

Izv. prof. dr. sc. Juraj Šimunić, dipl. inž.
Branka Dobraš, dipl. inž.
Goran Gudac, dipl. inž.
Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci, Rijeka

2-07

MODEL REKONSTRUKCIJE PODSUSTAVA ISTOSMJERNOG RAZVODA I NAPAJANJA U ELEKTROENERGETSKIM POSTROJENJIMA

SAŽETAK

Članak opisuje postupak rekonstrukcije Podsustava istosmjernog razvoda i napajanja i zahvaća problematiku od samog pristupa vođenju poslova rekonstrukcije sve do konkretnih stručnih problema koji se pri takvim rekonstrukcijama javljaju. Prikazuje se način pristupa u rješavanju tehničkih problema, predlaže se i objašnjava model analize Podsustava te se pri tome posebna pažnja posvećuje specifičnostima takvih podsustava. Razmatraju se karakteristike novih izvora napajanja i daju njihove prednosti nad zastarjelim izvorima.

Kao zaključak dan je pregled iskustvenih podataka koji su dobiveni na temelju dosadašnjih istraživanja.

Ključne riječi: Podsustav istosmjernog razvoda, rekonstrukcija, elektroenergetsko postrojenje

RECONSTRUCTION MODEL OF AUXILIARY DC SUPPLY SYSTEMS IN POWER SUBSTATIONS

ABSTRACT

This paper describes the approach to the reconstruction of the auxiliary DC supply systems. It deals with all the problems which can be encountered from the very start of such reconstruction i.e. it deals with problems in management, problems in the system analysis etc. The paper shows the way in solving technical problems and suggests and describes the model of the system analysis taking into consideration all specific features of the auxiliary DC supply systems. Characteristics of the new generation of DC sources are also analyzed and their advantages over the obsolete DC sources are shown.

As the conclusion the paper presents a whole range of experience data that are based upon research that has been carried out so far.

Key words: Auxiliary DC supply system, reconstruction, power substation

1. UVOD

U svim postrojenjima za proizvodnju, prienos i distribuciju električne energije Podsustav istosmjernog razvoda i napajanja (PIRN) predstavlja vrlo važnu funkcionalnu cjelinu. U normalnom pogonskom stanju objekta ovaj Podsustav svoju ulogu - opskrbu potrošača istosmjernim naponom propisane kvalitete - ostvaruje zajedno s Podsustavom izmjeničnog napajanja 380/220 V, 50 Hz.

U slučaju nestanka izmjeničnog napona, što je moguće pri većim havarijama u elektroenergetskom sustavu ili uslijed kvarova u samom objektu, ovaj Podsustav treba omogućiti autonomnu opskrbu potrošača istosmjernim naponom u ograničenom vremenu, do uspostavljanja normalnog pogonskog stanja. Takvoj osnovnoj koncepciji prilagođeni su i svi uređaji u postrojenju, pa se sve glavne funkcije upravljanja i signalizacije, alarma, zaštite, mjerenja, telekomunikacija i daljinskog upravljanja obavljaju putem PIRN-a. Kako bi ispunio svoju osnovnu zadaću u normalnom pogonskom stanju objekta, a posebice u slučaju potrebe autonomnog rada, PIRN mora zadovoljiti propisane tehničke zahtjeve.

Nakon havarija velikih razmjera u TS 110/30 kV Jarun 1981. godine i u TS 110/35 kV Koprivnica 1995. godine, preporukom Elektroenergetskog inspektorata, definirani su i postavljeni novi kriteriji i principi projektiranja, izvođenja i održavanja PIRN-a 220 i 48 V. Također, određena je zadaća da se krene u postupnu rekonstrukciju svih podsustava koji ne zadovoljavaju postavljene kriterije sigurnosti, pouzdanosti i selektivnosti i odabiru elemenata podsustava razvoda i napajanja.

Pristup rekonstrukciji PIRN-a znatno ovisi o ukupnom opsegu radova tj. o broju postrojenja koja se namjeravaju tom rekonstrukcijom obuhvatiti. Rekonstrukcija PIRN-a na nivou jednog distributivnog područja ili šire predstavlja složen problem koji zadire, pored stručne problematike, i u problematiku vođenja cjelokupnog posla rekonstrukcije tj. zadire i u sam management. Zbog toga je, prije ulaska u samu rekonstrukciju postrojenja potrebno sagledati čitavu problematiku, definirati sve potrebne predradnje i na temelju toga odabrati put kojim će se krenuti u poslove rekonstrukcije.

2. PROBLEMATIKA PRISTUPA REKONSTRUKCIJI

2.1. Ocjena postojećeg stanja

Prije izvođenja poslova rekonstrukcije PIRN-a kod većeg broja elektroenergetskih postrojenja potrebno je obaviti niz predradnji kako bi se na vrijeme uočili svi problemi i predvidio tijek rekonstrukcije uključujući i procjenu vremena izvođenja radova. U tu svrhu potrebno je prije pokretanja poslova rekonstrukcije provesti ocjenu stanja PIRN-a u svim objektima distributivne mreže, tj. na nivou cijelog distributivnog područja ili šire. Navedenim se pregledom, prema očekivanju, može konstatirati stupanj usklađenosti PIRN-ova s referentnim tehničkim rješenjem, te eventualna različitost proizvođača pojedine opreme, različitost tipova, starosti te stanja elemenata Podsustava.

Na osnovi ovakve kvalitativne i kvantitativne analize objekti se mogu grupirati u skupine, prema procijenjenom stupnju ugroženosti PIRN-a tj. prema potrebi zamjene elemenata Podsustava.

Točan opseg i karakter rekonstrukcije PIRN-a nije moguće procijeniti temeljem pregleda preliminarnog i općenitog oblika koji se obavlja u tako kratkom vremenu i sa zadaćom prve ocjene. Zbog sličnosti i srodnosti problematike u svim objektima distribucijske mreže, složenosti i specijalističkog karaktera problematike, kao tehnički i ekonomski najopravdanije rješenje jest postavljanje identičnog modela pristupa rekonstrukciji PIRN-a i realizaciji po procijenjenim skupinama ugroženosti. Takav model rekonstrukcije sadrži sljedeće:

- elaboraciju postojećeg stanja i ocjenu stupnja rekonstrukcije PIRN-a na nivou idejnog rješenja,
- izradu Ponudbene dokumentacije (tendera) za izradu tehničke dokumentacije, isporuku opreme i uređaja za rekonstrukciju PIRN-a,
- natječajni postupak za nabavku opreme i izvedbene dokumentacije,
- ugovaranje i isporuka opreme i izrada izvedbene tehničke dokumentacije, prema navedenom tenderu,
- ugovaranje i izvođenje elektromontažnih radova, ispitivanje, inspekcijski pregled i puštanje u pogon.

Dakle, čitava se problematika rekonstrukcije i modernizacije promatranog sustava dijeli na više osnovnih, međusobno povezanih cjelina čime se u potpunosti obuhvaća sustav rekonstrukcije postrojenja, od utvrđivanja postojećeg stanja, procjene obima rekonstrukcije sve do završne realizacije. Takvim je pristupom omogućen prirodan i nesmetan postupak upravljanja samim tijekom rekonstrukcije i

modernizacije promatranog sustava. Navedeni postupak prikazan je dijagramom toka na slici 1. s istaknutim podcjelinama u pojedinim osnovnim fazama.

2.2. Stručna elaboracija

Nakon provedene ocjene stanja i nakon utvrđivanja stupnja ugroženosti postrojenja i njihova svrstavanja u odgovarajuće skupine glede potrebe *hitnosti* rekonstrukcije može se preći na sljedeću fazu: stručnu elaboraciju problema. Stručna elaboracija problema obuhvaća sljedeće cjeline:

- detaljno snimanje postrojenja s jednopolnom shemom, trošilima, zaštitnim uređajima, itd. kako bi se mogla načiniti detaljna ocjena stanja promatranog postrojenja,
- detaljna analiza postojećeg stanja gdje se uočavaju svi nedostaci koji mogu izazvati neispravan rad sustava, prema zahtjevima Elektroenergetske inspekcije,
- izrada idejnog rješenja rekonstrukcije,
- proračun svih tehničkih parametara na temelju idejnog rješenja, definiranje svih parametara koji su potrebni za daljnji tijek rekonstrukcije,
- priprema i izrada svih shema, tablica i dijagrama koji su neophodni za realizaciju tenderske dokumentacije.

Cjelokupna stručna elaboracija problema sa završnim stručnim preporukama, komentarima i mišljenjima te rezultatima proračuna predstavlja osnovu za sve daljnje postupke rekonstrukcije EEPa. Takvom se elaboracijom dobivaju kvalitetni podaci na temelju kojih je moguće procijeniti ukupan opseg rekonstrukcije, od troškova nabavke nove opreme do predviđanja vremenskih rokova.

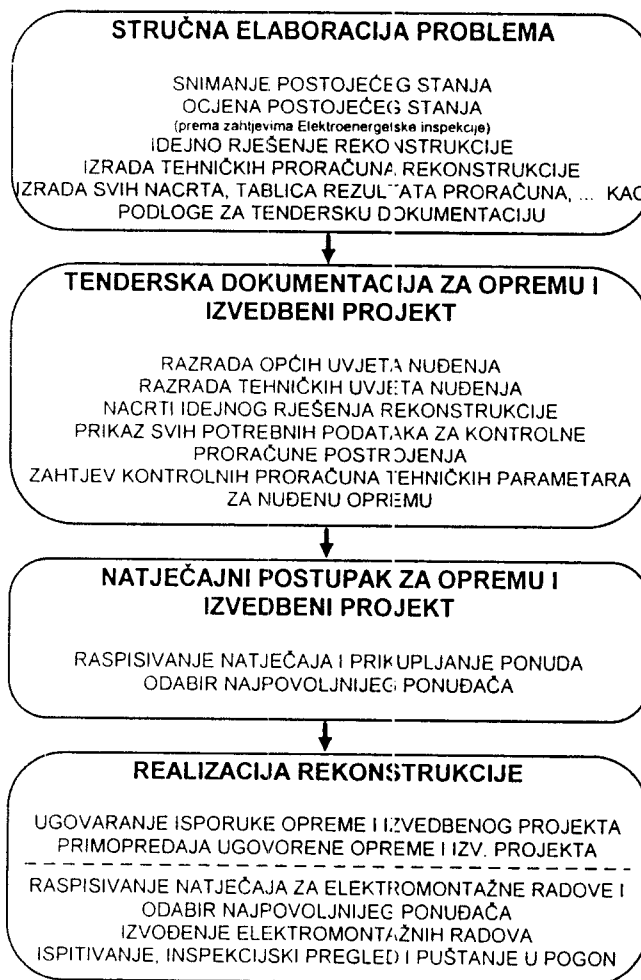
Elaboracijom većeg broja postrojenja dobiva se uvid u detaljnu sliku stanja istosmjernih sustava distributivne mreže te jasna slika potreba za novom opremom i radovima. S tehničkog i ekonomskog aspekta moguće je na temelju svih navedenih procjena izvršiti optimizaciju svih parametara glede troškova nabavke, instalacije i održavanja.

