

Prof.dr.sc. Srete Nikolovski
Mr. sc. Damir Šljivac
Elektrotehnički fakultet Osijek
K Trpimira 2B, 31000 Osijek

D 1.01

TEMA: PISANA DISKUSIJA NA TEMU REFERATA R1 "DISTRIBUCIJSKA DJELATNOST U UVJETIMA
LIBERALIZIRANOG TRŽIŠTA"

POUZDANOST OPSKRBE U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI U UVJETIMA DEREGULIRANOG TRŽIŠTA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Sažetak:

Donošenjem paketa Energetskih zakona od strane Sabora republike Hrvatske u rujnu 2001, koji se bave složenom i zahtjevnom problematikom restrukturiranja Hrvatskog elektroenergetskog sektora, u ovom radu dajemo neka svoja viđenja i primjedbe iz dijela obuhvaćenog "Zakonom o tržištu električne energije", koje su vezane na **pouzdanost i raspoloživost subjekata na tržištu električne energije a posebice u distributivnim (razdjelnim) mrežama.**

1. Uvod

Osigurati pouzdanu opskrbu potrošača električne energije oduvijek je bila težnja i obaveza distributivnih organizacija, kako u fazi planiranja razvoja mreže, tako i u fazi vođenja, eksploatacije i održavanja mreže. Potrošači trebaju pouzdanu i sigurnu opskrbu, naravno uz određene ekonomske uvjete vezane za ulaganja u pouzdanost. Nedovoljna ulaganja u mrežu rezultiraju u nedovoljnoj pouzdanosti, tj. čestim prekidima opskrbe potrošača, dok prekomjerna, rezultiraju u nepotrebnim troškovima, koji će se odraziti na krajnjoj cijeni električne energije. U oba dakle slučaja u monopolističkom sustavu posljedice ne snose distributivne organizacije, nego krajnji potrošači.

Kako bi se osigurao uravnotežen pristup ulaganjima u mrežu, do sada su se uglavnom koristile determinističke metode, iako je potpuno jasno da se ponašanje sustava može ocijeniti samo kao stohastičko. Još je uvijek velik broj inženjera koji će dva različita načina napajanja potrošača ili dvije alternativne investicijske odluke, kvalitativno proglasiti "manje ili više pouzdanima", koristeći se pri tome osobnim iskustvom, ne uvažavajući činjenicu da je pouzdanost moguće kvantitativno mjeriti. Većina će ipak svoju odluku temeljiti na analizi sigurnosti i tzv. **(n-1) kriteriju**, kojima se nastoji osigurati neprekidno napajanje potrošača u slučaju zastoja voda, transformatora ili generatora u mreži. Odluke o ulaganjima u mrežu temelje se na kriteriju posljedica koje pojedini događaji mogu imati na opskrbu potrošača, a da se pri tome ne postavlja pitanje: koliko je vjerojatno da će se ti isti događaji zaista i dogoditi. Takav pristup može dovesti, s jedne strane, do pretjeranih ulaganja u mrežu u slučajevima događaja s značajnim posljedicama po potrošače, koji su međutim vrlo malo vjerojatni. S druge pak strane, određeni događaji koji mogu imati manje značajne posljedice, ali vrlo veliku vjerojatnost i učestalost pojavljivanja mogu biti, potpuno pogrešno, zanemareni. Ipak analiza sigurnosti predstavlja značajan korak u postizanju pouzdanosti opskrbe potrošača i ne smije se isključivati, već upotpunjavati s analizom pouzdanosti.

Do uspostave tržišta odluke o ulaganjima i vođenju elektroenergetskog sustava prepuštale su se samim organizacijama, uvažavajući pri tome središnji sustav upravljanja, kao i uobičajenu podjelu organizacija na proizvodnu, prijenosnu i distributivnu razinu. Međutim, u novonastalim uvjetima dereguliranih tržišta električne energije postavljaju se dva vrlo važna:

1. Zašto bi trebalo poznavati pokazatelje pouzdanosti opskrbe potrošača?
2. Koji se izazovi i problemi pojavljuju u samim proračunima, te što učiniti s rezultatima?

