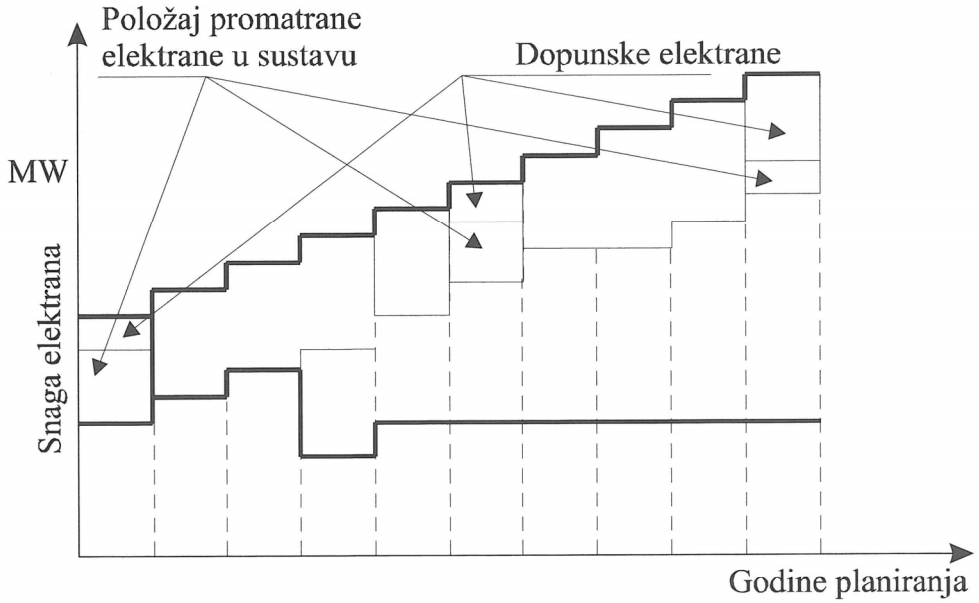
gdje su: $\Delta C'_e$, $\Delta C'_{ge}$, $\Delta C''_e$, $\Delta C'''_e$ i $\Delta C'_{pe}$ prirasti troškova za svaku godinu iz razdoblja planiranja L_p. Iz ovako određene funkcije troškova i relacije (71) određuje se ponovo prioritet u izgradnji elektrana i njihov energetski doprinos.



Slika 89a. Proračun polazne energetsko-ekonomske vrijednosti elektrane



Slika89b. Proračun polazne energetsko-ekonomske vrijednosti



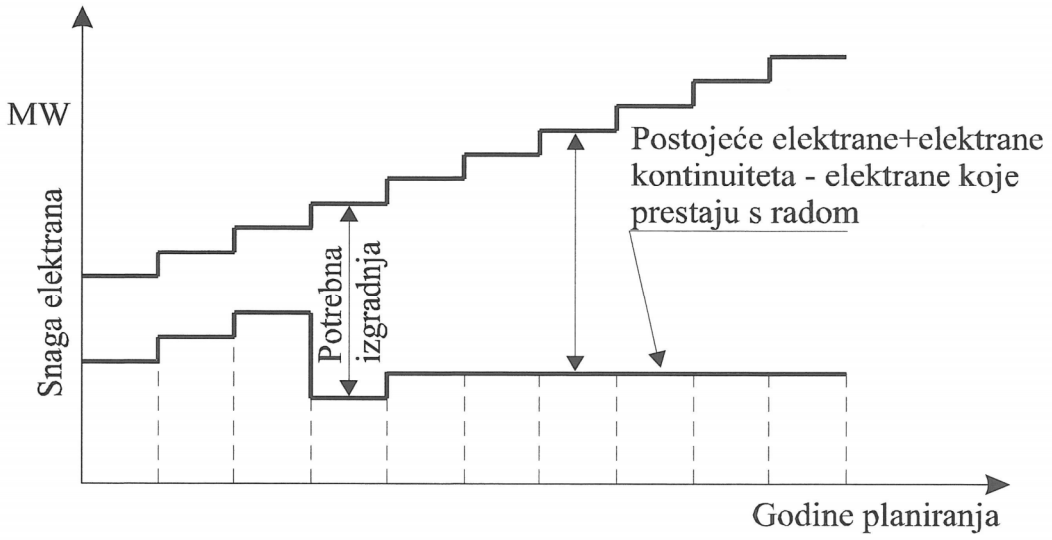
Slika 90. Postupak proračuna osnovne energetsko-ekonomske vrijednosti elektrana

5.6.16 Energetsko – tehnička ograničenja

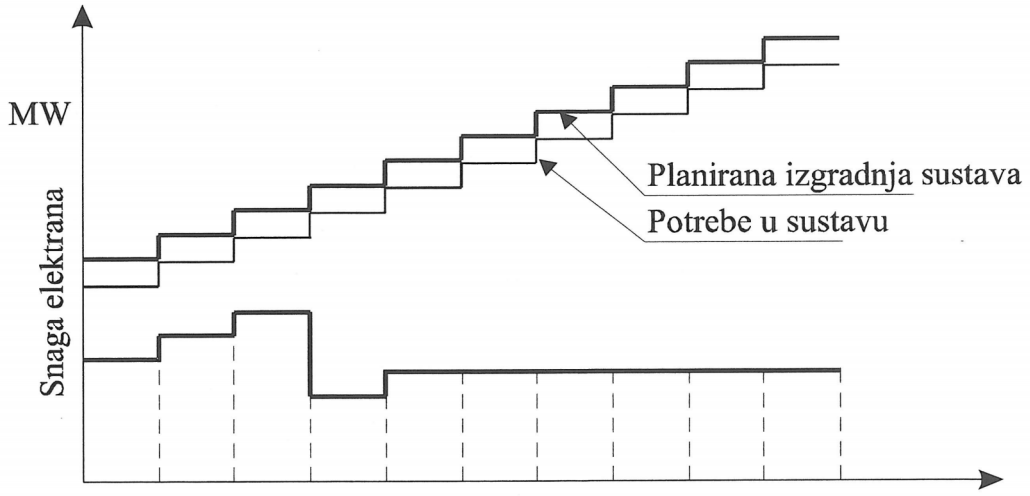
Uz ograničenja zbog relativne energetsko ekonomske vrijednosti pri optimiranju redoslijeda izgradnje javljaju se i druga tehnička ograničenja kao i veličina jedinice, nedovoljna pripremljenost dokumentacije, problemi oko osiguranja goriva, otvaranje rudnika itd. Zbog toga se za svaku elektranu određuje prva godina kada ona može ući u pogon, ograničenje broja elektrana istog tipa i ograničenje s obzirom na vremenski pomak između ulaska u pogon dviju elektrana vezanih u gradnji.

5.6.17 Simulacija

Simulacijom je potrebno od svih mogućih kombinacija elektrana-kandidata za izbor odrediti konačnu optimalnu strukturu i broj elektrana koje je potrebno izgraditi u svakoj godini iz razdoblja planiranja uz zadovoljenje zadane sigurnosti opskrbe potrošača. Prije određivanja potrebnih elektrana treba simulacijom prilika odrediti potrebnu snagu novih elektrana u svim godinama iz razdoblja planiranja (slika 91). Snaga ekvivalentne elektrane koja energetski zamjenjuje svaku od promatranih elektrana kandidata određena je kod proračuna energetsko-ekonomske vrijednosti pa se ovdje može uporabiti kao orijentacijska vrijednost kod popunjavanja liste elektrana. Prvih n elektrana po energetsko-ekonomskoj vrijednosti, a koje zadovoljavaju sva ograničenja, čini tako osnovnu listu elektrana u toj godini. Za svaku godinu iz razdoblja planiranja ponovo se provodi simulacija prilika s tim odabranim elektranama da bi se utvrdilo zadovoljavaju li one zadanu sigurnost opskrbe potrošača, a troškovi izgradnje i pogona sustava se računaju za cijelo razdoblje planiranja. Tako se dolazi do osnovne liste elektrana i osnovnih troškova izgradnje (slika92).



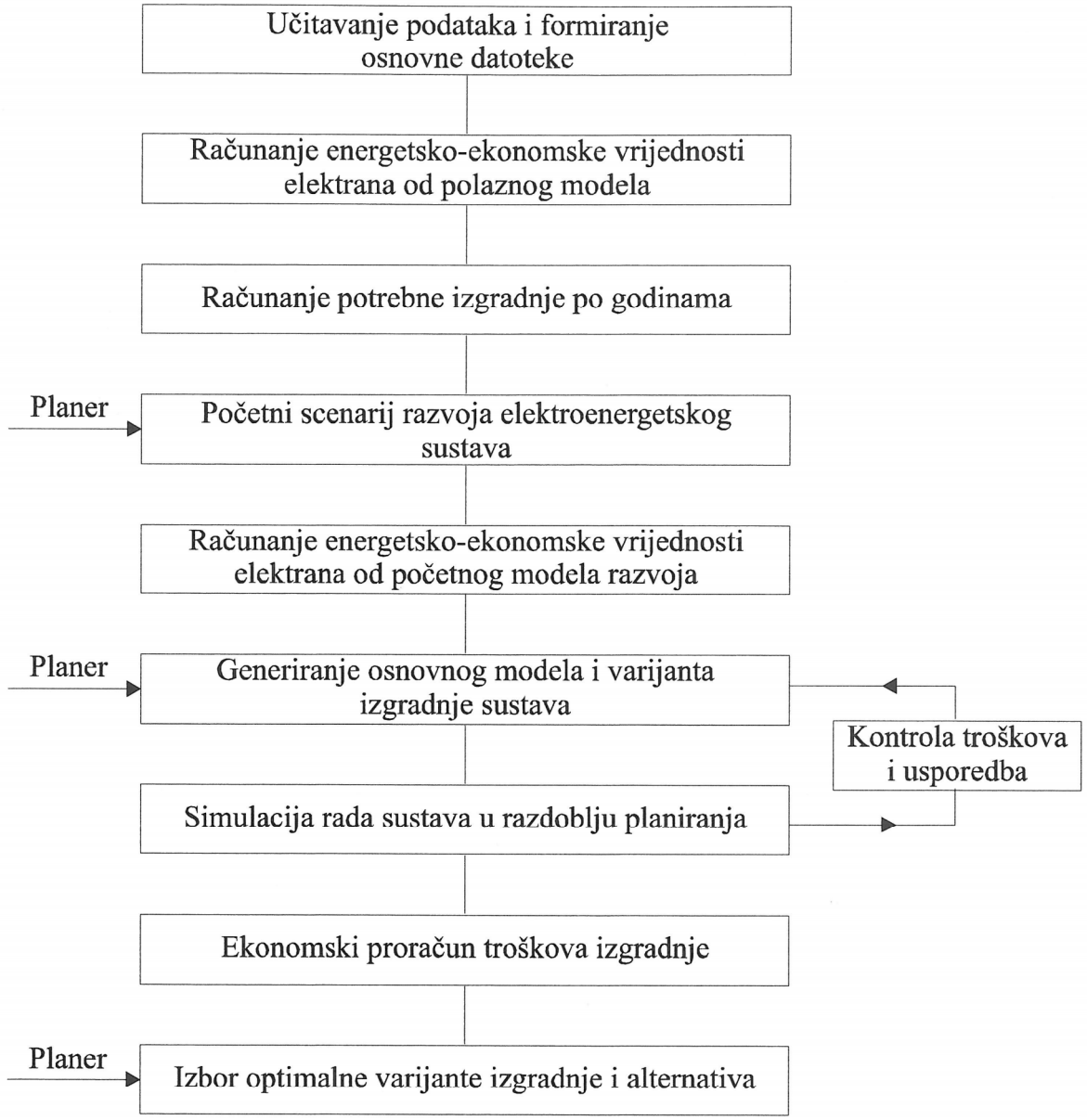
Slika 91. Polazni model i potrebna izgradnja elektroenergetskog sustava



Slika 92. Varijanta planirane izgradnje elektrana u sustavu

Sljedeći korak proračuna je optimiranje u interaktivnom radu. U tom dijelu planer promatra rezultate prethodnih proračuna i generira nove kombinacije. Nakon svake promjene redoslijeda izgradnje računaju se novi troškovi u sustavu u cijelom razdoblju planiranja. Planer vodi postupak planiranja tako da pokušava osigurati željeni raspored izgradnje i ujednačavanje razine sigurnosti uz istodobno smanjenje ukupnih troškova u sustavu.

Sve se kombinacije na kraju mogu analizirati, jer su vođene po istim kriterijima tako da se može odabrati ona najpovoljnija uz možda nekoliko alternativa. Naravno, mogu se obaviti i analize osjetljivosti rezultata na neke ulazne podatke, jer kod tako opsežnog planiranja s puno ulaznih podataka uvijek postoji razina pogreške koju je nemoguće izbjeći.



Slika 93. Shematski prikaz postupaka i proračuna pri planiranju izgradnje elektroenergetskog sustava

U ovom poglavlju kratko su opisane osnove metode za simulaciju planova razvoja elektroenergetskog sustava, odnosno razvoja proizvodnih postrojenja. Promjenama i poboljšanjima obuhvaćena su oba aspekta važna za planiranje: elektroenergetska bilanca ili simulacija rada elektroenergetskog sustava te ekonomska valorizacija planova razvoja. U elektroenergetskoj bilanci je kroz izbor reprezentativne hidrologije odgovarajuće vjerojatnosti riješen problem neizvjesnosti ostvarenja moguće proizvodnje hidroelektrana, a kroz uključivanje u proračun vjerojatnosti neplaniranih ispada elektrana i problem raspoloživosti termoenergetskih postrojenja. Kod potrošnje omogućeno je da se oblik krivulje trajanja opterećenja razlikuje u svakoj vremenskoj jedinici (mjesecu) u svim godinama planiranja te tako obuhvati sve specifičnosti sezonskih oscilacija potrošnje električne energije.

Promjenama u tretmanu obuhvaćena su sva proizvodna postrojenja: - hidroelektrane s određivanjem najpovoljnijeg položaja u krivulji trajanja opterećenja koji omogućava maksimalno iskorištenje snage i energije i kontrolu iskoristive snage u svakom trenutku, crpno akumulacijska postrojenja kroz različite varijante izvedbe postrojenja i korekciju krivulje trajanja opterećenja zbog crpljenja koja najbolje odgovaraju stvarnim prilikama u sustavu, termoenergetska postrojenja s uvažavanjem vlastite raspoloživosti za određivanje potrebne proizvodnje i utjecaja raspoloživosti na proizvodnju ostalih elektrana, termoelektrane koje imaju ograničenje u proizvodnji, termoelektrane–toplane s uvažavanjem protutlačnog rada, tretman tehničkog minimuma termoenergetskih postrojenja.

Kod svih promjena nastojalo se što realnije aproksimirati odnose u raspodjeli opterećenja.

Ekonomska valorizacija troškova koji se javljaju u različitim vremenskim razdobljima računa se svođenjem svih troškova na zajedničku razinu metodom sadašnje vrijednosti, odnosno metodom aktualizacije. Na taj način moguće je uspoređivati doprinose neke elektrane, grupe elektrana ili cjelokupnih planova razvoja s drugim elektranama, grupama elektrana ili drugim planovima razvoja. Sama metoda za simulaciju planova razvoja koja u sebi na više mjesta sadrži elektroenergetsku bilancu i ekonomsku valorizaciju zasniva se na postupku kontroliranog optimiranja pod izravnom kontrolom planera.

Proračun se obavlja u dva osnovna koraka: predselekcija i simulacija. Predselekcijom se određuje energetsko-ekonomska vrijednost i ekvivalentna snaga elektrana kandidata u cijelom razdoblju planiranja. Tim proračunom dobiva se okvirni prioritet među elektranama po kojem one popunjavaju manjkove snage u pojedinim godinama. Složeni proračun i točnost predselekcije omogućuje jednostavniju i precizniju simulaciju planova razvoja. Simulacija planova razvoja sadrži, uz simulaciju rada sustava s odabranim elektranama, i ekonomsku valorizaciju cjelokupnih planova razvoja, pa tako omogućuje objektivnu usporedbu svih kombinacija i izbor optimalne izgradnje.

Prema matematičkom modelu napisan je program za elektroničko računalo. Program automatizira velik broj operacija, što olakšava rad i skraćuje cijeli tijek proračuna, a ujedno omogućuje interaktivan rad planer-računalo i tako unosi novu kvalitetu u postupak planiranja.

6

Planiranje korištenja elektroenergetskog sustava

6.1 Temeljne postavke pri iskorištavanju elektroenergetskog sustava

Planiranje u elektroenergetskom sustavu sastoji se od dviju posebnih aktivnosti: planiranja razvoja i planiranja korištenja. Navedena planiranja obuhvaćaju vremensko razdoblje od više godina do jednog sata, a gdje prestaje jedno planiranje (planiranje razvoja) započinje drugo (planiranje korištenja). Cilj i jednog i drugog planiranja je:

- proizvodnja električne energije uz minimum troškova;
- sigurna i kvalitetna isporuka električne energije.

Neispunjavanje bilo kojeg spomenutog faktora (sigurnosti, kvalitete, minimuma troškova) ide na štetu potrošača.

Elektroenergetski sustav je dio energetskog sustava, te se stoga ne može planirati ni razvoj, niti korištenje elektroenergetskog sustava bez kompleksnog razmatranja energetske potrošnje i njenog zadovoljenja. Opskrba potrošača je cilj i svrha postojanja cjelokupnog energetskog sustava (proizvodnje, pretvorba i prijenosa energije). Gledajući s aspekta konačnog potrošača, kojemu je cilj da ima sigurnu i kvalitetnu opskrbu energijom uz minimum troškova, optimum se može postići samo dugoročnom energetskom politikom. Dugoročna energetska politika uz sigurnu i kvalitetnu opskrbu potrošača (uz minimum troškova) pojedinim vrstama energije mora voditi računa o razvoju novih tehnologija, zatim o mogućnostima zamjene jednih oblika energije drugima, te uvođenjem novih oblika energije (primjerice energije Sunca, vjetra, geotermalne energije), koji su danas nedovoljno poznati ili neekonomični, itd.

Osim energetsko-ekonomskih kriterija i ograničenja kod traženja najpovoljnijih rješenja zadovoljenja energetske potrošnje mora se u isto vrijeme voditi računa i o mnogim drugim čimbenicima koji mogu biti ograničenja u traženju najpovoljnijih rješenja. Ti čimbenici mogu proizaći iz: političkog života, zakonskih normativa, ekonomske snage društva, realnih mogućnosti usvajanja nove tehnologije, međunarodne situacije, zaštite okoliša, itd. Oni sadrže u sebi elemente prostora i vremena u kojima i na kojim "živi" elektroenergetski sustav i kao takvi se moraju zadovoljiti.

Tehnološki proces u elektroenergetskom sustavu započinje proizvodnjom prirodnih oblika energije (ugljen, nafta, plin, nuklearno gorivo i voda), nastavlja se proizvodnjom električne energije i završava prijenosom i razdiobom električne energije do konačnih potrošača. Kao četvrta sastavnica (prateća sastavnica svih faza tehnološkog procesa) javlja se organizacija rada s administracijom koja koordinira sve faze i povezuje ih u cjelinu. Bez dobre organizacije rada nemoguće je zadovoljiti osnovne ciljeve rada elektroenergetskog sustava.

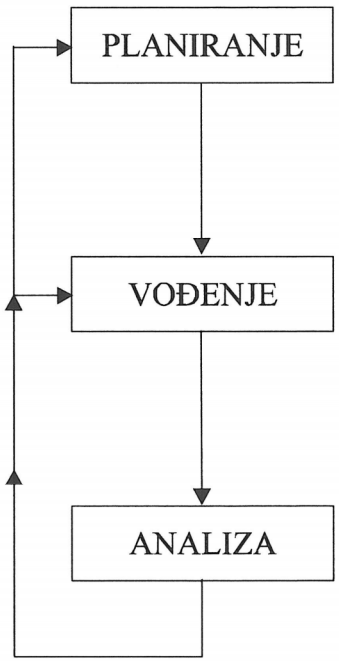
6.2 Zadaci kod korištenja elektroenergetskog sustava

Korištenje elektroenergetskog sustava, vremenski gledano, obuhvaća razdoblje od više godina u budućnosti, do trenutnog vođenja elektroenergetskog sustava te analize ranijeg pogona. Vezano na to mogu se zadaci kod korištenja elektroenergetskog sustava podijeliti u tri skupine:

- planiranje,
- vođenje,
- analiza ranijeg rada elektroenergetskog sustava,

koje zajednički čine jednu cjelinu, a gdje je redoslijed izvršavanja povezan s tehnologijom rada sustava.

Svaki navedeni zadatak jednako je vrijedan za dobar rad elektroenergetskog sustava. Sva tri zadatka čine jedan zatvoreni ciklus (slika 94.), jer se na temelju razrađenih planova vodi sustav, a rezultati analize ranijeg pogona koriste se kao jedan od elemenata planiranja idućeg razdoblja. Svakako da je temelj za rješenje tih zadataka prikupljanje i razmjena informacija, njihov prikaz i izdavanje u pogodnom obliku te arhiviranje uz odgovarajuću statističku obradu pa se zbog toga tom problemu mora posvetiti odgovarajuća pozornost.

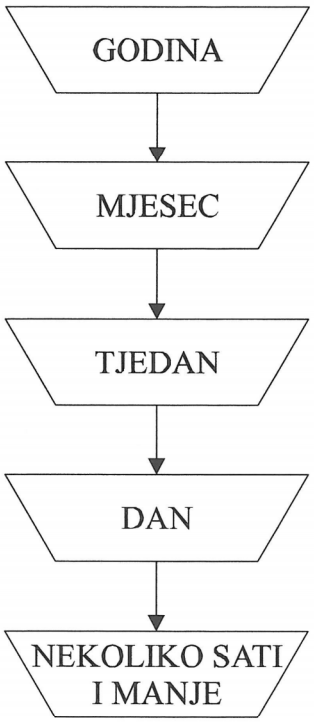


Slika 94. Zadaci kod korištenja elektroenergetskog sustava

6.3 Planiranje korištenja elektroenergetskog sustava

Aktivnosti koje se provode pri planiranju korištenja elektroenergetskog sustava i odluke koja se tada donose u funkcijskoj su vezi sa slijedom vremenskih intervala tijekom planiranja. Ukupno razdoblje planiranja obuhvaća razdoblje od više godina do jednog sata. Gotovo svugdje je prihvaćena podjela razdoblja planiranja na manje vremenske intervale, koji su povezani sa životnim ciklusom i značajkama zadataka, kao pojedinim etapama planiranja (sl. 95). Prema vremenskom slijedu etape su:

- godina,
- mjesec,
- tjedan,
- dan.

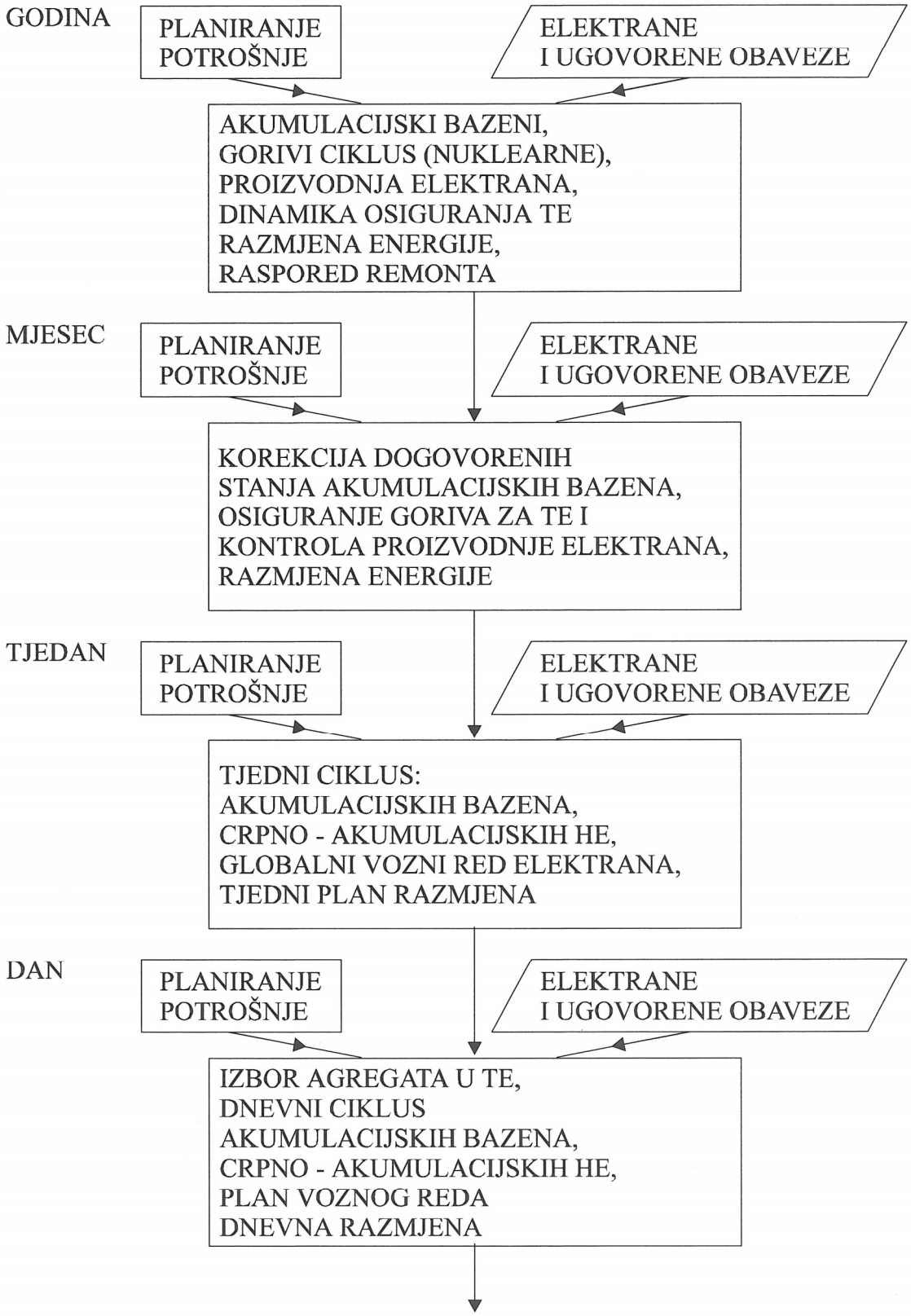


Slika 95. Vremenski slijed karakterističnih vremenskih intervala u razdoblju planiranja

Najduži interval planiranja odnosi se na obogaćivanje nuklearnog goriva i njegovo skladištenje, a najkraći interval planiranja na raspodjelu opterećenja za naredni dan. Između tih dvaju ekstremnih vremenskih intervala planiraju se ostale aktivnosti i donose odgovarajuće odluke. Zadaci planiranja uglavnom obuhvaćaju:

- predviđanje potrošnje,
- planiranje poželjnih stanja akumulacijskih bazena,
- planiranje proizvodnje i razmjene,
- planiranje rasporeda remonta i njege postrojenja,
- planiranje rotirajuće zalihe,
- planiranje gorivnog ciklusa i osiguranja goriva.

Navedeni zadaci se ne obavljaju u svim etapama, već prema karakteru problema i zahtjevima tehnologije rada elektroenergetskog sustava. Neke se aktivnosti planiraju na duže razdoblje, a neke traže permanentnu kontrolu i preispitivanje postavljenih planova (slika 96).



Slika 96. Zadaci u pojedinim etapama planiranja

6.3.1 Godišnja planiranja

Osnovna vremenska jedinica kod planiranja korištenja elektroenergetskog sustava je godina. Za nastupajuću godinu treba razraditi globalni plan efekata rada elektroenergetskog sustava. Polazi se od predviđanja potrošnje i procjene mogućnosti proizvodnje postrojenja koja će tijekom promatrane godine biti na raspolaganju, kao i od ugovorne obveze ostalih elektroenergetskih sustava prema promatranom sustavu.

Naravno, ako postoje obveze promatranog sustava prema drugim sustavima mora se i to uzeti u obzir bilo kao povećanje predviđene potrošnje ili smanjenje raspoloživosti kapaciteta za vlastiti sustav. Efekti jednog i drugog načina uvažavanja preuzetih ugovornih obveza su isti. Kod određivanja moguće proizvodnje postrojenja mora se računati s utjecajem neraspoloživosti postrojenja kako bi se došlo do što realnije vrijednosti moguće proizvodnje. To se u prvom redu odnosi na termoelektrane koje su kao složenija postrojenja podložnija kvarovima. Sastavni dio godišnjeg plana je plan punjenja i pražnjenja akumulacijskih bazena. U elektroenergetskom sustavu problem može biti posebno izražen kad glavninu proizvodnje hidroelektrane ostvaruju akumulacijske hidroelektrane. Punjenjem i pražnjenjem akumulacijskih bazena utječe se na vremenski raspored proizvodnje hidroelektrana i zatvaranje bilanca u manjim vremenskim intervalima, raspored remonta u elektranama kao i na sigurnost rada cjelokupnog sustava, pa je zbog toga tom problemu potrebno posvetiti posebnu pažnju. Godišnji plan mora također sadržavati i plan remonta i održavanja svih postrojenja kako bi se briga o postrojenjima što bolje organizirala i izvela u što kraćem vremenu. Slabo organizirano i izvedeno održavanje utječe na pogonsku raspoloživost postojenja, a isto tako i na sigurnost opskrbe potrošača električnom energijom.

Određivanjem potrebne proizvodnje svih postrojenja, određuje se i količina prirodnih oblika energije i dinamike po manjim vremenskim intervalima. Ti podaci su potrebni za zatvaranje planova onih proizvođača prirodnih oblika energije koji osiguravaju pojedine prirodne oblike energije. Kod svih prirodnih oblika energije nisu isti problem osiguranja količine i dinamike, pa analogno tome nisu isti ni putevi rješavanja tih problema. Razlika je posljedica vrste goriva, načina proizvodnje i nabave. Nuklearno gorivo, zbog obogaćivanja i smještaja, zahtijeva dugoročnije planiranje nego primjerice ugljen. Isto tako, razlika je u tome je li prirodni oblik energije proizveden u zemlji ili uvezen. Količina prirodnog oblika energije može se pojaviti kao faktor ograničenja, što ima za posljedicu smanjenje proizvodnje postrojenja koja troše taj oblik energije kao pogonsko gorivo. Slično kao kod akumulacijskih bazena treba također planirati dinamiku obnavljanja zaliha goriva sa ciljem da ni u jednom trenutku ne dođe u pitanje rad elektrana zbog nedostatka goriva. To se posebno odnosi na elektrane koje za pogon imaju gorivo koje se uvozi, gdje se osiguranje goriva ne smije prepustiti stihiji ili trenutnim situacijama na svjetskom tržištu.

Nakon bilance elektroenergetskog sustava i uz uvažavanja svih ograničenja u energetskim potrebama dolazi se do procjene ekonomskih efekata rada elektroenergetskog sustava. Upotrijebljen je naziv procjena stoga što efekti rada u glavnoj mjeri ovise o udjelu proizvodnje hidroelektrana u ukupnoj proizvodnji svih elektrana, a njihova proizvodnja je neizvjesna. Ne postoji mogućnost predviđanja proizvodnje hidroelektrana u smislu hoće li naredna godina biti bogata ili siromašna oborinama, odnosno da li će proizvodnja biti velika ili mala. Ne samo količinu, nego i godišnji raspored vode teško je predvidjeti, a što također može imati znatan utjecaj na ekonomske pokazatelje rada elektroenergetskog sustava. Uobičajeno je da se proizvodnja hidroelektrana računa kao prosjek ostvarenja proizvodnje za višegodišnje hidrološko razdoblje, te stvarna proizvodnja može biti samo slučajno jednaka tako izraču-

natom prosjeku. Bez obzira na to, prosječna proizvodnja hidroelektrana najbolji je pokazatelj mogućnosti hidroelektrana i s tom se vrijednošću najčešće ulazi u proračun bilance sustava.

Globalna godišnja bilanca ne bi bila kompletna ako se ne bi razmotrila i neka varijanta rješenja koja bi obuhvatila određene nesigurnosti u ostvarenjima proizvodnje nekih tipova elektrana. U prvom redu to se odnosi na proizvodnju hidroelektrana i termoelektrana za koje je teško osigurati gorivo. Rečeno je da je proizvodnja hidroelektrana neizvjesna i da se ne može predvidjeti i drukčije ostvarenje proizvodnje od planirane mijenja plan proizvodnje ostalih postrojenja. Te promjene imaju pozitivne efekte ako je ostvarena proizvodnja veća od planirane. Međutim, situacija je sasvim obrnuta ako je proizvodnja manja od planirane. Ne samo da su ekonomski efekti rada elektroenergetskog sustava slabiji (cijena proizvedenog kWh iz hidroelektrana znatno je manja od proizvedenog kWh iz termoelektrana), već se može dovesti u pitanje sigurna opskrba potrošača. Slično je i s termoelektranama gdje postoje problemi u opskrbi gorivom, a prema tome i njihova smanjena mogućnost proizvodnje može utjecati na sigurnost opskrbe potrošača i ekonomski efekt rada cijelog elektroenergetskog sustava.

6.3.2 Mjesečna planiranja

Sljedeća vremenska jedinica u postupku planiranja je mjesec. Aktivnosti koje se provede svaki mjesec, odnosno zadaci koji se moraju obuhvatiti, isti su kao kod godišnjeg planiranja. Međutim, odluke koje se donose imaju drukčiju težinu, a to proizlazi iz razlike trajanja vremenskog razdoblja. Dok se godišnjim planom zacrtava globalna bilanca elektroenergetskog sustava, mjesečnim planom se postavljaju čvršći operativni planovi. Osim te aktivnosti, u svakom mjesecu provodi se analiza ostvarenja godišnjeg plana, i obavlja se potrebna korekcija za preostalo razdoblje godine.

Godišnjim planom određena je dinamika ostvarenja pojedinih elemenata plana, ali na temelju saznanja i pretpostavki u trenutku izrade plana. Godina je dugačko razdoblje i u sebi krije veliki broj nepoznanica koje se moraju imati u vidu u svakom momentu. Iz tog razloga nameće se potreba da plan bude tako fleksibilan da ga se može tijekom godine mijenjati i približavati trenutnim situacijama u elektroenergetskom sustavu. Mjesec je najprikladnija vremenska jedinica u kojoj je potrebno izvršiti analizu realnosti plana za prošlo razdoblje, izvršiti korekcije za naredno razdoblje i činiti operativni plan za mjesec koji slijedi.

Prvi element analize je potrošnja električne energije. Godišnjom potrošnjom, odnosno sezonskim oscilacijama potrošnje, predviđena je potrošnja za promatrani mjesec. Na temelju ostvarenja u prošlom razdoblju može se zaključiti je li potrebno provesti korekcije, kako za promatrani mjesec tako i za preostali dio godine.

Sljedeći zadatak, nakon utvrđivanja potrošnje je analiza zadovoljenja potrošnje s trenutnim potencijalnim mogućnostima raspoloživog dijela postrojenja elektroenergetskog sustava. Značajniji kvar na jednom ili više postrojenja, a isto tako i problemi s opskrbom pojedinih prirodnih oblika energije uvjetuju promjenu plana. Dužina trajanja nepredviđenih okolnosti upućuje na to treba li promjene izvesti samo za tekući mjesec ili i za duže razdoblje.

Akumulacijski bazeni imaju posebni tretman u mjesečnim analizama. Godišnja dinamika punjenja i pražnjenja akumulacijskih bazena određuje se na temelju potreba i procjene dotoka za svako karakteristično razdoblje godine. Ostvareni dotoci mogu se znatno razlikovati od tako određenih protoka, pa se prema tome i zacrtana poželjna stanja akumulacijskih bazena razlikuju od onih koja se u eksploataciji ostvare. Budući da plan ne predstavlja samo formalno zadovoljavanje zakonskih formi, nego i politiku zadovoljenja planiranih potreba električne

energije, treba pratiti promjene koje se događaju te obavljati korekciju plana kontinuirano i pravovremeno.

Mjesec je pogodna vremenska jedinica za određivanje potreba za prirodnim oblicima energije. Stalno praćenje opskrbe i obnavljanje pričuva u skladišnim prostorima osigurava sigurnu opskrbu potrošača, a isto tako otvara mogućnosti i pravovremenog reagiranja u slučaju bilo kakvih poremećaja. To je posebno potrebno stoga što se gorivo osigurava preko posrednika pa ga je potrebno na vrijeme upoznati sa svim promjenama u dinamici potrošnje, kako bi on na vrijeme mogao reagirati.

U mjesečnom planu treba konačno utvrditi plan održavanja i njege postrojenja ili dijelova postrojenja elektroenergetskog sustava. Ako se zbog nepredviđenih okolnosti odstupa od termina održavanja i remonta iz godišnjeg plana, u tom slučaju nije dovoljno samo izvršiti promjenu za naredni mjesec, već je nužno sagledati i kompletnu situaciju za duže vremensko razdoblje, a po mogućnosti do kraja tekuće godine. Dobro održavanje traži organizirani pristup, a njega je moguće osigurati samo onda ako se na vrijeme razradi plan rada.

6.3.3 Tjedna planiranja

Ako su godina i mjesec vremensko razdoblje planiranja, s ciljem određivanja politike rada elektroenergetskog sustava, tjedan ima sasvim drugu namjenu, a koja proizlazi iz kratkoće trajanja i životnog ciklusa koji se u njemu odvija. U tjednu se stvaraju konkretni i operativni planovi, koji će u najsitnijim detaljima predvidjeti rad sustava. Osim toga, tjedan omogućava zbog svoje kratkoće, predviđanje nekih utjecajnih faktora (vremenskih prilika, dotoka, itd.), a što nije bilo moguće kod mjeseca, odnosno godine.

Za tjedan nije dovoljno samo predvidjeti potrošnju ili korekciju predviđanja u odnosu na godišnji i mjesečni plan, već je potrebno razraditi i dijagram opterećenja za svaki dan tjedna, kako bi se mogle ispitati mogućnosti zadovoljenja potrošnje sa svim obilježjima. Kako potrošnja ovisi o mnogim utjecajnim čimbenicima, poželjno je da se svi ti čimbenici koji se mogu kvantificirati uzmu u obzir, čime bi se mogućnost pogreške predviđanja svela na što manju mjeru i izbjegao faktor velikih iznenađenja u osiguranju potreba električne energije.

Plan zadovoljenja potrošnje može se, zbog detaljno razrađenih dijagrama potrošnje za sve dane u tjednu, izračunati kronološki za svaki sat u tjednu. Kako se kod izrade globalnog voznog reda za tjedan mora u svakom trenutku znati s kojim se postrojenjima raspolaže, tjednim planom moraju se obuhvatiti svi zahvati na elektroenergetskim postrojenjima, bilo zbog otklanjanja kvarova, održavanja ili njege. Tjedni plan mora uzeti u obzir i ugovorne obveze s točnim vremenskim rasporedom i tehničkim značajkama kako je ugovoreno. Isto tako se dogovorno ugovorne obveze mogu korigirati, ili na kratko vrijeme potpuno suspendirati, ako to odgovara partnerima, budući da tjednim planiranjem svaki partner može na vrijeme odrediti svoje potrebe i mogućnosti.

Detaljna informacija o potrebama i mogućnostima zadovoljenja otkriva kritične točke u opskrbi potrošača, a ujedno i omogućava pravovremeno reagiranje u cilju pronalaženja rješenja za njihovo otklanjanje.

I na kraju, tjedni plan zadovoljenja potreba, osim uvažavanja energetskih, tehničkih i drugih ograničenja, mora zadovoljiti kriterij minimuma troškova. Bez obzira što će tijekom eksploatacije doći do odstupanja od postavljenog plana, kod pripreme postrojenja za zadovoljenje potrošnje u pojedinim vremenskim intervalima mora se voditi računa da predviđena postrojenja mogu ispuniti taj bitni kriterij.

6.3.4 Dnevna planiranja

Odluke koje se donose na pojedine etape planiranja (godina, mjesec, tjedan i dan) u funkcijskoj su vezi s trajanjem etape. Dan je najkraća etapa planiranja pa su i odluke najodređenije. Osim toga, kratkoća razdoblja planiranja omogućava točnija predviđanja utjecajnih čimbenika što je od velikog značenja za kvalitetu postavljenih planova.

Tjednim planiranjem predviđena je potrošnja za svaki dan iz tjedna, ali na temelju informacija o utjecajnim čimbenicima s kojima se u tom trenutku raspolagalo. U međuvremenu moglo je doći do nekih promjena (primjerice naglo zahlađenje ili zatopljenje) koje je potrebno uvažiti, i provesti novo predviđanje potrošnje električne energije.