2.3. Tenderska dokumentacija

Dobivenim idejnim rješenjem i stručnom elaboracijom stvorena je podloga za realizaciju kvalitetne tenderske dokumentacije. Sama izrada tendera može se podijeliti u nekoliko koraka:

- razrada općih uvjeta nuđenja (definiranje predmeta ponude, gospodarstveni uvjeti, ...)
- razrada tehničkih uvjeta nuđenja (definiranje osnovnih podataka o postrojenju, tehničke specifikacije, specifični zahtjevi, ...)
- izrada nacrtu idejnog rješenja rekonstrukcije,
- prikaz svih potrebnih podataka za kontrolne proračune.

Pored navedenih koraka u tenderskoj dokumentaciji potrebno je navesti zahtjev za izradu **kontrolnih proračuna od strane ponuđača** za svu nuđenu opremu čime se osigurava da ponuđač ⇒ proizvođač opreme + projektant svojim proračunima jamči ispravan rad nuđene opreme i uređaja. Na slici 2. može se vidjeti primjer prikaza specifičnih uvjeta nuđenja.



Slika 1. Dijagram toka aktivnosti u provedbi rekonstrukcije

2.4. Natječajni postupak

Nakon izrade tendera provodi se natječajni postupak. Po zatvaranju natječaja vrši se odabir najboljeg ponuđača glede nove opreme, uređaja i izvedbenog projekta. Kriteriji za ocjenu najboljeg ponuđača moraju biti unaprijed definirani. **Tenderska dokumentacija** mora postaviti sve uvjete na način da se od ponuđača traži *izuzetna stručnost i poznavanje kompleksnosti problematike rekonstrukcije postrojenja*. Zbog toga je i realno očekivati da će samo najbolji ponuđači biti u mogućnosti sastaviti cjelovitu i kvalitetnu ponudu koja će zadovoljiti sve postavljene zahtjeve.

2.5. Realizacija rekonstrukcije

Po provedenom natječaju moguće je krenuti u realizaciju rekonstrukcije. Sam tok rekonstrukcije može se podijeliti u više faza:

- ugovaranje isporuke opreme i izvedbenog projekta,
- primopredaja opreme i izv. projekta,
- raspisivanje natječaja za elektromontажne radove (može teći paralelno s primopredajom ugovorene opreme i izvedbenim projektom),
- odabir najboljeg ponuđača glede elektromontажnih radova i izvođenje rekonstrukcije,
- ispitivanje, inspekcijski pregled i puštanje u pogon (ponuđena i montirana oprema prije puštanja u pogon mora proći inspekcijski pregled te se mora ispitati u radu pri kritičnim situacijama kao što je kratki spoj i sl., a što je bitno za ispravan rad čitavog postrojenja).

Nakon ispitivanja i inspekcijskog pregleda, ukoliko se pokazala ispravnost opreme i zadovoljili svi postavljeni uvjeti, oprema se može pustiti u trajni pogon.

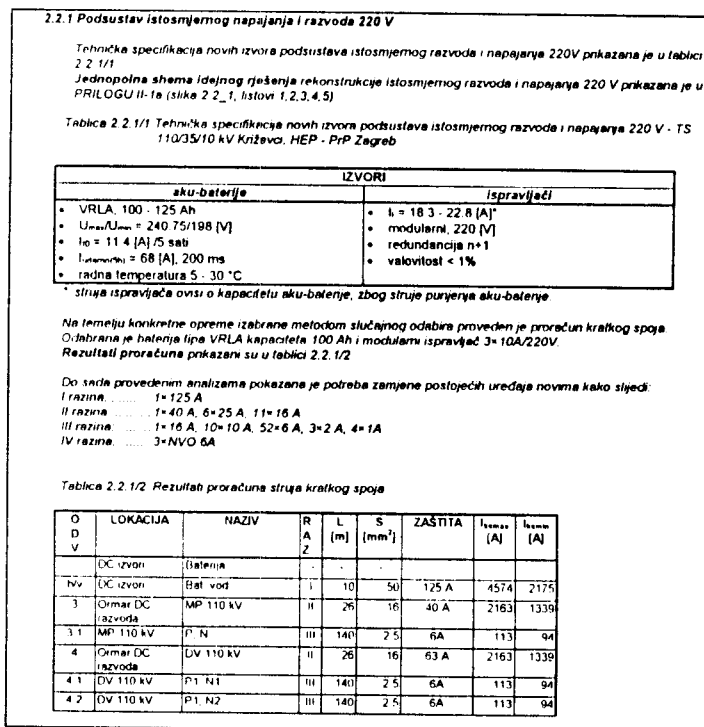
3. MODEL ANALIZE PODSUSTAVA ISTOSMJERNOG RAZVODA I NAPAJANJA

Za potrebe što točnije i preglednije analize Podsustava istosmjernog razvoda i napajanja stvoren je i odgovarajući model. **Model analize** je unutar sebe podijeljen u nekoliko osnovnih cjelina, prvenstveno zbog sistematičnog pristupa ali i zbog lakšeg pregleda dobivenih rezultata. Osnovne cjeline na koje se može podijeliti analiza su sljedeće:

- analiza trošila u razvodu istosmjernog napajanja,
- shema razvoda napajanja,
- proračun aku-baterija i ispravljača,
- proračun struja kratkog spoja i kontrola selektivnosti zaštite,
- proračun padova napona,
- termička opterećenja u normalnom režimu, režimu kratkog spoja i režimu zatajenja zaštite.

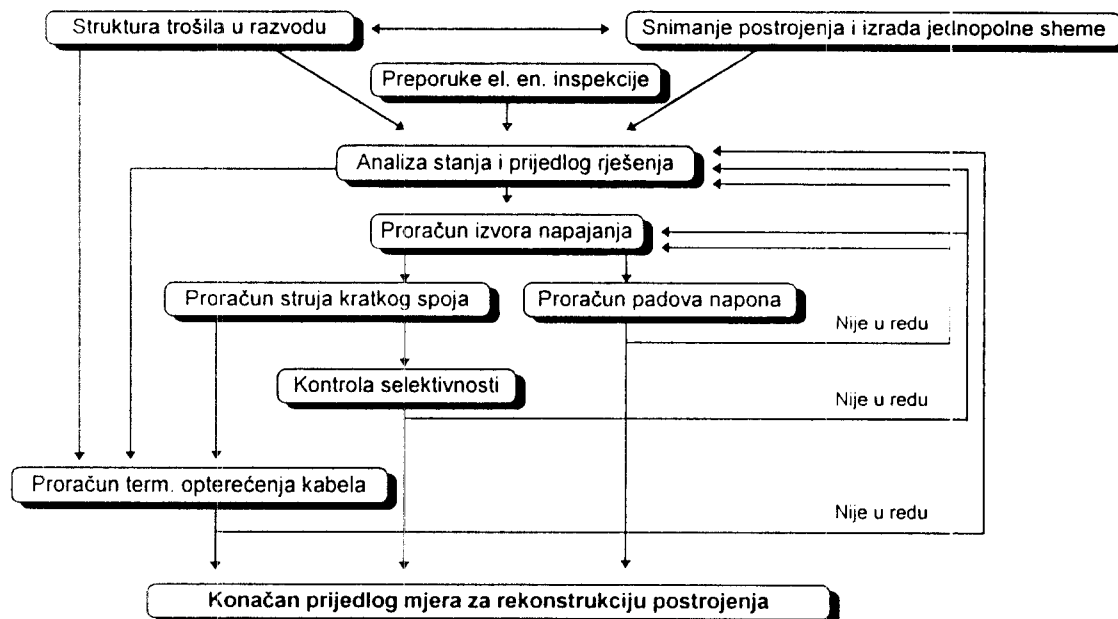
Ovakav model analize opisan je i pripadnim dijagramom toka, iz kojeg su vidljive i međusobne zavisnosti pojedinih cjelina unutar modela i te su zavisnosti prikazane na slici 3. Iz slike 3. može se zaključiti sljedeće:

- prijedlog rješenja i proračun izvora napajanja sadrže početnu osnovu za sve daljnje proračune,
- rezultati kontrole selektivnosti mogu povratno utjecati na odabir izvora i na prijedlog rješenja razvoda,
- proračun termičkih opterećenja kabela može utjecati na prijedlog rješenja,
- proračun padova napona, za slučajeve nepovoljnih rješenja, može utjecati i na odabir izvora kao i na prijedlog rješenja razvoda.



Slika 2. Tender - specifični uvjeti nuđenja

Iz navedenog je vidljivo da svaki pojedini dio proračuna u modelu analize, posredno ili neposredno, utječe na ostale dijelove proračuna, te da je model analize PIRN-a jedan složen sustav sastavljen od međusobno usko povezanih cjelina. Te cjeline su u nastavku detaljnije objašnjene te su uz svaku cjelinu navedene specifičnosti koje se prilikom analize mogu susresti. Pažnja će se koncentrirati na razvod 220 V ali sve osnovne napomene i zaključci, u većoj ili manjoj mjeri, vrijede i za razvod 48 V.



Slika 3. Dijagram toka proračuna u modelu analize istosmjernog napajanja i razvoda

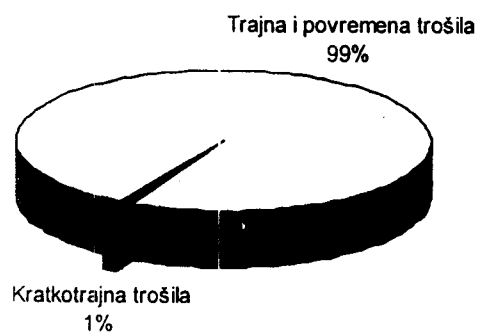
Kao osnovni zaključak nameće se činjenica da promjena bilo kojeg od osnovnih elemenata PIRN-a zahtijeva analizu i provjeru cijelog sustava te se u *toku eksploatacije ne smiju parcijalno mijenjati pojedini dijelovi sustava bez prethodne detaljne analize.*

3.1. Trošila u razvodu istosmjernog napajanja

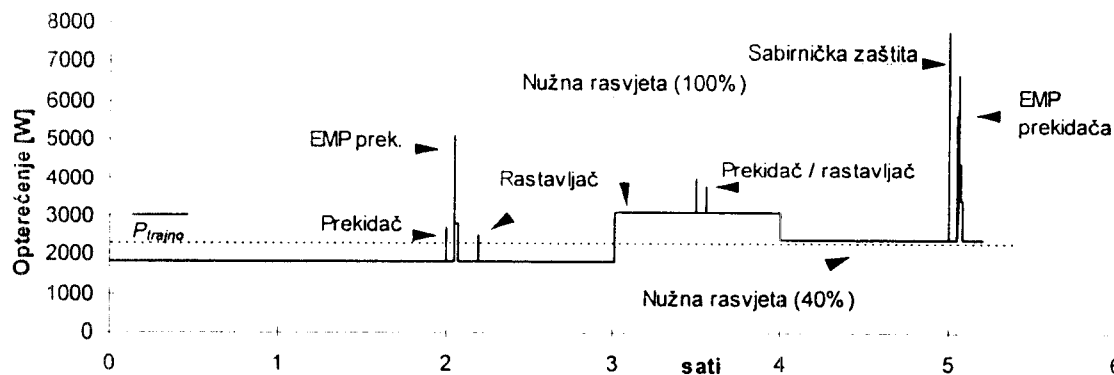
Trošila razvoda su, uz strukturu razvoda, osnovni ulazni parametri koji se koriste za analizu, proračune i projektiranje pomoćnih istosmjernih razvoda. Kako se na temelju tih podataka vrše svi daljnji proračuni logično je da se tim podacima mora posvetiti posebna pažnja da bi se čim kvalitetnije i točnije odredili svi relevantni podaci, na kojima se temelje svi daljnji rezultati. Općenito, za trošila u istosmjernom razvodu 220V može se reći da su vrlo raznolika glede snage, trajanja i dinamike rada.