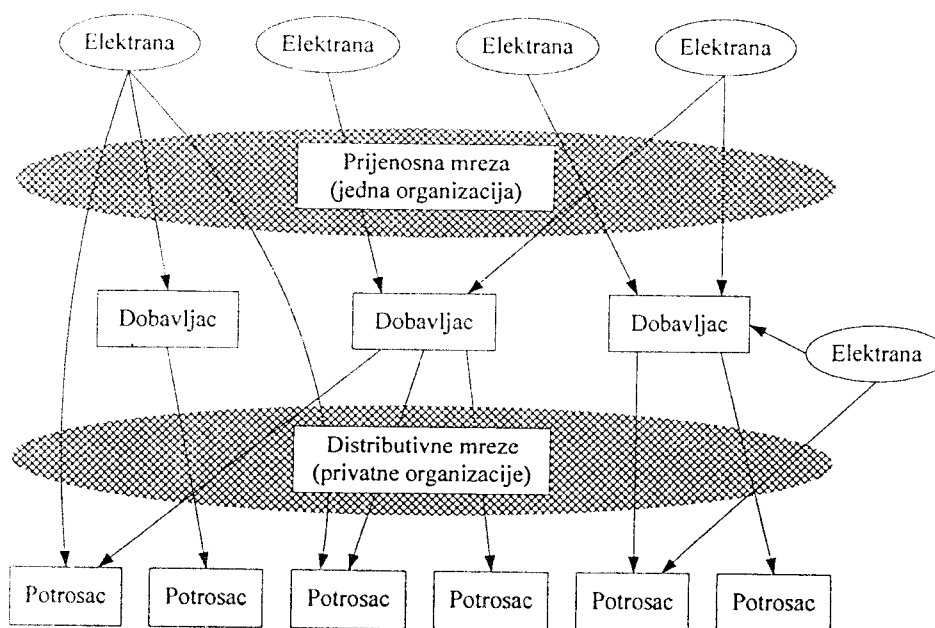
Odgovori na ova pitanja donekle se razlikuju ovisno o zemljama u kojima je uspostavljeno tržište električne energije. Ipak, iako će se odgovori na ova pitanja temeljiti na iskustvima Velike Britanije, mada postoji mnogo zajedničkih trendova u svim zemljama.

Kako o tome kod nas još nemamo iskustva osvrnuti ćemo se na "Zakon u tržištu električne energije" kod nas, koji se samo u dva članka dotiče jedne veoma važne značajke rada EES i njegovih dijelova, a to je **pouzdanost i raspoloživost EES** ili njegovih dijelova. Sada je HEP (točnije EES) pravno podijeljen na energetske subjekte za **Proizvodnju, Prijenos, Distribuciju i Opskrbu**, zatim **Operator sustava i Operator tržišta električnom energijom**. Kako je pouzdanost i raspoloživost EES i njegovih podsustava veoma važna, jer obuhvaća u sebi sigurnost i kontinuitet isporuke kao i kvalitetu isporučene električne energije između pojedinih subjekata na tržištu električne energije i krajnjem korisniku potrošaču, nedopustivo je da je za nju odgovoran samo Operator sustava (prema članku 11 stavak 1. poglavlje D, Zakona o tržištu električne energije i subjekt za Distribuciju električne energije (prema članku 11. stavak 2.). Operator sustava ne može jamčiti pouzdanost između energetskih subjekata jer ona ne ovisi samo u njemu, (elementi mreže i elektroenergetski objekti su i kod subjekta za Proizvodnju, Prijenos i Distribuciju te isti takođe moraju jamčiti određenu pouzdanost opskrbe. Posebice pouzdanost ovisi o Subjektu za proizvodnju (izvori-elektreane), i subjektu za Prijenos (VN mreža i transformatorske stanice). Kvarovi se događaju i u tim subjektima i oni bi morali imati definirane svoje pokazatelje pouzdanosti i jamčiti pouzdanost svojih subjekata. Ova dva subjekta ovim Zakonom nisu obvezna jamčiti i valorizirati pouzdanost svoje opskrbe što je veoma čudno.