Slično tome, kod postrojenja, listu postrojenja sposobnih za pogon treba korigirati, tj. uskladiti s trenutačnim stanjem. Nastale promjene u predviđanju potrošnje, a isto tako i u pogonskoj spremnosti postrojenja ili dijelova postrojenja uvjetuju ponavljanje proračuna i izradu novog voznog reda elektrana. Tu promjenu, također, mogu izazvati i ograničenja u radu postrojenja koja se moraju uvažiti, a što ima za posljedicu da se proizvodnja nekih postrojenja određuje mimo kriterija minimuma troškova u elektroenergetskom sustavu. Primjerice, takva situacija može se pojaviti kod akumulacijskih hidroelektrana kada hidroelektrana u cilju zaštite akumulacije i okoliša mora raditi onako kako zahtijeva trenutačno stanje.

6.4 Vođenje elektroenergetskog sustava

Vođenje sustava je drugi zadatak iz aktivnosti korištenja elektroenergetskog sustava, ako se te dvije aktivnosti može zasebno promatrati. Ondje gdje prestaje planiranje, započinje vođenje sustava. Vremenski gledano, posljednja etapa u planiranju je dan, pa se sve ostale aktivnosti nakon izrade voznog reda za sljedeći dan, sve do izravnih upravljačkih operacija, mogu ubrojiti u aktivnosti vođenja sustava.

Zadaci operativnog vođenja elektroenergetskog sustava obuhvaćaju:
- nadzor,
- upravljanje,
- optimizaciju korištenja.

Glavnina se aktivnosti u operativnom vođenju sustava vodi "on line".

Pod nadzorom su:
- tokovi snaga i energija,
- opterećenja (granične vrijednosti, gradijenti, nadzor maksimuma),
- naponske i frekvencijske prilike,
- rotirajuća rezerva,
- provedba izdatih komandi,
- sigurnosti pogona mreže (simuliranja kvarova, provjera kratkih spojeva, provjera napona),
- ispravnosti funkcioniranja uređaja za daljinski prijenos informacija i
- nadzor hidroloških veličina.

Upravlja (daljinska komanda) se:
- uklopnim stanjem,
- regulacijskim sklopkama,
- kompenzacijskim uređajima i aparatima,
- komandama start-stop automatskih uređaja,
- položajem postavljača zadanih vrijednosti,

- programskim ukapčanjima,
- iskapčanjima u nuždi (odbacivanje tereta, razdvajanje mreže i sl.).

Provodi se regulacija frekvencija snage razmjene (s korekcijom ili bez nje po odstupanju od ugovorene razmjene energije).

Trenutačno optimiranje provodi se za:

- tokove radnih snaga,
- angažiranje izvora (uključujući ili ne uključujući ekonomičnu raspodjelu regulacijskih zahtjeva sustava regulacije frekvencije i snage razmjene),
- razmjenu (ekonomičnost dodatnog uvoza ili izvoza),
- tokove jalovih snaga (regulacija napona, generatori, kompenzatori, regulacijski transformatori).

Osim navedenoga, može se provoditi optimizacija grupe izvora.

6.5 Analiza ranijeg rada elektroenergetskog sustava

Teško je bilo kojem od zadataka korištenja elektroenergetskog sustava (planiranju, vođenju ili analizi ranijeg pogona) dati prednost u odnosu na ostale, jer zanemarenje bilo koje aktivnosti umanjuje kvalitetu rezultata u drugim aktivnostima. Aktivnosti koje se mogu ubrojiti u praćenje i analizu ranijeg pogona obuhvaćaju:

- potrošnju i proizvodnju,
- korištenje akumulacijskih bazena,
- smetnje i kvarove,
- troškove rada,
- opterećenja pojedinih elemenata elektroenergetskog sustava,
- raspoloživost postrojenja i elemenata elektroenergetskog sustava,
- sigurnost opskrbe potrošača,
- pričuve goriva itd.

Dio aktivnosti koji po vremenskom slijedu događaja pripada praćenju i analizi ranijeg pogona ujedno je i pogonska statistika. Informacije koje u svakom trenutku pristižu u dispečerski centar, a koje su potrebne za normalni rad sustava, pohranjuju se u datoteke koje organiziraju programi za vođenje sustava. Programskim rješenjima (što je zadatak proizvođača opreme i softwarea) predviđeno je tiskanje informacije o bitnim pogonskim veličinama u određenim vremenskim intervalima. Broj informacija koje su potrebne za vođenje elektroenergetskog sustava po opsegu je mnogo veći od broja informacija koje je potrebno arhivirati za potrebe analize i planiranje pa ih je iz tog razloga potrebno reducirati. Osim prikupljanja informacija, zadatak pogonske statistike je obrada, prikaz i izdavanje informacija.

7

Zagađenje okoliša uvjetovano izgradnjom i radom postrojenja

7.1 Uvod

Električna energija se proizvodi korištenjem fosilnih ili nuklearnih goriva, hidropotencijala i novih obnovljivih izvora, pri čemu svaka od tih opcija izaziva utjecaje na okoliš, koji postaju sve ozbiljniji, pa često i presudni kriterij za njihov izbor. Kako su ti utjecaji različiti po prirodi, nemoguće ih je pritom izravno uspoređivati, već prema njihovim posljedicama koje svaki od tih utjecaja izaziva u okolišu. Utjecaji su pojedinih tehnologija za proizvodnju električne energije (hidroelektrana, termoelektrana i nuklearnih elektrana) brojni i, premda su dugo u upotrebi, još su nedovoljno izučeni; bolje su poznate količine zagađivača nego njihovi utjecaji zbog objektivne nemogućnosti da se uspoređuju efekti na okoliš čija se osjetljivost na te utjecaje mijenja. To sve otežava usporedbu jedne tehnologije s alternativnim tehnologijama, tim više što se kod jedne utjecaji posebnog značaja javljaju u normalnom pogonu (termoelektrane), a kod druge u uvjetima udesa (hidroelektrane, nuklearne elektrane).

Možda je interesantno pripomenuti da se za proizvodnju 1 kWh električne energije utroši u termoelektrani više od 1,5 kg lignita slabije kvalitete (približno 7 MJ/kg) pri čemu je potrebno osigurati približno 3 l vode (u slučaju primjene rashladnih tornjeva) ili 100 do 300 litara vode ako se radi o protočnom hlađenju. Za proizvodnju 1 kWh u nuklearnoj elektrani treba potrošiti 4.5 mg uranoksida i nešto više rashladne vode u slučaju protočnog hlađenja (150 do 400 l), dok za istu proizvodnju u hidroelektrani, s neto padom od 100 m, treba imati 1,2 l/sek, odnosno treba ukupno potrošiti 4300 litara vode.

Ako se ima u vidu osiguranje potrebne potrošnje električne energije, jasno je kolike ozbiljne zahvate treba poduzeti u okolišu da se proizvede potrebna količina električne energije (koliko ugljena treba iskopati, koliko vode u akumulacijama skupiti, koliko prostora za te potrebe izuzeti iz poljoprivrednog zemljišta) i kako drastičnim opterećenjima treba izložiti taj okoliš od popratnih produkata tehnoloških procesa proizvodnje električne energije korištenjem pojedinih izvora, kao i kakvim posljedicama tih opterećenja su izloženi čovjek, biljni i životinjski svijet, te materijalna i kulturno-povijesna dobra koja je stvorio čovjek.

7.2 Utjecaj izgradnje i rada hidroelektrana na okoliš

Kod izgradnje i rada hidroelektrana uobičajeno je da se zanemaruje utjecaj na okoliš, iako u stvarnosti uopće nije zanemariv. Izgradnjom hidroelektrana obično se naglašavaju samo pozitivni utjecaji na okoliš (proizvodnja energije, zaštita od poplava, vodoopskrba, turizam

itd), a zanemaruju se negativni utjecaji (mijenjanje režima voda, mijenjanje podzemnih voda, utjecaj na klimu itd.) koje je inače teško ekonomski valorizirati.

Vodni tokovi i rijeke u velikoj većini zemalja svijeta smatraju se narodnim (javnim) dobrom, pa je njihovo korištenje (pa i za proizvodnju električne energije) pod nadzorom vlada dotičnih zemalja. Zbog različitih parcijalnih interesa kod korištenja hidropotencijala, može se dogoditi da je korištenje hidropotencijala za proizvodnju električne energije prihvatljivo za jedan dio društva (energetiku) a neprihvatljivo za drugi dio društva (vodoprivredu, poljoprivredu, promet).

Izgradnja hidroelektrana na ekonomskom planu omogućava razvoj industrije, ribarstva, plovidbe, rekreacije i turizma, zatim doprinosi općem razvoju područja što se odražava i na promjenu životnog standarda, urbanizaciju naselja, razvoj infrastrukturnih objekata u zoni utjecaja akumulacije, mogućnosti zapošljavanja i promjene zanimanja stanovništva.

Jedan od nanepovoljnijih efekata izgradnje većih hidroelektrana je i potapanje velikog zemljišta, samim tim preseljenje većeg broja stanovnika, te velike naknade i štete.

Prostor koji zauzima akumulacija hidroelektrane (šume, pašnjaci, obradivo zemljište, infrastrukturni i drugi objekti) ostaje trajno zauzet, bez mogućnosti vraćanja prvobitnoj namjeni. Isto tako, mogu trajno biti izgubljeni i neki kulturno-povijesni spomenici, koje nije, današnjim znanjem i tehnologijama, moguće prenijeti.

Pored zauzimanja velikih površina zemlje, izgradnjom hidroelektrana mijenja se hidrodinamički tlak na obalama akumulacije u funkciji vremena i dubine. Radom hidroelektrane mijenjaju se razine gornje i donje vode, mijenjaju se geološke i geomehaničke osobine stijena u dodiru s vodom. Izgradnjom akumulacije mijenja se razina podzemnih voda u zoni utjecaja akumulacije. Nizvodno od brane dolazi do morfoloških promjena korita rijeke, mijenja se režim voda i nanosa itd.

Postojanje akumulacije kao i način rada objekata za evakuaciju voda pojedinih tipova hidroelektrana imaju utjecaj na pojačanu seizmičku aktivnost bliže okoline.

Utjecaj na socijalnom i psihološkom planu očituje se kroz problem preseljavanja stanovništva, problem stalnih mjera sigurnosti nizvodnog područja ugroženog mogućim prelijevanjem velikih količina vode ili rušenjem brane.

U akumulacijama se događa promjena kvalitete vode (zbog skupljanja i koncentracije nanosa, pojave raznog bilja i drugih uzroka), izražena starenjem i drugim negativnim pojavama koje mogu utjecati na promjenu ekološke ravnoteže u vodi. Ako se koristi za potrebe čovjeka, voda u akumulaciji može izravno utjecati na njegovo zdravlje, samo u slučaju da ima takav minerološki ili bakteriološki sastav koji izaziva specifična oboljenja. Indirektni utjecaji su mnogo češći i izražavaju se stvaranjem uvjeta pogodnih za razvoj i prenošenje uzročnika raznih bolesti (bakterije, amebe, virusi, komarci i sl).

Postojanje velikih površina vode akumulacijskih bazena utječe na promjenu mikroklime područja, na podneblje, temperaturni režim vode i zraka (smanjuje amplitudu temperaturnih promjena), povećava vlažnost zraka i utječe na režim vjetrova.

Nagle promjene količine vode u vodotoku odražavaju se na uvjete razvoja flore i faune. Stupanj tih promjena zavisi od promjene režima vode kako po kvaliteti tako i po kvantiteti vode u akumulaciji i nizvodnom dijelu vodotoka. Mijenja se vegetacija u zoni usporavanja i nizvodno od akumulacije. Osjeća se utjecaj na vodno bilje i druge organizme, kako u zoni jezera tako i u nizvodnom toku. Sve to se odražava na riblji svijet u akumulaciji i nizvodno, na divljač, domaće životinje, ptice, kukce i cijelu floru.

Pregrađivanjem riječnih tokove naročito stradaju ribe, pošto se zaustavljanjem nanosa sprečava dolazak hranjivih sastojaka za vodene organizme kojima se one hrane. Također, prelijevanje vode preko brane šteti ribama, u slučaju ako je voda zasićena dušikom. Varijacije

razine vode su također štetne po okoliš, jer ostavljaju golet na neobraslim dijelovima obala akumulacija, što je i estetski nepovoljno.

Kako je kazano, oko akumulacija se često stvara nova gospodarska struktura radi zbrinjavanja raseljenog stanovništva. Pošto je to često praćeno industrijalizacijom, javljaju se i industrijski zagađivači vode u akumulacijama, čime se njezina kvaliteta dalje pogoršava.

Posebno karakteristična vrsta utjecaja može biti uzrokovana pucanjem brana na akumulacijama koje su obično praćene velikim ljudskim žrtvama i materijalnim štetama. Takve nesreće, premda rijetke, nisu posve zanemarive te i njih treba uzimati u obzir pri planiranju gradnje hidroelektrana.

7.3 Utjecaj izgradnje i rada konvencionalnih termoelektrana na okoliš

Klasične termoelektrane su postrojenja koja troše gorivo za proizvodnju električne energije. S obzirom na pogonski stroj termoelektrane se mogu podijeliti na:

- parne termoelektrane (pogonski stroj – parna turbina)
- plinske termoelektrane (pogonski stroj – plinska turbina)
- dizelske termoelektrane (pogonski stroj – dizel-motor)
- kombinirane (plinsko - parne) termoelektrane (pogonski strojevi: plinska i parna turbina).

U parnim se termoelektranama mogu koristiti kruta goriva, tekuća i plinovita goriva, u plinskim termoelektranama tekuća i plinovita goriva, a u dizelskim termoelektranama dolazi u obzir samo tekuće gorivo.

Osim konvencionalnih (parnih) termoelektrana, u kojima se proizvodi električna energija (kondenzacijske termoelektrane), postoje i termoelektrane – toplane u kojima se pored električne energije proizvodi para i vrela voda (protutlačne termoelektrane).

Kemijska energija sadržana u gorivima najčešće se pretvara u unutrašnju termičku energiju. Proces pretvorbe kemijske u unutrašnju termičku energiju naziva se izgaranjem.

Izgaranje je kemijska reakcija oksidacije gorivih sastojaka iz nekog goriva s kisikom iz zraka, uz istodobnu pojavu topline i svjetlosti. Izgaranje je zapravo izmjena tvari, u kojem se kemijska energija sadržana u gorivu pretvara u toplinsku energiju.

U procesu izgaranja goriva razvija se toplina te se pri tome u ovisnosti od kemijskog sastava goriva i uvjeta izgaranja, razvijaju dimni plinovi kao produkti izgaranja.

Dimni plinovi su smjesa produkata izgaranja, odnosno:

- ugljičnog dioksida (CO_2) koji nastaje potpunim izgaranjem ugljika (C),
- ugljičnog monoksida (CO) koji nastaje nepotpunim izgaranjem ugljika (C),
- sumpornog dioksida (SO_2) koji nastaje izgaranjem sumpora,
- sumpornog trioksida (SO_3) koji nastaje oksidacijom sumpornog dioksida,
- dušika (N_2) iz goriva i zraka koji se dovodi u ložište, dušik ne sudjeluje u procesu izgaranja, ali povećava ukupnu količinu dimnih plinova,
- kisika (O_2) preostalog u dimnim plinovima uslijed dovoda zraka u ložište iznad stehiometrijskih odnosa izgaranja,
- vodene pare (H_2O) koja nastaje isparavanjem vode sadržane u gorivu te izgaranjem vodika iz goriva.

Agregatno stanje goriva važno je svojstvo, povezano s uvjetima izgaranja. Da se postigne dobro izgaranje, valja ostvariti dobro miješanje goriva sa zrakom. To je naročito lako kod plinovitih goriva. Dobro miješanje nešto je teže pri izgaranju tekućih goriva, a teško je kod

krutih goriva. Da bi se ostvarilo potpuno izgaranje, valja osigurati najmanju teorijski potrebnu količinu zraka.

Minimalna ili teoretska količina dimnih plinova je ona koja se dobije izgaranjem goriva pri stehiometrijskim odnosima izgaranja uz dovođenje minimalne količine zraka, odnosno pri pretičku zraka $\lambda = 1$. U praksi, međutim, zahtijeva se određeni pretičak zraka, koji je najveći za kruta goriva, a znatno manji za plinovita i tekuća, zbog mogućnosti boljeg miješanja goriva i zraka. S povećanjem pretička zraka smanjuje se stupanj djelovanja, jer se u atmosferu odvodi veća količina ugrijanih plinova. Uz intenzivno miješanje goriva i zraka manja je i količina čađi, ugljičnog monoksida i ugljikovodika u plinovima izgaranja.

Izgradnja termoelektrana, na današnjoj razini razvoja i uz danas raspoložive tehnologije, preduvjet je za osiguranje dovoljnih količina električne energije toliko potrebne za razvoj društva. Međutim, izgradnjom termoelektrane npr. od 1000 MW zauzima se približno 4 km^2 zemljišta, u što nisu uključena skladišta i svi pristupni putovi. Veličina skladišta ovisna je o vrsti i kvalitetu goriva, te o mogućnostima njegove dopreme.

Termoelektrane u procesu proizvodnje električne energije stvaraju ogromne količine otpadnih tvari koje završavaju u okolišu, dovodeći do sve veće zagađenosti. To je naročito izraženo u termoelektranama s lošom kvalitetom ugljena (lignita) koji se najviše troši u termoelektranama lociranim na samim kopovima ugljena ili u njihovoj neposrednoj blizini. Spaljivanjem lignita nastaju velike količine dimnih plinova i pepela. Osim toga u termodinamičkom ciklusu termoelektrane gubi se približno 50 posto oslobođene toplinske energije iz ugljena, što kao otpadna toplina zagrijava vodu u rijekama, jezerima, morima ili zraku, a približno 15 posto energije gubi se u dimnim plinovima, tako da se u električnu energiju pretvara samo približno trećina od dovedene energije. Te otpadne materije i toplina, ne samo da su po količini velike, već su i veoma štetne (među njima su i opasni oksidi sumpora i dušika, otrovni metali, pa čak i radioaktivni elementi). Dok se čvrste otpadne materije (pepeo, čađa, prašina) odlažu, ili talože u blizini mjesta nastanka (neki od njih se rabe kao sirovina u tvornicama cementa ili u građevinarstvu), dimni plinovi se difuzijom kroz zrak raznose na velika rastojanja, tim veća što su viši dimnjaci kroz koje se izbacuju. Visoki dimnjaci se predviđaju u cilju smanjenja prizemne koncentracije pojedinih zagađivača prema propisima.

Iznos i sastav specifičnih emisija produkata izgaranja ovisi, s jedne strane, o fizikalnim i kemijskim osobinama goriva, a s druge o vrsti i opremljenosti te veličine i načinu pogona postrojenja za energetsku pretvorbu.

U prvom redu, o kemijskom sastavu goriva ovisi sastav plinova izgaranja koji se odvode u atmosferu. Glavni gorivi sastavni dijelovi goriva jesu: ugljik, vodik i sumpor. Kako je već kazano, ugljik pri potpunom izgaranju oksidira u CO_2, a pri nepotpunom u CO, dok vodik i sumpor izgaraju u H_2O i SO_2. Na udio pojedinih produkata izgaranja u plinovima izgaranja utječe postotak pojedinih elemenata u gorivu, ali specifična emisija ovisi i o njegovoj ogrevnoj moći. Tako je u mrkom ugljenu i lignitu, normalno, manji postotak sumpora nego u kamenom ugljenu, ali je tim veća specifična emisija sumpornog dioksida po jedinici energije u gorivu zbog manje ogrevne moći.

Prosječne količine specifične emisije iz termoelektrana po jedinici proizvedene električne energije, ovisno o vrsti goriva iznose:

	H_2O g/kWh	CO_2 g/kWh	CO g/kWh	SO_2 g/kWh	NO_x g/kWh	Pepeo i čađa g/kWh
Ugljen (slabije kvalitete)	150	1200	0,10	10,0	2,5	2,00
Loživo ulje	250	750	0,01	7,0	2,5	0,30
Prirodni plin	400	600	0,01	-	2,0	0,05

Tablica 12

Iz navedenih podataka slijedi da specifična emisija vodene pare i ugljičnog dioksida ovisi o sadržaju vodika i ugljika. Tako ugljen ima najmanji sadržaj vodika i najveći sadržaj ugljika, pa stoga i najmanji sadržaj vodene pare i najveći postotak ugljičnog dioksida u plinovima izgaranja. Valja istaknuti da je udio vodene pare i ugljičnog dioksida znatno veći od ostalih sastojaka, dok na emisiju oksida dušika (NO_x) malo utječe vrsta goriva. Količina ugljičnog monoksida (CO) mnogo je veća iz termoelektrana loženih ugljenom, jer je tad teže postići potpuno izgaranje zbog nemogućnosti da se ostvari dobra smjesa gorivo-zrak.

Specifična emisija sumpornog dioksida (SO_2) ovisi u prvom redu o sadržaju sumpora u gorivu, ali treba napomenuti da dio sumpora ostaje vezan u pepelu, te on ne dolazi u dimnjak.

Na specifičnu emisiju pepela utječe njegova količina u gorivu, izvedba ložišta, način odvođenja pepela i stupanj otprašivanja plinova izgaranja.

Radioaktivne materije, koje se obično pripisuju samo nuklearnim elektranama, nastaju i u termoelektranama. One, uz poznate zagađivače kao što su SO_2, NO_2 i drugi, također emitiraju karcinogene organske čestice (uključujući policikličke ugljikovodike), čestice teških metala (olova-Pb, žive-Hg, arsena-As i drugih), ali i prirodne radioaktivne elemente iz niza urana-U238 (radij-Ra-226, radon-Rn-222, olovo-Pb-210, polonij-Po-210 i dr.), torija (torij-Th-232, Th-228 i dr.) i kalija (radioaktivni kalij-40). Sagorijevanjem ugljena u termoelektranama ti radioaktivni elementi se prenose iz ugljena u biosferu.

Najveću koncentraciju radioaktivnih nuklida imaju najsitnije čestice koje imaju i najveću vjerojatnost izlaska kroz dimnjak. Osim toga, u dimnim plinovima nalaze se olovo (Pb-210) i polonij (Po-210) koji zbog niskog tališta lako isparavaju, te radon (Rn-222) koji kao aktivni plin direktno izlazi u atmosferu. Dok u ugljenu postoji radioaktivna ravnoteža niza (svi članovi radioaktivnog niza imaju istu aktivnost), ona se njegovim sagorijevanjem narušava te u pepelu dolazi do višestrukog povećanja sadržaja radioaktivnih elemenata, koje zavisi od vrste, sastava i kvalitete ugljena i načina loženja, pa može iznositi i do nekoliko puta više od prirodnog zračenja.

Otpadna toplina iz termoelektrana, odvedena rashladnom vodom bilo u rijeku, jezero ili more (protočno hlađenje), bilo izravno u atmosferu putem rashladnih tornjeva (povratno hlađenje), predstavlja značajno opterećenje okoliša. U slučaju protočnog hlađenja, poslije miješanja s rashladnom vodom znatno raste temperatura vode u rijeci i time utječe kako na fizičko-kemijske osobine vode, tako i na poremećaj ekološke ravnoteže u rijeci. Naime, od temperature vode zavise i biološki svijet u rijeci i razlaganje otpadnih materija, budući da se s porastom temperature smanjuje količina rastvorenog kisika koji regulira i održavanje ekološkog lanca i proces razlaganja.

Otpadna toplina se u konačnoj bilanci predaje atmosferi isparavanjem, konvekcijom i zračenjem. Razlike između rijeka, jezera i mora javljaju se uslijed razlika u toplinskom kapacitetu i uvjetima strujanja. Kod rijeka, nakon potpunog miješanja toplog mlaza s osnovnim

protokom, dolazi do porasta temperature rijeke. Uslijed velikog toplinskog kapaciteta mora, taj je porast temperature zanemariv. U svim slučajevima, međutim, postoji jedna zona u koju se izlijevaju otpadne tople vode u kojoj je temperatura viša od temperature okoline i od temperature vode u koju se ulijeva.

U slučaju povratnog hlađenja dolazi do povišenja temperature i vlažnosti zraka (izbacuje se i do 3 l/kWh vode u obliku vodene pare), do promjene zračenja sa zemljine površine, do smanjenja inosolacije, do povećanja oblačnosti i oborina i vjerojatnosti pojave magle. Osim navedenih izmjena u mikroklimi, postoje i drugi utjecaji, kao što je promjena sadržaja kisika, promjena uvjeta života mikroorganizama itd.

Rad termoelektrane emitira stakleničke plinove, koji izazivaju "Efekt staklenika" a koji uzrokuje povećanje temperature na Zemlji. Ugljični dioksid (CO_2) je najznačajniji atmosferski plin uzročnik klimatskih efekata.

Postoje i drugi utjecaji termoelektrana na okoliš putem otpadnih voda iz sustava za transport i kontrolu pepela i šljake na deponiju, sustava za kemijsku pripremu vode i drugih, putem buke, estetskih poremećaja i prenamjene velikih površina zemljišta za skladišta, deponije i pomoćne pogone.

Potpuna slika utjecaja termoelektrana na okoliš može se dobiti tek kada se, pored površina koje zauzimaju objektima i deponiranjem pepela, dodaju i one koje su degradirane i ugrožene njihovim radom (zasipane letećim pepelom iz dimnjaka, ugrožene velikim prizemnim koncentracijama opasnih oksida, itd). Iz navedenoga se može zaključiti da je veoma velik i složen utjecaj termoelektrana (posebno termoelektrana na niskokaloričnim lignitima) na okoliš i da se pri valorizaciji i usporedbi termoelektrana s drugim izvorima električne energije taj utjecaj ne smije zanemariti ni izostaviti.

7.4 Utjecaj izgradnje i rada nuklearnih elektrana na okoliš

Zbog važnosti nuklearne energetike za razvoj društva s jedne strane, a zbog opasnosti radioaktivnog zračenja s druge, na početku ovog poglavlja potrebno je nešto više kazati o pojavi nuklearnih reakcija. Birajući između najstarijih prirodnih pojava koje su se zbile, ne može se zaobići istinu da su se nuklearni procesi odvijali prvi i da su stvorili materijalne oblike koji i danas postoje u Svemiru, odnosno, govoreći u bližim udaljenostima, planetarnom sustavu. To je za sada jedini dokazni planetarni sustav koga izrazito izdvaja jedan fenomen koji se razvio na planeti Zemlji, a blizak je i poznat kao egzistencija živih oblika ili život. Postoji bezbrojno mnogo razloga zašto se upravo ovdje započeo i razvio život do današnje razine. Od mnoštva razloga sigurno je da su baš takvi fizički uvjeti koji postoje na Zemlji bili presudni u početku, razvoju i današnjem postojanju života na njoj. U svakom slučaju, presudnu ulogu u svemu odigrala je energija koju je oslobodila priroda i stavila je u funkciju stvaranja. Oblik energije koja je odigrala najznačajniju ulogu u svemu tome je toplina. Jedna od najstarijih prirodnih tehnologija za proizvodnju toplinske energije je nuklearna energija. U svom praiskonskom obliku ona se sačuvala neizmijenjenom do današnjih dana.

Taj praiskonski oblik nuklearne energije skriven je u prirodnoj radioaktivnosti: radioaktivnih – nestabilnih atoma većeg broja elemenata koji tvore čvrstu koru naše planete. Rijetko se govori o tome da je cjelokupni razvoj svih živih organizama na Zemlji, nastao i u proteklim milijardama godina bio omogućen upravo zahvaljujući nuklearnoj energiji i prirodnoj radijaciji koja je održala temperaturu površine Zemljine kore upravo na takvoj razini da je postala moguća egzistencija života na ovoj planeti.

Količina toplinske energije koja nastaje iz radioaktivnog raspada prirodnih atoma u zemljinoj kori iznosi 80 posto od ukupne toplinske energije potrebne za održavanje današnjih temperaturnih uvjeta na površini zemlje.

Mali postotak, od preostalih 20 posto toplinske energije, dospijeva na površinu procesom toplinskog vođenja iz vruće Zemljine jezgre, a veći dio je ponovno doprinos nuklearne energije Sunca koja dospijeva putem elektromagnetskog zračenja na površinu zemlje. Zanemarivi dio toplinske energije dospijeva u obliku energije čestica emitiranih iz nuklearnih procesa sa Sunca. Najčešći i odgovorni za zagrijavanje Zemljine kore su prirodni radioizotopi, koji svojim raspadom predaju kinetičku energiju ili apsorpcijom elektromagnetskog zračenja u okoliš su uran i torij te njihovi nestabilni potomci. Osim njih postoje i drugi radioaktivni elementi. Ukratko, svi uvjeti za nastanak i preduvjeti za održanje života na zemlji usko su povezani s korištenjem prirodnih procesa proizašlih iz nuklearne energije.

Oponašajući prirodu u svim svojim otkrićima, čovjeku je trebalo dugo vremena da to spozna i otkrije te tajne prirode. Nema ni 200 godina da su prvi istraživači počeli skidati veo tajne s prirodne radioaktivnosti. Najveći doprinos u ovladavanju tom tehnologijom je postignut u prošlom stoljeću i to kada je Einstein objasnio prirodni odnos između mase i energije svojom univerzalnom relacijom (4).

Ta jednadžba je univerzalna, jer jednako vrijedi za atomske i subatomske čestice, kao za cijele planete. To je ujedno početak čovjekovog saznanja o prirodi i to saznanje je omogućilo i dovelo do današnjeg korištenja nuklearne energije kao izvora energije.

U cjelini gledajući, čovjek u svom razvoju i oponašajući prirodu, nije nikad dosegnuo njeno savršenstvo. Što god je uobličio u svoju djelatnost, pridruživši joj sve tehnologije proizvodnje, ostalo je nešto što predstavlja otpad, a čije prisustvo u prirodi je strano, do tada nepoznato tijelo za koje ne postoje već izgrađeni mehanizmi razgradnje ili ugradnje, za koje nije zatvoren prirodni ciklus pretvorba bez narušavanja do tada uspostavljenih prirodnih ravnoteža. Čovjek je sa svojim tehnologijama počeo zagađivati okoliš. Što je bio površniji u imitaciji Prirode, to su njegove tehnologije imale veći otpad, a s tim su posljedice za njegovu životnu sredinu bile teže i opasnije. O tome se razmišlja tek danas u novije vrijeme, zbog tog što nas je industrijska revolucija i visoki standard, zbog svog pada, dovela do ruba opće katastrofe, a štetne posljedice su već poremetile prirodne cikluse razmjene tvari.

Čovjek je već uspio proizvesti tolike količine otpada da se posljedice više ne mogu mjeriti lokalizirano u nekom području, dolini, regiji, državi ili kontinentu, već se govori o dijelovima hemisfere na ovoj planeti. Takvi srazmjeri ljudskog propusta koji vode do samouništenja postali su stvarnost dvadesetog stoljeća. Iz toga proizlazi da je nastupilo vrijeme uvođenja novih kriterija za vrednovanje svih ljudskih djelatnosti i usvojenih proizvodnih tehnologija.

Popratni produkti postojećih tehnologija, proizvodnja otpada ljudska je – društvena kategorija, jer u prirodnim procesima nema otpada.

Bez tehnologije proizvodnje dopunske energije u željenom obliku čovječanstvo ne može održati civilizacijske tekovine. Raspolaganje energijom je po definiciji mjerilo mogućnosti rada, stvaranje novih proizvoda i boljih uvjeta života. O tome ovisi i daljnji razvoj civilizacija na Zemlji. Spoznaje o mogućnosti korištenja nuklearne energije za gospodarske, mirnodopske svrhe i njezino usvajanje dolaze u posljednji trenutak prije nego što se iscrpe i posljednje zalihe fosilnih goriva koje su do sada bile glavni izbor za podmirenje dopunskih potreba za energijom.

Primjena i razvoj nuklearne energije usmjeren je na proizvodnju električne energije primjenom klasičnih energetskih postrojenja za pretvorbu toplinske energije u mehaničku i zatim

u proizvodnju električne energije. Za potrebe svemirskih tehnologija razvijeni su mali nuklearni reaktori koji neposredno proizvode električnu energiju.

Sa stajališta energetike najveći doprinos u proizvodnji električne energije daju tzv. termalni nuklearni reaktori koji rabe vode kao medij za prijenos topline, a vodena para pokreće turbinu. Postoji više komercijalnih tipova tih reaktora i nuklearnih postrojenja, no bitnih razlika nema. Ponegdje se rabi teška voda D_2O kao moderator neutrona, no za pogon turbine ponovo se rabi obična para.

Gorivo za taj tip reaktora je uran s povećanim postotkom izotopa urana 235, ili bez njega.

Jedan od prvobitnih tipova termalnih nuklearnih reaktora, danas zastupljen s manje od 15 posto, koristi se plinom kao medijem za prijenos topline iz jezgra. Korištenje plinova ugljičnog monoksida (CO), ugljičnog dioksida (CO_2) i helija (He), ne daju značajniju prednost tim tipovima reaktora tako da je njihovo korištenju ograničeno.

Zajednička značajka generacije termalnih reaktora svodi se na sljedeće:

- održavanje lančane reakcije odvija se s energetski niskim neutronima, nastalim za vrijeme raspada jezgre, kojima je smanjena energija korištenjem različitih moderatora: teške vode, vode ili grafita;
- nuklearno gorivo su torij, uran i plutonij;
- najviše temperature košuljice goriva se kreću oko 800 °C, a nuklearna reakcija se obustavlja smanjenjem broja slobodnih neutrona ili fizičkom promjenom svojstava moderatora;
- popratni produkt proizvodnje toplinske energije u nuklearnom reaktoru je velik broj različitih radioaktivnih elemenata koji nemaju daljnju upotrebnu vrijednost u održavanju procesa, te predstavljaju tehnološki otpad;
- promotri li se sastav tog otpada i usporede ti umjetno stvoreni radionuklidi s prirodnim radioaktivnim elementima u Zemljinoj kori dobivaju se različiti radioaktivni elementi.

Radionuklidi emitiraju zračenja i poluvremena života su im različita. Uvaživši i činjenicu da su kemijska svojstva izotopa pojedinih elemenata praktički istovjetna sa stabilnim elementom, slijedi opći zaključak da su novi elementi koji se ne susreću u prirodi, samo transurani i to za ono vrijeme dok se sami prirodno ne raspadnu.

Postavlja se pitanje koliki je taj novoproizvedeni otpad u proizvodnji nuklearne energije? Odnosno, da li su ti radioaktivni elementi, po današnjim kriterijima stvarni otpad iz nuklearne tehnologije u ekosferi?

Pitanje je u cjelosti opravdano zbog toga što su se «kontrolirane» lančane nuklearne reakcije fisije odvijale u prirodi bez ljudskog udjela već prije jednu i pol milijardu godina. U Africi je danas rudnik urana Oklo poznat po tome da je postotak fisijskog urana 235 nešto manji od uobičajenog sastava, tj. 0,58-0,65 posto prema 0,71 posto, nego što je u rudištima urana na drugim mjestima na zemlji gdje nisu radili termalni nuklearni reaktori.

Značajno je ponovno naglasiti da je prisustvo radioaktivnosti u ekosustavu Zemlje potpuno prirodna pojava i da se bez prirodne radioaktivnosti ne mogu održati životni uvjeti na zemlji. Čovjekovo ponovno paljenje nuklearne vatre u energetskim reaktorima samo je obnavljanje prirodnih događaja iz prahistorije ovog planeta, s tom razlikom što se pojavljuje otpad.

Na prvo pitanje može se dati i slikovit odgovor. Kada bi se polovica svjetskih potreba za električnom energijom podmirivala iz nuklearnih elektrana (primjerice u 2000. godini), onda bi svi doprinosi iz povećanog zračenja kroza sve faze i cikluse nuklearnog goriva, u normalnom radu, pridonijeli prosječnom povećanju godišnje doze od 1 μSV što predstavlja otprilike četiri tisućita dijela od izloženosti stanovništva u normalnim uvjetima življenja. Imajući u

vidu prirodne razlike između pojedinih mjesta i krajeva, taj doprinos ozračenja je biološki potpuno neprepoznatljiv i u cjelosti zanemariv.

Površnim ocjenama, posebno izraženim u nekim sredinama, stječe se dojam da ljudski rod nije sposoban vladati s tako zahtjevnim tehnologijama. Ne smije se izgubiti iz vida da je svakim danom sve manje raspoloživih prirodnih bogatstava, koja su se nemilice trošila ili našim nesavršenim tehnologijama uništavala. Za opstanak ove civilizacije, podmirenje njenih potreba, predstoji usvajanje znatno složenijih tehnologija nego što je to nuklearna energetika. Dosadašnja iskustva primjene nuklearne energije u gospodarske svrhe pokazala su da se može i sigurno i ekonomično proizvoditi električnu energiju bez opasnosti za životnu sredinu, pa čak i u najtežim katastrofama kao što je bio Černobil.

Ako se primjeni količina tehnološkog otpada kao kriterij, nuklearna energija je superiorna tehnologija za proizvodnju dopunske energije. Isto kao i kod mnogih drugih djelatnosti, ta tehnologija uporabljena za dobrobit, bez zlouporaba, može dugo osigurati čovječanstvu potrebnu energiju.

Uspješnom primjenom metode izolacije za novonastali radioktivni otpad (RAO), a to znači osiguranjem da inženjerske barijere i prirodna svojstva tla na lokaciji za trajno pospremanje RAO-a onemogućavaju ulazak u ekosustav, štetni utjecaji nuklearne energetike se mogu svesti na zanemarivu mjeru.

Sama izgradnja nuklearnih elektrana, što se tiče utjecaja na okoliš, identična je izgradnji klasičnih termoelektrana odgovarajuće snage. Međutim, bitna je razlika utjecaja na okoliš uvjetovana radom i prestankom rada nuklearnih elektrana.

Nuklearne elektrane za svoj rad troše nuklearno gorivo koje u usporedbi s količinom ugljena u klasičnoj termoelektrani odgovarajuće snage, predstavlja veoma skromne količine. Tako primjerice za jednogodišnji rad nuklearne elektrane od 1000 MW treba od 15 do 30 t obogaćenog urana. Da bi se dobila ta količina obogaćenog urana treba u prosjeku izvaditi približno 125 000 t uranove rude, a čemu odgovara količina od približno 200 t prirodnog urana. Dakle, za razliku od ugljena, uran ne može biti iskorišten u nuklearnoj elektrani u obliku u kome je izvađen iz rudnika, već mora proći kroz brojne pretvorbe prije nego što se unese u reaktor.

Nuklearne elektrane utječu na okoliš preko zračenja iz radioaktivnih materijala unijetih ili nastalih u reaktorima u procesima fisije, preko radioaktivnog raspada koji dospijeva u okoliš za vrijeme rada ili akcidenta u elektrani i preko otpadne topline koja je približno 35 posto veća nego iz klasične termoelektrane iste snage.

Radioaktivne materije, ispuštene u obliku plinovitih, tekućih ili krutih zagađivača, svojim zračenjem povećavaju ukupno zračenje u okolini u kojoj je čovjek i inače izložen zračenju iz Svemira i od Sunca, zračenju radioaktivnih materija iz zemljine kore i iz zraka. Povećanje zračenja bit će utoliko veće ukoliko je priraštaj zračenja iz nuklearne elektrane veći. Iako je ovaj priraštaj u pravilu mali (približno 0,1 posto prirodnog zračenja u krugu polumjera 80 km oko nuklearne elektrane) njegovi efekti mogu biti značajni zbog drukčije prirode zračenja i načina kojima se čovjek izlaže tom zračenju. Plinoviti zagađivači, nastali tijekom rada nuklearne elektrane, sastoje se uglavnom od ksenona (Xe-135), kriptona (Kr-88), tricija (H-3) i joda (I-131). U tekućim zagađivačima prevladava tricij (H-3), dok je utjecaj svih ostalih tekućih radioaktivnih zagađivača 25 do 100 puta manji od zračenja tricija. Kruti radioaktivni otpad u nuklearnim elektranama nastaje kontaminacijom opreme čija dekontaminacija nije još riješena na zadovoljavajući način.

Dok se kruti otpaci drže na lokaciji elektrane, ili odlažu na skladište i drže pod kontrolom, tekući i plinoviti se ispuštaju u hidrosferu i atmosferu i različitim putovima stižu do čovjeka.