Budući da se kao osnova za proračun izvora uzima potrošnja razvoda u promatranom režimu rada, pri definiranju potrošnje razvoda vrlo je bitno koristiti točne podatke o snazi i dinamici rada trošila te na pravilan način interpretirati dobivene podatke. Detaljna analiza trošila glede trajanja rada, te udjela pojedinih trošila u ukupnoj energiji sustava dovela je do zaključka da je **energija kratkotrajnih trošila zanemariva** u odnosu na **energiju povremenih i trajnih trošila**, te da nema značajnijeg utjecaja na odabir kapaciteta izvora (slika 4.).

Analizom dinamike rada pojedinih trošila dolazi se do principnog dijagrama opterećenja aku-baterije za vrijeme višesatnog ciklusa pražnjenja (slika 5). Iz ovog dijagrama također je vidljivo da su prorade kratkotrajnih trošila vrlo rijetke, trenutne i sa **stanovišta energije zanemarive** ali sa **stanovišta kontrole pada napona izuzetno važne**. Jedina značajna promjena opterećenja nastaje uključanjem ukupne sigurnosne rasvjete te je takva opterećenja poželjno izbjegavati.



Slika 4. Udio trajnih i kratkotrajnih trošila u ukupnoj energiji



Slika 5. Vremenski dijagram opterećenja aku-baterije - 5 satni režim pražnjenja

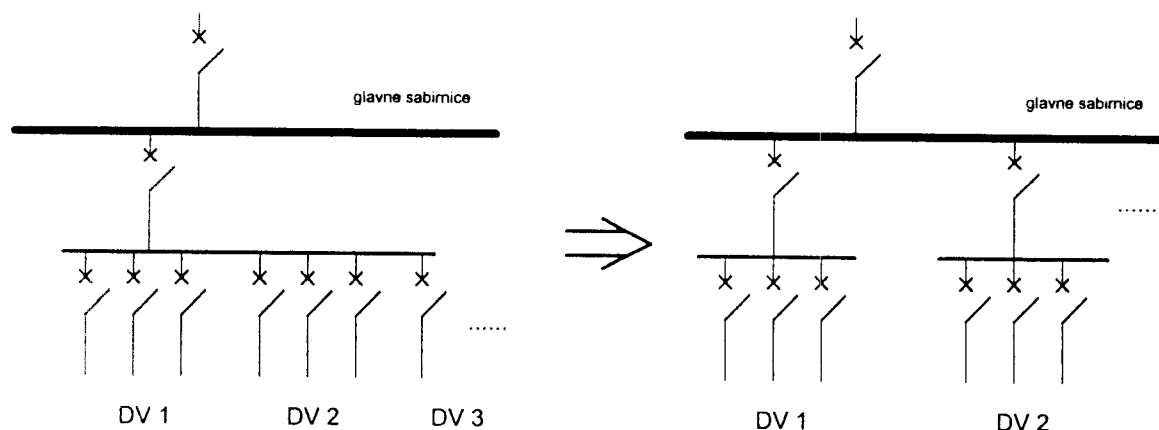
Općenito se za pomoćne istosmjerne razvode može reći da su opterećeni s praktički konstantnom snagom a da su prorade trošila većih snaga rijetke i kratkotrajne.

3.2. Shema razvoda napajanja

Za potrebe svih proračuna istosmjernog razvoda neophodno je snimiti odnosno izraditi detaljnu jednopolnu shemu razvoda. Na temelju snimljene sheme razvoda pomoćnog istosmjernog napajanja dobiva se detaljan uvid u strukturu postojećeg razvoda te se analizom te strukture mogu uočiti nepravilnosti i nedostaci koji analizirani razvod čine nepouzdanim. Pri analizi postojećeg stanja potrebno je posvetiti posebnu pažnju na sljedeće:

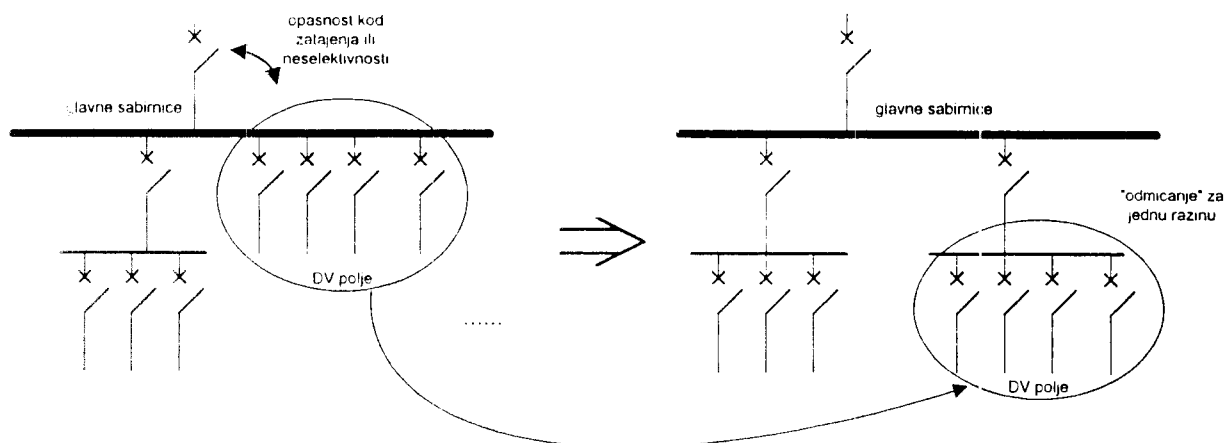
- pouzdanost napajanja trošila u istosmjernom razvodu - posebno se to odnosi na trošila o kojima bitno ovisi sigurnost i pouzdanost rada čitavog postrojenja (VN prekidači i sl.),
- polaganje kabela glede zaštite od požara, kao i utjecaja energetskih kabela,
- **horizontalnu strukturu razvoda** glede odvajanja trošila različitih naponskih razina (110, 35, 10 kV), a što se temelji na preporukama Elektroenergetske inspekcije iz 1982. i 1996. godine.
- **vertikalnu strukturu razvoda** glede selektivnosti prorade zaštitnih uređaja (3 razine zaštite za postrojenja srednje veličine, odnosno do 4 razine zaštite za velika postrojenja sa sekcioniranim sabirnicama).

Navedena problematika glede horizontalne i vertikalne strukture razvoda prikazana je na slikama 6. i 7. U praksi se pokazao vrlo čest slučaj da se sva VN i SN polja napajaju sa sabirnice 2. naponske razine te da su vezana na glavne sabirnice putem jednog odvoda. Navedena struktura razvoda vrlo je nepovoljna sa stanovišta sigurnosti napajanja pojedinih trošila budući da prorada zaštitnog uređaja na 2. razini ostavlja bez napajanja sva VN i SN polja. Rješenje ovog problema leži u odvajanju pojedinih VN i SN polja i njihovom spajanju na glavne sabirnice putem vlastitog odvoda 2. razine, kako je to prikazano na slici 6. Na taj se način dobiva znatno neovisnije napajanje VN i SN polja.



Slika 6. Odvajanje napajanja pojedinih VN i (ili) SN polja

Također, vrlo često se u praksi javlja i slučaj kad se trošila pojedinih VN i SN polja napajaju direktno sa glavnih sabirnica (razvod izveden s dvije razine zaštite). Takav način napajanja, u slučaju neselektivne prorade ili zatajenja zaštite na 2. razini izaziva proradu zaštite u baterijskom vodu i time "ispadanje" cjelokupnog razvoda. Zbog toga je takvu strukturu razvoda potrebno preraditi u strukturu koja će imati tri razine zaštite (slika 7.). U tom slučaju, eventualno zatajenje prekidača na 3. razini (2. razina prvotnog stanja) može uzrokovati "ispadanje" samo pripadnog VN ili SN polja, ali neće izazvati nikakve posljedice za ostatak razvoda.



Slika 7. Prelazak sa strukture s dvije razine zaštite na strukturu s tri razine zaštite

Prilikom razmatranja navedene problematike treba imati na umu da je za siguran i nesmetan rad razvoda potrebno ugraditi na 1. i 2. razinu zaštite isključivo najkvalitetnije zaštitne uređaje koji će osigurati apsolutnu selektivnost između tih dviju razina i za čiji ispravan rad garantira sam proizvođač. Kod takvog pristupa predlažu se i suvremena rješenja koja donose "DC distribucije", odnosno ormari s ugrađenim zaštitnim prekidačima 1. i 2. zaštitne razine, kao i pripadnom signalizacijom za potrebe daljinskog nadzora.

Na temelju zaključaka ovako provedene analize glede strukture razvoda istosmjernog napajanja **predlaže se idejno rješenje rekonstrukcije** i to se rješenje dalje analizira sa stanovišta izvora napajanja, struja kratkog spoja i selektivnosti, padova napona i termičkih opterećenja kabela.

3.3. Proračun izvora napajanja

Izvori napajanja istosmjernih razvoda, kako se pokazalo u praksi, vrlo često nisu pravilno dimenzionirani. Razlog je uglavnom u neprimjerenim metodama proračuna koje u pravilu ne uzimaju u obzir karakteristike trošila i njihovu dinamiku u onoj mjeri u kojoj bi to trebalo. Iz razloga sigurnosti utjecaj pojedinih trošila vrlo je često prenaplašen i najčešći rezultat takvog pristupa jesu predimenzionirani izvori napajanja.

Kao osnova za proračun kapaciteta uzima se potrošnja razvoda u promatranom režimu rada. Pri definiranju potrošnje razvoda vrlo je bitno koristiti točne podatke **o snazi i dinamičnom radu trošila** te na pravilan način interpretirati dobivene podatke. Općenito, za pomoćne istosmjerne razvode elektroenergetskih postrojenja može se reći da su opterećeni praktično s konstantnom strujom i da su prorade trošila većih snaga rijetke i kratkotrajne (slika 5.) te da kratkotrajna trošila nemaju veći utjecaj na ukupnu energiju i time na kapacitet izvora (slika 4.). Prema navedenom, ukupna energija koju aku-baterija mora dati može se izračunati prema sljedećem izrazu:

$$E_{ukupno} = \sum_i (P_i \cdot \Delta t_i \cdot f_{u_i}) \quad (1)$$

gdje i označava svako pojedino trošilo, a

P_i snaga pojedinog trošila,

Δt_i trajanje rada pojedinog trošila unutar autonomnog režima rada,

f_{u_i} prosječna učestalost rada, odnosno broj prorada trošila u promatranom režimu.

Budući da je razvod opterećen s praktično konstantnom strujom (a struja je mjerodavna za odabir kapaciteta aku-baterije kao i za odabir ispravljača) iz izraza (2) ta se trajna struja opterećenja može izračunati:

$$I_{trajno} = \frac{E_{ukupno}}{T \cdot U_n} \quad (2)$$

gdje T predstavlja autonomiju rada aku-baterije, a U_n nazivni napon.

Pri proračunu treba voditi računa o utjecaju temperature i starenja na kapacitet aku-baterije i na njegov unutarnji otpor. Treba također uzeti u obzir i pouzdanost rada svakog od izvora (npr. redundantan broj modula ispravljača). Na temelju ovih osnovnih podataka računaju sve svi ostali podaci potrebni za proračun kapaciteta kao što su broj članaka, minimalni naponi članka, udarno opterećenje na kraju radnog režima itd. (slika 8.) pomoću kojih se, iz odgovarajućih tablica, očitava potreban kapacitet aku-baterije.

Vrijeme rada	= 5 h
I_{trajno}	= 10 A
Broj članaka (n)	= 107
U_{max}	= 242 V
U_{min}	= 198 V
U_{np}	= 240.75 V
$U_{člmin}$	= 1.85 V
$I_{udarno(5h)}$	= 45 A, 60 ms

Ukoliko proračun pokazuje da postojeći izvori ne mogu zadovoljiti potrebe razvoda, predlaže se njihova zamjena s novim izvorima. Također se i za postojeće izvore koji su u pogonu dulje vrijeme (više od 10 godina) predlaže zamjena s novim izvorima. Prilikom zamjene redovito se predlažu novi uređaji, nove tehnologije izvedbe. To znači da se predlažu aku-baterije VRLA tipa i ispravljači modularnog tipa. U slučaju eventualne zamjene samo aku-baterija, neophodno je zadovoljiti uvjete glede izlaznih napona i struja koje na ispravljače postavljaju nove VRLA aku-baterije.

Slika 8. Podaci za proračun

Razlog odabira izvora nove tehnologije je u tome što oni omogućavaju povoljnije radne uvjete u odnosu na prethodnu generaciju izvora, odnosno omogućavaju sljedeće:

- normalni radni napon od 2.25 - 2.27 V/čl pri temperaturi od 20-25°C, što dozvoljava veći broj članaka aku-baterije, "dublje" pražnjenje i manji kapacitet,
- početni napon pražnjenja aku-baterije od 2.14 - 2.16 V/čl,
- paralelan rad ispravljača i aku-baterije, uz trajno nadopunjavanje aku-baterije, bez specifičnih režima rada kao kod klasičnih izvora (brzo punjenje 1, 2 i 3 s različitim naponskim nivoima),
- paralelan rad ispravljača i aku-baterije pri kojem aku-baterija preuzima udarna opterećenja što smanjuje minimalnu struju koju ispravljač mora osigurati, odnosno smanjuje broj potrebnih modula,
- paralelan rad više aku-baterija,
- veću sigurnost rada ispravljača budući da se on sastoji od više modula.

3.4. Proračun struja kratkog spoja i kontrola selektivnosti zaštite

3.4.1. Proračun struja kratkog spoja

Proračun struja kratkog spoja neophodan je zbog detaljne kontrole selektivnosti zaštite i zbog analize termičkih opterećenja kabela u režimu kratkog spoja. Pri takvim je kontrolama neophodno predvidjeti sve slučajeve, odnosno potrebno je uzeti u obzir promjene svih parametara koji mogu utjecati na vrijednost struje kratkog spoja, a to posebno vrijedi za **utjecaj napona i unutarnjeg otpora pune i prazne baterije**. Analiza se provodi za svaki pojedini odvod u razvodu i to za svaku razinu posebno.

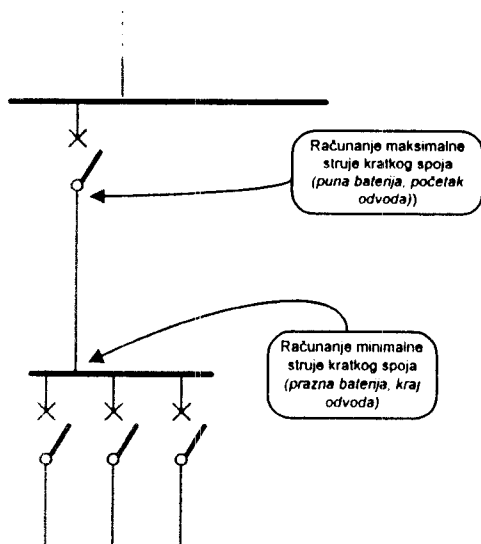
Kako je vrlo teško, a često i nepotrebno analizirati sve moguće slučajeve, analiza se ograničava na krajnje vrijednosti struja kratkog spoja, odnosno na granične slučajeve (slika 9.). Takvim se pristupom proračunava najviša i najniža struja kratkog spoja koja se može pojaviti u pojedinom odvodu i dobiva raspon struja u kojem se kreće kratki spoj, za svaki pojedini odvod razvoda. Tako dobivene vrijednosti struja kratkog spoja temelj su za kvalitetnu i potpunu kontrolu selektivnosti zaštite.

3.4.2. Kontrola selektivnosti zaštite

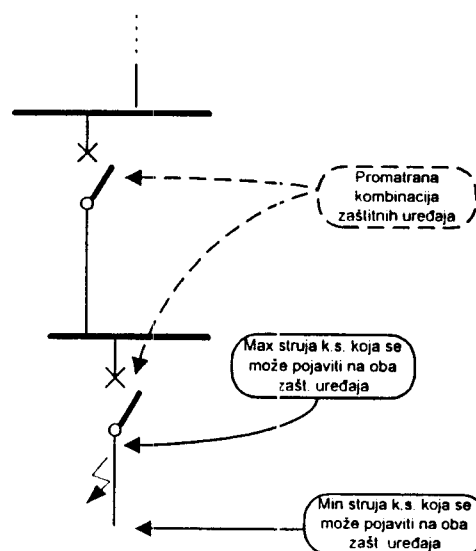
Da bi se osigurao ispravan i pouzdan rad čitavog postrojenja neophodno je osigurati selektivnost prorade zaštitnih uređaja. Ispravnom selektivnošću zaštite osigurava se ispad samo onog dijela razvoda u

kojem je nastao kratki spoj, bez posljedica za ostatak razvoda. Za kvalitetnu i potpunu kontrolu selektivnosti zaštite neophodno je uzeti u obzir sve slučajeve koji se u promatranom odvodu mogu pojaviti. Pri odabiru struja kratkog spoja s kojima se ulazi u kontrolu selektivnosti treba voditi računa o slijedećem:

- **horizontalnom rasponu** maksimalne i minimalne struje zbog pune i prazne aku-baterije po svakoj razini,
- **vertikalnom rasponu** maksimalne i minimalne struje zbog promatranja struja kratkih spojeva između dvije ili više razina istosmjernog razvoda,
- da se promatraju dvije uzastopne razine,
- da se za takav slučaj definiraju najmanja i najviša struja kratkog spoja koje se mogu pojaviti na oba zaštitna uređaja i u kojem rasponu ti zaštitni uređaji moraju selektivno djelovati.



Slika 9. Računanje struja kratkog spoja



Slika 10. Kontrola selektivnosti

Selektivna prorada mora biti osigurana, neovisno o tolerancijama u vremenima prorade pojedinih zaštitnih uređaja. Prilikom kontrole potrebno je uvažavati **sve specifičnosti korištenih zaštitnih uređaja** kao što su termičko područje rada, magnetsko područje rada, mogućnost podešavanja magnetskog područja glede proradne struje i glede zatezanja vremena prorade, efekt ograničavanja struja itd., kako bi se dobili realni rezultati. Analizu je potrebno provesti za svaki pojedini odvod u razvodu, a u slučaju neselektivnosti potrebno je predložiti novo rješenje glede izbora nove aku-baterije, promjene presjeka kabela, promjene strukture razvoda ili promjene izbora zaštitnih uređaja, sa svrhom osiguranja selektivne prorade.

3.5. Proračun padova napona

Za ispravan rad svih trošila u pomoćnom istosmjernom razvodu neophodno je definirati granice u kojima se mora kretati napon na trošilima kako bi se osigurala propisana kvaliteta napona. Te granice diktiraju sama trošila te se, najčešće, napon mora kretati u rasponu od +10% do -15% u odnosu na nominalni napon, neovisno o režimu rada razvoda.

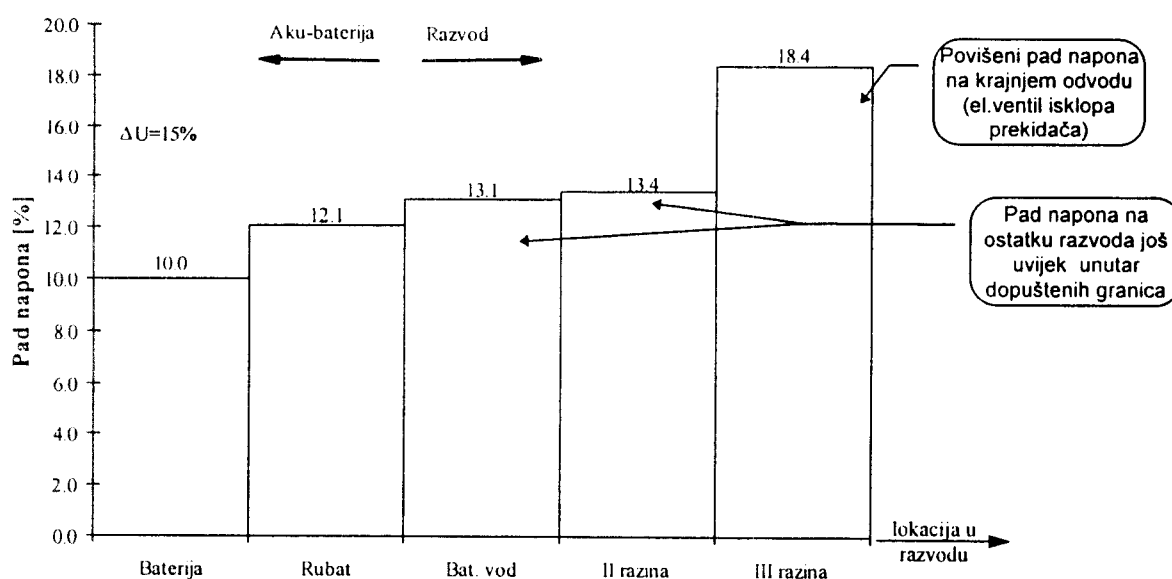
Nepovoljan i eventualno kritičan režim rada može predstavljati slučaj na kraju pražnjenja aku-baterije kada je napon na samoj aku-bateriji minimalan i kada postoji opasnost, zbog pada napona na samom razvodu, da napon na trošilima padne ispod minimalnog dopuštenog praga. Takav se slučaj detaljno analizira kao najnepovoljniji slučaj te se pri analizi uzimaju u obzir ispražnjenost aku-baterije i njen povećani unutarnji otpor, a za trošila se predviđa normalan režim rada. Budući da ovakva analiza ne obuhvaća specifična pogonska stanja, kada je moguća istovremena prorada više trošila (npr. sabirnička zaštita) ili prorada trošila sa specifičnim režimom rada (npr. prorada EMP prekidača), **za specifične se slučajeve provodi posebna kontrola padova napona**. Pri razradi scenarija za specifične slučajeve kontrole padova napona uzimaju se u obzir sljedeći utjecaji, koji se redom superponiraju:

- pad napona uslijed minimalnog napona članka,

- pad napona na unutarnjem otporu aku-baterije,
- padovi napona zbog struje stalnih trošila,
- padovi napona zbog vršnih trenutnih opterećenja izabranih za promatrani scenarij.