Radioaktivni elementi u tekućim zagađivačima (tricij, kobalt, stroncij, cezij, jod) do čovjeka stižu putem hrane i vode, a plinoviti putem zraka. Štetnost je određena ne samo vrstom aktivnosti koju emitiraju u procesu radioaktivnog raspada, nego i kemijskim i fizikalnim osobinama tih elemenata.

Vađenje urana, njegovo obogaćivanje, izrada gorivih elemenata, vađenje gorivih elemenata iz reaktora, njihovo odležavanje, odlaganje ili vađenje plutonija i neiskorištenog urana, cijeli taj prodes se naziva "gorivni ciklus". On traje više godina (od čega samo dvije do tri godine u reaktoru) i odvija se na raznim mjestima, gdje također utječe na okoliš i to manje prije unošenja u reaktor nego poslije vađenja iz reaktora. Pri svim tim operacijama, pored radioaktivnog zračenja, javljaju se i druge vrste zagađenja okoliša.

Radioaktivni otpaci, koji nastaju u gorivom ciklusu nuklearne elektrane, veoma variraju u sastavu i aktivnosti. Uz vađenje rude i u pripremi urana ti otpaci su slabo aktivni, ali su u velikim količinama i ostaju u blizini mjesta nastanka. U radu nuklearne elektrane nastaju otpaci niske, srednje i visoke aktivnosti.

Otpaci niske i srednje radioaktivnosti se obično koncentriraju i drže na skladištima pod kontrolom, dok za visokoradioaktivni otpad (nuklearno gorivo izvađeno iz reaktora) s približno 99 posto ukupnog zračenja nastalog u gorivom ciklusu danas još nema pravog rješenja. Da bi se dobio uvid u količinu visokoradioaktivnog otpada, treba kazati da se iz jedne nuklearne elektrane od 1000 MW (električnih) godišnje dobije 30 tona koji u sebi sadrža približno 350 kg zaostalog fisijskog urana i 170 kg nastalog fisijskog plutonija, te urana 238 i nešto manje od jedne tone visokoradioaktivnih produkata fisije.

Odlaganje visokoradioaktivnog otpada predstavlja jedan od najvažnijih zadataka u primjeni nuklearne tehnologije, pa se u gotovo svim zemljama koje koriste nuklearnu tehnologiju intenzivno radi na tom problemu. Jedno od rješenja je njegova daljnja prerada, a drugo je definitivno sigurno pohranjivanje. Većina zemalja sklonija je prvom rješenju (daljnjoj preradi) ili čekanju (privremenom stokiranju) na to rješenje. Čekanje je uvjetovano spornim razvojem brzih reaktora, visokom cijenom prerade, te velikom ponudom urana na svjetskom tržištu, a sve je to imalo utjecaja na zastoj u traženju konačnih rješenja za pohranjivanje visokoradioaktivnog otpada.

Radi toga, očekivanje da se u međuvremenu mogu još usavršiti postojeće tehnologije odlaganja (u duboke geološke formacije i druge) i demontaže nuklearnih elektrane poslije isteka njenog vijeka ima opravdanja (s obzirom na zaštitu okoliša), samo ukoliko se konačna rješenja donesu prije nego što privremena rješenja dovedu do nepovoljnijih posljedica. Zbog važnosti pohranjivanja visokoradioaktivnog otpada i sigurnosti koja se kod toga traži, rade se pokušaji i traže rješenja koja bi jamčila zadovoljavajuću sigurnost za okoliš.

Kvarovi na nuklearnim elektranama, i pored mnoštva sustava i mjera predviđenih da ih se spriječi ili ograniči njihove posljedice, a koji se odražavaju i na njihovu relativno visoku cijenu, predstavljaju posebno opasnu kategoriju utjecaja s globalnim razmjerima. Premda po ugroženosti ograničena na neposredni okoliš i na žrtve (33 mrtvih) samo među zaposlenima, katastrofalna nesreća na nuklearnoj elektrani "Lenjin" u Černobilu (Ukrajina) najveća u 50-godišnjoj povijesti razvoja nuklearne energije u svijetu, pokazla je da, osim zračenja, postoje i mnogi drugi utjecaji na životnu sredinu: psihološki, politički, ekonomski itd. Među utjecajima s dugoročnim posljedicama, ostat će i psihološki utjecaji s dugoročnim posljedicama, izražen izazivanjem straha od tragičnih posljedica te nesreće u svim sredinama, iako za to nije bilo objektivnog razloga. Razlozi su, već u simboličkim, etičkim i opće kulturnim korijenima, kao i u psihoanalitičkom fenomenu "premještanja" objekta izazivača snažnih emocija (strah od atomske bombe) i njegove simboličke zamjene drugim objektom (nuklearnom

elektranom). Nuklearna energija se i inače javlja kao opći simbol ugroženosti i podsvjesnog straha čovjeka od visoke tehnologije u njegovom okolišu, te je njime, kao i dramatičnim predstavljanjem te nesreće od strane sredstava javnog informiranja i političkih struktura, strah još više potenciran. Činjenice da se kvarovi na nuklearnim elektranama događaju, kao i na svim drugim tehničkim sustavima (iako do sada ni jedan s takvim ispuštanjem radioaktivnosti u okoliš i s ljudskim žrtvama) i da su utjecaji normalnog ispuštanja zagađivača iz termoelektrana također ozbiljni (kisele kiše), nisu mogle ublažiti strah.

Radioaktivno zračenje iz nuklearne elektrane, ispušteno bilo u slučaju kvara, ili u toku normalnog rada, dolazi u kontakt s čovjekom na više načina, preko kontaminirane hrane, ili vode i zraka i eksterno, preko kože.

Sadržaj radioaktivnih elemenata u nekom organu zavisi od više čimbenika, u prvom redu od mogućnosti asimilacije i brzine izbacivanja, fiziološkog vremena organa i vremena poluraspada elementa. Utjecaj zračenja u živom organizmu se događa putem ionizacije ili ekscitacije molekula stanica, izazivajući kako somatske, tako i genetske efekte.

Somatski efekti zračenja se izražavaju u organizmu ozračenog pojedinca i zavise od organa koji se promatra i doze primljenog zračenja. Smrt (ne trenutačnu, već poslije nekoliko dana) izazivaju samo najviše doze, dok niže doze izazivaju razne biološke efekte, kao što su poremećaji u krvi, i slabljenje obrambenog mehanizma zbog ubijanja stanica ili prestanka njihove diobe pod utjecajem zračenja, izazivanjem raka i leukemije zbog razvoja malignih stanica i istovremenog gubitka ili smanjenja obrambenih sposobnosti. Genetski efekti se izražavaju u povećanju spontanih mutacija koje mogu utjecati na konstituciju potomka ili na njihovu reprodukcijsku sposobnost zbog remećenja "genetske informacije" pod utjecajem zračenja. Zbog svega navedenog, razumljivo je da tako složeni utjecaji moraju biti podvrgnuti detaljnom izučavanju, kako bi se okoliš i čovjek u njemu što efikasnije zaštitili u slučaju opcija s nuklearnim elektranama i od eventualnog većeg ispuštanja radioaktivnog zračenja iz njih.

7.5 Utjecaj izgradnje i rada novih izvora električne energije na okoliš

Novim izvorima električne energije; nuklearnim elektranama s brzim oplodnim reaktorima i fuzijskim reaktorima, termoelektranama na geotermalnu energiju, na biomasu, solarnim elektranama, elektranama na vjetar i drugim obnovljivim izvorima, trebaju u doglednoj budućnosti biti zamijenjeni današnji konvencionalni izvori, hidroelektrane, termoelektrane na ugljen i fisijske nuklearne elektrane. Ti izvori će u međuvremenu preuzeti dio priraštaja potrošnje električne energije, u onoj mjeri u kojoj konvencionalni izvori, zbog ograničenih resursa ne budu mogli podmirivati potražnju, pod uvjetom da se njihov razvoj dovede do razine opće društvene opravdanosti i prihvatljivosti. Za njihovo prihvaćanje bit će, pored ostalih kriterija, bitan i njihov utjecaj na okoliš.

Razlika između klasičnih termalnih reaktora i brzih oplodnih reaktora je u tome što brzi reaktori imaju veći faktor konverzije, koji se postiže izostavljanjem moderatora iz jezgre i oblogom jezgre od urana. Da se ne bi trošilo previše urana u oblogu, zahtjev je da jezgra bude mala i visoke specifične snage, pa slijedi da je potrebno postići efikasno hlađenje jezgre. Obično se to čini tekućim metalom, a istražuje se i hlađenje plinom. Najčešće se kao rashladno sredstvo rabi tekući natrij, koji je kemijski veoma aktivan, a što postavlja teške

uvjete za materijale koji dolaze u dodir s njim. Djelovanjem neutronskog zračenja natrij postaje radioaktivan, pa se treba osigurati od izlaska natrija.

S obzirom na naprijed kazano, slijedi da je kod brzih reaktora naglašenije pitanje sigurnosti, zbog visokoobogaćenoga goriva i visoke koncentracije snage u jezgri reaktora, nego kod termalnih reaktora. Pored većeg problema sigurnosti kod uporabe brzih reaktora, postavlja se problem zloporabe plutonija, kojega ima četiri do pet tona u reaktoru snage 1000 MW, što je dovoljna količina za više od 100 atomskih bomba.

Navedeni razlozi (sigurnosti i zlouporabe) znatno poskupljuju i usporavaju razvoj brzih reaktora, pa se uskoro ne očekuje njihova značajnija primjena.

Nuklearne elektrane, s fuzijskim reaktorima se neopravdano smatraju "čistim" izvorima električne energije, koji će zamjenom sadašnjih elektrana u proizvodnji, istodobno riješiti i problem ugrožavanja okoliša. Premda se u sadašnjoj fazi razvoja pažnja posvećuje ostvarivanju kontroliranog procesa fuzije i njegovom industrijskom provjeravanju, moguće je donijeti i kvalitativne ocjene specifičnih osobina takve nuklearne elektrane sa stajališta utjecaja na okoliš. U prvom redu, opasnost predstavlja ogromna količina radioaktivnog tricija koji je teško spriječiti da izlazi u okoliš, zbog velikih dimenzija sustava. Ispuštanje litija, kao i njegova potencijalna mogućnost paljenja, također su prijetnje okolišu. Postoje i problemi vezani za snažno magnetsko polje koje se primjenjuje kod fuzijskog procesa, kako u pogledu mogućnosti naglog oslobađanja energije, tako i u pogledu utjecaja tog magnetskog polja na ljude. Nije bez značenja ni problem odlaganja ogromnih količina materijala koji postaje radioaktivan pod utjecajem neutrona, problem ogromnih dimenzija postrojenja i slični, kojima će se u daljem razvoju ovog izvora energije morati posvetiti veća pozornost, jer je perspektiva da upravo fuzija bude oslonac razvoja proizvodnje električne energije u dalekoj budućnosti.

Termoelektrane na geotermalnu energiju, kao i ostale elektrane, također imaju utjecaj na okoliš. Geotermalna energija izaziva utjecaje putem velikih količina otpadne vode zagađene agresivnim mineralnim solima, zagađivanja zraka štetnim plinovima, buke i drugih efekata.

Proizvodnja električne energije s biomasom kao gorivom u izvornom ili nekom pretvorbenom obliku ima utjecaja na okoliš. Takva postrojenja zagađuju okoliš produktima izgaranja, koji sadrže dimne plinove sa štetnim oksidima, zatim ostacima izgaranja (pepeo i neizgorene tvari) koji se moraju pohraniti. Ukoliko se koriste neka goriva dobivena preradom biomase, u takvim slučajevima može doći, zbog kemijskih procesa, do znatnog zagađenja voda.

Solarni izvori električne energije ne ispuštaju zagađivače u procesu proizvodnje, te se također smatraju "čistim" izvorima. Međutim, ni oni nisu bez utjecaja na okoliš, ne samo zato što zauzimaju ogromne površine (zbog disperzivnog zračenja, sunčeva zračenja), već i zato što mogu ugroziti živa bića. Takve mogućnosti postoje kad je pogrešno usmjereno zračenje iz kolektora (ogledala ili leća), koje može izazvati požare, može povrijediti životinje i ljude (opekotine kože, oštećenja očiju). Isti ili sličan utjecaj na okoliš mogu imati i reflektirana zračenja. Naročito nepovoljni utjecaji potječu od fotonaponskih solarnih ćelija zbog toga što sadrže otrovne materijale, kao što su kadmij, indij, arsen i galij, koji se njihovom velikom uporabom praktično nekontrolirano raznose u okoliš. Zato se računa da će tehnički razvoj tih izvora električne energije morati biti praćen i odgovarajućim mjerama zaštite okoliša od navedenih i drugih, još neutvrđenih utjecaja.

Eolske elektrane (vjetroelektrane) imaju sljedeće utjecaje na okoliš: sigurnosne, estetske, akustične, elektromagnetske i druge manje važne. Što se tiče sigurnosti, moguća opasnost prijeti od pada pojedinih dijelova ili otkidanja pojedinih dijelova elektrane, posebno krila, pri jačim vjetrovima i kvarovima na regulaciji brzine okretanja turbine. Jedan od većih prob-

lema kod rada vjetroelektrana je i stvaranje buke, te elektromagnetske smetnje koje utječu na kvalitetu prijema radio signala i TV-prijemnika. Izgradnjom većeg broja eolskih elektrana znatno se narušava estetski izgled okoliša i zauzima se velik dio zemljišta.

Korištenje energije mora (valovi, plima i oseka, temperaturne razlike, morske struje) nemaju bitnog utjecaja na okoliš, osim estetskog i eventualno zauzimanjem obala i zaljeva koji bi se mogli koristiti u druge svrhe (turizam, ribarstvo itd.).

Iz navedenog prikaza slijedi da svi izvori električne energije, i konvencionalni (vodeni, toplinski i nuklearni) i novi (solarni, fuzijski i drugi) imaju negativne utjecaje na okoliš. Utjecaji su višestruki, kompleksni i još nedovoljno izučeni (mnogo bolje su poznati njihovi kvalitativni, nego kvantitativni pokazatelji), po prirodi su različiti, neki su veoma opasni po biosferu i čovjeka, a neki dostižu velika rastojanja (SO_2 iz termoelektrana) ili traju veoma dugo (radioaktivni otpaci iz nuklearnih elektrana).

Održavanje tih utjecaja u okviru zakonski propisanih granica, ne osigurava potpunu zaštitu (uvijek su štetni, u većoj ili manjoj mjeri) i treba ih posebno valorizirati, ravnopravno s ostalim kriterijima za izbor najpovoljnijih izvora električne energije. Zbog raznovrsnosti efekata, izravna usporedba utjecaja pojedinih izvora električne energije na okoliš nije moguća pa je zbog toga potrebno svaki izvor električne energije kompletno valorizirati, uzimajući u obzir i ostale uvjete (prirodne i društvene).

Računajući s ograničenim kapacitetom okoliša da, bez katastrofalnih posljedica, prima zagađivače iz sve brojnijih i većih izvora, među kojima izvori električne energije zauzimaju značajno, često dominantno mjesto, razumno je planirati dugoročno korištenje tog, kao i svakog drugog ograničenog resursa. U tom pogledu je posebno kritična situacija s termoelektranama na ugljen i nuklearnim elektranama koje predstavljaju osnovni izvor električne energije danas, a bit će to još i u budućnosti, te se planski moraju uvoditi mjere za smanjenje ispuštanja zagađivača, kako bi se izbjegla ograničenja mogućnosti njihove izgradnje za zadovoljenje rastućih potreba.

7.6 Utjecaj prijenosnih i razdjelnih mreža na okoliš

Riječ je o: zauzimanju prostora uzduž trase voda, slaboj buci (lagano zviždanje), radiosmetnjama i televizijskim smetnjama zbog djelovanja korone, te pojavama jakoga električnog polja ispod voda. Zbog toga u koridoru čija širina ovisi o naponu, nije moguća nikakva aktivnost. Prijelazom na vrlo visoke napone širina potrebnog koridora naglo raste. Tako je za vod od 420 kV potrebna širina koridora od 40 m, za vod od 765 kV širina od 85 m, a za 1500 kV čak 145 m. Uporaba sve viših prijenosnih napona posljedica je sve veće koncentracije snage u elektranama, jer je izgradnja većih proizvodnih jedinica na jednoj lokaciji, normalno, ekonomičnija i zato što je, s obzirom na zaštitu okoliša, potrebna voda za hlađenje (za sve tipove termoelektrana), te s obzirom na zalihe goriva i ograničenje transporta (za konvencionalne termoelektrane), broj povoljnih lokacija za izgradnju termoelektrana je vrlo ograničen. S porastom napona smanjuju se osim toga troškovi prijenosa električne energije pa to, pored ostalog, traži izgradnju vodova viših napona.

Elektromagnetska polja koja postoje u blizini vodiča visokonaponskih prijenosnih vodova ima nepovoljno djelovanje na ljudski organizam. Dokazano je da postoji određena veza između magnetskih strujanja i stanja osoba koje pate od kardiovaskularnih bolesti, kao i to da radiovalovi određene frekvencije imaju opasno djelovanje na žive stanice.

Ispitivanje utjecaja jakih elektromagnetskih polja (koja se mijenjaju s komercijalnom

frekvencijom 50 Hz) na čovjeka do sada su pokazala da jaka elektromagnetska polja uzrokuju, pored kardiovaskularnih poremećaja, i neurološke smetnje. Utjecaji jakih elektromagnetskih polja uočeni i potvrđeni su kod stanovnika koji su stanovali u neposrednoj blizini visokonaponskih transformatorskih stanica (nazivnih napona 400 do 750 kV), nakon njihova puštanja u pogon.

Međutim, do sada je uočeno da štetne posljedice izlaganja ljudi jakom elektromagnetskom polju ovise o njegovoj jakosti E i vremenu izlaganja T. Što je jače polje, to je kraće dopušteno vrijeme izlaganja za čovjeka. Djelovanje polja od 20 kV/m odmah se osjeća u obliku neugodnih osjećanja nakon kojih slijede smetnje u tjelesnim funkcijama. Kod 5 kV/m nisu uočena nikakva neugodna osjećanja. Jakost polja pada s povećanjem udaljenosti od izvora polja zračenja, tj. vodiča. Bitno je da se utvrde (propišu) dopuštene sigurnosne udaljenosti prijenosnih energetskih vodova od objekata za stanovanje.

Jaka električna polja traže odgovarajuće zaštitne mjere koje sprečavaju djelovanje elektromagnetskog polja.

Površine zemlje koje se zauzimaju kao slobodne zone (koridori) smanjuju se uporabom kabelskih vodova koji dopuštaju polaganje prijenosnih energetskih vodova u velikim gradovima, ali uz (danas još uvijek) velika ulaganja.

Supravodljivi i niskotemperaturni će kabeli omogućiti prijenos vrlo velikih snaga uz relativno nizak napon (20-30 kV) u usporedbi s danas potrebnim naponima za prijenos snage istog reda veličine.

Supravodljivi kabeli, međutim, bit će idealno rješenje za dovođenje vrlo velikih količina električne energije u velike gradske aglomeracije.

S obzirom na zaštitu okoliša, prijenos istosmjernom strujom, povoljniji je nego izmjeničnom. Za jednaku se snagu uz istosmjerni prijenos zahtijeva približno 30 posto uži koridor uzduž trase dalekovoda.

Današnji nadzemni visokonaponski vodovi su pouzdaniji, lakši za održavanje i efikasniji od kabelskih vodova. Kabelski prijenos u određenim situacijama ipak zamjenjuje visokonaponske vodove. To je slučaj kad je nadzemni prijenos nemoguć (prijenos preko mora) ili nesiguran (na prijelazima preko autoceste, aerodroma, naseljenih mjesta) ili kada vizualni (estetski) uvjeti traže kabelski prijenos.

Da bi se dobila kompletna slika utjecaja elektrenergetskih postrojenja na okoliš potrebno je svemu navedenome dodati utjecaj na okoliš potrošnje energije i pri istraživanju i projektiranju, pri pridobivanju prirodnog oblika energije za proizvodnju električne energije, pri transportu tih oblika energije, energiji za proizvodnju svih dijelova postrojenja i transportnih sredstava itd.

8

Paritet cijena energenata i temeljne postavke za tarifne sustave

Cijene pojedinih oblika energije i njihovi odnosi predstavljaju jedan od najvažnijih elemenata energetske politike, jer se sa cijenama može postići ili promašiti cilj zadan strategijom razvitka. Osim toga, niske cijene i loše uspostavljeni njihovi odnosi mogu biti uzrokom donošenja pogrešnih investicijskih odluka ili izvorište neracionalne potrošnje energije.

Da bi se to izbjeglo u energetici se težište stavlja na točne odnose cijena među energentima, a te odnose često nazivamo "sustavom" cijena. On se ne propisuje, nego se formira ovisno o energetskoj politici svake pojedine zemlje.

Taj je "sustav", koji ipak postoji, rezultanta mnogih sastavnica, kao što su na primjer:

- povijesni položaj pojedinog oblika energije,
- raspoloživost pojedinog oblika energije i utjecaj raspoloživosti na cijene,
- tehnička, tehnološka i nadasve komercijalna podobnost oblika energije,
- područje korištenja i
- ekološki aspekti korištenja.

Svi su ti utjecaji rezultirali stvaranjem nekih odnosa cijena, koji nisu uvijek čvrsti i nepromjenljivi, ali su ipak dovoljno postojani. Nikada u novije doba, pa ni poslije 1973. godine, nije došlo do revolucionarnih promjena u ekonomskoj konstelaciji snaga u zemljama s tržišnim gospodarstvom, pa ni onda kad su to pojedine vlade željele, jer je utjecaj energetike na cijelu nacionalnu proizvodnju toliko važan da se odustajalo od eksperimentiranja.

Drugim riječima, sve se više uspostavlja međuovisnost u svjetskim okvirima kad je u pitanju energija i cijene energije, valjda zbog toga da svoje gospodarstvo ne dovode u konkurentski nepovoljniji položaj, a ima pokušaja da se i institucionalizira (primjerice u zemljama Europske unije), iako je više riječ o pokušajima unifikacije i preporukama nego o donošenju zajedničkih mjera.

Iz navedenoga proizlazi da je pronalaženje sustava cijena i odnosa među njima u energetici vrlo težak zadatak s obzirom na međuzavisnosti. Nedvojbeno je da su cijene posljedica mnogobrojnih čimbenika i njihovih interakcija. Na temelju iznešenih postavki pojedini oblici energije temeljili su svoje cijene.

Bitan dio usvojenog paketa energetskih zakona je onaj koji, definirajući subjekte na energetskom tržištu, predviđa poduzetnički značaj energetskih tvrtki, što nije moguće bez realnih ekonomskih cijena i tarifnih sustava za umrežene energente. Bez realnih cijena nije moguća daljnja izgradnja i održavanje energetskog sustava, a posljedice suprotnog pristupa ogledaju se i u današnjem stanju energetskih postrojenja, njihovoj starosti ili pak u podizgrađenosti. Ove postavke vrijede za tarifne kupce, dok će za povlaštene kupce veliki utjecaj imati porezi, naknade, takse i mrežarine.

Budući da je većina zemalja – potrošača naftnih derivata – ovisila o uvozu te sirovine, dogovorene cijene nafte u OPEC-u bile su temeljna odrednica za obrazovanje cijena naftnih derivata. Naime, službeno OPEC-ove cijene bile su temelj i za određivanje cijena nafte u

drugim zemljama-proizvođačima, pa i za naftu proizvedenu u samoj zemlji; tu su instrumenti porezne politike izravnali razlike.

Kako cijena nafte u strukturi cijene naftnih derivata čini najveći dio troška, sama razina cijena bila je na tržištu približna. Struktura, traženje, raspoloživosti drugih zamjenskih izvora energije, zemljopisni položaj i dostignuti stupanj društvenog bogatstva bili su odrednice rasporeda troškova po pojedinim derivatima.

Porezno zakonodavstvo svake zemlje dogradilo je sustav cijena naftnih derivata. Porezi i takse, u načelu niži u razvijenim zemljama, a viši u manje razvijenima, odredili su međusobni odnos cijena derivata.

Uz određene poreze i takse na derivate nafte, prodajne cijene derivata ovisne su o kretanju cijena nafte na svjetskom tržištu.

Gotovo sve što je rečeno za naftu odnosi se i na prirodni plin, s tom razlikom što su cijene prirodnog plina određivane na temelju cijena nafte i cijena naftnih derivata. Ali i tu, ranije čist odnos, narušen je različitim varijantama koje su uglavnom posljedica vezane trgovine u tom sektoru.

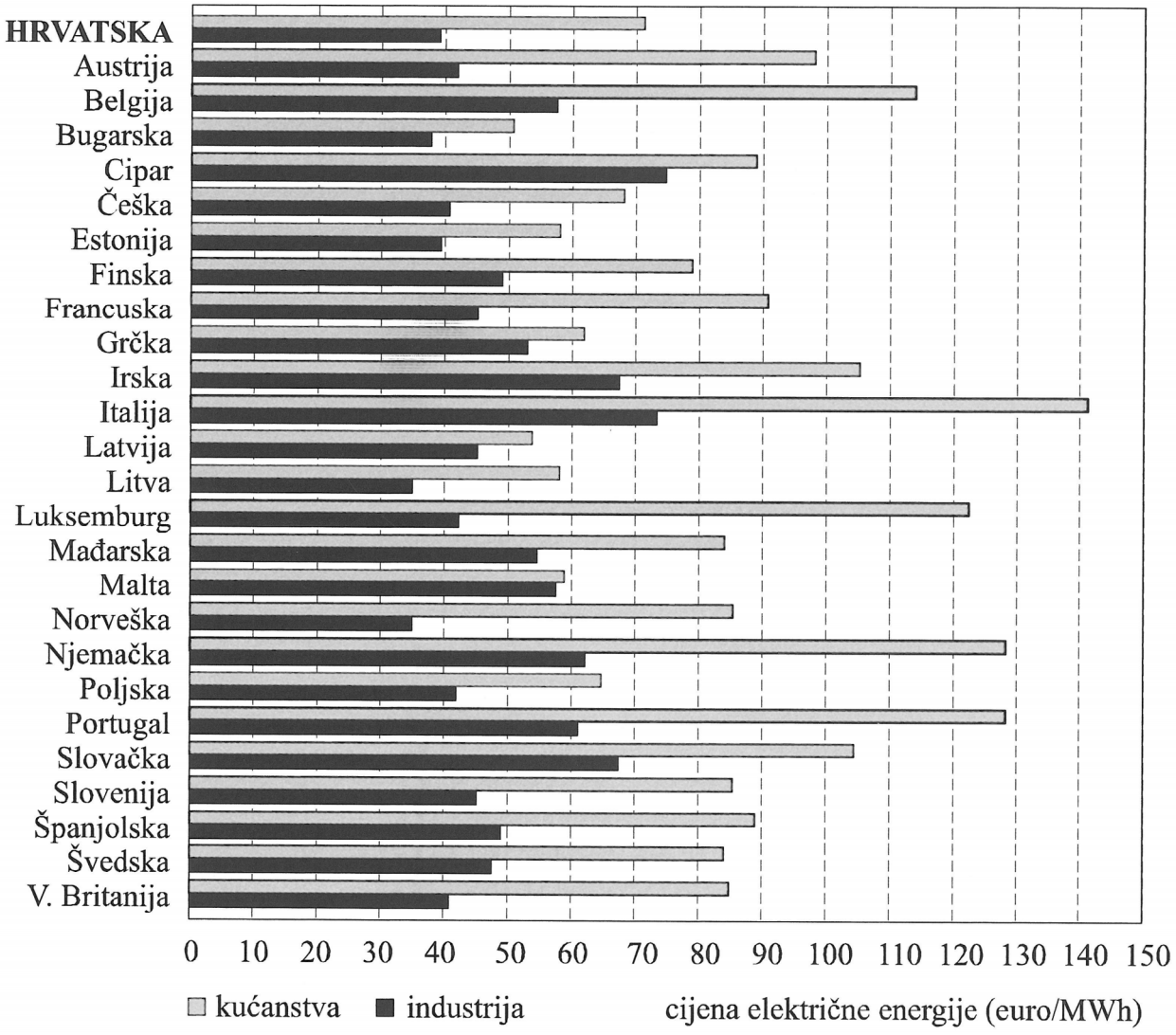
U osnovi, može se reći da se prosječna prodajna cijena domaćeg proizvođača (ili uvoznika) približno određuje prema cijenama naftnih derivata (loživog ulja) na spot tržištu. Od te cijene tek se gradi sustav cijena na temelju tarifnih stavova.

Kad se govori o cijeni ugljena teško se može govoriti o sustavu cijena ugljena u pojedinim zemljama bez ulaženja u dublju analizu međuzavisnih odrednica, kao što su primjerice dotacije i subvencije, raspoloživost iz domaćih izvora, tradicija, te stupanj zaposlenosti i drugo.

No, to ne znači da nikakav sustav (cijena) ne postoji. Taj sustav, slično kao i kod cijena nafte, pod jakim je utjecajem međunarodne trgovine. I premda se ovdje, još više nego kod nafte, ne može govoriti o uniformiranosti cijena, ipak su cijene u međunarodnoj trgovini slične i preciznije. Ponude franko kupaca ugljena iz različitih zemalja su konkurentne i opet slične. Naravno da i ovdje vladaju svi zakoni tržišta, prije svega zakon ponude i potražnje, ali i zakon ekonomske prisile, na temelju kojeg su pojedine zemlje za izvoz svojeg ugljena ustanovile niže cijene.

Za razliku od drugih oblika energije, kod električne energije cijena će uvijek ovisiti o strukturi proizvodnje električne energije. Prema tome, i "razina cijena" bit će različita. Ali bez obzira na polazna pravila tarifne politike u energetici (velika potrošnja manje cijene, i obratno, manja potrošnja - veće cijene), gotovo da su međusobne razlike u apsolutnoj razini cijena zanemarive. Prirodni disparitet cijena električne energije prema cijenama drugih prirodnih oblika energije (za isti energetski ekvivalent) zakonita je pojava koju je nemoguće objasniti isključivo prednostima za korisnika.

Na slici 97. prikazane su prosječne cijene električne energije za industriju i kućanstva u centima US dolara po kWh za neke karakteristične zemlje. Razvidno je i očito da samo Hrvatska od navedenih zemalja ima veću cijenu električne energije u industriji nego u kućanstvu. Neke zemlje (Belgija i Francuska) imaju dva puta veću cijenu u kućanstvu nego u industriji.



Slika 97. Cijene električne energije u Hrvatskoj i nekim europskim zemljama (2005). (Izvor: EUROSTAT data)

Iz navedenih podataka i zahtjeva tržišta, prioritetno se nameće zadatak korekcija cijena koje danas vladaju na energetskom tržištu Hrvatske, jer je to jedan od uvjeta za ulazak u svjetsku tržišnu utakmicu.

Osjetljivost na promjenu cijene oblika energije mnogo je manja kod potrošača koji imaju relativno mali udjel troškova energije u ukupnim troškovima, od onih potrošača kod kojih je taj udjel veći. Osim navedenoga, osjetljivost na promjenu cijene u velikoj mjeri ovisi i o stupnju zamjenjivosti pojedinog oblika energije drugim oblikom energije.

Kriteriji za izbor oblika energije mogu biti različiti, ali su uglavnom ekonomske naravi, što ne znači da na potrošača ne mogu utjecati i neki drugi razlozi koji nisu ekonomski, kao na primjer sigurnost opskrbe, adekvatnost oblika energije, stupanj iskorištenja itd.

Kod nekih potrošača nekoliko oblika energije omogućava dotičnom potrošaču u stanovitom smislu alternativno rješenje. To znači da su pojedini oblici energije međusobno zamjenjivi glede ostvarenja svrhe za koju se rabe.

Zamjenjivost pojedinog oblika energije ponekad je uvjetovana, odnosno ograničena. Pre-

lazak na uporabu drugog oblika energije vezan je za izdatke. S jedne strane su to investicije za novu opremu, a s druge strane gubitak vrijednosti postojećih postrojenja.

Međutim, pojedini oblici energije su prema svojim uporabnim vrijednostima praktično nezamjenljivi (uporaba električne energije za rasvjetu, za pokretanje nekih električnih aparata i sl), pa se kod takvih oblika energije cijene ne mogu formirati na temelju ponude i potražnje.

Vezano za pravilno održavanje vrijednosti pojedinog oblika energije s jedne strane i zamjenjivosti oblika energije s druge strane, treba utvrditi takve odnose cijena između pojedinih oblika energije, koji će omogućiti pravilan ekonomski položaj pojedine energetske grane, kao i utjecati na racionalnu potrošnju energije.

Odnosi cijena između pojedinih oblika energije trebaju biti takvi da odražavaju vrijednosti utroška svih dobara. To znači da razlike u cijenama pojedinog oblika energije proizlaze iz različitog utroška sredstava i rada u proizvodnji, pretvorbi, prijenosu i razdiobi pojedinog oblika energije.

Pri uspostavljanju pravilnih odnosa (pariteta) cijena između pojedinih oblika energije, treba utvrditi kriterije na temelju kojih se grade međusobni odnosi cijena.

Paritetne cijene energije pretpostavljaju punu cijenu reprodukcije (jednostavna i proširena reprodukcija). Prema tome svaka promjena u paritetnim cijenama, u uvjetima konkurencije, moguća je samo zbog povećanja produktivnosti.

Puna cijena reprodukcije odnosi se ne samo na prirodne oblike energije, nego i na svaki pretvorbeni oblik energije. Za uspostavljanje međusobnih odnosa cijena energije može biti više kriterija.

Iz navedenog prikaza slijedi da je određivanje razine cijena i njihovih međusobnih odnosa kod pojedinih oblika energije veoma složen i delikatan zadatak.

Kod rješavanja tog zadatka u nas, treba poći od sljedećih kriterija:

- da se energetskim granama osigura povoljan ekonomski položaj, odnosno da im se osigura jednostavna i dijelom (kod nekih i u cjelini) proširena reprodukcija, kako bi se moglo računati na normalni razvitak energetskih grana i opskrbu potrošača bez nestašica koje su nas u prošlosti pratile;
- da se višom razumnom razinom cijena pojedinih oblika energije i njihovim međusobnim odnosom (trajnijeg karaktera) prisile potrošači na štednju energije i racionalni izbor energije, ili da se izbjegne neracionalno trošenje energije kao normalna posljedica niskih cijena i neracionalan izbor energije kao posljedica pogrešno postavljenih odnosa cijena;
- da se izbjegnu, zbog nestalnog odnosa cijena, preorijentacije s jednog na drugi oblik energije, što izaziva nepotrebna ulaganja i umanjuje razvojnu moć društva;
- da se omogući što veća proizvodnja vlastitih izvora energije i time poveća vlastita opskrbljenost energijom i
- da se cijenama energije, odnosno troškovima za energiju, ne umanji konkurentna sposobnost našeg gospodarstva na svjetskom tržištu.

Imajući u vidu sve kazano, približni odnosi cijena (pravi odnosi i razina cijena traže mnogo detaljnija i sveobuhvatnija razmatranja) električne energije mogli bi se osigurati formiranjem cijene na sljedeći način:

- da se prosječna cijena električne energije za tarifne kupce na mreži prijenosa odredi na temelju prosjeka cijena na mreži prijenosa nekoliko zapadnoeuropskih zemalja. Za povlaštene kupce na proizvodnu cijenu koju postignu kod dobavljača na tržištu treba dodati naknadu za korištenje prijenosne mreže (koja je pod nadzorom regulatornog tijela).

Ovdje još treba pripomenuti da su navedeni kriteriji i ciljevi samo podloga na koju se

još moraju nadograditi naše specifičnosti (energetskog i elektroenergetskog sustava), ciljevi ekonomske i energetske politike.

Promjene cijena, nakon što su cijene pojedinih oblika energije dovedene u tražene odnose, moraju biti istodobne za sve oblike energije, ako se ne radi o korekcijama uspostavljenih odnosa nametnutih neželjenim kretanjima unutar zemlje ili nekim poremećajima na svjetskom tržištu.

Već je ranije istaknuto značenje energije u društveno-ekonomskom razvitku, kao i evidentna zastupljenost energije u svakom proizvodu. Zbog toga je nužno da cijena energije bude što niža kako bi i konačni proizvodi bili što jeftiniji. Opravdanost postavljanja takvog cilja, kako za proizvode koji se razmjenjuju na domaćem tržištu, tako i za one koji su predmet izvoza, nije potrebno posebno obrazlagati. Postavlja se samo logično pitanje kako postići takav cilj, a da istodobno trošenje energije bude racionalno i da se omogući razvoj energetike?

Uz postojanje pravilnog odnosa cijena, za pojedine energente treba imati i dobru tarifnu politiku, pa će se u nastavku nešto kazati o temeljnim postavkama tarifne politike.

Svaki tarifni sustav, bez obzira na koji se oblik energije odnosi, morao bi se temeljiti na dva osnovna načela:

- da svaki potrošač snosi troškove koje je svojim načinom korištenja (i značajkama potrošnje) izazvao,
- da potiče potrošača na racionalno korištenje energije, i time doprinosi energetski i gospodarski sebi i ostalim potrošačima u energetskom sustavu.

Prvo načelo pretpostavlja objektivizaciju troškova koji nastaju u cjelokupnom tehnološkom procesu proizvodnje, prijenosa i distribucije pojedinih oblika energije u funkciji načina korištenja (preuzimanja) energije, na što utječu i same osobine potrošača i oblika energije. Pod značajkama i načinom korištenja podrazumijeva se:

- mjesto preuzimanja energije,
- instalirana snaga potrošača,
- vremensko iskorištenje instalirane snage,
- vremenska dinamika potrošnje i intenzitet promjene opterećenja,
- sezonske oscilacije potrošnje,
- vremenski raspored potrošnje u odnosu na značajke dnevnog dijagrama opterećenja.

Kod svakog potrošača ne dolaze do izražaja sve navedene osobine. Kod električne energije sve promjene u načinu korištenja energije, počev od onih u najkraćim vremenskim intervalima pa do sezonskih oscilacija, imaju utjecaja na ukupne prilike u sustavu i na dimenzioniranje parametara sustava. Međutim, ovdje treba pripomenuti da se i kod električne energije akumuliranjem vode u akumulacijskim hidroelektranama pokušavaju ublažiti i prevladati oscilacije u potrošnji.

Drugo temeljno načelo odnosi se na doprinos tarifnih sustava racionalizaciji potrošnje energije. Kroz oblikovanje tarifnog sustava, nadgradnju prvog osnovnog tarifnog principa, treba se uputiti jasna i nedvosmislena poruka potrošaču kako on treba organizirati svoj rad da bi sebi smanjio izdatke za preuzetu energiju, i time pridonio racionalnijem radu cijelog elektroenergetskog sustava.

Da bi se uspostavili adekvatni odnosi između pojedinih tarifnih stavova, pojaprije prema prvom osnovnom tarifnom principu, treba napraviti analizu troškova proizvodnje električne energije ovisno o načinu rada i značajkama potrošača.

Prethodno je napomenuto da se električna energija koja se troši preuzima trenutačno i izravno iz mreže, pa mjesto preuzimanja određuje razinu troškova koji nastaju u procesu proizvodnje, transporta i razdiobe električne energije.

Drugi temeljni element tarifnog sustava, snaga i ostvarena potrošnja proizlaze iz same značajke potrošača, njegovih tehnoloških potreba i organizacije rada. Kako strukturu troškova čine stalni i promjenjivi troškovi, tako i u tarifnom stavu treba naći mjesto naknadama za snagu i naknadama za energiju. Postoji mogućnost da se formira posebni tarifni stav za energiju, posebni za snagu ili jedan temeljni stav za energiju u koji je posredno uključen tarifni stav za snagu preko trajanja iskorištenja maksimalne snage. Iskorištenje se može promatrati za bilo koju vremensku jedinicu, već prema tome koja se vremenska jedinica odabere (godina, sezona ili mjesec).

Kod električne energije postoje velike sezonske oscilacije potrošnje. Kako u pravilu uvjeti osiguranja dovoljnih količina energije nisu usklađeni s potrebama, već su znatno teži u zimskom razdoblju, a jednostavniji u ljetnom razdoblju, pa takvi odnosi između proizvodnje i potrošnje po sezonama izazivaju znatno veće troškove u zimskom nego u ljetnom razdoblju. To je u postojećem tarifnom sustavu za električnu energiju rezultiralo tarifnim stavom za dvije sezone. Odnose između tarifnih stavova zima/ljeto moguće je odrediti analizom i usporedbom svih troškova koji nastaju za različite režime rada, prema već spomenutoj metodi dugoročnih marginalnih troškova.