Prilikom analize padova napona kod **specifičnih režima rada** tj. režima rada kod kojih se promatra pad napona pri proradi kratkotrajnih trošila većih snaga postavljeni uvjet dopuštenog pada napona od 15% na krajevima odvoda može biti prestrog te se na temelju toga mogu dobiti rezultati koji zahtijevaju znatno povećanje presjeka kabela u krajnjim odvodima. Zbog toga je pri takvim specijalnim režimima potrebno uzeti u obzir i duljinu trajanja vršnog opterećenja te svojstvo promatranog trošila da može (eventualno) proraditi i pri nižim naponima od standardno propisanih.

Kao primjer može se uzeti prorada elektroventila isklopa prekidača. Trajanje njihove prorade iznosi svega 60-100 ms, ali zato izaziva (kratkotrajno) padove napona koji su viši od dopuštenih. S druge strane, elektroventili isklopa prekidača imaju svojstvo da mogu proraditi pri naponima koji su niži od $0.85 U_n$ što znači da povišeni pad napona koji je izvan dopuštenih granica neće izazvati neispravan rad prekidača. Ipak, kod takvih je slučajeva poželjno i potrebno kontrolirati kako prorada tih kratkotrajnih trošila utječe na ukupne padove napona i kod ostalih trošila (slika 11.). Pri tom se također postavlja pitanje da li uopće tako kratkotrajni pad napona ispod dopuštenih granica, koji se u tom slučaju može javiti i kod ostalih trošila, može izazvati njihov neispravan rad.



Slika 11. Primjer rasporeda padova napona pri proradi sabirničke zaštite - ukupni padovi napona

U slučaju nepovoljnih padova napona predlažu se adekvatna rješenja glede izbora kabela, novih aku-baterija ili promjene dinamičkog režima rada trošila.

3.6. Termička opterećenja kabela

3.6.1. Termička opterećenja u normalnom režimu

Kontrola termičkih opterećenja kabela u normalnom režimu rada provodi se usporedbom trajnih struja i dozvoljenih struja za presjeke promatranih kabela koja su definirana prema propisima.

3.6.2. Termička opterećenja pri kratkom spoju

Termička opterećenja kabela pri kratkom spoju vezana su za problematiku kratkog spoja. Ovim se proračunom (kontrolom) osigurava da su postojeći ili novo predloženi kabela u stanju podnijeti termička naprezanja koja nastaju pri kratkom spoju. Pri samoj kontroli neophodno je poznavati raspon struja kratkog spoja koje se mogu pojaviti u promatranom odvodu (rezultat proračuna kratkog spoja) te odrediti vrijeme prorade pripadnog zaštitnog uređaja. Pomoću tih podataka može se utvrditi da li je presjek promatranog kabela dovoljan ili ne. U slučaju nedovoljnog presjeka potrebno je (i najčešće dovoljno)

povećati presjek kabela na više, imajući pri tom na umu da će tada biti više i struje kratkog spoja a time i veća termička naprezanja. Također to povećanje presjeka može utjecati i na selektivnost zaštite.

3.6.3. Termička opterećenja u režimu zatajenja zaštite

Poseban problem predstavlja režim zatajenja zaštitnog uređaja pri kratkom spoju. U takvom slučaju promatrani kabel je štice sa zaštitnim automatom na višoj razini zaštite i samim tim je vrijeme prorade zaštite puno sporije. Zbog toga postoji realna opasnost da će većina kabela u režimu zatajenja zaštite biti termički preopterećena, te se prije uvođenja tog kriterija treba dobro razmisliti o posljedicama glede obima potrebnih rekonstrukcija.

4. NOVE TEHNOLOGIJE

Nove tehnologije koje se u posljednje vrijeme koriste za izradu visokokvalitetnih izvora istosmjernog napajanja predstavljaju dodatni korak prema realizaciji sigurnog i pouzdanog sustava istosmjernog razvoda i napajanja. Izvori nove generacije donose sljedeće prednosti:

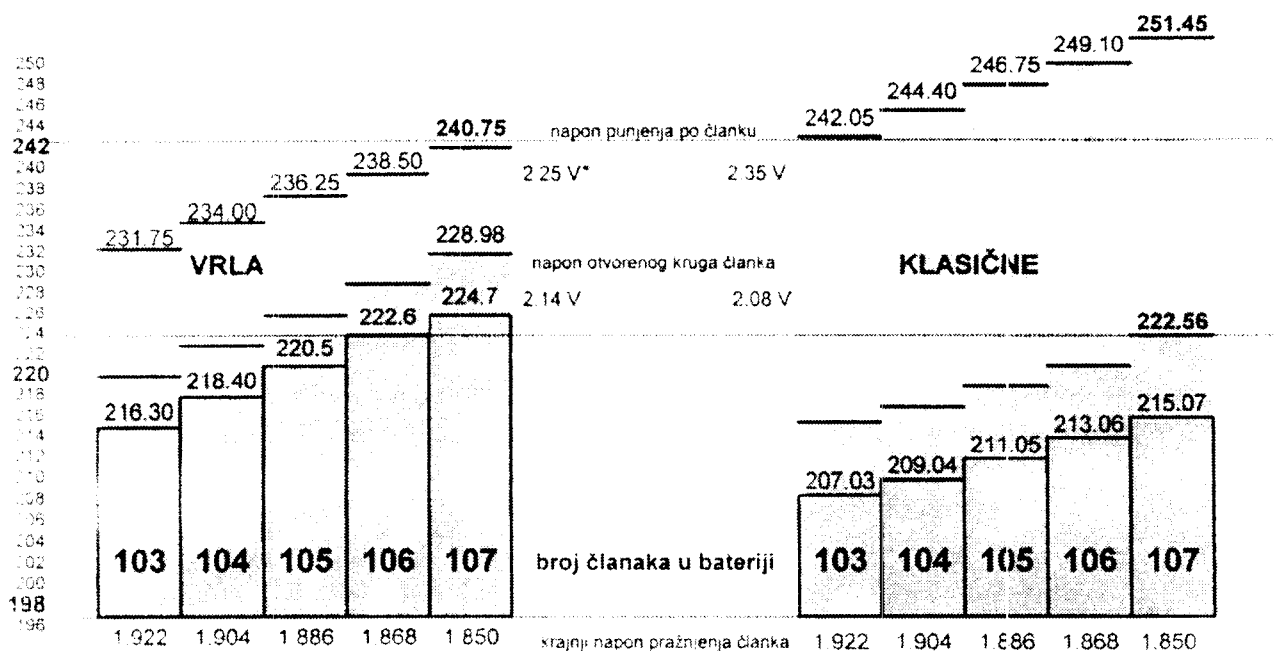
Aku-baterije:

- "10+" klasu kvalitete,
- mogućnost smještaja u istu prostoriju s opremom i osobljem,
- viši početni napon pražnjenja (2.14-2.16 V po članku),
- manji unutarnji otpor (2-3× niži u odnosu na klasičnu aku-bateriju istog kapaciteta),
- radni napon od 2.25-2.27 V po članku pri temperaturi od 20-25°C,
- radni napon aku-baterija je ujedno i napon punjenja,
- mogućnost paralelnog rada više baterija i modularnost,

Ispravljač:

- bolje strujno-naponske karakteristike,
- modularnost,

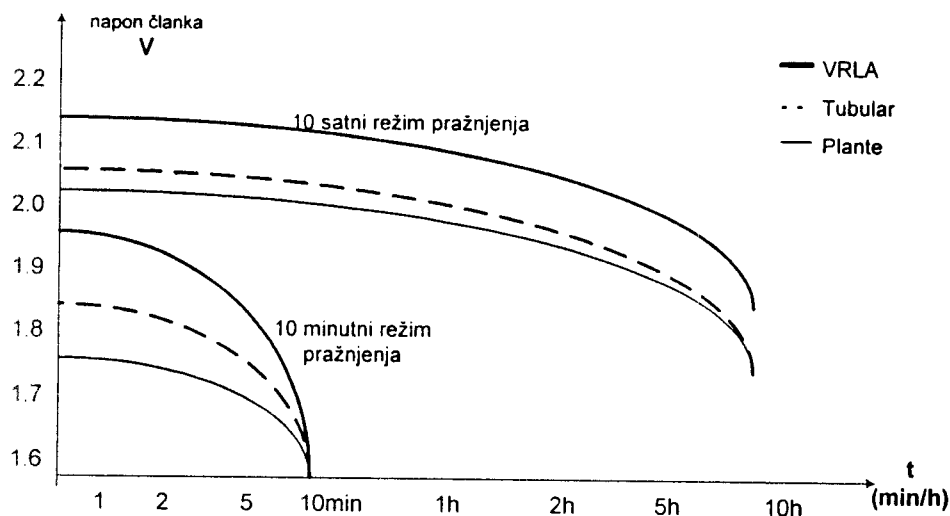
Ventilom regulirane olovne (Valve Regulated Lead Acid) baterije sa upijanim elektrolitom, pored niza prednosti i ušteda kod izvedbe objekta u elektroprivredi (smanjeni troškovi izvedbe prostorija, kabliranja i održavanja) stvorile su i uvjete za bitno povećanje pouzdanosti i raspoloživosti cjelokupnog objekta. Svojom klasom kvalitete "10+ years - high integrity" prema EUROBAT klasifikaciji predviđenoj za elektroprivredu VRLA baterije omogućuju sigurnu uporabu integrirano-distribuiranih sustava napajanja, koji se mogu smjestiti u istu prostoriju sa potrošačem ili osobljem.



* uz upotrebu regulatora napona članka

Slika 12. VRLA i klasične aku-baterije u naponskim granicama 220 V $\pm$ 10% i aktivno iskorištenje baterije

Normalni radni napon od 2.25-2.27 V/članku omogućuje (slika 12.) veći broj članaka aku-baterije u odnosu na klasičnu bateriju (npr. za 220 V sustav do 107 članaka) čime se osigurava i "dublje" pražnjenje članaka (minimalni napon članka do 1.85 V). Kad se uzme u obzir da je napon punog članka 2.14-2.16 V tada je očito da se VRLA aku-baterija može daleko bolje iskoristiti od klasične baterije istog kapaciteta. Unutarnji otpor VRLA baterije je nekoliko puta manji od unutarnjeg otpora klasičnih baterija istog kapaciteta. Zbog te su činjenice padovi napona koji nastaju na unutarnjem otporu aku-baterije pri vršnim opterećenjima također znatno niži, a što posredno može utjecati na dodatnu uštedu u potrebnom kapacitetu (u usporedbi s klasičnim baterijama).



Slika 13. Tipične karakteristike pražnjenja različitih tipova aku-baterija

Nadalje, budući da je radni napon ujedno i napon nadopunjavanja aku-baterije može se realizirati sistem ispravljač+baterija koji će uvijek raditi u režimu stalno punih aku-baterija (za razliku od klasičnih baterija čiji je napon punjenja 2.35 V/članku ili više i gdje je potrebno imati posebne sisteme koji će omogućiti režime normalnog rada i režime punjenja).

Kvaliteta VRLA baterija također omogućuje njihovo paralelno spajanje i paralelan rad. Paralelan rad više aku-baterija omogućuje realizaciju potpuno redundantnog sustava napajanja, koji radi u režimu stalno punih baterija i to najjednostavnijeg (i najpouzdanijeg) oblika, više paralelnih ispravljača i više baterija u trajnom paralelnom radu i to stalno spojenih direktno na potrošače.

Uz aku-baterije nove generacije dolaze i modularni ispravljači. Zbog zahtjeva VRLA aku-baterija ti ispravljači imaju znatno bolje strujno-naponske karakteristike od ispravljača prethodne generacije. Ipak, najveća prednost novih ispravljača je njihova modularnost. Upotreba ispravljača koji se sastoji od više modula manjeg kapaciteta znatno je pouzdanija od jednog modula ispravljača većeg kapaciteta. U slučaju kvara na jednom od modula ostali moduli preuzimaju opterećenje i nesmetano nastavljaju napajati trošila u razvodu.

Pri paralelnom radu ispravljača i baterije u režimu trajnog nadopunjavanja, baterija preuzima udarna opterećenja što dodatno smanjuje struju koju ispravljač mora osigurati, tj. smanjuje i broj modula.

Iz navedenog je vidljivo da izvori nove tehnologije, u usporedbi s izvorima prethodne generacije, donose:

- poboljšane strujno-naponske karakteristike,
- bolje iskorištenje i smanjenje kapaciteta u usporedbi s izvorima prethodne generacije,
- povećanu pouzdanosti elemenata i sustava u cjelini,
- jednostavnije i lakše održavanje.

5. PREGLED REZULTATA ISTRAŽIVANJA

Pregled rezultata istraživanja temelji se na provedenoj analizi stanja u postrojenjima prijenosne mreže. Kako se radi o vrlo sličnim postrojenjima i na nivou distributivne mreže može se pretpostaviti da će

se pojaviti slični problemi i nedostaci koji su se javljali u objektima prijenosa. Rezultati analiza i istraživanja podijeljeni su u nekoliko skupina, prema problematici koju zahvaćaju. Za prikaz su odabrani sažeti rezultati sljedećih istraživanja:

- strukture trošila
- proračuna kapaciteta izvora
- struja kratkog spoja,
- struktura padova napona.

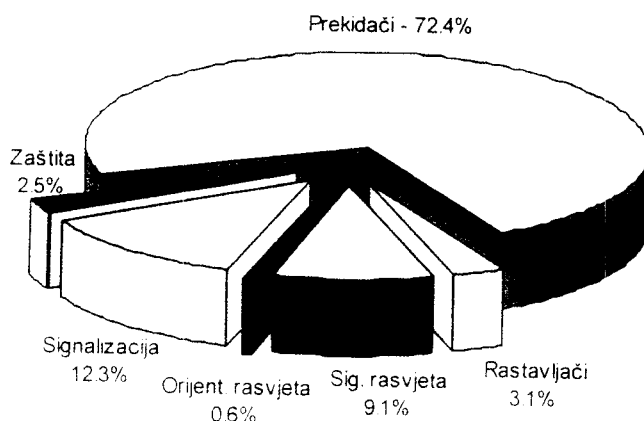
5.1. Struktura trošila

Prema rezultatima istraživanja detaljna analiza trošila do sada nije bila provedena u opsegu koji bi dao jednu cjelovitu sliku stanja trošila u Podsustavu istosmjernog razvoda i napajanja. Vrlo često adekvatna pažnja nije bila posvećena ovoj problematici, a sam postupak snimanja trošila i određivanja njihove dinamike bio je najčešće provođen "metodom palca". Otvaranjem mogućnosti da se snimi struktura trošila većeg broja Podsustava stvorila se i baza za kvalitetnu analizu podataka na temelju koje su mogli biti doneseni relevantni zaključci.

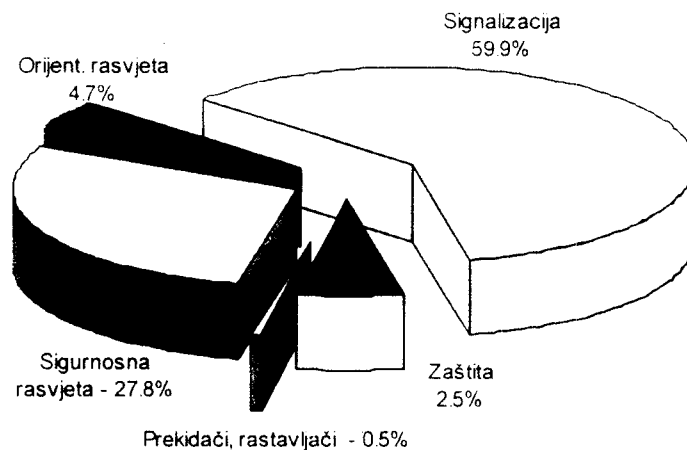
Analiza strukture trošila u podsustavu istosmjernog razvoda i napajanja u postrojenjima Hrvatske elektroprivrede pokazala je sljedeće:

- Trošila se mogu podijeliti prema dva osnovna kriterija:
 - prema *trajanju rada* pojedinih trošila,
 - prema *funkciji* trošila.
- Na osnovu njihova **trajanja rada** trošila se mogu podijeliti u sljedeće tri grupe:
 - *Trajna* trošila - trošila koja rade trajno za čitavo vrijeme autonomnog rada;
 - *Povremena* trošila - trošila koja rade više od 1 min te s različitim postotkom udjela snage;
 - *Kratkotrajna* trošila - trošila koja rade manje od 1 min s različitim brojem prorada a najčešće su to trenutna trošila s trajanjem cca 0.1s.
- Prema **funkciji**, pojedina trošila mogu se podijeliti u sljedeće osnovne skupine:
 - *sigurnosna (nužna) rasvjeta*;
 - *orijentacijska (panična) rasvjeta*;
 - *signalizacija*;
 - *zaštitni uređaji*;
 - *prekidači*;
 - *rastavljači*.

Podjelom trošila na trajna, povremena i kratkotrajna trošila te podjelom po funkcijama, omogućen je detaljni uvid u stvarno stanje sustava obzirom na strukturu ukupne snage i strukturu ukupne energije sustava. Upravo je razlika i tumačenje ovih struktura ukazala na pogreške koje su se vrlo često javljale prilikom tumačenja dinamike rada pojedinih vrsta trošila. Na slikama 14. i 15. prikazane su struktura snage i struktura energije pojedinih skupina trošila (podjela po funkciji).



Slika 14. Struktura snage trošila - podjela po funkciji



Slika 15. Struktura energije trošila - podjela po funkciji

Iz gornjih slika je vidljivo:

- Prekidači i rastavljači kao karakteristična kratkotrajna trošila i trošila s najvećim pojedinačnim snagama, sudjeluju u **ukupnoj snazi** postrojenja s najvećim postotkom.
- Od trajnih i povremenih trošila u instaliranoj **snazi** najviše sudjeluju trošila signalizacije, te sigurnosna rasvjeta.
- Trajna i povremena trošila su najznačajnija trošila koja svojom **energijom** utječu na dimenzioniranje izvora istosmjernog razvoda (aku-baterija i ispravljač).
- Prekidači i rastavljači, kao trošila s najvećim udjelom u instaliranoj snazi postrojenja, u **ukupnoj energiji** postrojenja imaju zanemariv utjecaj na ukupnu energiju zbog njihovog kratkotrajnog djelovanja.
- Trošila signalizacije, sigurnosne i orijentacijske rasvjete kao trošila koja u ukupnoj energiji sudjeluju s više od 90%, praktički, određuju dimenzije izvora.

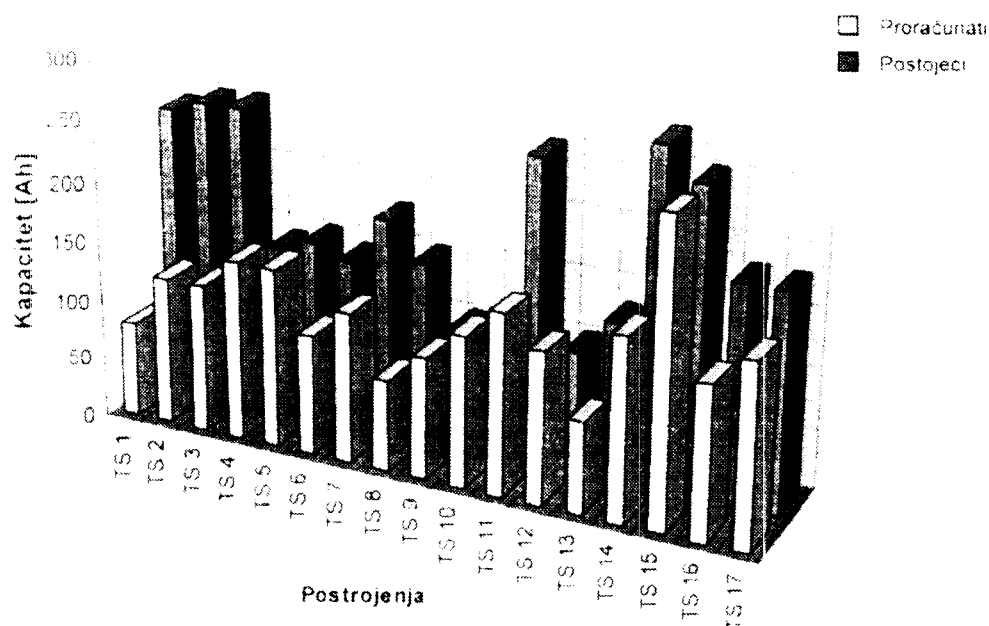
Procjena učestalosti rada **trajnih** i **povremenih trošila** može vrlo lako izazvati pogreške u proračunu kapaciteta izvora. Najbolji primjer za to je sigurnosna rasvjeta. Do sada se redovito uzimalo da sigurnosna rasvjeta sudjeluje u ukupnoj potrošnji razvoda sa 100% instalirane snage tokom cijelog autonomnog režima rada iako je u većini slučajeva takva pretpostavka bila potpuno neutemeljena. Ovakva se "rasipnost" odrazila i na povećanje kapaciteta izvora jer se povećala ukupna snaga razvoda. U tom slučaju postotak udjela sigurnosne rasvjete u ukupnoj energiji povećava se s prosječnih 30% (slika 15.) na čak 60-70%. Ispravnim tumačenjem dinamike rada i uvođenjem discipline pri korištenju sigurnosne rasvjete realno je za očekivati prosječno opterećenje od najviše 40-50% njene ukupne instalirane snage što znatno smanjuje ukupnu potrošnju. Potrošnja se dodatno može smanjiti i upotrebom štednih žarulja.