Potrošnja električne energije i plina oscilira tijekom dana tako da su minimalna opterećenja 50 – 60 posto niža od maksimalnih opterećenja. U tarifnom sustavu postoji tarifa za dnevnu i noćnu potrošnju koja odgovara potrošnji u razdoblju velikih, odnosno malih opterećenja. Konačni odnosi između tarifnih stavova za razdoblje većih i manjih opterećenja moraju se postaviti u funkciju cilja koji se želi ostvariti, što znači da je bitno opredjeljenje hoće li se ili neće stimulirati određena potrošnja u razdobljima velikih opterećenja.

Na kraju, peti element tarifnog sustava je kvaliteta i sigurnost dobave energije. Za sve kategorije potrošača koji imaju jednaku sigurnost opskrbe tarifni se stavovi trebaju razlikovati samo prema već navedenim četirima elementima. Potrošači koji imaju manju sigurnost opskrbe, što znači da je njihov rad u funkciji ovisnosti o mogućnosti elektroenergetskog sustava, moraju se u tarifnim stavovima razlikovati od potrošača istih karakteristika s većom sigurnošću opskrbe. Razlika u tarifnim stavovima treba biti u funkciji razine sigurnosti dobave energije.

Tako postavljeni tarifni stavovi odnose se na klasične oblike odnosa proizvođač-potrošač u kojem energija ima svoju cijenu.

Zajedničko za sve tarifne stavove je da moraju stimulirati racionalnu potrošnju energije. Odnosi među tarifnim stavovima za različite oblike energije, a za iste kategorije potrošača, moraju biti takvi da jednoznačno ukazuju na racionalni izbor energenta za zadovoljenje potreba za energijom.

Uza sve navedeno, svako dobro organizirano društvo mora socijalno ugroženoj kategoriji stanovnika osigurati energiju (minimalnu) koja joj je potrebna. "Socijala" iz humanitarnih razloga mora postojati i mora biti vođena s jednog mjesta. Međutim, "socijala" se ne može voditi kroza cijenu energije i ne mogu oni koji ostvaruju milijunske dobiti imati nisku cijenu na račun socijalno ugroženih. Oni moraju, prema navedenim kriterijima, plaćati punu cijenu, a za socijalno ugrožene to mora činiti društvo kroz socijalnu i poreznu politiku.

9

Globalizacija, restrukturiranje i liberalizacija tržišta električne energije

Globalizacija kao pojam u svjetskoj se literaturi značajnije pojavljuje i analizira u drugoj polovici prošlog stoljeća, a u našim prostorima zaokuplja nas nakon raspada socijalističkog bloka, odnosno od velikih društveno-političkih događaja krajem osamdesetih godina prošlog stoljeća.

Globalizacija se definira kao "proces povezivanja industrijskih i financijskih aktivnosti na svjetskom tržištu", što se manifestira "općim trendom liberalizacije tokova roba, informacija, financija i drugog".

Globalizacijski procesi stvaraju nove svjetske odnose i postavljaju pitanje globalne regulacije, fragmentacije, ali i socijalnog i kulturnog identiteta. U tom pogledu globalizacija je izraz društvene kompleksnosti i sve veće međuovisnosti društava na različitom stupnju razvijenosti, tu je zapravo nastavak projekta moderne. S druge strane riječ je i o globaliziranju negativnih ekoloških fenomena nazvanih "ekološka kriza", pa globalizacija donosi probleme fragmentacije i identiteta.

Stvaranje globalnog društva proizlazi iz kombiniranog djelovanja mnogih konvergentnih sila, u čijem je središtu znanstveno-tehnološka revolucija koja uz ostalo, u svom najnovijem zamahu, mijenja i same ljude, njihove organizacije i zajednice – čitav njihov život i čitav njihov svijet.

Dakle, prelazi se iz načina i odnosa proizvodnje nametnutog ljudima nužnošću prirodnog održavanja, u novi način proizvodnje i nove odnose među ljudima koji proizlaze iz slobodnog stvaralačkog angažiranja. Prvome je motiv i svrha materijalni probitak, zarada i posjedovanje; drugome je naprotiv motiv i cilj unutrašnji duhovni probitak, bogati virtualni svijet, znanje i zadovoljstvo. A ta smjena načina i odnosa proizvodnje upravo je predmet proučavanja suvremene političke ekonomije. Nije to predmet proučavanja ni jedne druge ekonomske znanosti, niti je bilo koja od njih sposobna da taj zadatak preuzme i da tu nastalu prazninu valjano ispuni.

Iz dosadašnjeg tijeka realizacije globalizacijskih procesa vidljivo je da ona utječe i na političke promjene, što mnoge plaši, to više što je klaustrofobija veća. Nacionalne države, uz odricanje dijela suverenosti, kako je on shvaćen u vrijeme njihova nastanka, moraju biti spremne na ustanove globalne djelotvornosti (WTO-a, Svjetske banke, MMF-a, itd).

Globalizacija je međutim u svome temeljnom određenju posljedica utjecaja ekonomskih zakonitosti, posebice potpune mobilnosti kapitala, robe, ali i rastuće mobilnosti radne snage. U uvjetima sofisticiranih i primjenjivih tehnologija kojima odgovara visokotransparentno svjetsko tržište, svi elementi cijena postaju konkurentni, što otvara nove izazove državi u 21. stoljeću. Naime, u takvim okolnostima kapital teži prema zemljama jeftine radne snage i državama niskih socijalnih prava, ali i, demografski gledano, nastaje društvo starog pučanstva u zemljama kapitala. Također, suprotno potrebama koje im je stvorio upravo razvitak, ta

društva gube i utakmicu na svjetskom tržištu robe, ali jačaju svoju poziciju na tržištu kapitala.

Dakle, sve je počelo zbog kapitala, a pod izgovorom potrebe zajedničkog rješavanja globalnih problema:

- upravljanjem svjetskom ekonomijom,
- zaštitom okoliša,
- smanjenjem gladi u svijetu.

Međutim, proces globalizacije izaziva silne sukobe i paradokse na svjetskoj gospodarskoj, političkoj i duhovnoj sceni. Njegove su zakonitosti posebno gospodarske prirode, što znači da taj proces ima gotovo elementarnu snagu fizikalnih zakona. Prihvaćajući takvo njegovo određenje, valja zaključiti da se treba odrediti na nacionalnoj razini utjecaja njegove prinude. Naime, velike i male države, razvijene ili pak nerazvijene, u žarištu interesa koliko i na margini imaju uvijek i u svakom slučaju koncepcijsko-strategijske sadržaje koji bitno odudaraju ili se pak izravno suprotstavljaju općem procesu globalizacije.

Globalizacija je, navodno, krenula ponajprije zbog ujednačavanja uvjeta poslovanja u svim državama, bez obzira na državne granice. Tome i takvom tržištu teže velike multinacionalne kompanije sa značajnim globalnim tržišnim udjelom. Većina multinacionalnih kompanija ostvarila je nezavisnost proizvodnje i trgovine od lokalne politike, ali ne i od globalne politike, pa su one prerasle u globalne kompanije prilagođavajući se političkim i drugim promjenama u svijetu. Njihov je najvažniji cilj maksimiranje globalnog profita koji kontroliraju i rabe za svoje ciljeve. Zbog toga je i jedan od glavnih ciljeva da se taj profit (koji se stvara u određenoj zemlji) izvuče iz zemlje što je moguće brže.

Globalizaciju su uvjetovale i poticale nove i suvremene tehnologije (primjerice automobilska i elektronička industrija) za koje su granice nacionalnih država premalo tržište, pa je trebalo povećavati, iz godine u godinu, granice tržišta.

Sav taj splet okolnosti nameće ograničenja tržišnom kriteriju shvaćenom u njegovoj čistoj formi i vraća znanstvene napore klasičnoj teorijskoj opciji koja daje prednost radu nad raspodjelom. Međutim, kako svjetsku razmjenu dobara nije moguće zaustaviti, to postaje jasno da će se proces globalizacije nastaviti neovisno o ograničenjima, ali i žrtvama, i da će stradalnici u najvećoj mjeri ostati nerazvijene i neorganizirane zemlje. Odgovori na tom putu i za hrvatsku su državu odgovarajuća nacionalna strategija jasnih dugoročnih ciljeva i prilagodljivih uporabnih metoda.

U odnosu prema svjetskoj globalizaciji kao objektivnom procesu koji se ne može izbjeći postoje dva suprotna pristupa i ocjene: jedan, koji tvrdi kako to osigurava opći napredak i razvitak; i drugi, koji smatra da je to opasnost koja ugrožava zaposlenje, životni standard i demokraciju, te ugrožava socijalni mir i može dovesti do novih socijalnih potresa i lijevih i desnih ekstremizama. U vremenu totalnog tržišta, poznatog danas pod nazivom "globalizam", razvila su se dva modela: anglosaksonski i europski.

Glavni zagovarači globalizacije su, uz Amerikance, Svjetska banka, Međunarodni monetarni fond (MMF) i Svjetska trgovačka organizacija (WTO) – kapital. Odavno je poznato da kapital nema nacionalnost i gdje god ulazi, ulazi samo zbog toga da bi ubirao profit. Kod toga je pitanje hoće li ga zemlje primateljice uspjeti zadržati ili će kapital samo ući i izvući profite iz tih zemalja. Međunarodne financijske ustanove uvjeravaju zemlje diljem svijeta da je slobodno kretanje robe i kapitala dobro za sve sudionike u procesu. Međutim, stvari u životu su, prema dosadašnjem iskustvu, sasvim suprotne. Na kraju kapital završi u financijskim i tehnološkim centrima moći. Ukoliko se male i siromašne zemlje opiru globalizaciji, u tom slučaju dolaze u još težu situaciju, jer ih moćnici stavljaju u izolaciju. Postavlja se pitanje: kako pri takvim odnosima zadržati socijalnu sigurnost i ekološke standarde? Da pitanje nije

ni jednostavno ni lako pokazuju to svojim, ne baš uvijek kulturnim i dostojanstvenim potezima, antiglobalistički pokreti (Seattle, Prag, Göteborg i Genova).

Neovisno o svim prednostima i ograničenjima, proces globalizacije generiran ekonomskim zakonitostima nezadrživo se nastavlja u 21. stoljeću, razumljivo, paralelno s političkim i duhovnim implikacijama koje ga prate, odnosno i svim onim korekcijama koje će time stvoreno materijalno i moralno okruženje tražiti. Financijske krize do kojih je došlo u posljednje vrijeme stanovita su upozorenja u tom pogledu. One upozoravaju kako je nužna određena kontrola svjetskih gospodarskih procesa, a u tome posebice kontrola financijskih tokova. Naravno, ostaje pitanje njezina dometa budući da se njezini procesi moraju nastaviti, ali lišeni bolesnih obilježja.

Visok stupanj ograničenja procesu globalizacije nameće, nadalje, rastuća asimetričnost na području socijalnog statusa, koliko između zemalja i cjelovitih svjetskih regija, toliko i u imovinskim statusima u okviru samih država. Naime, nezaustavljiv je, čini se, put raslojavanja na bogate i siromašne u vrlo naglašenim amplitudama, uzletom s jedne strane uskih elitnih slojeva prema nezamislivu materijalnom blagostanju, a srozavanje s druge strane velikog broja siromašnih do granica gladi.

Na svjetskoj razini uz globalizaciju dominiraju još pojmovi: deregulacija, privatizacija, kooperacija, financijska i tehnološka integracija, modernizacija, informatizacija i robotizacija, diverzifikacija, normizacija, kvaliteta, rizik, slobodno tržište itd. Mnogi od navedenih pojmova postojali su i prije globalizacije, ali su njenom pojavom došli do punog izražaja.

Pratiti i zavladati u potpunosti navedenim pojmovima veliki je posao koji male zemlje teško mogu svladati. Sudbina pojedinih naroda i zemalja ovisit će prije svega o njegovim fizičkim i političkim sposobnostima, zatim o obrazovanosti i znanosti da se mogu nositi s problemima koje spomenuti pojmovi nameću. Zatvaranje u sebe (izolacija) nije ono što takvim narodima i državama treba, već otvaranje i integriranje u šire društvene zajednice u kojima bismo imali dovoljno veliko tržište, a zadržali svoju posebnost i identitet. Tu posebnost i identitet bit će teško zadržati, jer globalizacija ostvaruje postupno i prisilno stapanje nacionalnih gospodarstava u jedno svjetsko kapitalističko tržište i u jedan ujedinjeni informatički prostor. Taj postupak izaziva silan rast proizvodnih snaga, a samim tim se stvaraju golema bogatstva u kratkom vremenu.

Restrukturiranje energetskog sektora je priprema za uspješnu privatizaciju i priprema za uspješno poslovanje u uvjetima otvorenog liberaliziranog energetskog tržišta, pa je očigledno da je opći interes osigurati konkurentnost energetskih subjekata.

Umjesto okomito integriranih kompanija radi se na tzv. vodoravnom spajanju kompanija. Međutim, u ovom trenutku nije moguće sa sigurnošću utvrditi koji je krajnji domet njihovih spajanja i koncentracije djelatnosti. Pri tome se postavlja pitanje: Hoće li se postići glavni cilj energetskih sustava da osiguraju sigurnu opskrbu energijom za nesmetani razvitak?

Da zakonskom regulativom nije moguće sve riješiti, pokazuju istraživanja i dokumenti doneseni na razini Europske unije, koji određuju četiri temeljna i vrlo složena problema koji se ne mogu jednostavno riješiti administrativnim uredbama, a oni su:

- sigurna opskrba potrošača,
- kolika je dopuštenost ovisnosti o uvozu energenata,
- koje su mogućnosti supstitucije jednog oblika energije drugim, i
- kakve su mogućnosti dobave zamjenskih oblika energije.

Uz navedene bitne postavke za opskrbu potrošača značajnu ulogu igraju i cijene energenata na domaćem i svjetskom tržištu. Znatniji porast cijena energenata može značajnije utjecati na maloprodajne cijene od mehanizma energetskog tržišta u energetskom sektoru.

Svemu što je rečeno treba još pridodati probleme koji se mogu dogoditi u sferi socijalnih pitanja, ako se u prvi plan postavi osiguranje velikog profita po svaku cijenu.

Tržište, prema konvencionalnoj predodžbi, obilježava odnos što ga sudionici u razmjeni uspostavljaju ponudom i potražnjom. Izraz je toga odnosa cijena koja različite pojedinačne kvalitete sažima i transformira u opću kvalitetu. Tržište se također definira kao sveukupnost odnosa ponude i potražnje, koji na određenom mjestu i u određeno vrijeme utječu na prodaju pojedinih roba, odnosno skup svih onih ustanova, područja i uređaja koji omogućuju organiziran i stalan dodir između kupca i prodavača.

U razmatranju budućnosti razvitka energetskog sektora i odnosa u njemu prioritetno se nameće pitanje tržišta energije te njenog regulacijskog dometa u osiguranju rješenja za sve probleme. Mišljenja o dometu tržišta su podijeljena. Zapravo, obje krajnosti su neprihvatljive: ne smije se odbaciti tržišni mehanizam, niti se smije prihvatiti stajalište potpunog povjerenja u takve mehanizme. Realan i kritičan odnos prema tržištu pomoći će da se iskoriste njegove pozitivne strane i ublaže ili eliminiraju njegove negativne posljedice.

U energetskom sektoru, kao i u drugim sektorima gospodarstva, tržište je snažan poticaj za porast efikasnosti i smanjenja troškova. Međutim, izvori energije su oskudni i prilično neravnomjerno raspoređeni.

Usprkos činjenici da je tržište nesumnjivo najbolji jamac raspoloživosti dobave, posebno ako su izvori raspoređeni, ono ne jamči da će potraživanja za energijom nastaviti s kretanjem u pravom smjeru. Nužno je da tržište bude vođeno dugoročnim usmjerenjem, osiguranim državnom energetskom politikom.

Važno je napomenuti da otvaranje tržišta u energetskom sektoru nije "raj na zemlji". Prema iskustvima i dvojbama razvijenih zemalja izgradnja tržišta je zahtjevan proces, s aktivnom ulogom u izgradnji tržišta, jednako aktivnom ulogom u implementaciji tržišta, u zaštiti potrošača, sigurnosti opskrbe i dugoročnom uravnoteženošću potreba i proizvodnje.

Poimanje tržišta i tržišne razmjene kreće se u vrlo širokim granicama pa se "slobodna tržišna razmjena" koristi onako kako odgovara moćnicima, a taj "izum" sličan je ostalim izumima i ideologijama koji se vrlo često zlorabe. Svi lopovluci (zelenaštvo, iskorištavanje, osiromašenje, itd.) odvijali su se preko slobodne tržišne razmjene.

Iako se često govori o slobodnoj tržišnoj razmjeni, ta razmjena nije mogla nikada biti slobodna, jer je ograničena postojanjem mnogih zakona i odredaba, a bez tih zakona i odredaba imali bismo u tržišnoj razmjeni potpunu anarhiju, pa je zbog toga potrebno oprezno pristupiti pojmu slobodne tržišne razmjene.

Sama apsolutna sloboda, pa bila ona i tržišna, ne može postojati ni u čemu iz jednostavnog razloga što apsolutna sloboda jednoga ograničava slobodu drugoga.

Prvi pokušaj uvođenja liberalizma u svjetske gospodarske odnose poduzela je Velika Britanija u 19. stoljeću s teškim posljedicama za svoje, ali i za svjetsko gospodarstvo. Neoliberalizam u 20. stoljeću započinje se primjenjivati početkom osamdesetih godina (reganomika i tačerizam) i nesumnjivo je, uza stalnu znanstveno-tehnološku revoluciju, doveo do ubrzanja procesa globalizacije i njenih posljedica.

Europski pisci, većinom predvođeni francuskim piscem Pascalom Brucknerom, te pisci malih zemalja boje se za gubljenje indentiteta, jezika, kulture malih naroda. Kongoanski pisac Kama Kamade ide čak tako daleko da za globalizaciju kaže da je ona nova kolonizacija, koju sada diktira kapital svjetskih moćnika koji ne vodi računa o siromašnom dijelu svijeta u kojemu nema ni električne energije, ni pitke vode, ni telefona, niti temeljnih životnih uvjeta.

Privatizacija u energetskom sektoru otvara niz pitanja o kojima je potrebno voditi računa, kako kod priprema odluka tako i kod donošenja i provedbe. Katkada se određena pitanja, u

trenutačnim odnosima i stanjima energetskog tržišta, ne prepoznaju kao problem, ali se mogu brzo i sa snažnim posljedicama pojaviti kao problem. Primjerice, pitanje sigurnosti opskrbe energijom u današnjem kontekstu, u vrijeme obilne opskrbe, s dobrim pristupom energentima i po pristupačnim cijenama, čini se paradoksalnim. Međutim, dosadašnje krize u energetskom sektoru u zemljama i na područjima najvećih proizvođača nafte i plina upozoravaju da se stvari mogu brzo promijeniti.

Energetski sektor u zemljama svijeta nije jednoznačno organiziran, ni vlasnički, ni strukturno, ni prostorno, nego su organizacijski i vlasnički odnosi nastajali evolucijski kao izraz potreba, mogućnosti i interesa usklađeno s ostalim dijelom gospodarstva. Iako su ciljevi energetske i gospodarske efikasnosti jednaki, pristupi rješenju odnosa u energetskom sektoru pojedinih zemalja nisu jednaki, kao ni mogućnosti rješavanja pojedinih problema. Specifičnost energetskog sektora pojedinih zemalja rezultanta je čitavog niza obilježja, poput oblika organizacije, strukture vlasništva kapitala, izvora prirodnih oblika energije, strukture proizvodnih kapaciteta, strukture potrošnje, prijenosa, transporta oblika energije, distribucije, sustava utvrđivanja prodajne cijene, energetske i gospodarske politike zemlje.

Budući da nema određenih granica kod izbora između državnog (često zvanog "javnog") i privatnog poduzeća, N. Kandor ovako komentira granice tog izbora: "zbor između javnog i privatnog poduzeća ne može se univerzalno analizirati, a da se ne uzme u obzir okvir političkih i socijalnih institucija, tradicije, povijesti i stupnja dostignutog razvoja svake pojedine zemlje, na koju se analiza primjenjuje."

Prelazeći na bilo koju novu vlasničku strukturu treba voditi računa o sljedećim elementima:

a) dugoročnoj političko-socijalnoj prihvatljivosti,
b) financijskoj održivosti,
c) uspješnom poslovanju i financiranju,
d) gospodarenju prirodnim dobrima.

Kada se promišlja ili provodi pretvorba i privatizacija energetskog sektora, uvijek se mora zaštititi prirodno dobro od interesa za čitavu zemlju. Ako se pođe od tog načela, u onda je lako obaviti pretvorbu i privatizaciju energetskih poduzeća koja se bave proizvodnjom, preradom i prodajom nafte, plina i ugljena, a znatno je složenije kada se radi o elektroenergetskom sustavu.

Privatizacija u energetskom sustavu može biti nužna i opravdana ako razvija konkurentske odnose i ako potiče investiranje privatnoga kapitala putem financijskog tržišta i drugih tržišnih institucija, te ako doprinosi povećanju efikasnosti, racionalnosti poslovanja i razvitka, gledano dugoročno.

Postrojenja od vitalnog, a mogu biti i od sudbonosnog, značenja za sigurnost zemlje su infrastrukturna postrojenja i to: produktovodi (naftovodi, plinovodi, toplovodi, vodovodi), dalekovodi, željezničke pruge i ceste. Ta infrastruktura u svim kombinacijama mora biti pod nadzorom države.

Budući da Hrvatska nema ugljena, energetiku u Hrvatskoj čine ugljikovodici (nafta i plin), te električna energija. O proizvodnji, preradi i distribuciji nafte brine se INA (Industrija nafte), kao i o proizvodnji i dobavi plina, dok se Hrvatska elektroprivreda (HEP) brine o proizvodnji, prijenosu i distribuciji električne energije.

U literaturi je zabilježeno da je, prigodom političkog stvaranja država, određeno da sva prirodna blaga koja se nalaze na teritoriju jednog naroda – pripadaju cijelom narodu. O prirodnom blagu ne bi smio nitko odlučivati osim naroda na referendumima. Ono se može dati samo u koncesiju, a ne otuđiti.

Posebnost reforme hrvatskog energetskog sektora je integriranost triju usklađenih procesa, koji se odvijaju gotovo paralelno. To su restrukturiranje, otvaranje energetskog tržišta i privatizacija. Cilj restrukturiranja je povećanje ekonomske učinkovitosti, pa je to poželjan proces nevezan za cjelovitost reforme. U okviru reforme on doprinosi demonopolizaciji, u smislu razdvajanja vertikalno integriranih djelatnosti.

Otvaranje energetskog tržišta karakterizira demonopolizacija i omogućavanje konkurencije u ponudi prema krajnjem potrošaču. Demonopolizacija se ne odnosi samo na državno vlasništvo, nego i na privatno, pa zbog stečenih monopolnih pozicija privatni kapital u zemljama Europske unije vodi nesmiljeni rat s administracijom koja propisuje sadržaj direktiva. Razdvajanjem energetskih djelatnosti želi se osigurati slobodan pristup mrežama, koje su tzv. prirodni monopoli, te su zbog toga regulirane, a slobodnom se tržištu prepušta proizvodnja energije i trgovanje energijom.

Privatizacija energetskog sektora s posebnim osvrtom na HEP politička je obveza koju je Hrvatska preuzela određivanjem ulaska u Europsku uniju kao jednog od glavnih strategijskih ciljeva svojeg razvitka. Uz to, prihvaćanjem Europske energetske povelje naša se zemlja izričito obvezala na prihvaćanje načela otvorenosti tržišta energije.

Privatizacija energetike, uz nužan oprez, te u tom sklopu privatizacija HEP-a obveza je koja nije sporna, ali to je ujedno i način prilagođavanja hrvatskog energetskog sektora zahtjevima suvremene organizacije i vođenja poslovanja. To je ujedno i sredstvo racionalne uporabe kapitala i uvođenja suvremenog poslovnog upravljanja.

Republika Hrvatska je potpisnica Europske energetske povelje kojom se odredila da će ubrzati liberalizaciju energetskog sektora i omogućiti pristup trećim stranama na postojeće prijenosne i transportne sustave. Jedan od ciljeva otvaranja energetskog tržišta je da svi dobavljači energije dobiju jednake, transparentne i nediskriminatorne uvjete opskrbe kupaca, i obratno, da kupci dobiju pravo odabira dobavljača. Ključni preduvjet ostvarenja i održavanja tih uvjeta koji omogućuju konkurenciju u svakom segmentu energetskog sustava, ali isto tako postizanje i svih ostalih ciljeva glede strukture energetskog tržišta, energetske efikasnosti, zaštite sudionika i sl. je postojanje jasne i precizne zakonske regulative. Republika Hrvatska se u procesu izrade svog zakonodavnog okvira energetskog sektora, a pripremajući se za buduće članstvo u Europskoj uniji, odredila u pravcu uvođenja konkurencije u opskrbi i otvaranju tržišta (Direktive Europske unije o liberalizaciji elektroenergetskog i plinskog tržišta).

Novim Direktivama donesenim u ljeto 2003. za liberalizaciju elektroenergetskog i plinskog tržišta pojačava stavove vezano uz javnu uslugu navodeći kako je osobito značajno osigurati svim kupcima isporuku električne energije i plina visoke kvalitete na njihovom području. Kao dopuna tom stavu, zemlje članice Europske unije su predložile odgovarajuće odredbe za električnu energiju i plin, kako bi se osigurala primjena javne usluge, vezano uz:

1. zaštitu kupaca od neopravdanih iskapčanja (radi se o starijim osobama, nezaposlenima i osobama s posebnim potrebama);
2. zaštita temeljnih interesa kupaca: zemlje članice su u obvezi definirati minimum zahtjeva prigodom ugovaranja isporuke energije, transparentnost informacija, te postojanje razvidnog i jeftinog mehanizma rješavanja sporova;
3. socijalna i ekonomska kohezija u postizanju odgovarajućih mjera kako bi se osigurala isporuka energije uz razumne cijene, primjerice perifernih područja;
4. zaštita okoliša;
5. sigurnost opskrbe, osiguravanjem odgovarajuće razine održavanja i razvitka infrastrukture, te osobito razvitak interkonekcija.

Restrukturiranje HEP-a je u punom zamahu i može se očekivati da će nova organizacija

brzo zaživjeti. Još nema naznaka o privatizaciji glavnih dijelova elektroenergetskog sustava: proizvodnje, prijenosa (koji se ne smije privatizirati) i distribucije.

Restrukturiranje mora biti vječiti zadatak svake organizacije – od obitelji pa nadalje. Riječ je o umijeću i odgovornosti upravljanja i rada, i o tome ne bi trebalo posebno raspravljati.

Pretvorba i privatizacija elektroenergetskog sustava složena je i osjetljivija, jer se moraju zadovoljiti tehničko-tehnološko-ekonomske specifičnosti koje proizlaze prije svega iz složenosti elektroenergetskog sustava.

Privatizacija u elektroenergetskom sustavu može biti nužna i opravdana ako razvija konkurentske odnose i ako potiče investiranje privatnog kapitala putem financijskog tržišta i drugih tržišnih institucija, ako pridonosi povećanju efikasnosti, racionalnosti poslovanja i razvitka gledano dugoročno.

Iskustvo je pokazalo da se privatizacijom proizvodnih kapaciteta u elektroenergetskim sustavima mogu ostvariti određeni konkurentski odnosi u proizvodnji i ponudi, međutim ekonomski je nezamislivo da mogu postojati paralelne prijenosne i distributivne mreže, koje bi mogle biti u konkurentskim odnosima.

Slijedom navedenoga, neosporno je da se privatizacija nekih dijelova elektroenergetskog sustava odmah može početi provoditi, i to:

- odvajanjem sekundarnih djelatnosti,
- računovodstvenim praćenjem troškova i novčanih tijekova po djelatnostima ili dijelovima pojedinih djelatnosti uz potrebne pripreme.

U idućim koracima, vodeći računa o prirodnim monopolima i interesu države, moglo bi se poduzeti sljedeće:

- Proizvodnju električne energije u novim termoelektranama potpuno "otvoriti" stranim i domaćim ulagačima. Kod postojećih elektrana razmotriti pristup privatizacije za svaku elektranu pojedinačno. Osobito pozornost posvetiti termoelektranama-toplanama, gdje se kao ulagač može pojaviti lokalna zajednica. Pri tim ugovaranjima kao ključni problem pojavljuje se cijena koju će vlasnicima plaćati elektroenergetski sustav.
- Postojeće hidroelektrane su najkvalitetniji dio elektroenergetskog sustava, a uživaju položajnu rentu i predstavljaju društvenu vrijednost, te zbog toga trebaju imati poseban tretman u privatizaciji. Ako se donese odluka o privatizaciji, preporučuje se prodaja dionica samo domaćim investitorima. Nove hidroelektrane mogu se graditi i u suradnji sa stranim investitorom, ali samo uz koncesiju u razumnom roku.
- Zbog svoje funkcije i strateškog značenja prijenosna mreža treba ostati javno dobro i u vlasništvu Hrvatske elektroprivrede.
- Kod distribucijske mreže privatizacija će ovisiti o razvitku tržišta električne energije, te mogućem razdvajanju funkcije operatora mreže od funkcije prodaje električne energije, kao i o gustoći potrošnje električne energije.

Elektroenergetski sustav je u velikoj mjeri komplementaran, pa se termoelektrane vrlo dobro mogu dopunjavati hidroelektranama, a što u cjelini može biti od koristi za sve sudionike.

Posebno je važno istaknuti da dispečerska služba u nacionalnom elektroenergetskom sustavu mora imati mogućnost putem dispečera upravljati svim postrojenjima sustava u skladu sa zadanim kriterijima, jer samo na taj način elektroenergetski sustav može funkcionirati u skladu s ulogom koju ima u nacionalnoj ekonomiji. Vlasništvo nad pojedinim postrojenjima ne može biti zapreka za jedinstveno upravljanje sustavom, na koje vlasnik praktički ne može utjecati.

U energetskom sektoru su u pravilu i najveći monopolisti. Prirodni monopol pojavljuje se i kod umreženih dijelova energetskog sektora. Tržište takvog tipa ne može se osloniti na

vlastite mehanizme i zahtijeva intervenciju ustanova javne vlasti. Pod prirodnim monopolom podrazumijeva se državni monopol koji je za područje infrastrukture neusporedivo poželjniji od privatnog monopola, jer kod infrastrukture postoje tehničko-tehnološko-ekonomske specifičnosti veoma bitne za razvitak i sigurnost zemlje u cjelini.

S tehničko-tehnološkog stajališta i na temelju sadašnjih spoznaja, moguća su (s obzirom na vlasništvo i organizaciju) različita rješenja, jer su iskustva pojedinih zemalja različita. Svaka je zemlja, ovisno o veličini, interesima i značajkama vlastitog razvitka, razvijala vlastita iskustva. Otvaranje energetskog tržišta nije ni lako ni jednostavno, jer je to dugotrajan i zahtjevan proces.

Iako su ciljevi energetske i gospodarske politike jasni, pristupi u rješenju energetskih problema u različitim zemljama su različiti, posebno kad je u pitanju elektroenergetski sustav. Posljedica toga su različiti pristupi organizaciji i vlasništvu elektroenergetskih sustava. Tako primjerice Francuska, Grčka, Turska, Italija i Portugal su nacionalizirali svoje monopole za proizvodnju i prijenos električne energije. U mnogim zemljama elektroprivrede rade kao regionalna poduzeća (Austrija, Nizozemska, Njemačka), a u Belgiji, Danskoj i Španjolskoj proizvodnja je uglavnom u privatnom vlasništvu. Osim regionalnih poduzeća u Njemačkoj postoje i mješovita poduzeća (javno i privatno). Prijenosna mreža je uglavnom nacionalizirana.

Zbog takve različitosti Europska unija pokušava direktivama stvoriti standarde za izjednačavanje karaktera tržišta električne energije.

Iskustva drugih zemalja evidentno potvrđuju da nema jednostavnog i jedinstvenog puta, odnosno sheme u restrukturiranju i liberalizaciji tržišta energije, a posebno električne energije. Gotovo da je svaka zemlja krenula svojim putom koji još u konačnici nije dorađen. S obzirom na nedostatna iskustva, još uvijek se puno luta u traženju boljih rješenja, pa je potrebno i kod nas dobro otvoriti oči i potpuno se angažirati oko iznalaženja vlastitog puta, pri čemu je potrebno proanalizirati iskustva i rješenja drugih, pa ono što bi odgovaralo našim uvjetima i prilikama prihvatiti.

Otvaranje pak slobodnog tržišta električne energije postavlja pred elektroenergetski sustav Hrvatske brojne probleme. Nemogućnost naplate električne energije, smanjenje velikih gubitaka električne energije, te potrebna ulaganja za dovođenje elektroenergetskog sustava na zavidnu tehničku razinu, nalaže vodstvu Hrvatske elektroprivrede, svim zaposlenicima i stručnjacima odgovoran i dugotrajan rad, kao preduvjet ravnopravnom partnerstvu na tom tržištu.

Slobodno tržište električne energije nije puno toga definiralo poput: hladne i rotirajuće rezerve, temeljne i vršne energije i snage, regulacije napona i frekvencije, kompenzaciju jalove energije i snage, i, što je još najvažnije, izgradnju budućeg elektroenergetskog sustava.

Ovo posljednje je, možda, jedan od najvećih problema, pa treba biti oprezan pri ulasku na slobodno tržište električne energije. Poznato je, da nijedna zemlja (država) ne gradi izvore električne energije da bi energijom osiguravala druge zemlje. Danas to još otežava problem lokacije i osiguranja potrebnog goriva za životni vijek elektrane. Zbog toga se nameće zaključak da slobodno tržište električne energije može primjerno funkcionirati dok ima viškova električne energije u pojedinim elektroenergetskim sustavima. Odnosno, sve dok se poklapaju mogućnosti izvoza jednih s potrebama uvoza drugih sustava. Problemi, pak, nastaju u trenutku kada se ponuda i potražnja ne poklapaju, što se nedavno dogodilo u Kaliforniji, Italiji, Skandinaviji i sjeveroistočnom dijelu Sjedinjenih Američkih Država.

Očekivanja od liberalizacije tržišta u pogledu smanjenja cijena električne energije za kra-

jnjeg kupca su velika, premda je vrlo teško kvantificirati smanjenje cijena ili povezati liberalizaciju kao integralan proces globalnih kretanja s općim kretanjem cijena.

Kod uvođenja deregulacije i liberalizacije svi zagovarači tih procesa prvo su govorili da će se postići veća sigurnost i sniziti cijena električne energije. Da se nije postiglo ni jedno ni drugo dokazuju raspadi elektroenergetskih sustava u Americi i Europi. Deregulacija je u Kaliforniji (San Diego) donijela tri puta veću cijenu 2000. godine u odnosu na prethodnu godinu.

U Floridi računaju da će ukupni porast cijene električne energije biti 34 posto, a struktura tog povećanja je:

- 13 posto porast cijene zbog restrukturiranja,
- tri posto porast cijene zbog tržišnih manipulacija,
- 15 posto porast cijene zbog povećanja troškova goriva,
- tri posto smanjenje cijene koje se u nekim segmentima restrukturiranja postižu.

U Europi je nastalo oduševljenje liberalizacijom sve do trenutka kada su nestali viškovi električne energije istočnoeuropskih zemalja. Naime, prosječna cijena električne energije u istočnoeuropskim zemljama bila je dvostruko niža od one na Zapadu. Sada, kad je to presahnulo, nitko više ne govori o sniženju cijena, nego oni isti zagovornici liberalizacije govore kako je normalno da će cijene rasti.

Povećane cijene nastale su zbog sve više ispada elektroenergetskih postrojenja i zbog povećanja cijena goriva. Drugi opet okrivljuju tržišne zloporabe, dok treći tvrde da kompetetivno tržište nije još uspostavljeno. Činjenice su, ipak, da velik broj onih koji imaju dobit od restrukturiranja nisu zainteresirani za analize troškova i dobiti. Oni prodaju restrukturiranje naivnoj javnosti (Amerika je u pitanju) pod geslom da je kompetetivnost dobra i da će reducirati troškove. Neki američki znanstvenici (E. Coyle, J. M. Keynes, M. Maloney i dr.) upozoravali su na laka obećanja kod deregulacije i liberalizacije tržišta električne energije tretirajući je kao svaku drugu robu. Međutim, po njihovu mišljenju, električna energija je stvarno servis, a ne proizvod. To znači da uzima energiju u jednom obliku (gorivo, voda) s jedne lokacije i isporučuje odmah na drugoj lokaciji u puno uporabljivijem i kontroliranijem obliku.

Kod realizacije privatizacije, deregulacije i liberalizacije elektroenergetskog sektora, događala su se i dobra i loša iskustva. Iz tih iskustava treba izvući pouke i poruke o mogućim promjenama u elektroenergetskom sustavu, a posebno imati na umu da još uvijek nije definiran novi način trgovanja električnom energijom. Još uvijek nema pravog odgovora na pitanje ravnoteže između utjecaja države i privatnog poduzetništva. Iz te ravnoteže trebao bi proisteći i rizik za pojedine sudionike u kreiranju budućnosti elektroenergetskog sektora. Iz kazanoga se nameće obveza praćenja i pripremanja za promjene, uz vrlo važnu napomenu da se ne smije očekivati da će tržište samo po sebi riješiti sve probleme.

Elektroprivrede europskih zemalja razvijale su svoju organizaciju u skladu s političkim i gospodarskim kretanjima, tako da trenutno postoji velika raznolikost sustava.

Međutim, specifičnost proizvodnje i plasmana električne energije utječe na to da i tamo gdje je privatizirano tržište ipak država obavlja temeljno planiranje proizvodnje i prijenosa, te upravlja elektroenergetskim sustavom. Kod tih elektroprivreda vlasnički odnosi određuju organizaciju u proizvodnji i distribuciji, a posebno se prilagođavaju pravilima korištenja visokonaponske mreže i okvirima koje daju uvjeti uključivanja u tu mrežu.

Proces privatizacije snažno je zahvatio elektroprivrednu oblast u svim zemljama, kako u razvijenim tako i nerazvijenim zemljama, dakle, radi se o svjetskom procesu.

Velike su razlike, međutim, u strukturi i dinamici tih promjena, zbog čega je nužno pažljivo pratiti sve informacije i odvagnuti argumente pri izradi hrvatske strategije.

U elektroenergetskom sustavu država preuzima ulogu moderatora ukupnih zbivanja u elektroenergetici, nastojeći održati dinamičku ravnotežu između prirodnog monopola i zahtjeva potrošača i ona treba omogućiti ulaganja kapitala u elektroprivredu, naročito inozemnog, za što je potrebno izgraditi organizacijski – ali i pravno – disperziran poslovni sustav.

U organizaciji se polazi od toga da se jasno razgraniče temeljne djelatnosti – proizvodnja, prijenos i distribucija i da međusobno i u odnosu na prateće funkcije i djelatnosti (primjerice toplinarstvo) s posebnim financijskim obračunima omogućuju transparentnost troškova i slabljenje monopola na nacionalnoj i međunarodnoj razini.

Koncepcija tržišnog restrukturiranja elektroenergetskog sustava na proizvodnju i prijenos i distribuciju omogućava razvoj specifičnih tržišnih odnosa, koji se ne razvijaju na identičan način ni po sadržaju niti po dinamici, ali sve pod utjecajem države na načelima stvaranja preduvjeta, realizacije sustava, koordinacije i nadzora vitalnih funkcija.

Poduzeća za proizvodnju i distribuciju u mogućnosti su birati (buduće vlasnike) između većeg broja ponuđača, pri čemu im pravo ulaganja u vlastitu ili kooperanstsku proizvodnju značajno popravlja tržišni položaj. Konkurencija u izboru opskrbitelja s jedne strane te konkurencija u proizvodnji uz slobodan pristup prijenosnim vezama, stvara preduvjete za bolju poslovnost.

Prijenos i upravljanje i dalje predstavljaju monopol koji djeluje pod utjecajem države, ali svojim otvorenim pristupom omogućuje i usmjerava funkcioniranje kompleksnog tržišta elektroenergije. Međutim, svi sudionici tržišta moraju tehnički i poslovno prihvaćati i pridržavati se utvrđenih pravila, pri čemu su komercijalni uvjeti korištenja sustava od iznimne važnosti i za državu i za poslovne subjekte.