Što se tiče **kratkotrajnih trošila**, prema svemu navedenom, može se zaključiti da ta trošila imaju veliku pojedinačnu snagu ali da je njihov udio u ukupnoj energiji zanemariv zbog njihovih rijetkih i trenutnih prorada. Neadekvatno tumačenje kratkotrajnih trošila može dovesti do prividno velikih opterećenja razvoda što u proračunima redovito dovodi do predimenzioniranosti izvora (npr.: dovoljno je reći da prekidači sa svojom snagom sudjeluju u dinamici potrošnje u trajanju od 1/10 ukupne autonomije pa da se to znatno odrazi na kapacitet izvora). Na ovaj se problem nadovezuje i problem dinamike rada kratkotrajnih trošila. Pored kratkotrajnosti rada ovakvih trošila vrlo se često griješi i pri procjeni istovremene prorade pojedinih tipova trošila (npr. prorada više rastavljača istovremeno i sl.) što također ima posredan utjecaj na kapacitet izvora budući da takvo neispravno tumačenje ima za posljedicu pogrešnu procjenu vršnih opterećenja što opet u svezi s neadekvatnim modelom proračuna kapaciteta izvora uzrokuje predimenzioniranost proračunatih izvora.

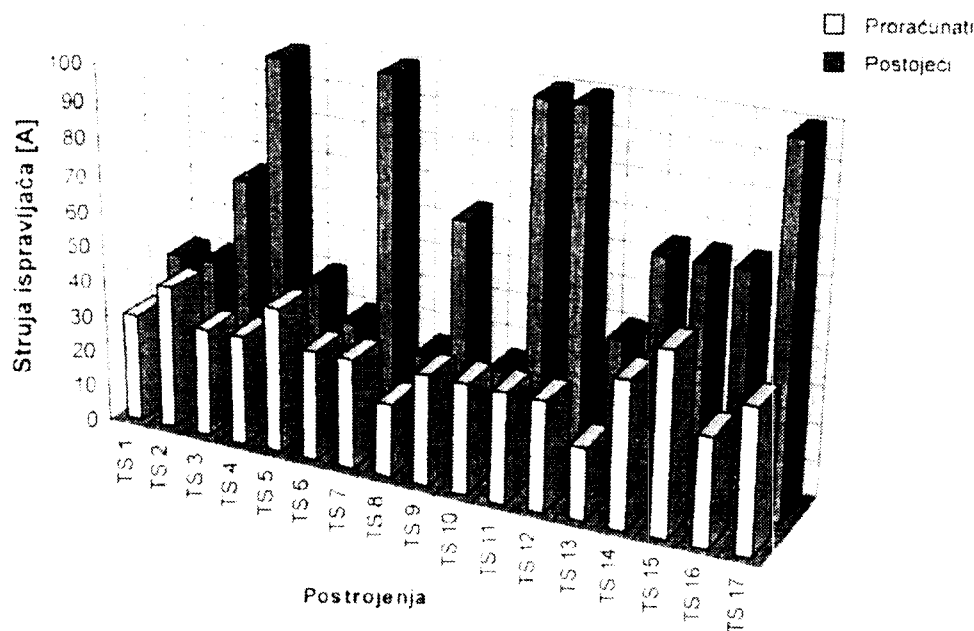
5.2. Proračun kapaciteta izvora

Ispravno tumačenje dinamike rada trošila kao i upotreba nove generacije efikasnijih izvora napajanja donijele su mogućnost za znatne uštede u kapacitetima aku-baterija i ispravljača. Analiza na nivou postrojenja prijenosne mreže pokazala je da se mogu postići uštede čak i preko 50% u odnosu na

postojeće izvore. Gledano u prosjeku te su uštede ipak manje, ali ne i zanemarive. Na slikama 16. i 17. prikazana je usporedba proračunatih kapaciteta i kapaciteta postojećih izvora, nasumično odabranih iz 88 analiziranih postrojenja na nivou prijenosne mreže.



Slika 16. Proračunati i postojeći kapaciteti aku-baterija



Slika 17. Proračunati i postojeći ispravljači

Ukupne razlike koje se mogu izračunati pokazuju da se u prosjeku postižu sljedeće uštede:

- glede kapaciteta aku-baterije: **20-30%**,
- glede kapaciteta ispravljača: **30-40%**.

Ipak, pri usporedbi proračunatih kapaciteta i kapaciteta postojećih izvora u postrojenjima treba također imati na umu da proračunati kapaciteti predstavljaju optimalne vrijednosti te ih je potrebno kroz analizu većeg broja postrojenja svrstati u tri do četiri osnovne skupine (zbog jednostavnosti i ekonomičnosti održavanja). Isto tako treba uzeti u obzir da su postojeći izvori u razvodima istosmjernog napajanja ponekad, zbog raznih razloga, bili realizirani na način koji i nije bio optimalan.

5.3. Struje kratkog spoja

Da bi se osigurala selektivna prorada zaštitnih uređaja i ostvarila veća pouzdanost i sigurnost cjelokupnog postrojenja neophodno je znati vrijednosti struja kratkog spoja koje se u razvodu mogu pojaviti. Na taj se način može provjeriti selektivnost postojećih uređaja ili odabrati nova kombinacija zaštitnih uređaja koja će osigurati selektivnu proradu.

Općenito, struje kratkog spoja znatno ovise o odabranoj aku-bateriji (tipu aku-baterije i kapacitetu) i strukturi samog razvoda što se posebno odnosi na duljine i presjeke kabela na 1. i 2. razini. U usporedbi s klasičnim aku-baterijama struje kratkog spoja na 1. razini mogu biti veće za čak 50% ili više.

Tablica I prikazuje struje kratkog spoja, po nivoima zaštite u pojedinim postrojenjima, koje se mogu pojaviti u razvodu (proračunato s VRLA aku-baterijama).

Tablica I Struje kratkog spoja

Razine zaštite	EEP #1	EEP #2	EEP #3	EEP #4	EEP #5	EEP #6
1. razina	3.6 - 2.2	1.3 - 0.6	3.1 - 1.6	2.4 - 1.2	7.3 - 3.6	3.2 - 1.4
2. razina	1.6 - 0.4	1.2 - 0.5	2.1 - 0.9	1.5 - 0.7	4.3 - 2.6	1.6 - 0.9
3. razina	0.5 - 0.1	0.9 - 0.1	1.0 - 0.1	0.7 - 0.1	2.8 - 1.0	1.3 - 0.6
4. razina	-	-	-	-	0.3 - 0.05	0.3 - 0.1

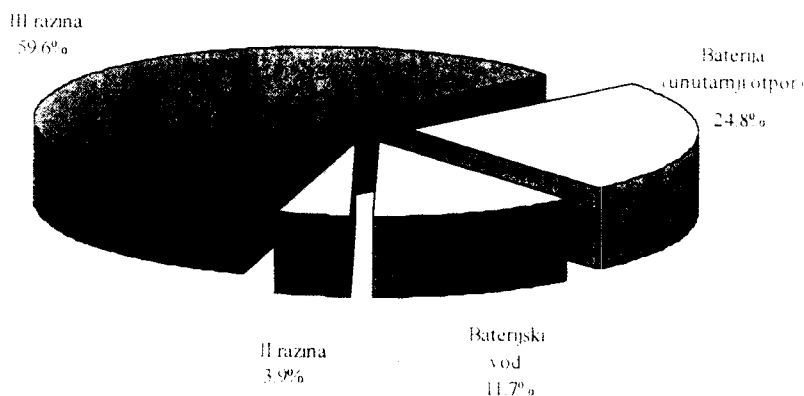
* struje kratkog spoja dane su u [kA]

Iz prikazane tablice je vidljivo da se radi o relativno visokim strujama kratkog spoja, pri kojima je vrlo teško odabrati selektivnu kombinaciju zaštitnih uređaja, a da se ne zadire u daljnje promjene samog razvoda (duljine i presjeci kabela) i u izbor zaštitnih uređaja s efektom ograničenja struja kratkog spoja. Odabirom baterija većeg kapaciteta, struje kratkog spoja poprimaju vrlo visoke vrijednosti. Primjer za to je stupac EEP #5, koji se odnosi proračunatu aku-bateriju od 580 Ah.

Iz navedenog je vidljivo da se primjenom aku-baterija nove tehnologije, zbog njihovih karakteristično malih unutarnjih otpora, povećavaju struje kratkog spoja. U tom je slučaju neophodno izvršiti ponovnu detaljnu kontrolu selektivnosti zaštitnih uređaja ili predložiti novu kombinaciju koja će za dane struje kratkog spoja osigurati selektivan isklup. To se posebno odnosi na 1. i 2. zaštitnu razinu gdje struje kratkog spoja mogu poprimiti vrijednosti koje su više od 4 kA. U protivnom postoji realna opasnost od neselektivne prorade zaštite i velikih havarija koje mogu nastati kao posljedica iste, pogotovo ako se uzme u obzir da se pokazalo u praksi da postojeća zaštita u velikom dijelu postrojenja ne osigurava selektivan isklup.

5.4. Struktura padova napona

Vrlo slična problematika koja se javlja kod ocjene struja kratkog spoja javlja se i pri zaključcima koji se odnose i na padove napona. Budući da ne postoji "standardna" struktura razvoda (misli se pri tom na iste duljine i presjeke kabela te iste aku-baterije) vrlo je teško dati generalnu sliku i raspored padova napona duž vertikalne strukture razvoda jer su otpori aku-baterije i kabela u razvodu uzrok tim padovima napona. Općenito, padovi napona bit će tim manji što je kapacitet aku-baterije veći i što su kabeli u razvodu većeg presjeka. Iz provedenih analiza može se dobiti jedna okvirna slika o strukturi padova napona koji se javljaju u jednom "prosječnom" razvodu i ona je prikazana na slici 18.



Slika 18. Raspored padova napona u razvodu - režim udarnog opterećenja

Iz prikazane slike se može zaključiti sljedeće:

- Najveći pad napona duž vertikale razvoda javlja se na 3. razini. To je i logično jer se na 3. razini nalaze najdulji kabeli koji vode do samih trošila i čiji su presjeci najmanji (tipično $\approx 100 \text{ mm}^2$).
- Padovi napona na 2. razini i na baterijskom vodu su relativno mali i na njih otpada svega $\approx 15\%$ ukupnog pada napona.
- Relativno veliki pad napona javlja se i na unutarnjem otporu aku-baterije.

U slučaju eventualno nepovoljnih padova napona potrebno je poznavati nj hovu strukturu kako bi se moglo uočiti problematični segment u vertikali razvoda. Ovisno i o ekonomskim uvjetima, rješenje za visoke padove napona svodi se najčešće na sljedeće:

1. Promjena duljina kabela nije moguća budući da su duljine određene prostornim smještajem opreme u postrojenju.
2. Povećanje presjeka kabela na 1. i 2. razini nema puno smisla jer na tim razinama ionako ne nastaju veliki padovi napona, a povećanjem se presjeka može poremetiti i selektivnost zaštite.
3. Povećanjem presjeka kabela 3. razine vrlo je vjerojatno da će se riješiti problem nepovoljnih padova napona budući da na 3. razinu otpada najčešće preko 50% od ukupnog pada napona. Nedostatak je u tome što je rješenje relativno skupo i zahtijeva puno elektromontažnih radova. Prednost je u tome što je stvorena povoljna struktura razvoda i što je problem praktički riješen, a utjecaj povećanja presjeka neće imati posljedice na selektivnost zaštite.
4. Povećanjem kapaciteta aku-baterije je također moguće riješiti problem budući da se u tom slučaju aku-baterija neće prazniti do svojeg minimalnog napona (-10%) i da je unutarnji otpor baterije većeg kapaciteta manji. Nedostatak je u tome što se promjenom za bateriju većeg kapaciteta mijenjaju struje kratkog spoja (na više) a što može utjecati na selektivnost zaštite.

6. ZAKLJUČAK

Sustavima PIRN-a u objektima prijenosne mreže do sada nije bila posvećena dovoljna pozornost pri njihovom konstruiranju i održavanju. Zbog nekoliko havarija velikih razmjera **postavljeni su novi principi projektiranja, izvođenja i održavanja PIRN-a**. Da bi se uskladilo s tim principima za sva postrojenja na nivou distributivne mreže potrebna je postupna rekonstrukcija svih podsustava koji ne zadovoljavaju postavljene kriterije.

Postupak rekonstrukcije većeg broja postrojenja predstavlja složen proces koji pored stručne problematike zahvaća i problematiku managementa. Budući da se radi o velikom poslu potrebno je unaprijed odvojiti pojedine faze procesa rekonstrukcije i zasebno ih detaljno analizirati. Proces rekonstrukcije može se podijeliti u četiri osnovne faze:

1. elaboraciju postojećeg stanja i ocjenu stupnja rekonstrukcije PIRN-a na nivou idejnog rješenja,
2. izradu Ponudbene dokumentacije (tendera) za izradu tehničke dokumentacije, isporuku opreme i uređaja za rekonstrukciju PIRN-a,
3. natječajni postupak za nabavku opreme i izvedbene dokumentacije,
4. ugovaranje i isporuka opreme i izrada izvedbene tehničke dokumentacije, prema navedenom tenderu,
5. ugovaranje i izvođenje elektromontažnih radova, ispitivanje, inspekcijski pregled i puštanje u pogon.

Takvim se pristupom osigurava:

- **promatranje PIRN-a kao jedne cjeline u kojoj se pojedini elementi ne smiju parcijalno mijenjati,**
- **kvalitetna izrada tendera i time nabavka opreme kvalitetnih i pouzdanih ponuđača.**

Nakon elaboracije postojećeg stanja i izrade idejnog rješenja dobiva se na uvid jedna detaljna i cjelovita slika stanja potreba za novom opremom i radovima. Ti se podaci također mogu koristiti i pri optimizaciji poslova i svih troškova počevši od nabavke opreme do instalacije i održavanja. Također ti podaci se mogu koristiti i za procjenu svih vremenskih rokova u postupcima rekonstrukcije postrojenja.

Analiza i proračun PIRN-a, kao stručni dio problematike koji se obrađuje pri rekonstrukciji postrojenja predstavlja složen postupak koji se sastoji od više međusobno povezanih cjelina i za čiju je realizaciju potrebno detaljno poznavanje i utjecaj svake pojedine cjeline. Model analize PIRN-a sastoji se od sljedećih cjelina:

- analize trošila u razvodu istosmjernog napajanja,
- razrade sheme razvoda napajanja,
- proračuna aku-baterija i ispravljača,
- proračuna struja kratkog spoja i kontrole selektivnosti zaštite,
- proračuna padova napona,
- analize termičkih opterećenja u normalnom režimu, režimu kratkog spoja i režimu zatajenja zaštite.

Svaka od navedenih cjelina sadrži specifičnu problematiku koju je potrebno detaljno poznavati kako bi se dobili kvalitetni i realni rezultati. Neispravno tumačenje i neispravan pristup bilo kojoj od navedenih cjelina ima za posljedicu rješenje koje nije optimalno sa stručnog i ekonomskog stanovišta.

Dosadašnja istraživanja provedena u sklopu elaboracije stanja objekata na nivou prijenosne mreže [6] ukazala je na niz zanimljivih zapažanja, između kojih se može navesti sljedeće:

- analiza dinamičkih karakteristika trošila do sada se nije provodila na zadovoljavajući način,
- izbor aku-baterija bio je neadekvatan, uglavnom zbog spomenute neadekvatne analize trošila,
- korištenje aku-baterija novih tehnologija utječe se direktno na povećanje struja kratkog spoja a time i na sustav zaštite i selektivnost,
- analiza selektivnosti glede krajnjih maksimalnih struja kratkog spoja u potpunosti se nije poštivala, a vrlo često se u analizi nisu adekvatno uzimale minimalne i maksimalne vrijednosti struja,
- pri kontroli padova napona posebno treba voditi računa o scenarijima sa specifičnim vršnim opterećenjima. Pri tome se posebno mora naglasiti da se pri samom projektiranju dinamika rada trošila direktno utječe i na kriterije padova napona a time i na dimenzioniranje baterija, te već pri projektiranju primarnog dijela postrojenja treba voditi računa o sekundarnim sustavima napajanja.

Navedeni problemi još jednom pokazuju svu složenost i specifičnost ovakve analize i daju smjernice za daljnje upotpunjavanje i usavršavanje modela analize PIRN-a.

Posljedice navedenih pogrešaka kreću se od predimenzioniranih aku-baterija i ispravljača, rješenja sustava sa smanjenom sigurnosti napajanja pa sve do rješenja sustava zaštite s neselektivnim djelovanjem. Posljedice takvog neadekvatnog pristupa, a u prvom redu **neselektivnost zaštite** dovele su do **velikih havarija** koje su nastale u posljednjih petnaestak godina u nekoliko objekata Hrvatske elektroprivrede.

Preporuke Elektroenergetske inspekcije (1982. i 1996.) i Komisije za Podsustav istosmjernog razvoda u objektima prijenosne mreže te rezultati analize 88 postrojenja na nivou prijenosne mreže [6] pokazale su način pristupa stručnoj problematici rekonstrukcije Podsustava istosmjernog razvoda i napajanja s osnovnom svrhom da se poboljša kvaliteta napajanja i nivo sigurnosti u svim elektroenergetskim postrojenjima.

7. LITERATURA

- [1] J. Šimunić, G. Gudac, M. Mesić: "Rekonstrukcija sustava istosmjernog razvoda i napajanja 220 V i 48 V u TS 400-110/x kV", Treće savjetovanje CIGRE, Studijski komitet 23, 83-91, Cavtat, 1997.
- [2] J. Šimunić i drugi: "Analiza strukture razvoda podsustava istosmjernog napajanja 220 i 48 V u TS 220-110/x kV", Treće savjetovanje CIGRE, Studijski komitet 23, 65-74, Cavtat, 1997.
- [3] J. Šimunić, B. Dobraš, M. Živić: "Analiza strukture trošila pomoćnih istosmjernih razvoda elektroenergetskih postrojenja", Treće savjetovanje CIGRE, Studijski komitet 23, 55-64, Cavtat, 1997.
- [4] J. Šimunić, D. Karaga, R. P. Bullough: "Uloga baterije Powersafe u elektroprivredi", Treće savjetovanje CIGRE, Studijski komitet 23, 93-102, Cavtat, 1997.
- [5] J. Šimunić i drugi: "Methodology in Approach to Reconstruction of Auxiliary Systems of Power Substations", Proceedings of the 1st International conference BSM-UPS'97, 351-356, Mostar, 1997.
- [6] J. Šimunić i drugi: "Analiza postojećeg stanja s prijedlogom mjera za rekonstrukciju podsustava istosmjernog napajanja i razvoda 220 V i 48 V u TS 400-110/x kV Hrvatske elektroprivrede, Studija - 88 Elaborata, Rijeka, 1996.-1997.

- [7] J. Šimunić, T. Brodić, G. Gudac: "Optimalno korištenje pogona postojećih postrojenja i novougrađene opreme u istosmjernom razvodu 220 V, 48 V i ± 24 V u TE Rijeka", HEP Zagreb, Studija, TFSR, 1997.
- [8] J. Šimunić, G. Gudac, R. Belobrajić: "Analiza istosmjernog sustava 220 V u HE Vinodol", Studija TFSR, Rijeka, 1996.
- [9] J. Šimunić, M. Cettolo: "Analiza sustava istosmjernog razvoda 220 V u TE Rijeka", Studija TFSR, Rijeka, 1995.
- [10] J. Šimunić, B. Pinčić, D. Buršić: "Analiza sustava istosmjernog razvoda ± 24 V u TE Rijeka", Studija TFSR, Rijeka, 1995.
- [11] J. Šimunić, D. Dobrec, D. Buršić: "Analiza sustava istosmjernog razvoda 220 V i 48 V HE Rijeka", Studija TFSR, Rijeka, 1995.
- [12] C. Rémond: "From current discrimination to energy discrimination", J3E Special Merlin Gerin, travanj, 1994.
- [13] J. Frändfors: "Cell-Voltage Equalisers - Series BMP 160", Ericsson Review, No. 1-2., 1992.
- [14] J. Šimunić: "Analiza dimenzioniranja izvora istosmjernog razvoda 220 (110) V u elektroenergetskim postrojenjima", Energija, 38, 235-239, Zagreb, 1989.
- [15] D. Mihalic: "Razvoj prototipnih uređaja za zaštitu istosmjernih krugova u TS prijenosne mreže", institut za elektroprivredu, Zagreb, 1985.
- [16] Chloride: "POWERSAFE - Specifier's manual", Manchester, 1996.
- [17] Chloride: "POWERSAFE - Specifier's manual", Manchester, 1990.
- [18] Oldham: "HI RANGE", Arras, 199x.
- [19] Tungstone: "Challenger PLUS", Leicestershire, 1994.