10

Organizacija i problemi slobodnog tržišta električne energije u Hrvatskoj

10.1 Polazne postavke za slobodno tržište električne energije

Temeljni dokument koji definira način uspostave tržišta električne energije u zemljama Europske unije jest direktiva 96/92/EC koja je na snazi od veljače 1997. godine, odnosno Direktiva 2003/54/EC koja u potpunosti zamjenjuje Direktivu 96/92/EC i na snazi je od srpnja 2003. godine. U pristupu i primjeni direktive velika je raznolikost u zemljama Europske unije:

- različite razine otvorenosti tržišta,
- vertikalno razdvajanje elektroprivrednih poduzeća provedeno je na različite načine,
- većina zemalja odlučila se za regulirani pristup mreži,
- različite razine cijena električne energije.

Proces ujednačavanja načina tarifiranja i iznosa naknada za korištenje prijenosne mreže na razini Europske unije teško se realizira i pitanje je kada će biti dovršen. Problemi su oko cijena tranzita, te oko operatora sustava i operatora prijenosne mreže. Direktivom iz 2003. godine dopušta se da se operator prijenosne mreže i operator distribucijske mreže mogu ujediniti, što bi pogodovalo manjim zemljama.

Neke od zemalja tranzicije su već prije nekoliko godina u svoje zakone ugradile odredbe koje omogućuju konkurenciju u djelatnosti proizvodnje, a neke čak i u opskrbi. Nije baš jednostavno pratiti aktualno stanje u svakoj od zemalja i ponekad se dogodi da informacija iz neke zemlje toliko kasni da više i ne oslikava pravo stanje stvari. Međutim, po tko zna koji put se pokazuje da je znatno lakše nešto ugraditi u zakon nego provesti u praksi. Naime, preduvjet za uspješno funkcioniranje otvorenog tržišta električne energije je visoka razina organizacijske i tehničke osposobljenosti unutar elektroenergetskog sustava. Tržište može funkcionirati ondje gdje postoji dovoljno kapaciteta i gdje su osigurani svi tehnički, pravni i financijski uvjeti. Za osiguranje tehničkih uvjeta nužna je vrlo sofisticirana oprema, koja traži velika ulaganja. Uz pretpostavku da su pravni uvjeti stvoreni nizom konzistentnih zakona i podzakonskih akata (što je također upitno), ostaje problem cijene električne energije i financijske discipline svih subjekata na tržištu.

10.2 Direktiva Europske unije za električnu energiju

Provodeći u život Direktivu 96/92/EC zemlje Europske unije uvidjele su dosta nedostataka. Europski parlament prihvatio je novu Direktivu 2003/54/EC za električnu energiju.

Direktiva za električnu energiju 2003/54/EC stupila je na snagu u srpnju 2003. godine, a

od 1. srpnja 2004. godine države članice Europske unije trebale su uskladiti svoje zakone i propise s Direktivom.

Direktiva 2003/54/EC Europskog parlamenta i Vijeća

koja se odnosi na zajednička pravila za unutarnje tržište električne energije i kojom se opoziva Direktiva 96/92/EC

EUROPSKI PARLAMENT I VIJEĆE EUROPSKE UNIJE

uzimajući u obzir Ugovor kojim se osniva Europska zajednica, a posebno njegov članak 47.(2.), članak 55. i članak 95., uzimajući u obzir prijedloge Komisije, uzimajući u obzir Mišljenje europskog Gospodarskog i socijalnog odbora, nakon savjetovanja s Odborom regija, djelujući u skladu s postupkom predviđenim u članku 251. Ugovora,

budući da:

(1) je Direktiva 96/92/EC Europskog parlamenta i Vijeća od 19. prosinca 1996. koja se odnosi na zajednička pravila za unutarnje tržište električne energije značajno pridonijela stvaranju unutarnjeg tržišta električne energije.

(2) Iskustvo u provedbi ove Direktive pokazuje prednosti koje mogu proizaći iz unutarnjeg tržišta električne energije u smislu povećanja učinkovitosti, smanjenja cijena, viših standarda usluga i povećanja konkurentnosti. Međutim, i dalje postoje značajni nedostaci i mogućnosti za unapređenje rada tržišta, osobito su potrebne konkretne odredbe kojima se osigurava ravnopravno natjecanje u proizvodnji i smanjenje rizika od tržišne dominacije i grabežljivog ponašanja i koje jamče nediskriminirajuće tarife za prijenos i distribuciju kroz pristup mreži utemeljen na tarifama koje se objavljuju prije njihovog stupanja na snagu i jamče zaštitu prava malih i ugroženih kupaca i otkrivanje podataka o energetskim izvorima za proizvodnju električne energije kao i upućivanje na izvore podataka, ako su raspoloživi, u kojima su navedeni podaci o utjecaju tih izvora na okoliš.

(3) Na sastanku održanom u Lisabonu 23. i 24. ožujka 2000., Vijeće Europe je zatražilo da se ubrzaju radovi vezani uz konačno formiranje unutarnjeg tržišta u elektroenergetskom i plinskom sektoru i ubrza liberalizacija ovih sektora s ciljem postizanja potpuno djelotvornog unutarnjeg tržišta. Europski parlament je u svojoj Rezoluciji o drugom izvješću Komisije o stanju liberalizacije energetskih tržišta, donesenoj 6. srpnja 2000, zatražio od Komisije da usvoji detaljan raspored postizanja točno definiranih ciljeva kako bi se postupno i potpuno liberaliziralo energetsko tržište.

(4) Slobode koje su europskim građanima zajamčene Ugovorom – slobodno kretanje roba, sloboda pružanja usluga i sloboda poslovnog nastana – moguće je ostvariti samo na potpuno otvorenom tržištu koje svim kupcima omogućava da slobodno biraju svoje dobavljače, a svim dobavljačima da slobodno pružaju usluge svojim kupcima.

(5) Glavne prepreke stvaranju potpuno djelotvornog i konkurentnog unutarnjeg tržišta povezane su, između ostalog, s pitanjem pristupa mreži, pitanjem tarifa i različitih stupnjeva tržišnog otvaranja u pojedinim državama članicama.

(6) Da bi tržišno natjecanje funkcioniralo, pristup mrežama treba biti nediskriminirajući, razvidan i po pravičnim (tržišnim) cijenama.

(7) Nediskriminirajući pristup mreži operatora prijenosnog ili distribucijskog sustava od najveće je važnosti za konačno formiranje unutarnjeg tržišta električne energije. Operatora prijenosnog ili distribucijskog sustava može činiti jedan ili više subjekata.

(8) Da bi se osigurao učinkovit i nediskriminirajući pristup mreži uputno je da kod vertikalno integriranih subjekata distribucijske i prijenosne sustave vode pravno odvojeni subjekti. Komisija treba procijeniti mjere koje imaju istovjetan učinak, a koje su izradile države

članice u svrhu postizanja cilja ovog uvjeta i, po potrebi, dostaviti prijedloge izmjena i dopuna ove Direktive. Također je uputno da operatori prijenosnog i distribucijskog sustava imaju učinkovita prava donošenja odluka glede imovine koja je potrebna za održavanje, pogon i razvoj mreža ako je ta imovina u vlasništvu i ako s njom upravljaju vertikalno integrirani subjekti. Nužno je zajamčiti neovisnost operatora distribucijskog sustava i operatora prijenosnog sustava, posebno s obzirom na interese proizvodnje i opskrbe. Stoga moraju biti uspostavljene neovisne strukture upravljanja između operatora distribucijskog sustava i operatora prijenosnog sustava te svih subjekata koja se bave proizvodnjom/opskrbom.

Pa ipak, važno je razlikovati takvo pravno odvajanje od vlasničkog odvajanja. Pravno odvajanje ne podrazumijeva promjenu vlasništva nad imovinom i ništa ne priječi primjenu sličnih ili istovjetnih uvjeta zapošljavanja koji se primjenjuju u vertikalno integriranim subjektima u cjelini. Međutim, organizacijskim mjerama treba osigurati nediskriminirajući proces odlučivanja vezano uz neovisnost osoba odgovornih za donošenje odluka.

(9) U slučaju malih sustava, možda treba osigurati da operatori prijenosnih sustava koji su međupovezani s malim sustavima pružaju usluge sustava.

(10) Iako se ta Direktiva ne bavi pitanjima vlasništva, podsjećamo da u slučaju kad neki subjekt obavlja aktivnosti prijenosa i distribucije, a po svojoj je pravnoj formi odvojen od subjekata koji obavljaju aktivnosti proizvodnje i/ili opskrbe električnom energijom, imenovani operatori sustava mogu biti isti oni subjekti koji su vlasnici infrastrukture.

(11) Da bi se izbjeglo nametanje nerazmjernog financijskog i administrativnog tereta malim distribucijskim poduzećima, države članice trebaju biti u stanju, gdje je to potrebno, izuzeti takva poduzeća od uvjeta pravnog razgraničenja distribucije.

(12) Postupci autorizacije ne smiju voditi administrativnom opterećenju koje je nerazmjerno veličini i mogućem utjecaju proizvođača električne energije.

(13) Treba poduzeti dodatne mjere kako bi se osigurale razvidne i nediskriminirajuće tarife za pristup mrežama. Te tarife trebaju se primjenjivati na sve korisnike mreža na nediskriminirajući način.

(14) Da bi se olakšalo elektroenergetskom subjektu s poslovnim nastanom u nekoj državi članici da sklapa ugovore za opskrbu električnom energijom s povlaštenim kupcima u drugoj državi članici, države članice i, po potrebi, nacionalna nadležna regulatorna tijela trebaju raditi na uspostavi jedinstvenijih uvjeta i iste razine povlaštenosti na cijelom unutarnjem tržištu.

(15) Učinkovita regulativa koju provodi jedno ili više nacionalnih nadležnih regulatornih tijela je važan čimbenik koji jamči nediskriminirajući pristup mreži. Države članice utvrđuju funkcije, nadležnosti i administrativne ovlasti nadležnih regulatornih tijela. Važno je da sva nadležna regulatorna tijela u svim državama članicama imaju isti minimum nadležnosti.

Ta nadležna tijela trebaju biti nadležna za utvrđivanje ili donošenje tarifa ili barem metodologija koje su temelj za izračun tarifa za prijenos i distribuciju. Da bi se izbjegla promjenjivost tarifa te skupi i dugotrajni sporovi, ove tarife trebaju biti objavljene prije njihovog stupanja na snagu.

Komisija je naznačila da namjerava osnovati Skupinu europskih regulatora za električnu energiju i plin koja će biti odgovarajući savjetodavni mehanizam za poticanje suradnje i koordiniranje nacionalnih nadležnih regulatornih tijela u svrhu promicanja razvoja unutarnjeg tržišta električne energije i plina i doprinosa dosljednoj primjeni odredbi ove Direktive i Direktive Europskog parlamenta i Vijeća 2003/55/EC [o unutarnjem tržištu plina] te Uredbe Europskog parlamenta i Vijeća (EC) br. 1228/2003. [o prekograničnim razmjenama električne energije] u svim državama članicama.

(16) Da bi se svim sudionicima na tržištu osigurao učinkovit pristup tržištu, uključujući nove sudionike na tržištu, potrebni su nediskriminirajući mehanizmi uravnoteženja u kojima se odražavaju troškovi. Čim tržište električne energije bude dovoljno likvidno, to treba postići uspostavom razvidnih tržišnih mehanizama za opskrbu i kupnju električne energije potrebne za uravnoteženje dobave i potražnje. U odsustvu takvog likvidnog tržišta nacionalna nadležna regulatorna tijela trebaju igrati aktivnu ulogu i pobrinuti se da tarife za uravnoteženje budu nediskriminirajuće i da odražavaju troškove. Istovremeno, treba osigurati odgovarajuće poticaje kako bi se uravnotežila predaja i preuzimanje električne energije bez ugrožavanja sustava.

(17) Nacionalna nadležna regulatorna tijela trebaju biti u stanju utvrđivati i donositi tarife ili metodologije na osnovi kojih se izračunavaju tarife temeljem prijedloga koji daje operator prijenosnog sustava ili operator(i) distribucijskog sustava ili temeljem prijedloga koji je usuglašen između ta dva operatora i korisnika mreže. U obavljanju ovih zadataka nacionalna nadležna regulatorna tijela trebaju osigurati da prijenosne i distribucijske tarife budu nediskriminirajuće i da odražavaju troškove te trebaju uzeti u obzir dugoročne, marginalne i izbjegnute troškove mrežc koji proizlaze iz distribuirane proizvodnje i mjera upravljanja potrošnjom.

(18) Svim gospodarskim granama i trgovini Zajednice, uključujući malo i srednje poduzetništvo, i svim građanima Zajednice koji imaju ekonomsku korist od unutarnjeg tržišta treba također omogućiti visoku razinu zaštite kupaca, a posebice kućanstvima i, ondje gdje to države članice smatraju primjerenim, malom poduzetništvu treba zajamčiti javne usluge, posebice u odnosu na sigurnost opskrbe i razborite tarife u svrhu postizanja pravičnosti, konkurentnosti i, neizravno, otvaranja novih radnih mjesta.

(19) Kupci električne energije trebaju biti u mogućnosti slobodno birati svog dobavljača. Ipak, pri konačnom formiranju unutarnjeg tržišta električne energije treba usvojiti pristup u fazama kako bi se omogućila prilagodba djelatnosti i osigurala uspostava odgovarajućih mjera i sustava kojima se štite interesi kupaca i osigurava da kupci imaju stvarna i učinkovita prava izbora dobavljača.

(20) Progresivno otvaranje tržišta prema potpunom tržišnom natjecanju treba što je moguće prije otkloniti razlike među državama članicama. Treba osigurati razvidnu i nedvojbenu provedbu ove Direktive.

(21) Gotovo sve države članice izabrale su osigurati tržišno natjecanje na tržištu proizvodnje električne energije kroz razvidan postupak autorizacije. Međutim, države članice trebaju osigurati veću sigurnost opskrbe pokretanjem natječajnog postupka ili nekog istovjetnog postupka u slučaju da se ne izgrade dostatni proizvodni kapaciteti na temelju postupka autorizacije i kogeneraciju topline i električne energije.

Države članice trebaju imati mogućnost, u interesu zaštite okoliša i promicanja najnovijih tehnologija, natjecanje za nove kapacitete na osnovi objavljenih kriterija. Novi kapaciteti uključuju, između ostalog, obnovljive izvore energije i kogeneraciju topline i električne energije.

(22) U interesu sigurnosti opskrbe, treba pratiti uravnoteženje dobave/potražnje u pojedinim državama članicama, a nakon praćenja treba uslijediti izvješće o situaciji na razini Zajednice, u kojem su uzeti u obzir interkonekcijski kapaciteti između područja. Takvo praćenje treba izvršiti dovoljno rano kako bi se omogućilo poduzimanje odgovarajućih mjera ako bude ugrožena sigurnost opskrbe. Izgradnja i održavanje potrebne mrežne infrastrukture, uključujući interkonekcijske kapacitete, trebaju pridonijeti stabilnoj opskrbi električnom energijom. Održavanje i izgradnja potrebne mrežne infrastrukture, uključujući interkonekcijske

kapacitete i decentraliziranu proizvodnju električne energije, važni su elementi u osiguranju stabilne opskrbe električnom energijom.

(23) Države članice trebaju osigurati da kupci u kategoriji kućanstava i, ondje gdje to države članice smatraju primjerenim u kategoriji malog poduzetništva imaju pravo opskrbe električnom energijom određene kvalitete po jasno usporedivim, razvidnim i razboritim cijenama. Da bi se osiguralo održavanje visokih standarda javne usluge u Zajednici, Komisiju treba redovno obavještavati o svim mjerama koje poduzimaju države članice u svrhu postizanja ciljeva ove Direktive. Komisija treba redovno objavljivati izvješće u kojem se analiziraju mjere poduzete na nacionalnoj razini za postizanje ciljeva javne usluge i uspoređuje njihova učinkovitost radi davanja preporuka o tome koje mjere treba poduzeti na nacionalnoj razini za postizanje visokih standarda javne usluge.

Države članice poduzet će sve potrebne mjere za zaštitu ugroženih kupaca u kontekstu unutarnjeg tržišta elektirčne energije. Te se mjere mogu razlikovati sukladno specifičnim okolnostima u odnosnoj državi članici i mogu uključiti određene mjere koje se odnose na plaćanje računa za električnu energiju ili općenitije mjere koje se poduzimaju u sustavu socijalne sigurnosti.

Ako se i malom poduzetništvu pružaju opće usluge, mjere kojima se osigurava pružanje tih općih usluga mogu se razlikovati prema kućanstvima i malom poduzetništvu.

Komisija je naznačila da namjerava pokrenuti inicijative posebice vezano uz područje primjene odredbe o označavanju, a osobito glede načina na koji se podaci o utjecaju na okoliš najmanje glede emisija CO_2 i radioaktivnog otpada koji nastaje tijekom proizvodnje električne energije iz različitih energetskih izvora mogu staviti na raspolaganje na razvidan, lako dostupan i usporediv način širom Europske unije i načina na koji treba povećati učinkovitost mjera koje se poduzimaju u državama članicama u svrhu kontroliranja točnosti navoda dobavljača.

(24) Poštivanje uvjeta glede javnih usluga je temeljni zahtjev ove Direktive i važno je u ovoj Direktivi odrediti minimalne zajedničke norme koje trebaju poštivati sve države članice, a koje uzimaju u obzir ciljeve opće zaštite, sigurnosti opskrbe, zaštite okoliša i istovjetne razine tržišnog natjecanja u svim državama članicama. Važno je da se uvjeti glede javne usluge mogu tumačiti na nacionalnoj osnovi uzimajući u obzir nacionalne okolnosti, a podložno poštivanju prava Zajednice.

(25) Države članice mogu imenovati dobavljača u zadnjoj instanci. Taj dobavljač može biti odjel prodaje vertikalno integriranog subjekta koji obavlja i funkcije distribucije, pod uvjetom da zadovoljava uvjet razgraničenja iz ove Direktive.

(26) Mjere koje su provele države članice u svrhu postizanja ciljeva socijalne i ekonomske kohezije mogu konkretno uključivati osiguranje odgovarajućih ekonomskih poticaja korištenjem, po potrebi, svih postojećih nacionalnih alata i alata Zajednice. Ovi alati mogu uključivati mehanizme odgovornosti koji garantiraju potrebne investicije.

(27) Do opsega do kojeg mjere koje poduzimaju države članice u ispunjenju obveze javne usluge čine državnu pomoć iz članka 87.(1) Ugovora, o tome su obvezne obavijestiti Komisiju u skladu sa člankom 88.(3) Ugovora.

(28) Dokazano je da zahtjev za obavještavanjem Komisije o svakom odbijanju davanja odobrenja (autorizacije) za izgradnju novih proizvodnih kapaciteta predstavlja nepotreban administrativan teret i stoga ga treba odbaciti.

(29) Budući da cilj predložene akcije, konkretno stvaranja potpuno djelotvornog unutarnjeg tržišta električne energije u kojem prevladava pravično tržišno natjecanje, države članice ne mogu ostvariti u dovoljnoj mjeri a taj se cilj može, zbog razmjera i učinka akcije,

bolje ostvariti na razini Zajednice, Zajednica može donijeti mjere u skladu s načelom subsidijarnosti kao što je navedeno u članku 5. Ugovora. U skladu s načelom razmjernosti, kao što je navedeno u istom članku, ta Direktiva ne ide dalje no što je potrebno za postizanje ovog cilja.

(30) U svjetlu iskustva stečenog tijekom provedbe Direktive Vijeća 90/547/EEC od 29. listopada 1990. o tranzitu električne energije kroz prijenosne mreže1, treba poduzeti mjere kako bi se osigurao jedinstven nediskriminirajući režim pristupa u prijenosu, uključujući prekogranične tokove električne energije između država članica. Da bi se osiguralo jedinstven tretman glede pristupa elektroenergetskim mrežama i u slučaju tranzita, tu Direktivu treba opozvati.

(31) S obzirom na opseg izmjena i dopuna Direktivi 96/92/EC, poželjno je zbog jasnoće i racionalizacije preraditi odnosne odredbe.

(32) Ova Direktiva poštuje temeljna prava i načela priznata poglavito Poveljom o temeljnim pravima Europske unije,

DONIJELI SU OVU DIREKTIVU

Poglavlje I

Područje primjene i definicije

Članak 1.

Područje primjene

Ovom se Direktivom uspostavljaju zajednička pravila za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije i opskrbu električnom energijom. Direktiva utvrđuje pravila koja se odnose na organizaciju i djelovanje elektroenergetskog sektora, pristup tržištu, natječajne kriterije i postupke i kriterije i postupke za davanje autorizacije kao i na pogon sustava.

Članak 2.

Definicije

U smislu ove Direktive:

1) "proizvodnja" je proizvodnja električne energije;

2) "proizvođač" je fizička ili pravna osoba koja proizvodi električnu energiju;

3) "prijenos" je transport električne energije preko interkonektirane mreže ekstra visokog i visokog napona s ciljem njene isporuke krajnjem kupcu ili distributerima, ali ne uključuje opskrbu;

4) "operator prijenosnih mreža" je fizička ili pravna osoba odgovorna za pogon, osiguravanje održavanja i, po potrebi, razvoj prijenosnih mreža na datom području te, po potrebi, za interkonekcije tih mreža s drugim mrežama i osiguravanje dugoročne sposobnosti mreža da zadovolji razborite zahtjeve glede prijenosa električne energije;

5) "distribucija" je transport električne energije preko distribucijske mreže visokog, srednjeg i niskog napona s ciljem njene isporuke kupcima, ali ne uključuje opskrbu;

6) "operator distribucijske mreže" je fizička ili pravna osoba odgovorna za pogon, osiguravanje održavanja i, po potrebi, razvoj distribucijske mreže na datom području te, po potrebi, za interkonekcije te mreže s drugim mrežama i osiguravanje dugoročne sposobnosti mreže da zadovolji razborite zahtjeve glede distribucije električne energije;

7) "kupci" su kupci na veliko i krajnji kupci električne energije;

8) "kupci na veliko" su fizičke i pravne osobe koje kupuju električnu energiju u svrhu preprodaje unutar ili izvan sustava u kojem imaju poslovni nastan;

9) "krajnji kupci" su kupci koji kupuju električnu energiju za vlastitu uporabu;

10) "kućanstva" su kupci koji kupuju električnu energiju za uporabu u vlastitom kućanstvu, izuzimajući komercijalne ili profesionalne djelatnosti;

11) "svi kupci izvan kategorije kućanstava" su sve fizičke ili pravne osobe koje kupuju električnu energiju, a ne koriste je u vlastitom kućanstvu i uključuju proizvođače i kupce na veliko;

12) "povlašteni kupci" su kupci koji mogu slobodno kupovati električnu energiju od opskrbljivača po vlastitom izboru u smislu članka 21. ove Direktive;

13) "interkonektori" su sva oprema koja se koristi za povezivanje elektroenergetskih mreža;

14) "interkonektirana mreža" je izvjestan broj prijenosnih i distribucijskih mreža međusobno povezanih preko jednog ili više interkonektora;

15) "izravni vod" je ili elektroenergetski vod koji povezuje izoliranu proizvodnu lokaciju s izoliranim kupcem ili elektroenergetski vod koji povezuje proizvođača električne energije i subjekt za opskrbu električnom energijom u svrhu izravne opskrbe njihovih vlastitih poslovnih prostora, ovisnih društava ili povlaštenih kupaca;

16) "ekonomska prednost" je rangiranje izvora za opskrbu električnom energijom u skladu s ekonomskim kriterijima;

17) "usluge sustava" su sve usluge koje su potrebne za rad prijenosnog ili distribucijskog sustava;

18) "korisnici mreže" su sve fizičke ili pravne osobe koje isporučuju u ili se opskrbljuju iz prijenosne ili distribucijske mreže;

19) "opskrba" je prodaja, uključujući preprodaju, električne energije kupcima;

20) "integrirani elektroenergetski subjekt" je svako vertikalno ili horizontalno integrirano poduzeće;

21) "vertikalno integrirani subjekt" je poduzeće ili grupa poduzeća čiji su međusobni odnosi definirani u članku 3.(3) Uredbe Vijeća br. 4064/89 (EEC) od 21. prosinca 1989. koja se odnosi na praćenje koncentracije subjekata na tržištu, pri čemu poduzeće/grupa u pitanju obavlja barem jednu od funkcija prijenosa ili distribucije i barem jednu od funkcija proizvodnje ili opskrbe električnom energijom;

22) "podređeni subjekti" su ovisna društva, u smislu članka 41. Sedme direktive Vijeća 83/349/EEC od 13. lipnja 1983. utemeljene na članku 44.(2.)(g) Ugovora koja se odnosi na konsolidirane račune, i/ili ovisna društva u smislu članka 33.(1.) iste Direktive, i/ili poduzeća koja pripadaju istim dioničarima;

23) "horizontalno integrirani subjekt" je poduzeće koje obavlja barem jednu funkciju proizvodnje električne energije za prodaju, ili prijenosa, ili distribucije, ili opskrbe električnom energijom i neku drugu djelatnost koja nije vezana za električnu energiju;

24) "natječajni postupak" je postupak kojim se planirane dodatne potrebe za kapacitetima i zamjenski kapaciteti pokrivaju opskrbom iz novih ili postojećih proizvodnih kapaciteta;

25) "dugoročno planiranje" je planiranje potrebnih investicija u proizvodne, prijenosne i distribucijske kapacitete na dugoročnoj osnovi, s ciljem zadovoljavanja potreba sustava za električnom energijom i osiguravanja opskrbe kupaca;

26) "mali izolirani sustav" je svaki sustav koji je 1996. godine imao potrošnju manju od 3000 GWh, pri čemu se manje od pet posto godišnje potrošnje zadovoljilo kroz interkonekcije s drugim sustavima;

27) "mikro izolirani sustav" je svaki sustav koji je 1996. imao potrošnju manju od 500 GWh i kod kojeg ne postoje veze s drugim sustavima;

28) "sigurnost" je i sigurnost opskrbe i nabave električne energije i tehnička sigurnost;

29) "energetska učinkovitost/upravljanje potrošnjom" je globalni ili integrirani pristup kojem je cilj utjecati na količinu i odrediti trenutak potrošnje električne energije da bi se smanjila potrošnja primarne energije i vršna opterećenja na način da se prednost daje investicijama u mjere energetske učinkovitosti ili druge mjere kao što je ugovorena mogućnost prekida napajanja, ako su te mjere najučinkovitija i najekonomičnija opcija, pred investicijama u povećanje proizvodnih kapaciteta, uzimajući u obzir pozitivni utjecaj na okoliš koji ima smanjena potrošnja energije te s tim povezane aspekte sigurnosti opskrbe i troškova distribucije.

30) "obnovljivi izvori energije" su obnovljivi nefosilni izvori energije (vjetar, Sunce, geotermalna energija, valovi, plima i oseka, hidroenergija, biomasa, zemni plin, plin iz postrojenja za obradu otpadnih voda i bioplinovi);

31) "distribuirana proizvodnja" su elektrane priključene na distribucijski sustav.

Poglavlje II

Opća pravila organiziranja sektora

Članak 3.

Obveza javne usluge i zaštita kupaca

1. Države članice osiguravaju, na temelju svoje institucionalne organizacije i uzimajući u obzir načelo subsidijarnosti, a ne dovodeći u pitanje stavak 2., da elektroenergetski subjekti posluju sukladno načelima ove Direktive s ciljem stvaranja konkurentnog, sigurnog i ekološki održivog tržišta električne energije i ne vrše diskriminaciju između tih subjekata vezano uz njihova prava i obveze.

2. Uz potpuno uvažavanje odgovarajućih odredbi Ugovora, a posebice članka 86. istog, države članice mogu subjektima koji posluju u elektroenergetskom sektoru uvesti obvezu pružanja javne usluge koja se može odnositi na sigurnost, uključujući sigurnost opskrbe, redovitost, kvalitetu i cijenu opskrbe te zaštitu okoliša, uključujući energetsku učinkovitost i zaštitu klime. Takve obveze su jasno definirane, razvidne, nediskriminirajuće i provjerljive te garantiraju elektroenergetskim subjektima u EU-u jednakost glede pristupa nacionalnim kupcima električne energije. Vezano uz sigurnost opskrbe, energetsku učinkovitost/upravljanje potrošnjom te uz ispunjenje ciljeva zaštite okoliša navedenih u ovom stavku, države članice mogu uvesti dugoročno planiranje, uzimajući u obzir mogućnost da treće strane zatraže pristup sustavu.

3. Države članice osiguravaju pravo na opće usluge svim kupcima u kategoriji kućanstava i, ako to države članice smatraju primjerenim, malog poduzetništva (tj. poduzeća s manje od 50 zaposlenih osoba i godišnjim prometom ili bilancom stanja koja nije veća od 10 milijuna EUR), što znači pravo na opskrbu električnom energijom određene kvalitete unutar svog teritorija po razboritim, lako i jasno usporedivim i razvidnim cijenama. Kako bi osigurale pružanje općih usluga, države članice mogu imenovati isporučitelja u zadnjoj instanci. Države članice uvode obvezu distribucijskim tvrtkama da na svoju mrežu priključe kupce u rokovima, pod uvjetima i u skladu s tarifama koje su utvrđene u skladu s postupkom utvrđenm u članku 23.(2.). Ništa što je navedeno u ovoj Direktivi neće spriječiti države članice da jačaju tržišni položaj domaćih, malih i srednjih kupaca promičući mogućnost dobrovoljnog udruživanja predstavnika ove kategorije kupaca.

Prva točka primjenjuje se na razvidan i nediskriminirajući način i ne priječi otvranje tržišta predviđeno člankom 21.

4. Ako države članice osiguravaju financijske naknade, ostale oblike naknada i ekskluzivna prava za izvršenje obveza navedenih u stavku 2. i 3., ona se dodjeljuju na nediskriminirajući i razvidan način.

5. Države članice poduzimaju odgovarajuće mjere za zaštitu krajnjeg kupca, a posebice osiguravaju odgovarajuću zaštitu za ugrožene kupce, uključujući mjere kojima se izbjegava isključivanje električne energije. U tom smislu, države članice mogu poduzeti mjere zaštite krajnjih kupaca na udaljenim područjima. Osigurava se visoka razina zaštite kupaca posebno glede razvidnosti ugovornih rokova i uvjeta, općih informacija i mehanizama za rješavanje sporova. Države članice osiguravaju da povlašteni kupci stvarno imaju mogućnost promjene dobavljača. Barem za kupce u kategoriji kućanstava, ove mjere uključuju mjere navedene u Prilogu A.

6. Države članice osiguravaju da dobavljači električne energije u ili uz račune kao i u promotivnim materijalima koje su na raspolaganju krajnjim kupcima navedu:

(a) udio pojedinog energenta u ukupnoj strukturi energetskih izvora dobavljača tijekom protekle godine;

(b) daju barem uputu na postojeći izvornik, kao što su web stranice, gdje su javnosti na raspolaganju podatke o utjecaju na okoliš najmanje glede emisija CO_2 te radioaktivnom otpadu koji je nastao pri proizvodnji električne energije iz ukupnih energetskih izvora dobavljača tijekom prethodne godine.

Što se tiče električne energije koja je nabavljena na burzi električne energije ili uvezena od subjekata lociranih izvan Zajednice, mogu se koristiti ukupni iznosi koje je dala burza ili odnosni subjekt za proteklu godinu.

Države članice poduzimaju potrebne mjere kako bi osigurale da podaci koje svojim kupcima daju dobavljači u skladu s ovim člankom budu pouzdane.

7. Države članice poduzimaju odgovarajuće mjere za ostvarenje ciljeva vezanih uz socijalnu i ekonomsku koheziju, zaštitu okoliša, uključujući mjere energetske učinkovitosti/upravljanja potrošnjom i sredstva za suzbijanje promjene klime te sigurnost opskrbe. Te mjere mogu konkretno uključivati osiguravanje odgovarajućih ekonomskih poticaja za održavanje i izgradnju potrebne mrežne infrastrukture, uključujući interkonekcijske kapacitete, korištenjem, po potrebi, svih nacionalnih alata i alata na razini Zajednice.

8. Države članice mogu odlučiti da ne primjene odredbe članaka 6., 7., 20. i 22. ukoliko bi primjena tih odredbi spriječila, u zakonu ili u praksi, ispunjavanje obveza koje su uvedene za elektroenergetske subjekte u općem ekonomskom interesu te ukoliko to ne utječe na razvoj trgovine u obimu koji bi bio suprotan interesima Zajednice. Interesi Zajednice uključuju, između ostalog, tržišno natjecanje u pogledu povlaštenih kupaca u skladu s ovom Direktivom i člankom 86. Ugovora.

9. Nakon provedbe ove Direktive države članice obavještavaju Komisiju o svim prihvaćenim mjerama za ispunjavanje obveze pružanja općih usluga i javne usluge, uključujući zaštitu kupaca i zaštitu okoliša kao i njihov potencijalni učinak na nacionalno i međunarodno tržišno natjecanje, bez obzira na to da li te mjere zahtijevaju odstupanje od ove Direktive ili ne. Nakon toga, države članice obavještavaju Komisiju svake dvije godine o svim promjenama tih mjera, bez obzira da li one zahtijevaju odstupanje od ove Direktive ili ne.

Članak 4.
Praćenje sigurnosti opskrbe

Države članice osiguravaju praćenje sigurnosti opskrbe. Ukoliko to države članice smatraju primjerenim, ovaj zadatak mogu povjeriti nadležnim regulatornim tijelima navedenim u članku 23.(1.). Posebice se prati uravnoteženost dobave i potražnje na nacionalnom tržištu, razina očekivane buduće potrošnje i predviđeni dodatni kapaciteti koji su u planu ili u izgradnji te kvaliteta i razina održavanja mreža kao i mjere za pokrivanje vršne potrošnje i tretiranje podbačaja jednog ili više opskrbljivača. Nadležna tijela svake dvije godine, najkasnije do 31. srpnja, objavljuju izvješće u kojem su dani zaključci dobiveni na temelju takvog praćenja, kao i sve mjere koje su poduzete ili predviđene za rješavanje tih pitanja i to se izvješće odmah dostavlja Komisiji.

Članak 5.
Tehnička pravila

Države članice osiguravaju definiranje tehničkih kriterija i izradu tehničkih pravila za priključenje proizvodnih objekata, distribucijske mreže, izravno priključene opreme kupaca, interkonektorskih sklopova i izravnih vodova, u kojima su utvrđeni minimalni tehnički i

pogonski uvjeti, te iste objavljuju. ta tehnička pravila osiguravaju međusobno funkcioniranje sustava, objektivna su i nediskriminirajuća. Komisija se obavještava o pravilima sukladno članku 8. Direktive br. 98/34/EC Europskog parlamenta i Vijeća od 22. lipnja 1998. koja predviđa postupke za davanje podataka o tehničkim normama i regulativi i pravilima o Uslugama informatičkog društva.

Poglavlje III

Proizvodnja

Članak 6.

Postupak davanja odobrenja (autorizacije) za nove kapacitete

1. Za izgradnju novih proizvodnih kapaciteta, države članice usvajaju postupak davanja odobrenja (autorizacije) koji se provodi prema objektivnim, razvidnim i nediskriminirajućim kriterijima.

2. Države članice utvrđuju kriterije za davanje odobrenja (autorizacije) za izgradnju proizvodnih kapaciteta na svom teritoriju. Ovi kriteriji mogu se odnositi na:

(a) pouzdanost i sigurnost elektroenergetskog sustava, objekata i pripadajuće opreme;

(b) zaštitu javnog zdravlja i sigurnosti;

(c) zaštitu okoliša;

(d) korištenje zemljišta i lokacija;

(e) korištenje javnog zemljišta;

(f) energetsku učinkovitost;

(g) prirodu primarnih izvora;

(h) posebne osobine kandidata, kao što su tehničke, ekonomske i financijske mogućnosti;

(i) poštivanje mjera donesenih u skladu sa člankom 3.

3. Države članice osiguravaju da se u postupku davanja odobrenja (autorizacije) za malu i/ili distribuiranu proizvodnju uzme u obzir njihova ograničena veličina i mogući utjecaj.

4. Postupci i kriteriji za davanje odobrenja (autorizacije) se javno objavljuju. Kandidati primaju obavijest o razlozima zbog kojih je neko odobrenje (autorizacija) odbijeno. Razlog treba biti objektivan, nediskriminirajući, dobro utemeljen i potkrijepljen odgovarajućim dokazima. Kandidat ima mogućnost podnošenja žalbe u prizivnom postupku.

Članak 7.

Natječajni postupak za nove kapacitete

1. U interesu sigurnosti opskrbe, države članice osiguravaju mogućnost nabave novih kapaciteta ili mjera energetske učinkovitosti/upravljanja potrošnjom kroz natječajni postupak ili neki drugi postupak koji je jednak prethodnom u smislu razvidnosti i nediskriminacije, a obavlja se na temelju objavljenih kriterija. Ovi postupci se, međutim, mogu pokrenuti samo ako proizvodni kapaciteti koji su izgrađeni ili mjere energetske učinkovitosti/upravljanja potrošnjom koje su provedene na temelju postupka odobrenja (autorizacije) nisu dostatni za osiguravanje sigurne opskrbe.

2. Države članice mogu osigurati mogućnost, u interesu zaštite okoliša i promicanja najnovijih tehnologija, natjecanja za nove kapacitete na temelju objavljenih kriterija. Ovaj natječaj može se odnositi na nove kapacitete ili mjere energetske učinkovitosti/upravljanja potrošnjom. Međutim, natječajni postupak se može pokrenuti samo ako proizvodni kapaciteti

koji su izgrađeni ili mjere energetske učinkovitosti/upravljanja potrošnjom koje su poduzete na temelju postupka odobrenja (autorizacije) nisu dostatni za postizanje ovih ciljeva.

3. Pojedinosti u svezi natječajnog postupka za proizvodne kapacitete i mjere energetske učinkovitosti/upravljanja potrošnjom objavljuju se u Službenom listu Europskih zajednica najkasnije šest mjeseci prije krajnjeg roka za podnošenje ponuda.

Ponudbene specifikacije stavljaju se na raspolaganje svakom zainteresiranom subjektu s poslovnim nastanom na teritoriju države članice tako da ima dovoljno vremena za podnošenje ponuda.

Radi osiguravanja razvidnosti i nediskriminacije, ponudbene specifikacije sadrže detaljan opis ugovornih specifikacija i postupka kojeg se trebaju pridržavati svi ponuđači te iscrpan popis kriterija prema kojima se obavlja izbor ponuđača i dodjeljuje ugovor uključujući poticaje, kao što su subvencije, koje se nalaze u ponudama. Ove specifikacije mogu se odnositi i na područja iz članka 6.(2.).

4. U pozivu na podnošenje ponuda za potrebne proizvodne kapacitete treba obratiti pažnju i na ponude za opskrbu električnom energijom iz postojećih proizvodnih objekata s dugoročnim garancijama, pod uvjetom da se dodatni zahtjevi mogu također ispuniti na isti način.

5. Države članice imenuju nadležno tijelo ili javno tijelo ili privatno tijelo koje je neovisno o djelatnostima prozvodnje, prijenosa, distribucije i opskrbe, to može biti nadležno regulatorno tijelo iz članka 23.(1.), kao tijelo odgovorno za organiziranje, praćenje i kontrolu provedbe natječajnog postupka iz stavaka 1. do 4. Ako je operator prijenosnog sustava potpuno vlasnički neovisan o ostalim djelatnostima koje se ne odnose na prijenosni sustav, operator prijenosnog sustava može biti imenovan tijelom odgovornim za organiziranje, praćenje i kontrolu provedbe natječajnog postupka. Ovaj nadležni organ ili tijelo poduzima sve potrebne korake kako bi osigurao tajnost povjerljivih podataka koje se nalaze u ponudama.

Poglavlje IV

Pogon prijenosnog sustava

Članak 8.

Imenovanje operatora prijenosnog sustava

Države članice imenuju ili zahtijevaju od subjekata koji su vlasnici prijenosnih sustava da imenuju, za razdoblje koje utvrđuju države članice uzimajući u obzir učinkovitost i ekonomsku ravnotežu, jednog ili više operatora prijenosnog sustava. Države članice osiguravaju da operatori prijenosnog sustava djeluju sukladno člancima 9. do 12.

Članak 9.

Zadaci oparatora prijenosnog sustava

Svaki operator prijenosnog sustava odgovoran je za:

(a) osiguravanje dugoročne sposobnosti mreže da zadovolji razborite zahtjeve glede prijenosa električne energije;

(b) doprinos sigurnosti napajanja kroz odgovarajuće prijenosne kapacitete i pouzdanost mreže;

(c) upravljanje tokovima energije u sustavu, uzimajući u obzir razmjene s drugim međusobno povezanim sustavima. S tim u svezi, operator prijenosnog sustava odgovoran je za siguran, pouzdan i učinkovit elektroenergetski sustav i, u tom smislu, za osiguravanje

raspoloživosti svih potrebnih usluga sustava u onoj mjeri u kojoj ta raspoloživost ne ovisi o nekom drugom prijenosnom sustavu s kojim je njegov sustav međupovezan;

(d) osiguravanje operatoru bilo kojeg sustava s kojim je njegov sustav povezan dovoljno podataka da bi se zajamčio siguran i učinkovit pogon, koordinirani razvoj i međusobno funkcioniranje međusobno povezanih sustava;

(e) nediskriminaciju između korisnika mreže ili kategorija korisnika mreže, posebice u korist njemu određenih subjekata.

(f) davanje podataka korisnicima mreže koje su im potrebni za učinkovit pristup mreži.

Članak 10.

Odvajanje operatora prijenosnog sustava

1. Ako je operator prijenosnog sustava dio vertikalno integriranog subjekta, neovisan je o ostalim djelatnostima koje se ne odnose na prijenos najmanje u smislu svog pravnog oblika, organizacije i donošenja odluka. ta pravila ne stvaraju obvezu vlasničkog odvajanja imovine prijenosnog sustava od vertikalno integriranog subjekta.

2. Da bi se osigurala neovisnost operatora prijenosnog sustava na koju se upućuje u stavku 1., primjenjuju se sljedeći minimalni kriteriji:

(a) Osobe odgovorne za rukovođenje operatorom prijenosnog sustava ne mogu sudjelovati u strukturama vertikalno integriranog elektroenergetskog subjekta odgovornim, izravno ili neizravno, za svakodnevni rad proizvodnje, distribucije i opskrbe električnom energijom;

(b) potrebno je poduzeti odgovarajuće mjere da bi se osiguralo da su profesionalni interesi osoba odgovornih za rukovođenje operatorom prijenosnog sustava uzeti u obzir na način koji osigurava njihovo neovisno djelovanje;

(c) Operator prijenosnog sustava ima učinkovita prava donošenja odluka, neovisno o integriranom elektroenergetskom subjektu, glede imovine potrebne za pogon, održavanje ili razvoj mreže. to ne priječi postojanje odgovarajućih mehanizama koordinacije koji štite gospodarska prava i prava upravljačkog nadzora koja ima vladajuće društvo vezano uz povrat na imovinu u ovisnom društvu, a neizravno su regulirana sukladno članku 23. (2.). To konkretno omogućava vladajućem društvu donošenje godišnjih financijskih planova ili nekog drugog istovjetnog instrumenta operatora prijenosnog sustava i utvrđuje globalne granice razine zaduživanja svojih ovisnih društava. Ne dopušt ava vladajućem društvu davanje uputa glede svakodnevnog poslovanja niti uputa glede pojedinačnih odluka koje se odnose na izgradnju ili pojačanje prijenosnih vodova koji ne premašuju usvojeni financijski plan ili neki drugi istovjetan instrument.

(d) operator prijenosnog sustava uspostavlja program poštivanja odredbi u kojem su definirane mjere poduzete u svrhu isključivanja diskriminirajućeg ponašanja, te primjereno praćenje poštivanja istih. Program utvrđuje posebne obveze zaposlenika kako bi se postigao ovaj cilj. Osoba ili tijelo odgovorno za praćenje programa poštivanja odredbi podnosi godišnje izvješće nadležnom regulatornom tijelu iz članka 23. (1.) u kojem su navedene poduzete mjere i to se izvješće objavljuje.

Članak 11.

Angažiranje proizvodnih objekata i uravnoteženje dobave i potražnje

1. Ne dovodeći u pitanje opskrbu električnom energijom koja se temelji na ugovornim obvezama, uključujući one koje proizlaze iz natječajnih specifikacija, ondje gdje ima

tu funkciju operator prijenosnog sustava je odgovoran za angažiranje proizvodnih objekata na svom području i za određivanje korištenja interkonektora s drugim sustavima.

2. Angažiranje proizvodnih objekata i korištenje interkonektora utvrđuje se na temelju kriterija koje može donijeti država članica i koji su objektivni, objavljeni i primjenjuju se na nediskriminirajući način čime se osigurava pravilno funkcioniranje unutarnjeg tržišta električne energije. Kriteriji trebaju uzeti obzir ekonomske prednosti električne energije iz raspoloživih proizvodnih objekata ili el. energije dobivene prijenosom preko interkonektora kao i tehnička ograničenja sustava.

3. Država članica može tražiti od operatora sustava da prilikom angažiranja proizvodnih objekata da prioritet proizvodnim objektima koji koriste obnovljive izvore energije ili otpad ili proizvode toplinu i energiju u kogeneraciji.

4. Država članica može, zbog sigurnosti opskrbe, dati uputu da se priritetno angažiraju proizvodni objekti koji koriste domaće izvore primarne energije do obima koji u kalendarskoj godini nije veći od 15 posto ukupne primarne energije koja je potrebna za proizvodnju električne energije potrošene u odnosnoj državi članici.

5. Države članice mogu tražiti od operatora prijenosne mreže da zadovolji minimalne norme glede održavanja i razvoja prijenosnog sustava, uključujući interkonekcijske kapacitete.

6. Operatori prijenosnog sustava nabavljaju energiju koju koriste za pokrivanje energetskih gubitaka i rezervne kapacitete u svojim sustavima kroz razvidne, nediskriminirajuće i tržišne postupke, kad god imaju tu funkciju.

7. Pravila koja je operator prijenosnog sustava donio za uravnoteženje elektroenergetskog sustava trebaju biti objektivna, razvidna i nediskriminirajuća, uključujući pravila za utvrđivanje naknada koje plaćaju korisnici njegovog sustava za energetsku neravnotežu (debalans). Rokovi i uvjeti, uključujući pravila i tarife za pružanje takvih usluga od strane operatora prijenosnog sustava utvrđuju se u skladu s metodologijom iz članka 23.(2.) na nediskriminirajući način koji odražava troškove i objavljuju se.

Članak 12.

Povjerljivost za operatora prijenosnog sustava

Ne dovodeći u pitanje članak 18. kao ni druge zakonske obveze otkrivanja podataka, operator prijenosnog sustava treba držati u tajnosti komercijalno osjetljive podatke koje je dobio tijekom svog poslovanja. Podaci o njegovim vlastitim aktivnostima koji budu otkriveni, a mogu predstavljati komercijalnu prednost, stavljaju se na raspolaganje na nediskriminirajući način.

Poglavlje V

Pogon distribucijskog sustava

Članak 13.

Imenovanje operatora distribucijskog sustava

Države članice imenuju ili zahtijevaju od subjekata koji su vlasnici distribucijskih sustava da imenuju, za razdoblje koje utvrđuju države članice uzimajući u obzir učinkovitost i ekonomsku ravnotežu, jednog ili više operatora distribucijske mreže. Države članice osiguravaju da operatori distribucijske mreže djeluju sukladno člancima 14. do 16.

Članak 14.

Zadaci operatora distribucijskog sustava

1. Operator distribucijskog sustava održava siguran, pouzdan i učinkovit elektrodistribucijski sustav na svom području i posvećuje dužnu pažnju zaštiti okoliša.

2. Ni u kom slučaju ne smije obavljati diskriminaciju između korisnika mreže ili kategorija korisnika mreže, posebice ne u korist njemu podređenih subjekata.

3. Operator distribucijskog sustava daje podatke korisnicima sustava koji su im potrebni za učinkovit pristup mreži.

4. Država članica može tražiti od operatora distribucijskog sustava da, prilikom angažiranja proizvodnih objekata, da prioritet proizvodnim objektima koji koriste obnovljive izvore energije ili otpad ili proizvode toplinu i energiju u kogeneraciji.

5. Operatori distribucijskog sustava nabavljaju energiju koju koriste za pokrivanje energetskih gubitaka i rezervne kapacitete u svom sustavu kroz razvidne, nediskriminirajuće i tržišne postupke, kad god imaju tu funkciju. Ovaj uvjet ne dovodi u pitanje korištenje električne energije koja je nabavljena u skladu s ugovorima zaključenim do 1. siječnja 2002.

6. Ako su operatori distribucijske mreže odgovorni za uravnoteženje elektrodistribucijske mreže, pravila koja usvoje u tu svrhu trebaju biti objektivna, razvidna i nediskriminirajuća, uključujući pravila za naknade koje plaćaju korisnici njihove mreže za energetku neravnotežu (debalans). Ovi i uvjeti, uključujući pravila i tarife za pružanje tih usluga od strane operatora distribucijskog sustava utvrđuju se sukladno članku 23.(2.) na nediskriminirajući način koji odražava troškove i objavljuju se.

7. Prilikom planiranja razvoja distribucijske mreže, operator distribucijskog sustava treba razmotriti mjere energetske učinkovitosti/upravljanja potrošnjom i/ili distribuirane proizvodnje koje mogu potisnuti potrebu za nadogradnjom ili zamjenom elektroenergetskih kapaciteta.

Članak 15.

Odvajanje operatora distribucijskog sustava

1. Ako je operator distribucijskog sustava dio vertikalno integriranog subjekta, neovisan je o ostalim djelatnostima koje se ne odnose na distribuciju najmanje u smislu svog pravnog oblika, organizacije i donošenja odluka. ta pravila ne stvaraju obvezu vlasničkog odvajanja imovine operatora distribucijskog sustava od vertikalno integriranog subjekta.

2. Pored uvjeta iz stavka 1. gdje je operator distribucijskog sustava dio vertikalno integriranog subjekta, operator distribucijskog sustava treba biti neovisan o ostalim djelatnostima koje se ne odnose na distribuciju u smislu svoje organizacije i donošenja odluka Da bi se to postiglo, primjenjuju se sljedeći minimalni kriteriji:

(a) osobe odgovorne za rukovođenje operatorom distribucijskog sustava ne smiju sudjelovati u strukturama vertikalno integriranog elektroenergetskog subjekta odgovorim, izravno ili neizravno, za svakodnevni rad proizvodnje, prijenosa i opskrbe električnom energijom;

(b) potrebno je poduzeti odgovarajuće mjere kako bi profesionalni interesi osoba odgovornih za rukovođenje operatorom distribucijskog sustava bili uzeti u obzir na način koji osigurava njihovo neovisno djelovanje;

(c) operator distribucijskog sustava ima učinkovita prava donošenja odluka, neovisno o integriranom elektroenergetskom subjektu, glede imovine potrebne za pogon, održavanje i razvoj mreže. to ne priječi postojanje odgovarajućih mehanizama koordinacije koji štite

gospodarska prava i prava upravljačkog nadzora koja ima vladajuće društvo vezano uz povrat na imovinu u ovisnom društvu koja su neizravno regulirana člankom 23. (2.). Konkretno, to omogućava vladajućem društvu donošenje godišnjih financijskih planova ili nekih drugih istovjetnih instrumenata operatora distribucijskog sustava i utvrđivanje globalnih granica razine zaduživanja njegovih ovisnih društava. Ne dopušt avaju vladajućem društvu davanje uputa glede svakodnevnog poslovanja ili glede pojedinačnih odluka koje se odnose na izgradnju ili pojačanje prijenosnih vodova koji ne premašuju usvojeni financijski plan ili neki drugi istovjetan instrument.

(d) operator distribucijskog sustava uspostavlja program poštivanja odredbi u kojem su definirane mjere poduzete u svrhu isključivanja diskriminirajućeg ponašanja, te odgovarajuće praćenje poštivanja istih. Program utvrđuje posebne obveze zaposlenika kako bi se postigao ovaj cilj. Osoba ili tijelo odgovorno za praćenje programa poštivanja odredbi podnosi godišnje izvješće nadležnom regulatornom tijelu iz članka 23.(1.) u kojem su navedene poduzete mjere i to se izvješće objavljuje.

Države članice mogu donijeti odluku o neprimjeni stavaka 1. i 2. na integrirane elektroenergetske subjekte koji opslužuju manje od 100.000 priključenih kupaca, ili koji opslužuju manje izolirane sustave.

Članak 16.
Povjerljivost za operatore distribucijskog sustava

Ne dovodeći u pitanje članak 18. kao ni druge zakonske obveze otkrivanja podataka, operator distribucijskog sustava treba držati u tajnosti komercijalno osjetljive podatke koje je dobio tijekom svog poslovanja i sprječiti da podaci o njegovim vlastitim aktivnostima koji mogu predstavljati komercijalnu prednost budu otkriveni na diskriminirajući način.

Članak 17.
Operator kombiniranog sustava

Pravila iz članka 10.(1.) i 15.(1.) ne priječe rad operatora kombiniranog prijenosnog i distribucijskog sustava, koji je neovisan o ostalim djelatnostima koje se ne odnose na rad prijenosnog ili distribucijskog sustava u smislu svog pravnog oblika, organizacije i donošenja odluka i koji ispunjava uvjete iz točaka (a) do (d). Ta pravila ne stvaraju obvezu vlasničkog odvajanja imovine operatora kombiniranog sustava od vertikalno integriranog subjekta.

(a) osobe odgovorne za rukovođenje operatorom kombiniranog sustava ne smiju sudjelovati u strukturama vertikalno integriranog elektroenergetskog subjekta odgovornim, izravno ili neizravno, za svakodnevni rad proizvodnje i opskrbe električnom energijom;

(b) potrebno je poduzeti odgovarajuće mjere kako bi se osiguralo da profesionalni interesi osoba odgovornih za rukovođenje operatorom kombiniranog sustava budu uzeti u obzir na način koji osigurava njihovo neovisno djelovanje;

(c) operator kombiniranog sustava ima učinkovita prava donošenja odluka, neovisno o integriranom elektroenergetskom subjektu, glede imovine potrebne za pogon, održavanje ili razvoj mreže. to ne priječi postojanje odgovarajućih mehanizama koordinacije koji štite gospodarska prava i prava upravljačkog nadzora koja ima vladajuće društvo vezano uz povrat na imovinu u ovisnom društvu, a koja su neizravno regulirana sukladno članku 23.(2.); Konkretno, to omogućava vladajućem društvu donošenje godišnjih financijskih planova ili nekih drugih istovjetnih instrumenata operatora kombiniranog sustava i utvrđivanje globalnih granica razine zaduživanja njegovih ovisnih društava. Ne dopuštaju vladajućem društvu davanje uputa glede svakodnevnog poslovanja ili glede pojedinačnih odluka koje se odnose

na izgradnju ili pojačanje prijenosnih vodova koji ne premašuju usvojeni financijski plan ili neki drugi istovjetan instrument.

(d) operator kombiniranog sustava uspostavlja program poštivanja odredbi u kojem su definirane mjere poduzete u svrhu isključivanja diskriminirajućeg ponašanja, te primjereno praćenje poštivanja istih. Program utvrđuje posebne obveze zaposlenika kako bi se postigao ovaj cilj. Osoba ili tijelo odgovorno za praćenje programa poštivanja odredbi podnosi godišnje izvješće nadležnom regulatornom tijelu iz članka 23.(1.) u kojem su navedene poduzete mjere i to se izvješće objavljuje.

Poglavlje VI

Razdvajanje i razvidnost računa

Članak 18.

Pravo pristupa računima

1. Države članice ili ovlaštena nadležna tijela koja imenuju države članice, uključujući nadležna regulatorna tijela iz članka 23., imaju pravo pristupa računima elektroenergetskih subjekata sukladno članku 19. u onoj mjeri u kojoj je to potrebno za obavljanje njihovih funkcija.

2. Države članice i svako imenovano nadležno tijelo, uključujući nadležna regulatorna tijela iz članka 23., trebaju držati u tajnosti komercijalno osjetljive podatke. Države članice mogu osigurati otkrivanje tih podataka ukoliko su potrebni ovlaštenim nadležnim tijelima za obavljanje njihovih funkcija.

Članak 19.

Razdvajanje računa

1. Države članice poduzimaju potrebne korake kako bi osigurale da elektroenergetski subjekti vode svoje račune sukladno stavcima 2. i 3.

2. Elektroenergetski subjekti, bez obzira na njihov sustav vlasništva ili pravni oblik, sastavljaju, predaju na reviziju i objavljuju svoje godišnje račune u skladu s odredbama nacionalnog prava koje se odnose na godišnje račune poduzeća s ograničenom odgovornošću donesenim u skladu s Četvrtom direktivom Vijeća 78/660/EEC od 25. srpnja 1978. utemeljenoj na članku 44.(2)(g)* Ugovora koja se odnosi na godišnje račune određenih vrsta poduzeća.

Subjekti koji nemaju zakonsku obvezu objavljivanja svojih godišnjih računa držat će kopiju istih na raspolaganju javnosti u svom sjedištu.

3. U svom internom računovodstvu, elektroenergetski subjekti vode odvojene račune za svaku od svojih prijenosnih i distribucijskih djelatnosti kao što bi to morali činiti kad bi odnosne djelatnosti obavljali odvojeni subjekti, s ciljem izbjegavanja diskriminacije, unakrsnog subvencioniranja i narušavanja tržišnog natjecanja. Elektroenergetski subjekti također vode račune, koji mogu biti konsolidirani, za ostale elektroenergetske djelatnosti koje se ne odnose na prijenos ili distribuciju. Do 1. srpnja 2007., elektroenergetski subjekti vode odvojene račune za djelatnosti opskrbe za povlaštene kupce i opskrbe za nepovlaštene kupce. Prihod iz vlasništva nad prijenosnim/distribucijskim sustavom treba naznačiti u računima. Po potrebi, elektroenergetski subjekti vode konsolidirane račune za ostale djelatnosti koje se ne odnose na električnu energiju. Interni računi trebaju uključivati bilancu stanja i račun dobiti i gubitka za svaku pojedinu djelatnost.

3a. Revizijom iz stavka 2. posebice se potvrđuje poštivanje obveze izbjegavanja diskriminacije i unakrsnog subvencioniranja iz stavka 3.

Poglavlje VII

Organizacija pristupa mreži

Članak 20.

Pristup treće strane

1. Države članice osiguravaju provođenje sustava pristupa treće strane prijenosnim i distribucijskim mrežama temeljem objavljenih tarifa koje se primjenjuju na sve povlaštene kupce i primjenjuju se objektivno i bez diskriminacije između korisnika mreže. Države članice osiguravaju da te tarife ili metodologije koje su podloga za njihov izračun budu odobrene prije stupanja na snagu sukladno članku 23. i da te tarife i metodologije - ako su donesene samo metodologije – budu objavljene prije njihovog stupanja na snagu.

2. Operator prijenosnog ili distribucijskog sustava može odbiti pristup mreži ako za to nema potrebnih kapaciteta. Za takvo odbijanje treba dati dokazima potkrijepljene razloge, posebice u smislu članka 3. Države članice osiguravaju, po potrebi i kad dođe do odbijanja pristupa, da operator prijenosa ili distribucije pruži relevantne podatke o mjerama koje bi bilo potrebno poduzeti radi pojačanja mreže. Od strane koja zatraži takve podatke može se tražiti razborita naknada koja odražava troškove pružanja takvih podataka.

Članak 21.

Otvaranje tržišta i uzajamnost

1. Države članice osigurat će da povlašteni kupci budu:

(a) do 1. srpnja 2004., povlašteni kupci kao što je specificirano u članku 19.(1.) - 19.(3.) Direktive 96/92/EC. Do 31. siječnja svake godine države članice objavljuju kriterije u skladu s kojima se definiraju takvi povlašteni kupci,

(b) najkasnije od 1. srpnja 2004. svi kupci koji ne pripadaju kategoriji kućanstava,

(c) od 1. srpnja 2007. svi kupci.

2. Da bi se izbjegla neravnoteža u otvaranju tržišta električne energije:

(a) ne zabranjuje se sklapanje ugovora za opskrbu električnom energijom s povlaštenim kupcem u sustavu druge države članice ukoliko se kupac smatra povlaštenim u oba sustava u pitanju;

(b) u slučaju da se odbiju transakcije opisane u točki (a) stoga što je kupac povlašten samo u jednom od dva sustava, Komisija može obvezati stranu koja odbija pristup, uzimajući u obzir situaciju na tržištu i zajednički interes, da obavi traženu opskrbu na zahtjev države članice u kojoj je lociran povlašteni kupac.

Članak 22.

Izravni vodovi

1. Države članice poduzimaju potrebne mjere kako bi omogućile:

(a) svim proizvođačima električne energije i subjektima koji se bave opskrbom električnom energijom, a imaju poslovni nastan na njihovom teritoriju, da vrše opskrbu vlastitih prostorija, svojih ovisnih društava i povlaštenih kupaca preko izravnih vodova;

(b) opskrbu preko izravnih vodova svih povlaštenih kupaca na svom teritoriju od strane proizvođača ili subjekta koji se bavi opskrbom.

2. Države članice utvrđuju kriterije za davanje odobrenja (autorizacije) za izgradnju izravnih vodova na svom teritoriju. Ti kriteriji su objektivni i nediskriminirajući.

3. Mogućnost opskrbe električnom energijom preko izravnih vodova u skladu sa stavkom 1. neće utjecati na mogućnost zaključivanja ugovora za električnu energiju sukladno članku 20.

4. Države članice mogu odobriti (autorizirati) izgradnju izravnog voda podložno odbijanju pristupa sustavu temeljem, po potrebi, članka 20. ili pokretanju postupka rješavanja spora sukladno članku 23.

5. Države članice mogu odbiti dati odobrenje (autorizaciju) za izgradnju izravnog voda ukoliko davanje takvog odobrenja (autorizacije) krši odredbe članka 3. Takvo odbijanje treba potkrijepiti odgovarajućim dokazima.

Članak 23.

Nadležna regulatorna tijela

1. Države članice imenuju jedno ili više nadležnih tijela koja obavljaju funkciju nadležnih regulatornih tijela. ta nadležna tijela potpuno su neovisna o interesima elektroprivrede. ta tijela su primjenom ovog članka odgovorna najmanje za osiguravanje nediskriminacije, učinkovitog tržišnog natjecanja i učinkovitog djelovanja tržišta i konkretno prate najmanje:

(a) pravila upravljanja i raspodjele interkonekcijskih kapaciteta, zajedno s nadležnim regulatornim tijelom ili tijelima onih država članica s kojima postoje interkonekcije;

(b) određene mehanizme koji se bave kapacitetom zagušenja unutar nacionalnog elektroenergetskog sustava;

(c) vrijeme potrebno prijenosnim i distribucijskim poduzećima za uspostavljanje veza i popravke;

(d) objavljivanje odgovarajućih podataka od strane operatora prijenosnog i distribucijskog sustava zainteresiranim stranama vezano uz interkonektore, korištenje mreže i raspodjelu kapaciteta, uzimajući u obzir potrebu da se podaci koji nisu zbirni tretiraju kao komercijalno povjerljivi podaci;

(e) učinkovito razdvajanje računa sukladno članku 19., da bi se spriječilo unakrsno subvencioniranje između djelatnosti proizvodnje, prijenosa, distribucije i opskrbe;

(f) okove, uvjete i tarife za priključivanje novih proizvođača električne energije koji su zajamčeno objektivni, razvidni i nediskriminirajući te koji posebice uzimaju u obzir troškove i pogodnosti različitih tehnologija obnovljivih izvora energije, distribuirane proizvodnje i proizvodnje topline i električne energije u kogeneraciji.

(g) opseg do kojeg operatori prijenosnog i distribucijskog sustava ispunjavaju svoje zadatke sukladno člancima 9. i 14.;

(h) razinu razvidnosti i tržišnog natjecanja.

Nadležna tijela osnovana u skladu s ovim člankom objavljuju godišnje izvješće o rezultatima praćenja iz točki (a) do (h).

2. Nadležna regulatorna tijela odgovorna su najmanje za utvrđivanje ili odobravanje, prije njihovog stupanja na snagu, metodologija za izračun ili utvrđivanje rokova i uvjeta za:

(a) priključivanje i pristup nacionalnim mrežama, uključujući tarife za prijenos i distribuciju. Ove tarife ili metodologije dopušt avaju da se potrebne investicije u mreže izvrše na način koji omogućava da te investicije osiguravaju održivost mreža;

(b) pružanje usluga uravnoteženja.

3. Neovisno o stavku 2., države članice mogu osigurati da nadležna regulatorna tijela dostave na službenu odluku relevantnom tijelu u državi članici tarife ili barem metodologije

na koje se upućuje u istom stavku kao i izmjene iz stavka 4. Odgovarajuće tijelo u tom slučaju ima ovlaštenje da usvoji ili odbije nacrt odluke koji dostavlja nadležno regulatorno tijelo. Ove tarife ili metodologije ili izmjene istih objavljuju se zajedno s odlukom o službenom donošenju. Službeno odbijanje nacrta odluke treba također objaviti, uključujući i opravdanje za takvo odbijanje.

4. Nadležna regulatorna tijela ovlaštena su da od operatora prijenosnog i distribucijskog sustava zatraže, po potrebi, izmjenu rokova i uvjeta, tarifa, pravila, mehanizama i metodologija iz stavaka 1, 2. i 3, kako bi osigurali da isti budu razmjerni i da se primjenjuju na nediskriminirajući način.

5. Strana koja ima pritužbu protiv operatora prijenosnog ili distribucijskog sustava glede pitanja navedenih u stavcima 1, 2. i 4. može uputiti žalbu nadležnom regulatornom tijelu koje , djelujući kao tijelo nadležno za rješavanje sporova, donosi odluku u roku od dva mjeseca nakon primitka žalbe. to razdoblje se može produžiti za još dva mjeseca ako nadležno regulatorno tijelo zatraži dodatne podatke. Isto razdoblje se nadalje može produžiti uz suglasnost tužitelja. Odluka je obvezujuća, osim i dok ne bude poništena u prizivnom postupku.

Ako se žalba odnosi na tarife za priključenje značajnih/velikih novih proizvodnih objekata, nadležno regulatorno tijelo može produžiti to dvomjesečno razdoblje .

6. Strane na koje odluka utječe, a imaju pravo žalbe na odluku koja se odnosi na metodologije, a koja se donosi sukladno stavcima 2., 3. ili 4. ili, ako je nadležno regulatorno tijelo dužno izvršiti konzultacije glede predloženih metodologija, mogu najkasnije u roku od dva mjeseca nakon objave odluke ili prijedloga odluke ili u kraćem vremenskom roku koji utvrde države članice, dostaviti žalbu na preispitivanje. Takva žalba ne odgađa izvršenje odluke.

7. Države članice poduzimaju mjere kako bi osigurale da nadležna regulatorna tijela mogu obavljati svoje dužnosti navedene u stavcima 1. do 5. na učinkovit i ekspeditivan način.

8. Države članice uspostavljaju odgovarajuće i učinkovite mehanizme regulacije, kontrole i razvidnosti kako bi se izbjegla zloporaba dominantnog položaja, naročito na štetu kupaca, i grabežljivo ponašanje. Ovi mehanizmi uzimaju u obzir odredbe Ugovora, a posebice njegovog članka 82. Do 2010., odgovarajuća nadležna tijela država članica dostavljaju Komisiji do 31. srpnja svake godine, sukladno zakonu o tržišnom natjecanju, izvješće o dominaciji na tržištu, grabežljivom i anti-konkurentnom ponašanju. Osim toga, to izvješće preispituje promjene vlasničkih struktura i sve praktične mjere koje su poduzete na nacionalnoj razini za osiguravanje dostatne raznovrsnosti sudionika na tržištu ili praktične mjere koje su poduzete za unapređenje interkonekcija i tržišnog natjecanja. Od 2010. nadalje odgovarajuća nadležna tijela dostavljaju takvo izvješće svake dvije godine.

9. Države članice osiguravaju poduzimanje odgovarajućih mjera, uključujući upravni postupak ili kazneni postupak u skladu s njihovim nacionalnim pravom, protiv fizičkih ili pravnih osoba odgovornih za nepoštivanje pravila o povjerljivosti koja nameće ta Direktiva.

10. U slučaju prekograničnih sporova, odlučujuće nadležno regulatorno tijelo je nadležno regulatorno tijelo koje ima sudsku nadležnost glede operatora sustava koji odbija odobriti korištenje sustava ili pristup sustavu.

11. Žalbe o kojima se govori u stavcima 5. i 6. ne smiju dovoditi u pitanje pravo priziva u okviru zakonodavstva Zajednice ili nacionalnog prava.

12. Nacionalna nadležna regulatorna tijela pridonose razvoju unutarnjeg tržišta i ravnopravnom natjecanju kroz razvidnu međusobnu suradnju i suradnju s Komisijom.

Poglavlje VIII

Završne odredbe

Članak 24.

Zaštitne mjere

U slučaju iznenadne krize na energetskom tržištu i ako su ugroženi fizička sigurnost ili sigurnost osoba, aparata ili objekata ili cjelovitost sustava, država članica može privremeno uvesti nužne zaštitne mjere.

Te mjere trebaju uzrokovati samo minimalne smetnje u funkcioniranju unutarnjeg tržišta i ne smiju biti veće po svom opsegu no što je strogo potrebno za otklanjanje iznenadnih poteškoća koje su se pojavile.

Odnosna država članica bez odlaganja obavještava o takvim mjerama ostale države članice i Komisiju, koja može donijeti odluku da odnosna država članica treba izmijeniti ili ukinuti takve mjere u onom obimu u kojem te mjere narušavaju tržišno natjecanje i negativno utječu na trgovinu na način koji odstupa od zajedničkog interesa.

Članak 25.

Praćenje uvoza električne energije

Svaka tri mjeseca države članice obavještavaju Komisiju o uvozu električne energije iz trećih zemalja, u smislu fizikalnih tokova, koji je bio realiziran u prethodna tri mjeseca.

Članak 26.

Izuzeća

1. Države članice koje mogu dokazati, nakon što Direktiva stupi na snagu, da postoje značajni problemi u pogonu njihovih malih izoliranih sustava, mogu zatražiti izuzeće od relevantnih odredbi poglavlja IV, V, VI, VII, kao i poglavlja III u slučaju mikro izoliranih sustava, vezano uz obnovu, povećanje snage i proširenje postojećih kapaciteta, koje im Komisija može odobriti. Komisija obavještava države članice o takvim zahtjevima prije donošenja odluke, uzimajući u obzir poštivanje odredbe povjerljivosti. Odluku se objavljuje u Službenom listu Europske unije. Ovaj članak primjenjuje se i na Luksemburg.

2. Država članica koja, nakon što Direktiva stupi na snagu, zbog tehničkih razloga ima značajne probleme u otvaranju svog tržišta određenim ograničenim grupama kupaca koji ne pripadaju kategoriji kućanstava u smislu članka 21.(1.)b, može zatražiti izuzeće od ove odredbe koje Komisija može odobriti za razdoblje od maksimalno 18 mjeseci nakon datuma navedenog u članku 30. (1.). U svakom slučaju, takvo izuzeće prestaje na dan naveden u članku 21. (1.)c.

Članak 27.

Postupak revizije

U slučaju da u izvješću iz članka 28.(3.), s obzirom na način na koji je ostvaren pristup mreži u državi članici – a koji vodi potpuno učinkovitom, nediskriminirajućem i neometanom pristupu mreži – Komisija zaključi da pojedine obveze koje ta Direktiva propisuje za subjekte (uključujući i obveze koje se odnose na pravno razgraničenje operatora distribucijskog sustava) nisu razmjerne postavljenom cilju, dotična država članica može od Komisije zatražiti izuzeće od dotičnog uvjeta.

Država članica bez odlaganja obavještava Komisiju o tom zahtjevu i dostavlja joj sve relevantne podatke koji su potrebni kako bi dokazala da će zaključak iz izvješća o tome da je osiguran učinkovit pristup mreži ostati nepromjenjen.

U roku od tri mjeseca od primitka takve obavijesti, Komisija daje svoje mišljenje o zahtjevu odnosne države članice i, po potrebi, dostavlja prijedloge Europskom parlamentu i Vijeću glede izmjena i dopuna odgovarajućih odredbi Direktive. Komisija može predložiti u prijedlozima za izmjenom i dopunom Direktive, da se odnosna država članica izuzme od određenih zahtjeva pod uvjetom da ta država članica po potrebi provodi jednako učinkovite mjere.

Članak 28.

Izvještavanje

1. Komisija prati i preispituje da li se ta Direktiva pravilno primjenjuje i dostavlja izvješće o napretku Europskom parlamentu i Vijeću prije isteka prve godine nakon stupanja Direktive na snagu, a nakon toga jednom godišnje. Izvješće obuhvaća najmanje slijedeće:

(a) stečena iskustva i napredak u stvaranju punopravnog i funkcionalnog unutarnjeg tržišta električne energije i prepreke koje još postoje s tim u svezi, uključujući aspekte dominacije na tržištu, koncentacije snaga na tržištu, grabežljivog i nekonkurentnog ponašanja i učinak istih u smislu narušavanja tržišta;

(b) obim do kojeg su uvjeti razgraničenja i utvrđivanja tarifa iz ove Direktive bili uspješni u osiguravanju poštenog i nediskriminirajućeg pristupa elektroenergetskom sustavu Zajednice i istovjetne razine tržišnog natjecanja, kao i ekonomske, ekološke i socijalne posljedice otvaranja tržišta električne energije za kupce;

(c) sagledavanje pitanja koja se odnose na razinu kapaciteta sustava i sigurnosti opskrbe električnom energijom u Zajednici, a posebice postojeća i predviđena ravnoteža između potražnje i dobave, uzimajući u obzir fizičke kapacitete za razmjenu između područja;

(d) posebna pažnja posvećuje će se mjerama koje su poduzele države članice za pokrivanje vršne potrošnje i tretiranje podbačaja jednog ili više dobavljača;

(e) provedba izuzeća sukladno članku 15.(2.) s ciljem mogućeg preispitivanja praga;

(f) opća ocjena postignutog napretka u bilateralnim odnosima s trećim zemljama koje proizvode i izvoze ili prenose električnu energiju, uključujući napredak u integraciji tržišta, socijalne i ekološke posljedice trgovine električnom energijom i napredak u pristupu mrežama takvih trećih zemalja;

(g) potrebu za mogućim zahtjevima za usklađivanjem koji nisu vezani za odredbe ove Direktive;

(h) način na koji su države članice u praksi primjenile uvjete označavanja energije iz članka 3.(6.) i način na koji su uzete u obzir sve preporuke Komisije glede ovog pitanja.

Po potrebi, to izvješće može uključivati preporuke, naročito glede opsega i modaliteta odredbe o označavanju , uključujući primjerice način na koji su date upute na postojeće izvore podataka i sadržaj tih izvora, a ponajprije način na koji se mogu učiniti dostupnima podatke o utjecaju na okoliš u smislu najmanje emisija CO_2 i radioaktivnog otpada koji je rezultat proizvodnje električne energije iz različitih energetskih izvora na razvidan, lako dostupan i usporediv način u cijeloj Europskoj uniji te način na koji se može povećati učinkovitost mjera koje poduzimaju države članice kako bi kontrolirale točnost navoda dobavljača te mjere za ublažavanje negativnih učinaka dominacije na tržištu i koncentracije snaga na tržištu.

2. Svake dvije godine, izvješće iz stavka 1. treba uključiti i analizu različitih mjera koje su provedene u državama članicama za ispunjenje obveza javne usluge, zajedno sa ispi-

tivanjem učinkovitosti tih mjera, a posebice njihovog utjecaja na tržišno natjecanje na tržištu električne energije. Po potrebi, to izvješće može uključiti preporuke glede mjera koje treba provesti na nacionalnoj razini kako bi se postigli visoki standardi javne usluge ili mjera kojima je namjera spriječiti zatvorenost tržišta.

3. Najkasnije do 1. siječnja 2006. Komisija dostavlja Europskom parlamentu i Vijeću detaljno izvješće u kojem se navodi napredak u stvaranju unutarnjeg tržišta električne energije. Izvješće konkretno razmatra:

- postojanje nediskriminirajućeg pristupa mreži,
- stvarnu razinu regulacije,
- razvoj interkonekcijske infrastrukture i situaciju glede sigurnosti opskrbe u Zajednici,
- obim do kojeg sve pogodnosti otvaranja tržišta ostvaruje malo poduzetništvo i kućanstva, poglavito glede standarda pružanja javnih usluga i općih usluga,
- obim do kojeg su tržišta u praksi otvorena za učinkovito tržišno natjecanje, uključujući aspekte dominacije na tržištu, koncentracije snaga na tržištu i grabežljivog i anti-konkurentnog ponašanja;
- obim do kojeg kupci stvarno mijenjaju dobavljače i pregovaraju o tarifama,
- razvoj događaja vezano uz cijene, uključujući cijene opskrbe, u odnosu na razinu otvaranja tržišta,
- iskustva stečena u primjeni Direktive, u onoj mjeri u kojoj se to odnosi na stvarnu neovisnost operatora sustava u vertikalno integriranim subjektima i da li su, pored funkcionalne neovisnosti i odvajanja računa, razvijene druge mjere koje imaju učinak jednak pravnom razdvajanju.

Po potrebi, Komisija dostavlja Europskom parlamentu i Vijeću prijedloge kojima posebice garantira visoke standarde javne usluge.

Po potrebi Komisija dostavlja Europskom parlamentu i Vijeću prijedloge kako bi konkretno osigurala potpunu i stvarnu neovisnost operatora distribucijskog sustava prije 1. srpnja 2007. Ako je potrebno, ovi prijedlozi odnose se, u skladu sa zakonom o tržišnom natjecanju i na mjere koje se bave pitanjima dominacije na tržištu, koncentracije snaga na tržištu i grabežljivog i nekonkurentnog ponašanja.

Članak 29.
Opozivi

Direktiva 90/547/EEC opoziva se dana 1. srpnja 2004.

Direktiva 96/92/EC se ovime opoziva dana 1. srpnja 2004., ne dovodeći u pitanje obveze država članica koje se odnose na krajnje rokove za transponiranje i primjenu rečene Direktive. Sva upućivanja na opozvanu Direktivu tumačit će se kao upućivanja na ovu Direktivu i treba ih shvatiti sukladno korelacijskoj tablici u Prilogu B.

Članak 30.
Provedba

1. Države članice će, najkasnije do 1. srpnja 2004., donijeti potrebne zakone i druge propise kako bi se uskladile s ovom Direktivom. One će o tome odmah obavijestiti Komisiju.

2. Države članice mogu odgoditi primjenu Članka 15.(1.) do 1. srpnja 2007. To ne dovodi u pitanje uvjete iz članka 15.(2.).

3. Kad države članice budu donosile ove mjere, te će mjere prilikom njihove službene objave sadržavati uputu na ovu Direktivu ili će se uz njih navesti takva uputa. Načine takvog upućivanja predvidjet će države članice.

Članak 31.
Stupanje na snagu

Ova Direktiva stupa na snagu dvadesetog dana od objave u Službenom listu Europskih zajednica.

Članak 32.

Adresati
Ova je Direktiva upućena državama članicama.
Sastavljeno u Bruxellesu
Za Europski parlament Za Vijeće
Predsjednik Predsjednik

PRILOG A
Mjere zaštite kupaca
Ne dovodeći u pitanje pravila Zajednice koja se odnose za zaštitu kupaca, konkretno Direktive 97/7/EC Europskog parlamenta i Vijeća i Direktivu Vijeća 93/13/EC, mjere iz članka 3. osiguravaju kupcima:

(a) pravo na sklapanje ugovora sa svojim davateljima elektroenergetskih usluga u kojem je specificirano sljedeće:

- identitet i adresa opskrbljivača;
- usluge koje se pružaju, razina kvalitete usluga koja se nudi i vrijeme za početno priključivanje;
- ako su ponuđene, vrste usluga održavanja koje se nude;
- način na koji se dobivaju ažurirani podaci o tarifama i naknadama za održavanje koji se primjenjuju;
- trajanje ugovora, uvjeti za obnovu i raskid usluga i ugovora, da li postoji pravo na odustajanje od ugovora;
- svi aranžmani vezani uz naknade i refundiranje koji se primjenjuju ako razina kvalitete ugovorenih usluga nije zadovoljena;
- metoda pokretanja postupaka za rješavanje sporova u skladu s točkom (f).

Uvjeti trebaju biti pravični u unaprijed znani. U svakom slučaju, ovi podaci dostavljaju se prije sklapanja ili potvrde ugovora. Ako se ugovori zaključuju preko posrednika, gore spomenuti podaci također se dostavljaju prije sklapanja ugovora.

(b) da budu obaviješteni na odgovarajući način o svakoj namjeri izmjene uvjeta iz ugovora i o svojim pravima na odustajanje od ugovora nakon primitka obavijesti. Davatelji usluga će u odgovarajućem roku izravno obavijestiti svoje pretplatnike o svakom povećanju naknada, a najkasnije jedno obračunsko razdoblje nakon što povećanje stupi na snagu. Države članice će osigurati da kupci mogu slobodno odustati od ugovora ako ne pristanu na nove uvjete o kojima ih obavijesti njihov davatelj elektroenergetskih usluga.

(c) da dobiju razvidne podatke o cijenama i tarifama i o standardnim rokovima i uvjetima koji se primjenjuju, a odnose na pristup i korištenje elektroenergetskih usluga.

(d) da im se ponudi širok izbor načina plaćanja. Svaka razlika u rokovima i uvjetima treba odražavati troškove koje ima opskrbljivač vezano uz različite sustave plaćanja. Opći rokovi i uvjeti trebaju biti pravični i razvidni. Trebaju biti izraženi na jasnom i razumljivom jeziku. Kupci trebaju biti zaštićeni od nepravičnih načina prodaje i načina prodaje koji navode na krive zaključke.

(e) da im se neće naplaćivati promjena opskrbljivača,

(f) prednosti razvidnih, jednostavnih i jeftinih postupaka za rješavanje njihovih žalbi. Takvi postupci omogućavaju rješavanje sporova na pravičan i brz način osiguravanjem, gdje je to zajamčeno, naknada i/ili kompenzacija. Gdje god je to moguće, ti postupci slijede načela utvrđena u Preporukama Komisije 98/257/EC1.

(g) kad imaju pristup općim uslugama u skladu s odredbama koje su zemlje članice donijele vezano uz primjenu članka 3.(3.), bit će obaviješteni o svojim pravima koja se odnose na opće usluge.

10.3 Uvođenje slobodnog tržišta električne energije u Hrvatskoj

Reforma energetskog sektora u Hrvatskoj, u formalnom smislu, započela je krajem lipnja 2000. godine, kad je Vlada Republike Hrvatske prihvatila Program reforme energetskog sektora, koji je nedugo zatim prošao i raspravu te bio prihvaćen u Hrvatskom saboru. Godinu dana nakon prihvaćanja spomenutog programa reforme, točnije u srpnju 2001. godine, donesen je skup od pet energetskih zakona, a u međuvremenu (ožujak 2002.) i dva nova zakona o privatizaciji Hrvatske elektroprivrede i INE.

Tri godine poslije donošenja tog skupa zakona, u prosincu 2004. godine, prihvaćene su u Hrvatskom saboru izmjene i dopune Zakona o energiji, kao i posve preuređen Zakon o tržištu električne energije i Zakon o regulaciji energetskih djelatnosti. U tijeku je izrada podzakonskih akata, koji predstavljaju provedbu donesenih energetskih zakona.

Osnovne postavke organizacije elektroenergetskog sektora u Hrvatskoj definirane su s tri energetska zakona: Zakonom o energiji, Zakonom o tržištu električne energije i Zakonom o regulaciji energetskih djelatnosti. Prije donošenja spomenutih zakona postojala je Hrvatska elektroprivreda, kao vertikalno integrirana tvrtka, s razdvojenim računima za pojedine djelatnosti. Hrvatska elektroprivreda je imala monopol, kako u proizvodnji (osim jednog manjeg broja industrijskih elektrana), tako i u prijenosu i distribuciji električne energije.

Stupanjem na snagu spomenutih zakona stvoreni su preduvjeti za restrukturiranje Hrvatske elektroprivrede, odnosno formiranje većeg broja tvrtki-kćeri s odvojenim računima unutar HEP grupe. Stvorene su posebne tvrtke-kćeri za svaku temeljnu djelatnost, tj. za proizvodnju, prijenos te distribuciju i opskrbu. Sporedne djelatnosti su također izdvojene u posebne tvrtke.

Novim Zakonom o tržištu električne energije (iz prosinca 2004. godine) izostalo je formiranje posebnog nezavisnog operatora sustava i tržišta (kakvo je bilo predviđeno zakonom iz srpnja 2001. godine), na način da su funkcije vođenja elektroenergetskog sustava i prijenosa električne energije stavljene u jedinstvenu nadležnost Operatora prijenosnog sustava, a funkcije opskrbe kupaca i distribucije električne energije stavljene u nadležnost Operatora distribucijskog sustava, s tim da se djelatnost opskrbe mora odvojiti od djelatnosti distribucije do 1. srpnja 2007. godine, sve unutar HEP-Grupe. Operator tržišta izdvojen je posve iz HEP-Grupe i treba ga organizirati kao posebnu tvrtku, neovisnu od HEP-a.

Novim zakonima je utemeljen još jedan bitan subjekt za funkcioniranje elektroenergetskog (a i cijelog energetskog) sektora, a to je Hrvatska energetska regulatorna agencija, koje je neovisno tijelo, odgovorno jedino Hrvatskom saboru. Agencija ima ulogu vrhovnog suca na području energetskih djelatnosti, posebice onih koje su regulirane, tj. obavljaju se kao javne usluge. To nikako ne znači da su one djelatnosti u kojima postoji konkurencija izvan "domašaja" Hrvatske energetske regulatorne agencije. Agencija izdaje dozvole za rad i

tvrtkama koje se bave tržišnim djelatnostima. To znači da i te tvrtke moraju proći određenu provjeru kod Agencije.

Zakon o energiji načelno regulira energetsku politiku i planiranje energetskog razvoja, pokretanje i provedbu nacionalnih energetskih programa, učinkovito korištenje energije i korištenje obnovljivih izvora energije, obavljanje energetskih djelatnosti, tržište energije i javne usluge, cijene energije, uvjete opskrbe energijom, pristup energetskim objektima. Iz Zakona o energiji proizlazi da postoje povlašteni kupci i tarifni kupci električne energije. Djelatnosti u kojima je dopuštena konkurencija su proizvodnja za povlaštene kupce i opskrba povlaštenih kupaca. Sve ostale elektroenergetske djelatnosti, a to su: proizvodnja električne energije za tarifne kupce, prijenos električne energije, distribucija električne energije, opskrba električnom energijom tarifnih kupaca, organiziranje tržišta električne energije, imaju status javne usluge.

Zakon o energiji naglašava mjere očuvanja okoliša, energetsku učinkovitost te obnovljive izvore energije i kogeneraciju te precizno formulira opće uvjete za opskrbu energijom i mjere zaštite kupaca. Također, jednoznačno je određeno utvrđivanje reguliranih i slobodnih cijena energije.

Regulirana cijena energije za tarifne kupce (električne) energije sadrži:

- dio cijene prema tarifnim stavkama, za energetske djelatnosti za koje se primjenjuje tarifni sustav (tarifne stavke za proizvodnju električne energije za tarifne kupce, stavke za korištenje prijenosne i distribucijske mreže, te stavke za opskrbu tarifnih kupaca),
- naknadu za poticanje obnovljivih izvora energije i kogeneracije,
- naknadu za obavljanje poslova regulacije energetskih djelatnosti,
- naknadu za naslijeđene troškove, ako su ti troškovi odobreni za pojedinu vrstu energije,
- naknadu za obavljanje poslova organiziranja tržišta električne energije,
- ostale naknade, ako je to propisano posebnim zakonom.

Slobodna cijena energije za povlaštene kupce (električne) energije sadrži:

- dio cijene koji se slobodno ugovara (dakle dio cijene za proizvodnju i opskrbu električnom energijom postignute na slobodnom tržištu),
- tarifne stavke za korištenje prijenosne i distribucijske mreže,
- naknadu za poticanje obnovljivih izvora energije i kogeneracije,
- naknadu za obavljanje poslova regulacije energetskih djelatnosti,
- naknadu za naslijeđene troškove, ako su ti troškovi odobreni za pojedinu vrstu energije,
- naknadu za obavljanje poslova organiziranja tržišta električne energije,
- ostale naknade, ako je to propisano posebnim zakonom.

Metodologiju za utvrđivanje tarifnih stavaka u reguliranim i slobodnim cijenama utvrđuje Hrvatska energetska regulatorna agencija, a visine tarifnih stavki određuje Vlada Republike Hrvatske.

Također, Vlada Republike Hrvatske određuje naknade za poticanje obnovljivih izvora i kogeneracije, prema kojima se prikupljaju sredstva za poticanje tih izvora i Vlada donosi tarifni sustav za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije i kogeneracije, prema kojem sustavu se obavlja isplata energije isporučene iz različitih obnovljivih izvora i kogeneracije.

Kada se radi o elektroenergetskom sektoru, najbitniji je Zakon o tržištu električne energije. Taj zakon regulira obavljanje elektroenergetskih djelatnosti. Što se prema tom zakonu događa s djelatnošću proizvodnje električne energije? Ono što je novo za tu djelatnost je da energetski subjekt koji ima dozvolu za obavljanje te djelatnosti može slobodno odluči-

vati o izgradnji proizvodnih objekata za tu namjenu. Dakako da i za to Hrvatska energetska regulatorna agencija treba izdati dozvolu za gradnju (ako je instalirana snaga veća od 1 MW).

Postupak izdavanja odobrenja za izgradnju proizvodnih objekata temelji se na načelima objektivnosti, razvidnosti i nepristranosti radi osiguranja:

- pouzdanosti i sigurnosti elektroenergetskog sustava,
- zaštite javnog zdravstva i sigurnosti,
- kriterija zaštite okoliša i osiguranja trajne kontrole utjecaja na okoliš,
- korištenja zemljišta i lokacije,
- korištenja javnog zemljišta,
- energetske učinkovitosti,
- vrsta primarne energije,
- tehničke, ekonomske i financijske sposobnosti podnositelja zahtjeva za izgradnju.

Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva nadležno je za izdavanje odobrenja za izgradnju proizvodnog objekta.

Takav, redoviti postupak za započimanje izgradnje proizvodnog objekta, dakle nove elektrane, naziva se postupak odobrenja, jer je temeljen na odobravanju zainteresiranim za izgradnju nove elektrane, kojih će biti ali možda i neće biti. Neće ih biti tamo gdje je razina cijene električne energije niža od očekivane cijene za normalno funkcioniranje elektrane.

Ako izgradnja proizvodnih objekata, temeljem odobrenja uz mjere upravljanja potrošnjom električne energije i mjere povećanja energetske učinkovitosti, nije dovoljna, može se iznimno donijeti odluka o izgradnji objekta za proizvodnju električne energije putem natječaja u interesu:

- sigurnosti opskrbe,
- zaštite okoliša ,
- promicanja energetske učinkovitosti.

Za izgradnju proizvodnih objekata snage do 50 MW, odluku o raspisivanju natječaja i o izboru najpovoljnijeg ponuditelja donosi Hrvatska energetska regulatorna agencija, a za izgradnju proizvodnih objekata snage 50 MW i veće, odluku o raspisivanju natječaja i o izboru najpovoljnijeg ponuditelja donosi Vlada Republike Hrvatske, na prijedlog Agencije.

U javnom natječaju mora biti navedeno osobito:

- lokacija na kojoj će se graditi objekt,
- vrsta primarne energije,
- način i uvjeti proizvodnje i preuzimanja električne energije,
- uvjeti koji se odnose na prestanak rada objekta,
- uvjeti koji se odnose na zaštitu okoliša i zaštitu zdravlja građana,
- potrebna energetska učinkovitost,
- mjere poticaja, odnosno subvencija za pojedine proizvodne objekte, s tim da se poticaji i subvencije neće odnositi na hidroelektrane snage veće od 10 MW,
- kriteriji koji vrijede i u postupku odobrenja,
- uvjeti korištenja općih i javnih dobara.

Prijenos električne energije je definiran kao javna usluga. U sastavu HEP-Grupe postoji tvrtka za prijenos, Operator prijenosnog sustava, koja je odgovorna za razvoj, izgradnju, pogon i održavanje prijenosne mreže te za vođenje elektroenergetskog sustava. Operator prijenosnog sustava, uz prethodnu suglasnost Hrvatske energetske regulatorne agencije, donosi plan razvoja i izgradnje prijenosne mreže za iduće tri godine.

Distribucija električne energije je također definirana kao javna usluga. U sastavu HEP-Grupe postoji tvrtka za distribuciju, Operator distribucijskog sustava, koja je odgovorna za

razvoj, izgradnju, pogon i održavanje distribucijske mreže. Operator distribucijskog sustava, uz prethodnu suglasnost Agencije, donosi plan razvoja i izgradnje prijenosne mreže za iduće tri godine.

Opskrba električnom energijom je, prema Zakonu o tržištu električne energije, definirana kao neovisna o prijenosu i distribuciji električne energije. To u stvarnosti još uvijek nije tako, jer je opskrba tarifnih kupaca zajedno s tvrtkom za distribuciju u HEP grupi. Za početak te dvije djelatnosti, unutar jedne tvrtke, imaju odvojene račune, a njihovo razdvajanje mora biti dovršeno 1. srpnja 2007. godine.

Organiziranje tržišta električne energije povjereno je neovisnom Operatoru tržišta, koji je - pored ostalog - zadužen i za prikupljanje sredstava naknade za poticanje proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora i kogeneracije, te za raspodjelu tih sredstava na njihove korisnike, proizvođače takve energije, s tim da to ne mogu biti hidroelektrane snage veće od 10 MW.

Opskrba povlaštenih kupaca je djelatnost u kojoj postoji konkurencija, pa se time može baviti bilo koji subjekt koji dobije dozvolu Vijeća za regulaciju energetskih djelatnosti, pa tako i HEP – Opskrba.

Vezano uz proizvodnju električne energije, svi ugovori o isporuci moraju biti prijavljeni Operatoru tržišta. Ako je opskrba povlaštenih kupaca dopuštena bilo kojem subjektu s dozvolom, to znači da je dopušteno i HEP grupi opskrbljivati povlaštene kupce, ukoliko bude konkurentna s drugim (neovisnim) tvrtkama za opskrbu.

Početkom primjene novoga Zakona o tržištu električne energije, dakle od kraja 2004. godine, svi kupci s godišnjom potrošnjom većom od 20 GWh i svi kupci koji su priključeni izravno na prijenosnu mrežu stječu status povlaštenog kupca, a dinamika daljnjeg otvaranja tržišta električne energije bit će najkasnije:

- 1. srpnja 2006. godine za kupce s potrošnjom većom od 9 GWh,
- 1. srpnja 2007. godine za kupce kategorije poduzetnici,
- 1. srpnja 2008. godine za sve kupce.

To znači da je primjenom novoga Zakona povećan broj kupaca koji stječu status povlaštenoga kupca (ranija granica je bila 40 GWh), tako da je trenutni stupanj otvorenosti tržišta u Hrvatskoj nešto ispod 15%. Ranije su donesene i tarife za korištenje prijenosne i distribucijske mreže, te je doista omogućeno tim kupcima korištenje statusa povlaštenih kupaca.

Procedura planiranja u energetskom sektoru, s posebnim naglaskom na elektroenergetski sustav, prikazana je na slici 98. Krovni dokument za planiranje u energetici je Strategija energetskog razvitka koju, na prijedlog Vlade Republike Hrvatske donosi Hrvatski sabor. Strategijom se obuhvaća razdoblje do deset godina. Strategija treba biti usklađena s Programom prostornog uređenja Republike Hrvatske i Planom razvitka Republike Hrvatske.

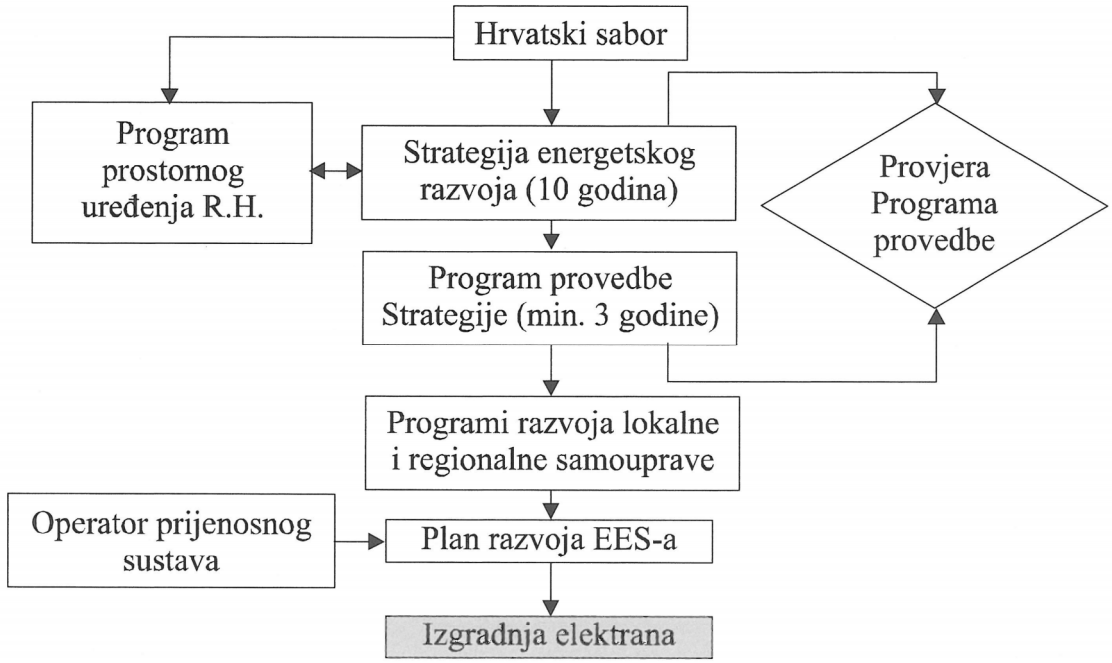
Strategija je izvorište za dokument niže razine, koji se zove Program provedbe Strategije energetskog razvitka, a obuhvaća razdoblje od najmanje tri godine. Program, između ostalog, definira mjere, nositelje aktivnosti i dinamiku ostvarenja energetske politike. Po završetku razdoblja za koje je Program provedbe strategije donesen, Vlada Republike Hrvatske izvješćuje Hrvatski sabor o realizaciji Programa provedbe strategije, s prijedlogom potrebnih usklađivanja sa Strategijom energetskog razvitka.

Temeljem Strategije energetskog razvitka, Programa provedbe strategije i planova razvitka jedinica lokalne i regionalne samouprave, a uzimajući u obzir i prijedloge Operatora prijenosnog sustava, energetski subjekti (od kojih je u ovom kontekstu najbitniji HEP) donose programe i planove izgradnje, održavanja i korištenja energetskih objekata.

Kako je već rečeno, izgradnja se elektrana predviđa prema dva različita postupka: postu-

pak odobrenja i postupak natječaja. Po redovnom postupku odobrenja, elektranu može graditi bilo koji energetski subjekt koji ima dozvolu za bavljenje proizvodnjom električne energije kao energetskom djelatnošću. Razumije se da i ta izgradnja treba biti u suglasju sa Strategijom energetskog razvitka i Programom provedbe Strategije, odnosno potrebama kupaca u Hrvatskoj. Zainteresirani investitor se treba prijaviti Ministarstvu gospodarstva, rada i poduzetništva, ako želi graditi elektranu. Ako je sve u skladu sa zakonskom regulativom, te ako su ispunjeni svi ranije spomenuti kriteriji, može očekivati da će mu Ministarstvo dopustiti izgradnju, odnosno izdati odobrenje.

Ako izgradnja elektrana temeljem odobrenja nije zadovoljavajuća, dakle ne jamči dovoljnu sigurnost opskrbe u promatranom budućem razdoblju, može se iznimno donijeti odluka o izgradnji objekta za proizvodnju električne energije putem natječaja. O takvom natječaju za elektrane snage do 50 MW odlučuje Hrvatska energetska regulatorna agencija, a za elektrane snage 50 MW i veće, Vlada Republike Hrvatske.



Slika 98. Procedura planiranja energetskog sektora u Hrvatskoj prema postojećim zakonima

Planiranje razvitka u dereguliranim uvjetima ima sasvim druge polazne postavke i bitno se razlikuje od centraliziranog načina planiranja elektroenergetskog sustava.

Kod centraliziranog načina planiranja razvitka elektroenergetskog sustava, u uvjetima monopola, osnovni cilj je bio osigurati dovoljne količine električne energije, sa što većim stupnjem sigurnosti opskrbe. Iako se ne može reći da se nije vodilo računa o ekonomici, kao što to mnogi danas tvrde, ekonomika nije imala takvu težinu kao što je ima u tržišnim uvjetima.

Otvaranjem tržišta pojavljuju se novi subjekti u elektroenergetskom sustavu. To su prije svega regulator i operator tržišta, trgovci, neovisni proizvođači električne energije. Interes tih različitih subjekata, u pogledu planiranja, je različit.

Ulogu regulatora ima odgovarajuće državno tijelo. U interesu države jest stabilno tržište električne energije. Operator prijenosnog sustava, operator distribucijskog sustava i operator

tržišta moraju jednako tretirati sve sudionike tržišta. Zajednički cilj regulatora, operatora prijenosnog i distribucijskog sustava i operatora tržišta jest siguran i pouzdan pogon sustava. S druge strane, rad tih dvaju tijela mora biti neovisan i neutralan, u smislu da ni jedna strana koja se nadmeće za proizvodnju ili opskrbu ne smije imati povlašten položaj. Navedene uvjete nije lako ni jednostavno ostvariti.

Budući da je interes regulatora (države) pravedno nadmetanje i stabilnost sustava, država i dalje može ovlašćivati određenu ustanovu koja će provoditi poslove planiranja u skladu s principom minimalnog troška za državu i njene građane. Plan koji država daje samo je indikativan i treba ukazivati na ono što je potrebno i za društvo dobro. Znači, sa stajališta države cilj planiranja i dalje ostaje isti, najmanji trošak, tj. najveća korist za društvo. U tom smislu i metode koje su se koristile ne izbaciju se iz uporabe. Potrebna je naravno njihova stalna dogradnja, uključivanje novih čimbenika – razvitak susjednih tržišta, razvitak cijena energenata, povezivanje sa susjednim tržištima, osiguravanje socijalnog minimuma i dr. Dio postojeće metodologije se može i dalje koristiti, ali komplementarno s novim metodama i alatima koji akceptiraju nove stvari koje donosi tržište.

Prijenos kao monopolska djelatnost u elektroenergetskom sustavu i dalje ostaje u rukama države. Kao centralni podsustav otvorenog tržišta električne energije, prijenos postaje sredstvo pomoću kojeg država može provoditi svoje planove, tj. usmjeravati razvitak. Pri tome se trebaju uvažavati prava svih sudionika i zainteresiranih strana na tržištu. U tom smislu planiranje i razvitak prijenosne mreže treba nastaviti u smjeru optimalnog pogona sustava, smanjenja gubitaka, smanjenja preopterećenja, boljeg povezivanja sa susjednim sustavima. Proširenje prijenosnih kapaciteta će se i dalje obavljati prema predviđanju razvitka potrošnje električne energije, naravno uz uvažavanje predvidivih mogućnosti trgovanja energijom. Uza sve te ciljeve treba ostaviti mogućnost proširenja mreže na inicijativu sudionika tržišta, ali uvijek tako da se ne narušava ravnoteža tržišta.

Privatni proizvođači električne energije usmjeravaju svoj rad i poslovne aktivnosti na postizanje što veće dobiti na tržištu električne energije, uporabom svih dopuštenih postupaka. U pitanju je klasična poslovna aktivnost koja je, s jedne strane, definirana tehničkim uvjetima proizvodnje, a s druge strane neizvjesna u smislu cijene goriva i cijene električne energije na tržištu. Upravo na činjenici nesigurnosti privatni proizvođač traži svoju priliku. U tom smislu ciljevi privatnih proizvođača i opseg planiranja se razlikuju u odnosu na ciljeve i planiranje operatora sustava i regulatornog tijela. Do sada je osnovni cilj bio minimalni ukupni trošak i/ili povećanje sigurnosti opskrbe potrošača. Na tržištu svaki subjekt ima svoj motiv, a to je maksimalni profit, maksimalni dobitak. Hoće li se time postići minimalni ukupni trošak, za pojedinog sudionika je nebitno. Svaki sudionik se suočava sa strategijama ostalih sudionika i s nesigurnostima koje proizlaze iz nepoznavanja točnog stanja ostalih sudionika. Više se ne može govoriti samo o visini troškova ili ušteda. U pitanju je rizik poslovanja, odnosno upravljanje rizikom. U sve metode planiranja treba uključiti odgovarajuće čimbenike procjene rizika. Cilj je zadovoljiti potrebe uz minimiziranje rizika. Postavlja se pitanje: kako definirati i procijeniti ukupni rizik u elektroenergetskom sustavu i kako ga povezati s ostalim troškovima poslovanja?

S obzirom na navedenu razliku u ciljevima i prostoru planiranja, možemo očekivati da će i metode planiranja stavljati naglasak na različite aspekte. Treba naći u svemu tome mogućnost korištenja postojećih metoda planiranja izgradnje elektroenergetskog sektora prilagođenih novim uvjetima ili u kombinaciji s nekim novim metodama, što nije lako i jednostavno.

Dugoročnim planiranjem treba osigurati investicije u proizvodni i prijenosni kapacitet s ciljem zadovoljenja potrošnje električne energije u sustavu i osiguranja opskrbe kupaca.

Osim modela (alata) za planiranje treba pronaći načine kako će se planovi ostvarivati. To je jedan od ključnih problema planiranja u tržišnim uvjetima.

U okolnostima potpuno otvorenog tržišta, gdje pojedini kupci mogu kupovati energiju izvan granica svoje zemlje, pojavljuje se problem praćenja elektroenergetske bilance pojedine zemlje. U slučaju gdje samo manji broj kupaca s većom potrošnjom kupuje energiju iz nekog drugog elektroenergetskom sustava, moguće je nekako kontrolirati elektroenergetsku bilancu. Međutim, kod potpuno otvorenog tržišta veoma je teško postići zatvaranje elektroenergetske bilance u pojedinoj zemlji koja je sudionik otvorenog tržišta.

Budući da prijenosna i distribucijska mreža predstavljaju prirodni monopol, organizacija tih djelatnosti je od iznimnog značenja za funkcioniranje elektroenergetskog sustava u okruženju otvorenog tržišta električne energije. Upravo zbog tog karaktera prirodnog monopola, pogon, održavanje i razvitak mreže treba biti pod stalnim nadzorom tzv. "regulatora". Ta činjenica ukazuje na potrebu vrlo detaljne analize prijenosne i distribucijske mreže, te načina rada u uvjetima slobodnog tržišta. Ukoliko bi troškovi tih djelatnosti previše opteretili cijenu električne energije, ugrozili bi smisao konkurencije u području proizvodnje električne energije. S druge strane, financijski restriktivan pristup razmatranim djelatnostima nužno vodi narušavanju sigurnosti sustava, odnosno smanjivanju kvalitete isporuke električne energije. Zbog toga je potrebno utvrditi odgovarajuće standarde za rad prijenosne, odnosno distribucijske mreže u tržišnim uvjetima.

Prijenosna mreža ima ključno značenje u otvorenom tržištu. Ona predstavlja osnovnu infrastrukturu za prijenos električne energije do kupaca, iz različitih izvora, koji su često jako udaljeni od centra potrošnje. Osim toga, prijenosna mreža se, u granicama tehničkih mogućnosti, mora otvoriti i za tranzit električne energije prema susjednim zemljama.

Svi ti razlozi ukazuju na potrebu istraživanja značajki postojeće mreže, sa stajališta njezinih mogućnosti za provedbu navedenih zadaća. To podrazumijeva detaljno istraživanje tokova snaga, kako za postojeće stanje tako i za razne scenarije u budućnosti. Pritom treba uvažiti sve ulazne parametre, koji u novim (tržišnim) uvjetima mogu varirati i više nego do sada. To se naročito odnosi na korištenje elektrana, te moguću dobavu električne energije na tržištu. Također je potrebno sagledati moguće tranzite električne energije za potrebe drugih korisnika.

Da bi mreža mogla ispuniti svoju zadaću u otvorenom tržištu električne energije, ona mora biti pouzdana i treba biti dostupna svim zainteresiranim subjektima na tržištu, proizvođačima i kupcima.

Logično rješenje za postizanje navedenih ciljeva je povjeravanje kontrole i vođenja mreže poduzeću koje neće imati interesa u tome koji će proizvođači biti uspješniji u prodaji električne energije kupcima na tržištu. To znači da tvrtka koja kontrolira prijenosnu mrežu treba biti interesno odvojena od djelatnosti proizvodnje i djelatnosti opskrbe električnom energijom.

Izvorno su prijenosne mreže gotovo svih europskih zemalja koncipirane tako da im je zadaća bila osigurati stabilan rad sustava i sigurnu dobavu energije do distribucijske mreže ili do kupaca na visokom naponu. Trgovina energijom među pojedinim zemljama nije bila u prvom planu. Stoga je i za pretpostaviti da će najveća smetnja razvoju jedinstvenog europskog tržišta električne energije biti prijenosna mreža. Nedostatak raspoloživih prijenosnih kapaciteta između pojedinih zemalja još dugo će biti razlog postojanja više regionalnih tržišta. U idealnom slučaju, gdje ne bi bilo zagušenja u prijenosnoj mreži, rezultat bi bio izjednačavanje cijena električne energije. Naravno, to vrijedi uz uvjet da sve zemlje imaju potpuno

otvoreno tržište električne energije, tj. da nikome nije nametnuta obveza javne usluge, uz fiksno utvrđeni tarifni sustav.

S pojavom tržišnih uvjeta elektroenergetski sustav se nalazi u pogonskim stanjima diktiranim poduzetničkom inicijativom. Ograničen pristup potrebnim podacima od konkurentski usmjerenih poduzetničkih poduzeća dodatno otežava koordinirano upravljanje sustavom radi minimiziranja troškova pogona. Raste zabrinutost zbog moguće diskriminacije među konkurentima. Sve je to više nego dovoljan razlog novog suočavanja s problemom sigurnosti prijenosa koji proizlazi iz zagušenja uzrokovanih većim brojem transakcija između sudionika u tržišnom nadmetanju.

Upravljanje zagušenjima dobiva prvorazredno značenje. Naime, više nije dovoljno prepoznati mjesta na kojima se zagušenja javljaju te ih određenim pogonskim djelovanjima izbjeći ili ublažiti. Štoviše, treba to učiniti u skladu s potrebama trgovanja električnom energijom.

Povijesno gledajući, prijenosne mreže su građene uglavnom kako bi omogućile sigurnu, pouzdanu i ekonomičnu opskrbu potrošača električnom energijom unutar svake pojedinačne zemlje ili čak unutar područja pod nadzorom svakog pojedinog operatora prijenosnog sustava. Poveznice između različitih sustava bile su građene s namjerom postizanja bolje pouzdanosti i učinkovitosti putem suradnje u slučajevima poremećaja. Uglavnom između susjednih sustava, poveznice su korištene za trgovanje električnom energijom i optimiranje troškova. Općenito, prijenos velikih iznosa snage na veliku udaljenost nije bio primarni cilj povezivanja prijenosnih mreža. Stoga je pojava zagušenja vjerojatnija na prekograničnim poveznicama nego unutar pojedinačnih zemalja.

Prethodno opisana situacija postupno se mijenja na tržištu električnom energijom koje se uspostavlja u Europi. Dostatnost prijenosne moći između regija i zemalja predstavlja bitnu pretpostavku u stvaranju trgovinskih mogućnosti na velikim i malim udaljenostima. Nedovoljne trgovinske mogućnosti mogu u nekim područjima uzrokovati pojavu ograničenja za tržište. U ekstremnim slučajevima, tržište se dijeli na više ili manje razdvojene zone, što zasigurno ne pogoduje stvaranju istinskog tržišta električne energije.

Distribucijska mreža u tržišnim uvjetima također mora biti otvorena za različite isporučitelje električne energije, uz uvažavanje visokih standarda kvalitete isporučene električne energije. Što se tiče organizacije distributivne djelatnosti i vlasništva nad distribucijskom mrežom, postoji veći broj različitih rješenja, ovisno za koji koncept se pojedina zemlja odlučila. Operatori distribucijske mreže su, u pravilu, poduzeća za distribuciju, odvojena od poduzeća za opskrbu. Vlasništvo nad distribucijskom mrežom može biti državno, lokalnih zajednica, privatno ili kombinacija.

Posebno valja upozoriti na problematiku dotrajalosti mreže, jer to postaje temeljni problem, ne samo u tranzicijskim zemljama, nego i u mnogim razvijenim zemljama.

Dakako, problematika dotrajalosti povezana je s kvalitetom isporuke, odnosno pouzdanošću mreže. Kvaliteta isporuke u tržišnim uvjetima postaje nešto što je vrlo bitno, na čemu se jako inzistira. Uvode se različite penalizacije za one opskrbljivače koji ne poštuju tražene ili deklarirane standarde kvalitete.

U hrvatskim uvjetima treba izvršiti procjenu stanja u našim distribucijskim mrežama, te dobivene pokazatelje usporediti sa svjetskim parametrima. Nužno je definirati realno ostvarive standarde isporuke te analizirati moguće načine sankcioniranja njihovog neispunjavanja.

Potrebnu dogradnju distribucijske mreže treba iskazati po kategorijama: nužni opseg sanacije mreže zbog loših naponskih okolnosti, te loše kvalitete isporuke, revitalizacija di-

jelova mreže po naponskim razinama, izgradnja novih objekata zbog porasta opterećenja, te ostala ulaganja.

Kao i kod prijenosne mreže, sva ulaganja i troškovi u distribucijskoj mreži te naknada za korištenje mreže, pod kontrolom su regulatora (on donosi metodologiju za utvrđivanje tarifnih stavaka) i konačno Vlade Republike Hrvatske (ona donosi konkretne iznose tarifnih stavaka). Planovi za investiranje, bilo u revitalizaciju ili izgradnju novih dijelova mreže, trebaju dobiti pozitivno mišljenje Hrvatske energetske regulatorne agencije a iznosi tarifnih stavaka za korištenje mreže, odobreni prema odluci Vlade, trebaju biti toliki da osiguraju prikupljanje sredstava i za pokriće investicijskih planova u pojedinoj godini.

Veoma je teško sačiniti komparaciju distribucijskih organizacija unutar jedne zemlje, a posebno je teško komparirati distribuciju među različitim zemljama. Među glavnim su pokazateljima koji bitno mogu utjecati na stanje u distribucijskoj mreži: gustoća stanovništva i struktura, industrijska razina i struktura industrije, konfiguracija zemljišta i ukupna površina itd.

Razvijene zemlje potaknute razbijanjem monopola na razini država krenule su, u prvom planu bilo je to zbog profita, u uvođenje slobodnog tržišta kod trgovine električnom energijom. Po svemu sudeći ključnu ulogu kod toga su imali pravnici i ekonomisti koji nisu dovoljno dobro poznavali tehničko-tehnološke osobitosti električne energije kao robe. Električna energija ne može se i ne smije tretirati kao druga roba. Ona teče po određenim zakonima (Kirchhoffovim zakonima) koji kažu da struja teče linijom manjeg otpora, pa se zbog toga električna energija ne može tretirati kao obična roba.

Tokovi električne energije, a prema tome i gubici (snage i energije), ne mogu se jednostavno odrediti niti locirati, jer će oni ovisiti o rasporedu i lokaciji potrošnje, te o rasporedu i angažiranju pojedinih izvora električne energije. Osim toga, u paralelnom radu elektroenergetskih sustava postavlja se pitanje obračuna reaktivne energije i snage, te problem održavanja stabilnosti sustava (statičke i dinamičke). Obračuni (cijene energije i snage) koji bi sve to uzimali u obzir ne mogu biti laki i jednostavni.

Razlozi za slobodnu trgovinu električnom energijom prvenstveno su sadržani u težnji za povećanjem učinkovitosti rada elektroenergetskih sustava sa ciljem smanjenja troškova i cijena električne energije, povećanoj sigurnosti i stabilnosti opskrbe potrošača, te rušenju dugogodišnjih monopola u proizvodnji i opskrbi tržišnim nadmetanjem elektroprivrednih subjekata na otvorenom tržištu.

Razlozi su sasvim drugi i gledajući dugoročno, a tako bi se moralo gledati, slobodno tržište električnom energijom moglo bi se nekim zemljama vratiti kao bumerang. Naime, kada se planira izgradnja elektroenergetskog sustava ona se planira na rok od trideset godina (vijek trajanja postrojenja) i kroz to vrijeme se traži ekonomija i opravdanost investicijskog zahvata. Slobodno tržište električnom energijom obavlja se (trgovina) u jednom satu ili čak u pola sata.

Do slobodnog tržišta električnom energijom došlo je u Europi zbog izgrađenosti pojedinih sustava uz istodobnu recesiju ili stagnaciju gospodarstva u Zapadnoj Europi, a zbog totalnog raspada tržišta i gospodarstva u Istočnoj Europi. Međutim, u SAD nije bilo na razini države, čak nije bilo ni na razini pojedinih saveznih država, jedinstvenog elektroenergetskog sustava, pa su oni krenuli u povezivanje tih sustava i trgovinu električnom energijom. Europske zemlje su već desetljećima u paralelnom radu i razmjenjivale su energije i snage, pa imaju znatno više iskustva u razmjeni, a ona je temeljna podloga za uvođenje slobodne trgovine električnom energijom.

Trgovina električnom energijom može u doglednoj budućnosti imati katastrofalne posljedice ako se pri toj trgovini zaboravi na razvitak i izgradnju novih izvora i postrojenja za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije. To se posebno naglašava zbog toga što je problem izgradnje elektroenergetskog sustava, gotovo u svim zemljama, došao pred zid kad je u pitanju lokacija pojedinih dijelova sustava, a posebno izvora električne energije. Osim toga, istočne zemlje (vjerojatno će postupno krenuti u oporavak svojih gospodarstava) morat će zadovoljiti povećane potrebe svojih potrošača, pa će problemi izgradnje novih postrojenja, zbog pomanjkanja financijskih sredstava, postati velik problem. Zapadne zemlje će nuditi kapital„ jer ga imaju u izobilju, što će istočne zemlje prihvaćati ili "morati" prihvaćati, ali za očekivati je da će i u tim zemljama doći do povećanog nezadovoljstva vezanog za lokacije (zaštita okoliša), pa bi izgradnja zaista mogla postati upitnom.

Zaneseni prvim rezultatima zagovornici slobodnog (otvorenog) tržišta zaboravljaju na navedeno, pa svim srcem i umijećem predlažu i obrazlažu uvođenje slobodnog tržišta električne energije.

Slobodno tržište električne energije dovelo je do rušenja cijena električne energije u zemljama Zapadne Europe, dok je u tranzicijskim zemljama došlo do povećanja cijena, najviše zbog socijalne politike regulacije cijene električne energije koja je bila prisutna u svim tranzicijskim zemljama. Odnosno, cijene su na Zapadu bile visoke, a u tranzicijskim zemljama niske. Proklamirani cilj i jednih i drugih – uvođenje jedinstvenih tržišnih mehanizama koji će sami regulirati cijenu i time uspostaviti procese koje obično nazivamo deregulacijom. Očekivanja od liberalizacije tržišta u pogledu smanjenja cijena električne energije za krajnjeg kupca su velika, premda je vrlo teško kvantificirati smanjenje cijena ili povezati liberalizaciju kao integralan proces globalnih kretanja s općim kretanjem cijena.

Nakon što su u mnogim zemljama diljem svijeta liberalizirani elektroenergetski sustavi, promijenjena su neka temeljna načela u skladu s kojima je oblikovan elektroenergetski sektor u proteklom razdoblju. Unatoč svemu, vlade mnogih zemalja i dalje smatraju električnu energiju javnom uslugom. Očita neslaganja, često i kontradikcije, se pojačavaju.

U većini zemalja električna energija je do početka devedesetih bila isključivo "državna" djelatnost, nacionalna, regionalna ili lokalna, usluga o kojoj je na određeni način brinula vlada, prema mišljenju javnosti, s promjenljivim uspjehom.

Tijekom devedesetih, započelo se s liberalizacijom elektroenergetskih sustava. Imovina tvrtki koje su prethodno bile u državnom vlasništvu prodana je privatnim investitorima – stranim ili domaćim. Osnovane su regulatorne agencije koje su u načelu nezavisne. Integrirana poduzeća su podijeljena na zasebne tvrtke: proizvodnja, prijenos, distribucija, opskrba. Zahtijevaju se odvojeni računi za pojedinu elektroenergetsku djelatnost: proizvodnju, prijenos, distribuciju i opskrbu. Uvedena je konkurencija u djelatnosti proizvodnje i opskrbe, s mogućnošću sudjelovanja tvrtki izvan nacionalnih granica. Unatoč svemu, mnoge vlade nastavljaju tretirati električnu energiju kao javnu uslugu.

Razdvajanje integriranih sustava, uvođenje konkurencije i internacionalizacija elektroprivrednih aktivnosti, dovelo je do promjene temeljnih premisa koje su oblikovale elektroenergetske sustave u prošlom vremenu.

Pouzdanost rada elektroenergetskog sustava je već dugi niz godina i ekonomska i politička nužnost. Javnost podrazumijeva pouzdanu opskrbu električnom energijom kao apsolutno stanje. Čak i kratki nestanak električne energije izaziva žestoke napade, a duži prekid opskrbe električne energije, iz bilo kojih razloga, nema samo ekonomske već i političke posljedice kao ozbiljnu povredu javne usluge. U vrijeme prije liberalizacije, dakle u tradicionalnim

elektroenergetskim sustavima, dominirali su inženjerski kriteriji, u kojima pouzdanost ima najveću važnost, gotovo bez obzira na cijenu.

S odgovarajućom rezervom u proizvodnim kapacitetima se osigurava napajanje i u slučaju ispada iz pogona neke elektrane ili nekih elektrana. Koordiniranim sustavom vođenja i upravljanja elektroenergetskim sustavom, tradicionalni sustavi su imali impresivnu pouzdanost. Liberalizacijom su, međutim, stigli dodatni zahtjevi na sustav, u smislu pouzdanosti.

Liberalizacija i njene posljedice ukazuju na probleme koji mogu ugroziti stabilan rad sustava. Krene li razvitak sustava u smjeru manje pouzdanosti, kupci i investitori će se okretati manjim proizvodnim jedinicama. U takvim okolnostima uvjeti za dobivanje dozvole, mrežna pravila i ostala tehnička pravila možda neće biti dovoljna za održavanje stabilnosti sustava.

Pristup stabilnoj mreži je presudan za ugovore između proizvođača i kupaca. Što ako liberalni sustav temeljen na ugovorima doživi propast? Tko će biti nositelj odgovornosti koje mogu biti značajne? Mogu li vlade nametnuti kazne za neuspjeh te nužne javne usluge? Kome, kako i na temelju čega ih vlade nameću? Što ako su postrojenja u vlasništvu stranih poduzeća?

Liberalizacija tradicionalnog sustava električne energije generira cijeli kompleks nepoznatih rizika i odgovornosti – uključujući i rizik sloma sustava. Tko je onda odgovoran za presudnu javnu uslugu održavanja sustava stabilnim, i kako će se ta odgovornost nadzirati? Odgovori nisu jasni, u konačnici to je država.

Zaštita potrošača postaje danas sve više centralnim pitanjem politike regulacije u razvijenim zemljama i time postaje vrlo značajnom sastavnicom djelovanja njihovih regulacijskih tijela. Nacionalna regulacijska tijela potrebna su da, u prijelaznom razdoblju, reguliraju energetske djelatnosti na energetskim tržištima radi ostvarivanja temeljnih ciljeva: zaštite kupaca, energetskih subjekata i okoliša, kao i radi regulacije cijena u sektoru javnih usluga.

Republici Hrvatskoj omogućen je status kandidata za članstvo u Europskoj Uniji potpisivanjem Sporazuma o stabilnosti i pridruživanju između Republike Hrvatske i Europske Unije, od 29. listopada 2001. godine. Među prioritetima koje Republika Hrvatska mora ispuniti u procesu pridruživanja nalazi se i izgradnja sustava za zaštitu potrošača, s ciljem priključenja do 2007. godine.

Stoga je potrebno prihvatiti standarde pristupa zaštiti potrošača u Europskoj Uniji i postići da se na moderan način pristupi zaštiti potrošača u okviru sektora javnih usluga (usluge od javnog ekonomskog interesa) i u Republici Hrvatskoj.

11

Informacijski sustav i baza podataka

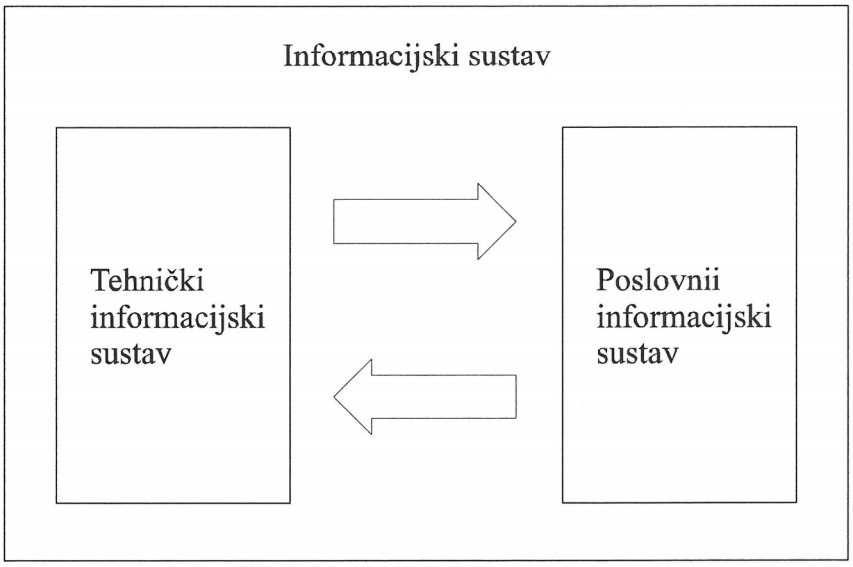
11.1 Općenito o bazi podataka

U elektroenergetskom sustavu postoji ogroman broj podataka koji se koriste u različite svrhe (komercijalne, studijske, statističke itd.), a taj broj podataka stalno raste, pa s tim u vezi raste i potreba za organiziranjem racionalnog načina korištenja tih podataka.

Baza podataka je često krivo rabljeni pojam, tj. pojam baze podataka se često miješa s pojmom sustava uređenih podataka. Baza podataka može se odrediti kao organizirani programski sustav koji treba organizirati i održavati podatke u strukturi koja se ne ponavlja sa ciljem da budu upotrebljeni od više korisnika. Sustav baze podataka organizira elemente podataka u neku ranije određenu strukturu i sadrži međuveze između različitih elemenata podataka u okviru baze podataka.

Sustav uređenih podataka treba omogućiti pristup i izlazak iz već postojećih datoteka. Dakle, za svakog je budućeg korisnika najvažnije razmatranje vlastitih potreba i ocjena o tome koliko će neki novi informacijski sustav (komunikacijski sustav + baze podataka) biti za njega koristan. Međutim, od samog početka treba biti svjestan da baza podataka sama po sebi ne donosi ništa, već samo ako bude ukomponirana u cjelinu informacijskog sustava. Svi ciljevi za koje novi sustav treba služiti moraju biti jasno određeni kao i svi podaci koji su neophodni za ostvarenje tih ciljeva.

Elektroenergetski sustav je tipičan primjer takve strukture, koja je vrlo pogodna za primjenu modernog informacijskog sustava. U elekroenergetskom sustavu postoji izravna veza između svih potrošača-korisnika i proizvođača električne energije, tj. i najmanji potrošač (primjerice seosko kućanstvo) povezan je s elektranama preko niza transformacija, prijenosne i razdjelne mreže. To znači da je neophodno potrebno da veliko mnoštvo informacija teče tim sustavom, a isto tako te podatke treba na jednom mjestu pohranjivati. Konačni cilj je uspostava informacijskog sustava na razini elektroenergetskog sustava. Informacijski sustav je cjelina obaju sustava: tehničkog i poslovnog sustava (sl. 99). Tehnički informacijski sustav je preduvjet kvalitetne funkcije elektroenergetskog sustava u tehničkom smislu, a poslovni sustav treba podržavati organizaciju poslovnog dijela elektroenergetskog sustava.



Slika 99. Informacijski sustav

11.2 Uloga i zadaci informacijskog sustava

Jedan od preduvjeta racionalnog rada elektroenergetskog sustava je organizacija informacijskog sustava koji obuhvaća:

- tehnički sustav,
- poslovni sustav.

Informacijski sustav se sastoji od baze podataka, organiziranog programa baze podataka i komunikacijskih putova. Baza podataka obuhvaća skup podataka memoriranih uz visok stupanj integracije. Da bi se ti podaci mogli proanalizirati i prestrukturirati, treba imati organizirani program baze podataka (upravljački softwer), jer operativni sustavi ne mogu pristupiti tako složenim datotekama. Komunikacijski putovi omogućavaju razmjenu informacija između korisnika i baze podataka uz pomoć programa baze podataka.

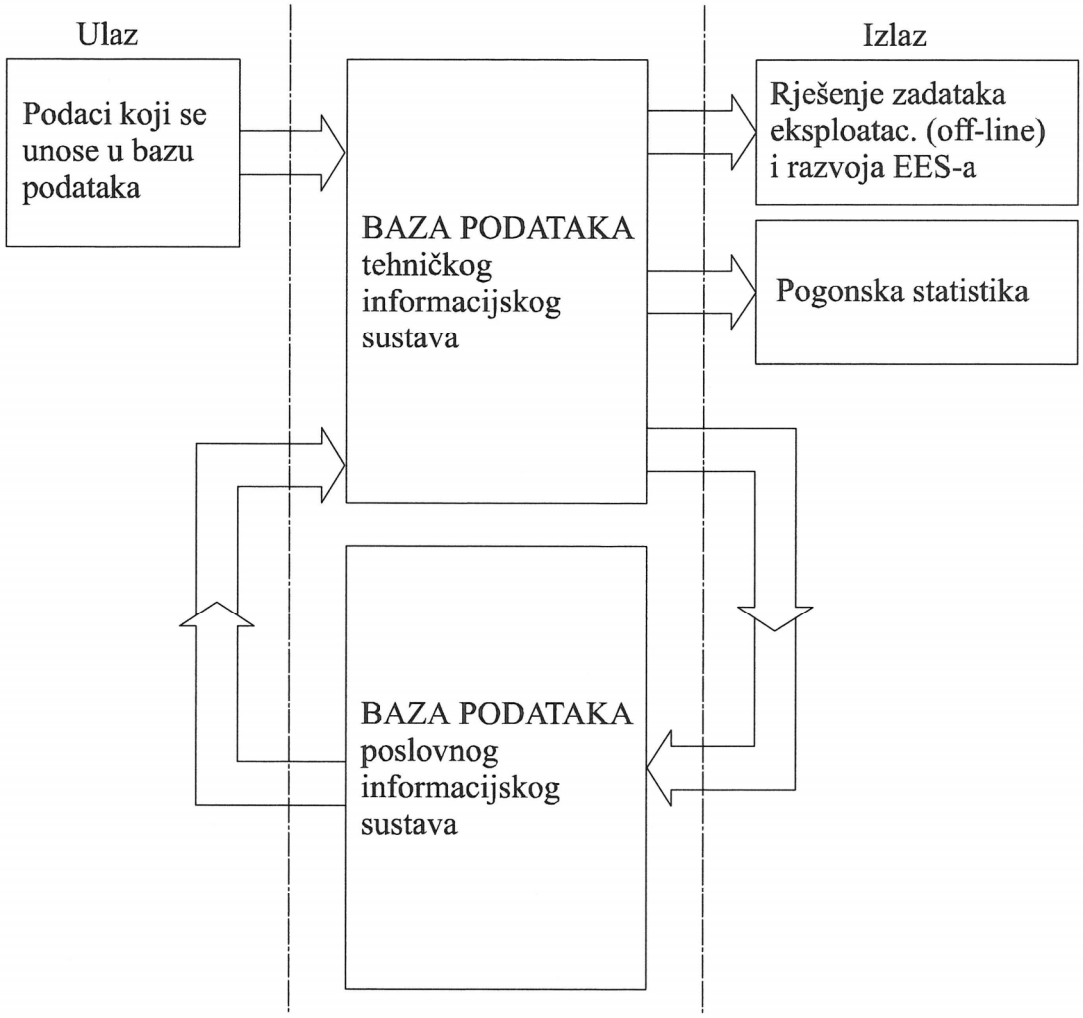
Tehnički informacijski sustav prikuplja podatke za on-line i off-line funkcije. U on-line funkcije ulaze zadaci:

- realno vrijeme,
- prošireno realno vrijeme,
- funkcije sigurnosti.

U off-line funkcije ulaze zadaci:

- korištenja,
- razvoja,
- statistike.

Podaci tehničkog informacijskog sustava smješteni su u posebne datoteke i bazu podataka. Podaci potrebni za izvršenje on-line funkcija, smješteni su u te posebne datoteke iz kojih se obavlja prijenos nekih podataka, potrebnih za off-line funkcije, u bazu podataka. Tehnički informacijski sustav koristi se i podacima iz poslovnog informacijskog sustava a ujedno se iz njega uzimaju neki podaci u poslovni informacijski sustav (slika 100).



Slika 100. Komunikacijske veze informacijskog sustava

11.2.1 On-line funkcije

Funkcije realno vrijeme odnose se na neposredne obrade prikupljenih podataka (razmjene informacija, mjerenja, proračuna itd), dok se funkcije prošireno realno vrijeme služe matematičkim modelima mreže izrađenim na temelju podataka koje je sustav prikupio (određivanje topologija, raspodjele opterećenja, tokovi snaga itd.). Funkcije sigurnosti kontroliraju rad sustava, a po potrebi preuzimaju i njegov rad što osigurava maksimalnu raspoloživost.

11.2.2 Off-line funkcije

Zadaci korištenja su off-line funkcije i služe za planiranje (potrošnje, razmjene, korištenja akumulacija, voznog reda elektrana, raspored remonta itd) i analizu rada elektroenergetskog sustava.

Najčešće se za planiranja koriste metode optimizacije, što znači da se sustav pojednostavljuje i uzima velik broj pretpostavki. Valjanost rezultata ovisi o matematičkom modelu koji se koristi u metodi, kao i o točnosti aproksimacije samog sustava, koji optimiziramo.

Jasno je da sve funkcije koje se planiraju treba kasnije analizirati, kao i neke druge koje su specifične samo za analizu. To su:

- analiza učestalosti kvarova i smetnja na pojedinim postrojenjima i elementima sustava,
- analiza troškova rada,
- analiza ostvarene sigurnosti,
- analiza raspoloživosti postrojenja i elemenata elektroenergetskog sustava itd.

Da bi opskrba energijom bila što pouzdanija, treba analizirati do detalja sve ispade, odrediti njihov uzrok i poduzeti odgovarajuće korake, koji će ispade u budućnosti smanjiti, ako se već ne mogu u potpunosti izbjeći. Takve analize uključuju simulaciju prolaznih i dinamičkih pojava u sustavu, prije kvara i za vrijeme kvara. Iz navedenoga slijedi da naglasak treba staviti upravo na analizu, jer ona omogućava praćenje i spoznavanje sustava.

Funkcije razvoja u sustavu služe za predviđanje potrošnje, određivanje moguće proizvodnje hidroelektrana, određivanje dinamike punjenja i pražnjenja akumulacijskih bazena, određivanje troškova itd.

Za razvoj sustava od velike su važnosti analize jer one ukazuju na "kritične točke" elektroenergetskog sustava, porast potrošnje i cijeli niz parametara koje treba zadovoljiti da bi se radom elektroenergetskog sustava osigurala sigurna i kvalitetna opskrba električnom energijom.

Ograničenja koja utječu na razvoj elektroenergetskog sustava nisu uvijek tehničkog karaktera. To su i politički sustav, ekonomske mogućnosti, ekološki faktori itd. Pojedine funkcije trebaju se postupno usvajati i razvijati jer samo postupnost u razvoju može donijeti novu kvalitetu. Jasno je da je razvoj pojedinih funkcija usko povezan i s tehnologijom i veličinom postojećeg sustava, kao i stručnim mogućnostima kadra.

Podaci za korištenje i razvoj elektroenergetskog sustava su smješteni u bazi podataka tehničkog informacijskog sustava.

Statistika nije sama sebi svrha već služi za statističku obradu, redukciju i pripremu podataka u svrhe planiranja i analize korištenja, te razvoja elektroenergetskog sustava.

Za statističku obradu podataka treba imati niz podataka za duže razdoblje. Dužina razdoblja dosta varira, ovisno o svrsi za koju će se ti podaci koristiti. Na temelju tih podataka i teorije vjerojatnosti poduzima se planiranje i analiza eksploatacije te razvoj elektroenergetskog sustava.

11.3 Razmatranje potreba korisnika vezanih na bazu podataka

Kod stvaranje banke podataka (pod pojmom banke podataka smatrat će se sustav baze podataka – nekoliko baza podataka) najvažniji je početni korak, a to je promatranje svih struktura koje već u određenoj organizaciji (poduzeće, tvornica, banka, institut) postoje, kao i onih za koje korisnik smatra da će biti aktualne u budućnosti. Na temelju tih podataka treba provesti istraživanja, koja daju realnu sliku o potrebama baze podataka. Taj je dio posla toliko značajan da odgovarajuća vremenska investicija treba biti jednaka onoj potrebnoj za programiranje i testiranje. Potrebe koje će biti zadovoljene upravo su proporcionalne provedenom istraživanju, a egzaktnost tog istraživanja bitno utječe na kvalitetu realizacije.

11.4 Zahtjevi za bazom podataka

Baza podataka može raspolagati podacima za širok raspon aplikacija uz mogućnost brzog i jednostavnog mijenjanja upotrebe. Za ostvarenje tog zahtjeva, koji se često naziva fleksibilnost podataka, treba realizirati dva uvjeta:

1. podaci trebaju biti neovisni o programima koji ih rabe,
2. mogućnost istraživanja i pretraživanja baze podataka bez dugih programa na konvencionalnim jezicima računala.

Pod pojmom neovisnosti razlikujemo logičku i fizičku neovisnost podataka. Logička neovisnost znači da se logička struktura može promijeniti bez izmjena aplikacijskih programa, a fizička da se fizički raspored i organizacija podataka mogu promijeniti bez promjena bilo logičke strukture bilo aplikacijskih programa.

Iz te neovisnosti proizlazi mogućnost nadopune i prestrukturiranja baze podataka, kao i razvoj aplikacija. Ponavljanje podataka treba u bazi podataka biti minimalno, iako se često govori i o eliminaciji ponavljanja. U stvarnosti, ono postoji s ciljem poboljšanja vremena pristupa ili pojednostavljenja metode adresiranja.

11.5 Raspoloživost, pouzdanost i opravdanost baze podataka

Baza podataka mora imati izgrađen sustav obnavljanja. Ažuriranja baze podataka koja su samo djelomično završena u trenutku pogreške, moraju se vratiti u početno stanje, a programi se moraju ponovno započeti, ako je to potrebno.

Jedan od težih zadataka za dobavljanje opreme za informacijske sustave jest razvijanje metoda organiziranja baze podataka tako da su informacije u njoj zaista neovisne o aplikacijama. Dio problema sastoji se u mijenjanju načina na koji su korisnici naviknuti razmišljati o svojim podacima kao o svojem resursu, koji se rabi na djelotvoran način. Od baze podataka traži se velika pouzdanost u informacijskom sustavu.

Korisnici razmišljaju o podacima kao o detaljima s konačnim vezama koje ih povezuju, i koji postoje u nekoj vrsti strukture, kao što je to program.

Međutim, nije dovoljno samo povezati podatke u specifičnim strogo konstruiranim aplikacijskim programima. Poteškoća jest u tome što korisnici moraju znati što žele i gdje se to nalazi. Također je teško i skupo manipulirati podacima kako program ne dopušta, da bi se utvrdilo kakav učinak imaju stanovite varijable na određenu situaciju. Da bi to bilo moguće, podaci moraju biti pristupačni na takav način da ne postoji zavisnost od toga kako će se upotrijebiti ili tko će ih upotrijebiti.

U posljednjih nekoliko godina mnogo se toga postiglo u smjeru postizanja veće nezavisnosti podataka. Počele su se pojavljivati metode pristupa bazi podataka koje eliminiraju skup i mučan posao dopunjavanja, brisanja ili ažuriranja datoteke u bazama podataka orijentiranim na aplikacije.

Osnovni koncept baze podataka je povezivanje podataka na takav način da svaki aplikacijski program ima mogućnost pristupa nekim ili svim podacima bez obzira na njihov smještaj, metodu pristupa ili zapis. Baza podataka trebala bi sadržavati većinu, a po mogućnosti sve sljedeće osobine:

- nezavisnost aplikacijskog programa od kontrolnih programa baze podataka,
- podršku programskom jeziku koji se ranije koristio,
- programe za stvaranje i održavanje baze podataka,

- mogućnost reorganizacije podataka,
- mogućnost realizacije sigurnosti podataka i ograničenja u pristupu,
- mogućnost automatskog ponovnog starta u slučaju pada sustava ili mogućnost ponovnog ručnog uspostavljanja procesa,
- mogućnosti "finog prilagođenja" sustava baze podataka, a to znači postizanje maksimalne efikasnosti u određenoj primjeni.

Kao što je kazano, baza podataka uz sve ove gore navedene detalje nije rješenje za sve aplikacije. Treba do kraja razlučiti razliku između baza podataka i sustava uređenih podataka, shvatiti osnovne principe rada baze podataka i tada odlučiti da li za pojedine aplikacije takav način rada odgovara. Kod aplikacije u elektroenergetskom sustavu nema dvojbe - baza podataka je neophodno potrebna za realizaciju korištenja off-line, kao i funkcija razvoja.

Recenzije

***

Elektroenergetski sustav je danas najneophodniji, najutjecajniji, najkompliciraniji, najveći, najrasprostranjeniji i najskuplji tehnički sustav. Živimo, naime, u razdoblju civilizacije iznimno osjetljive na dostatnost energije. Nedostatak energije pogađa današnje društvo na, gotovo, nezamislive načine: i relativno su maleni poremećaji u opskrbi energijom u posljednjim godinama svojim posljedicama drastično upozorili koliko je velika naša ovisnost o raspolaganju s energijom - posebice električnom energijom na kojoj, izvan svake sumnje, počiva naša civilizacija. Osiguranje je stoga potrebitih količina električne energije presudno tim više što i naše znanje i uporaba tog znanja ovise o električnoj energiji. Otuda izvire onda i važnost i uloga razmatranog djela; ono se bavi energijom, točnije, planiranjem opskrbe električnom energijom razmatrajući rad tehničkog sustava, elektroenergetskog sustava, kojeg je temeljna zadaća zadovoljavanje potreba za kvalitetnom električnom energijom.

Prof. dr. sc. Vladimir Mikuličić

***

Knjiga je pisana na takav način da čitatelj koji ima osnovna znanja o elektroenergetskom sustavu može lako shvatiti što se stvarno događa u sustavu. Prvo se govori općenito o energiji i energetskom sustavu. Potom se prebacuje težište na električnu energiju i energetski sustav. U trećem poglavlju govori se sve o godišnjoj elektroenergetskoj bilanci. Iza toga slijedi vrednovanje elektrana u elektroenergetskom sustavu. U petom i šestom poglavlju obrađuje se razvoj i planiranje korištenja elektroenergetskog sustava. Zagađenje okoliša uvjetovano izgradnjom i radom postrojenja opisuje se u sedmom poglavlju. Potom se idućem poglavlju daje nešto što je vrlo važno s ekonomskog stajališta, a to su paritet cijena energenata i temeljne postavke za tarifne sustave. Globalizacija, restrukturiranje i liberalizacija tržišta električne energije opisuje se u devetom poglavlju. Potom, u desetom poglavlju, autor govori o organizaciji i problemima slobodnog tržišta električne energije u Hrvatskoj. Na kraju daje se osvrt na informacijski sustav i baze podataka kod vođenja i planiranja elektroenergetskih sustava.

Autor piše jasno i jezgrovito. Pri tom daje prvo fizikalnu sliku problema, a potom matematički model, te način rješavanja. Matematički modeli opisani su na jednostavan način tako da pred čitatelja ne postavlja nikakve prepreke. Naprotiv, autor svodi spomenuti matematički aparat na nužnu mjeru potrebnu da se riješi problem, a da se pritom ne izgubi sama fizikalnost. Ovakav način prezentiranja svojstven je za autore koji izvrsno poznaju problematiku koju opisuju. Pri tom je važno napomenuti da je autorov pristup pisanja ove knjige suvremen, jer obrađuje prije spomenuta poglavlja kroz prizmu restrukturiranja elektroenergetskog sektora. Pri tom čitatelju prezentira sve novosti koje se javljaju u ovom procesu kao što su među ostalim i tržišne zakonitosti, gdje suprostavlja interesima investitora, kojima je osnovni cilj maksimalni profit, potrebnu sigurnost opskrbe potrošača.

Knjiga je dobro koncipirana. Poglavlja su logički složena tako da je nit vodilja sačuvana od početka do kraja knjige.

Na osnovu izloženoga ova knjiga ispunjava kriterije da bude sveučilišni udžbenik za kolegije u kojima se obrađuje problematika prezentirana u ovoj knjizi. Ona će biti korisna literatura kako studentima stručnih, diplomskih i doktorskih studija, tako i znanstvenicima i stručnjacima iz prakse.

Prof. dr. sc. Matislav Majstrović

***

Akademik Udovičić se već više od dvadest godina bavi knjiškim iznošenjem svojeg stručnog i životnog iskustva. Najprije u knjizi Elektroenergetika (izašloj 1983. godine), zatim u četiri knjige: Energija i izvori energije, Energetske pretvorbe i bilance, Energija i društvo, te Energija i okolina, izašlih 1988/1989. godine, knjigom Energetika (izašlom 1993. godine), zatim nevelikom knjižicom po obimu - ali sintetičkoj po svojem sadržaju - Razvitak i energetika, temeljne odrednice (1998. godine), knjigom Energija i okoliš u globalizaciji (2002. godine), te konačno Energetski sustavi u globalizaciji i slobodnom tržištu (2004. godine). Usput, objavljuje i dvije opsežne publicističke knjige Statisti u demokraciji-Čitanka za buduću povijest (1999. godine), te Moralna praznina u Hrvatskoj, izašloj 2001. godine. Početkom 2005. godine završava i knjigu Elektroenergetski sustav, koja je predmetom ove recenzije. Poznavajući ga, vjerujem da, donekle nervozno i u grču - rekao bih, već radi i na slijedećoj knjizi...

Elektroenergetski sustav akademik Udovičić u svojoj knjizi najprije stavlja u neizbježan i neraskidiv kontekst: kontekst svekolikog energetskog sustava, u kojemu je elektroenergetski sustav najkompleksniji dio a danas možda i najpresudniji dio. Naime, danas se preko 15 posto finalne energije predaje potrošačima u električnom obliku, a jedna trećina svekolike primarne energije svijeta preobražava se najprije u električnu energiju pa tek u tom obliku finalno koristi. Sve više je područja kojima je obilježeno tehnološko stanje u kojem se nalazi današnja civilizacija (kompjuterizacija i telekomunikacije) a koja područja se ne daju uopće pojmiti opksrbljena drugačijom energijom do električne.

Osnovna teza Udovičićeva u tom uvodnom dijelu jest: težnja prema što je moguće manjoj potrošnji energije za ostvarenje jednake koristi uz što razumnije opterećenje okoliša pri tome. Iznosi se pregled i opisuju svojstva pojedinih obnovljivih i neobnovljivih prirodnih oblika energije, od najranije korištenih: ugljena, nafte i plina, vodnih snaga i geotermalne energije, preko nukleranog fisijskog goriva, do najsuvremenije korištenih: biomase i bioplina, vjetra, Sunčeva zračenja, ili tek potencijalno pred ozbiljnijim korištenjem: plime i oseke, morskih struja i valova, te topline oceanskih voda.

Slijedi opširna rasprava o osobitim obilježjima električne energije, te o elektroenergetskom sustavu - dakle o sustavu proizvodnje, prijenosa, distribucije i potrošnje električne energije. Najbitnija osobina električne energije - njezina neuskladištivost ima nebrojene reperkusije na elektroenergetski sustav, koji mora biti oblikovan tako da udovolji tom svojstvu električne energije, svojstvu nepoznatom kod svih drugih roba materijalne proizvodnje. Po svojoj strukturi, elektroenergetski sustav u užem smislu sastoji se iz elektrana i mreža, te se najprije daju osnovna svojstva i osnovi problemi pri korištenju električnih prijenosnih i distribucijskih mreža. Zatim se daje uravnoteženi pregled konvencionalnih i nekonvencionalnih ali tehno-ekonomski-ekološki prihvatljivih izvora električne energije, te razvojne dosege na primjeni fuzijskih reaktora i na rješavanju neposrednih pretvorba pojedinih oblika energije u električnu energiju: fotoelektričnoj, elektrokemijskoj, termoelektričnoj i fotoelektrokemijskoj pretvorbi, gdje tek predstoji završni razvojni korak ili će on posve izostati.

U središnjem dijelu knjige obrađeni su: (a) godišnja elektroenergetska bilanca, (b) vrednovanje elektrana u elektroenergetskom sustavu, (c) razvoj elektroenergetskog sustava i (d) planiranje korištenja elektroenergetskog sustava. Na vrlo opširan su način prikazani suvremeno poimanje, modeli i računalni alati koji se recentno koriste u ta četiri područja znanstveno-stručnog tretiranja elektroenergetskog sustava. Rezultati tih tretiranja su planovi izgradnje jedinica elektroenergetskog sustava, elektrana i mreže, kao i - u konačnici - vozni redovi njihova korištenja *iz-dana-u-dan* te vođenja njihova pogona *iz-sata-u-sat*.

Nesporno je veće ili manje, ali neraskidivo zagađenje okoliša uvjetovano izgradnjom i radom postrojenja za proizvodnju električne energije, kao i to da to zagađenje nije više moguće zadržati na lokalnoj razini već ono poprima sve više globalni karakter. Prije utvrđivanja ekoloških kriterija, radi mi-

nimalizacije svekolikih nepovoljnih utjecaja na okoliš u svakoj društvenoj zajednici treba ustanoviti materijalne mogućnosti te zajednice, sukladno dostignutom razvojnom stupnju, kako se ne bi dogodilo da pretjerano postavljeni zahtjevi uguše daljnji razvitak ali niti to da preniski zahtjevi ne dovedu do ekoloških poremećaja koji će također postati kočnicom razvitka. Udovičić iznosi uravnoteženo a vrlo detaljno i obuhvatno utjecaje, kako konvencionalnih (konvencionalnih hidroelektrana i termoelektrana, te nuklearnih elektrana) tako i novih izvora električne energije, te jedinica prijenosne i distribucijske mreže, na okoliš.

Udovičić daje svoje gledanje na paritet cijena energenata (derivata sirove nafte, prirodnog plina, ugljena i električne energije) i na tarifni sustav za električnu energiju, koji sustav ne može biti izdvojen iz općeg konteksta ali mora voditi računa o osobitosti elektroenergetskoga sustava. Cijene bi trebale poticati kupce na pravilan izbor oblika energije te na racionalno korištenje energije, stalnošću svojih odnosa trebale bi jednom donesene odluke neprekidno podržavati, da se izbjegnu skokovite preorijentacije - jer to je nerazumno, kako za kupce tako i za energetsko gospodarstvo.

U poglavlju o globalizaciji, restruktuiranju i liberalizaciji tržišta električne energije za Udovičića nije pitanje da li se prepustiti globalizaciji ili ne, već kako se prepustiti globalizaciji a sačuvati dostojanstvo i kulturni identitet. Naći ravnotežu između dvije krajnosti: između ocjene da globalizacija osigurava sveopći razvitak i napredak, te ocjene da je to opasnost koja ugrožava zaposlenje, životni standard i demokraciju. U odnosu spram liberalizacije tržišta električne energije u nas, Udovičić se zalaže za smirene i primjerene korake, ne brzopletost i žurbu.

Poglavljem detaljnije posvećenom organizaciji i problemima slobodnog tržišta električne energije u Hrvatskoj, Udovičić iznosi zahtjeve Direktive Eoropske unije o električnoj energiji, donesene sredinom 2003. godine (kojima su zamijenjene Direktive iz 1996. godine) te prikaz tekuće zakonodavne situacije u nas. Koju situaciju obilježava aktualno donošenje izmjena i dopuna Zakona o energiji, Zakona o tržištu električne energije te Zakona o regulaciji energetskih djelatnosti, svih donesenih u prosincu 2004. godine.

Dopuštam si na kraju utvrditi kako akademik Udovičić nastavlja pisanje o elektroenergetskim sustavima koje je prije četrdeset godina otpočeo njegov učitelj pokojni profesor Hrvoje Požar. Izdavši temeljnu knjigu, najprije na njemačkom jeziku *Leistung und Energie in Verbundsystemen*, u Beču 1963. godine. Godine 1966. izlazi ta knjiga i na hrvatskom jeziku pod naslovom *Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima*, da bi konačno izašlo njezino potpuno prerađeno i dopunjeno izdanje u dva sveska, 1983. i 1985. godine. Akademik Udovičić nastavlja pisanje o novim dosezima u tom području koji su postignuti ponajprije i ponajviše ne toliko u novim spoznajama koliko u mogućnostima koje je pružao i dalje neprestano pruža eksplozivan razvoj računalske podrške. Profesor Požar napisao je prvo izdanje svoje knjige u vrijeme kada se još služilo logaritamskim računalom, a drugo prošireno izdanje u doba kada se služilo bušenom trakom i karticama kao ulaznim medijem za elektronička računala.

Ostaje za neko novo izdanje Udovičićevo, ili kojeg njegova upornijeg nasljednika, obuhvat doista posve nekonvencionalnog-tržišnog poimanja elektroenergetskog sustava, za koje područje se još danas ne mogu *stići* napisati knjige, zbog iznimno brzog razvoja promjena. Praktički, uredbe sa zakonodavnom snagom mijenjaju se i donose u jednogodišnjem ili čak kraćem ritmu, te ih nije moguće sustizati pisanjem i čitanjem knjiga, nego samo internetskim pristupom...

Dipl. ing. Marijan Kalea

***

Elektroenergetski sustav, bilo koje države Svijeta, prema temeljnoj definiciji je jedan od najsloženijih tehničko-tehnoloških sustava u kojem se, gotovo, jednakovremeno odvijaju procesi proizvodnje, prijenosa - raspodjele - i potrošnje električne energije. Planiranje razvoja i izgradnja elektroenergetskog sustava, vođenje, održavanje samo su neke od aktivnosti za njegovu pouzdanost i raspoloživost.

Pitanje: Kada je električna energija najskuplja? u odgovoru može biti: Tada kad je "nema". To za svaki nacionalni elektroenergetski sustav znači velike štete u svakom pogledu.

Predmetni udžbenik, u ovom kontekstu, ima znatnu važnost ne samo za studente već i inženjere elektrotehnike kojima je blisko predmetno područje.

Prof. dr. sc. Sejid Tešnjak

Literatura

1. M. Bradarić: Planiranje razvoja elektroenergetskog sistema metodom simulacije planova razvoja, Magistarski rad, ETF, Zagreb 1987.

2. B. Bucholz, at al.: Insurance Models as an Appropriate Measure for Risk Based Asset Management in the Competitive European Electricity Market, 38-109 CIGRE Paris, Session 2002.

3. CIGRE, Task Force 38. 01. 07, Analysis and control of power system oscillatons, Report 1996.

4. N. Dizdarević: Algoritmi za analize slučajnih ispada elemenata elektroenergetske mreže, Magistarski rad, FER, Zagreb 1994.

5. Expansion Planning for Electrical Generating Systems, A. Guidebook, IAEA, Vienna 1984.

6. Experimenting with Free Markets: Lessons from the Last 20 Years and Prospects for the Future, International Association for Energy Economics, 21st International Conference, May 13-16, 1998, Quebec, Canada Conference Proceedings.

7. D. Feretić, Ž. Tomašić, D. Škanata, N. Čavlina i D. Subašić: Elektrane i okoliš, Element, Zagreb 2000.

8. FINPLAN, A Model for Financial Analysis of Electric System Expansion Plan, User's Manual, International Atomic Energy Agency, Vienna 2000.

9. I.F. Fopazzo, H.M. Merrill: Optimal Generator Maintenance Scheduling Using Integer Programming, IEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-94, No. 5, September/October 1975.

10. S. Fuštar: Optimalni raspored remonta agregata u elektranama elektroenergetskog sustava, Doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet Zagreb 1989.

11. B. Jelavić: Raspodjela opterećenja u dnevnom dijagramu opterećenja s naglaskom na hidroelektrane, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet Zagreb 1984.

12. B. Jelavić: Određivanje raspodjele opterećenja pri tjednom određivanju rada elektroenergetskog sustava, Doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet Zagreb 1991.

13. J. Keglević: Optimalno korištenje sezonskih akumulacijskih bazena hidroelektrana, Doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet Zagreb 1975.

14. M. Klepo: Pouzdanost i raspoloživost elektroenergetskog sustava pri operativnom planiranju rada, Doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet Zagreb 1996.

15. M. Klepo: ALFoS – Metodološke osnove programskog sustava za predviđanje godišnje potrošnje električne energije, Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb 1995.

16. V. Knapp i P. Kulišić: Novi izvori energije, Školska knjiga, Zagreb 1985.

17. P. Kundur, Power System Stabillity and Control, Electric Power Research Institute, McGraw/Hill 1994.

18. Liberalization and Privatization of the Energy Sector, International Chamber of Commerce, Paris 1999.

19. M. Lovrić i R. Goić: Osvrt na problematiku sigurnosti EES-a, VI savjetovanje CIGRE, Cavtat 2003.

20. B. Manhire: Advanced Techniques in Probabilistic Simulation Cummulants, Ohio University, Ohio 1994.

21. Scale Power System Security under Uncertainty, 37-108 CIGRE Paris, Session 2002.

22. D. Pešut: Metoda za predviđanje dnevnog dijagrama opterećenja u elektroenergetskom sustavu, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet Zagreb 1981.

23. H. Požar: Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima, Prvi svezak, Informator, Zagreb 1985.

24. H. Požar: Snaga i energija u elektroenergetskim sistemima, Drugi svezak, Informator, Zagreb 1985.

25. H. Požar: Usporedba metoda za korištenje akumulacija ("Metode određivanja moguće proizvodnje HE" – peti dio), Institut za elektroprivredu, Zagreb 1968.

26. S. Stoft: Power System Economics, IEEE/Wiley 2002.

27. Towards a European strategy for the securiti of energy supply (Green Paper), Commision of the European Communities, Brussels 2000.

28. B. Udovičić: Elektroenergetika, Školska knjiga, Zagreb 1983.

29. B. Udovičić: Energija i izvori energije, Građevinska knjiga, Beograd 1988.

30. B. Udovičić: Energija i društvo, Građevinska knjiga, Beograd 1988.

31. B. Udovičić: Energetske pretvorbe i bilance, Građevinska knjiga, Beograd 1988.

32. B. Udovičić: Energija i okolina, Građevinska knjiga, Beograd 1989.

33. B. Udovičić: Razvitak i energetika, Inačica, Zagreb 1998.

34. B. Udovičić: Energetika Europe i uključivanje energetike Hrvatske u Europsku Uniju, Zagreb 2000.

35. B. Udovičić: Energetika i okoliš u globalizaciji, Zagreb 2002.

36. C. Vasquez, M. Rivier, I.J. Perez-Arriaga: A Market Approach to Long-Term Security of Supply, IEEE Transactions on Power Systems, volume 17, May 2002.

37. Wien Automatic System Planning (WASP) Package, User's Manual, International Atomic Energy Agency, Vienna 2001.

38. M. Zeljko: Korištenje sezonskih akumulacijskih bazena u eksploataciji elektroenergetskog sustava, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet Zagreb 1988.

39. M. Zeljko, M. Klepo, APCoS – Metodološke osnove programskog sustava za godišnju simulaciju prilika u EES-u, Energetski institut "Hrvoje Požar", Zagreb 1996.

40. M. Zeljko: Planiranje izgradnje elektrana u okružju otvorenog tržišta električne energije, Doktorska disertacija, FER, Zagreb 2003.

41. A computer code for power generatin system expansion planning WASP-III Plus User's manual, International Atomic Energy Agency, Vienna 1994.

Bilješke

Bilješke



Fancevljev prilaz 5, Zagreb
tel. 01 66 05 151
faks 01 66 73 805
kigen@kigen.hr
www.kigen.hr