2. Zašto bi trebalo poznavati pokazatelje pouzdanosti potrošača

S primjerom Velike Britanije koja ima iskustva u liberalizaciji tržišta električne energije već više od 10 godina pokazat ćemo ozbiljnu problematiku međusobnih odnosa između subjekata na tržištu električne energije posebice distribuciju. Do početka privatizacije energetskog sektora u Velikoj Britaniji 1990. godine, planiranje, izgradnja i potrebna pojačanja u distributivnim mrežama temeljila su se na determinističkom pristupu, kao što je *Engineering Recommendation P2/5* (važeći od 1978), standardi kojima je utvrđena razina pouzdanosti koja se zahtjeva za distributivne (i prijenosne) mreže. Osnova za utvrđivanje normalne razine pouzdanosti u mreži temelji se na pretpostavci da se određena skupina potrošača napaja iz jednog ili više strujnih krugova i da se napajanje toj skupini potrošača mora ponovo uspostaviti ovisno o ukupnoj neisporučenoj snazi skupine kojoj je prekinuto napajanje, pri čemu se najduže dozvoljeno vrijeme prekida zanačajno smanjuje s porastom snage svake skupine potrošača.

Uspostava tržišta električne energije u Velikoj Britaniji omogućila je potrošačima odabir najpovoljnijeg proizvođača (elektreane) i dobavljača električne energije (trgovačke organizacije), pri čemu je naravno bilo nemoguće omogućiti i odabir prijenosne mreže (National Grid Company u Engleskoj i Walesu, te Scottish Power u Škotskoj), niti privatne distributivne organizacije koja će kupljenu energiju dostaviti potrošačima (potrošači moraju koristiti usluge, tj. vodove lokalne distributivne organizacije). Načelna shema tržišta električne energije u Velikoj Britaniji prikazana je na slici 1.



Slika 1. Tržište električne energije u Velikoj Britaniji

S obzirom na svoju monopolističku prirodu, postojala je objektivna mogućnost da distributivne mreže ostvare veći profit smanjenjem ulaganja u razvoj mreže, odnosno u sigurnost i pouzdanost napajanja potrošača. Stoga, u svrhu zaštite potrošača, Regulator sustava (engl. *OFFICE, Office for Electricity Regulation*)- (*kod nas Vijeće za Regulaciju*) snažno utječe na zaradu koju ostvaruju distributivne organizacije. Od početka privatizacije, zakonskim aktom *Electricity Act 1989* [1] od distributivnih organizacija, tj. *Regional Electricity Companies (REC)*, zahtjeva se ne samo ispunjavanje P2/5 standarda kao minimuma pri planiranju razvoja mreže, nego i godišnji izvještaji Regulatoru o radu u odnosu na tzv. **Guaranteed and Overall Standards**, koji osiguravaju minimalnu razinu pouzdanosti - usluge svakom potrošaču u svakom trenutku (Guaranteed Standards), kao i postizanje ukupno viših standarda rada distributivne mreže (Overall Standards). Ovim standardima predviđaju se između ostalog i određene novčane kompenzacije potrošačima, kao npr. £40 u slučaju svakog prekida napajanja kućanstva u trajanju preko 24 sata, te £100 za ostale potrošače (Guaranteed Standard 2).

Nakon nekoliko godina iskustava, postalo je jasno da ovako deterministički postavljene kriteriji i standardi ne stvaraju poticajne klimu za ulaganja u kvalitetno i pouzdano napajanje potrošača. Stoga u prosincu 1999. godine OFGEM (engl. Office of the Gas and Electricity Markets), regulator čitavog energetskog tržišta u Velikoj Britaniji, pokrenuo je projekte pod nazivom *Information and Incentives Scheme*, kojima se željelo postići sljedeće [2]:

- * Osnajiti poticaje distributivnim organizacijama da osiguraju dogovorenu kvalitetu svojih usluga (kontinuitet isporuke električne energije, ali i ostalih, kao npr. kvalitetan sustav za telefonsko obavješćavanje potrošača o prekidima napajanja), te bolje vrednovati promjene u kvaliteti tih usluga
- * Pojačati poticaje za postizanje većeg stupnja efikasnosti, odnosno ušteda u odrađenom kontrolnom periodu i to na način da se minimiziraju nesuglasja između operativnih i investicijskih troškova
- * Smanjiti nesigurnost i rizik u radu Regulatora većom otvorenosću i jasnoćom između dva kontrolna perioda, kao i na kraju perioda u izvješćima

Za subjekt Distribucije mogu se definirani sljedeći pokazatelji pouzdanosti distributivnih mreža. Ovaj subjekt je odgovoran i jamči pouzdanost rada distributivnog sustava i kvalitetu isporučene električne energije

- (1) **SAIFI** (System Average Interruption Frequency Index): Prosječan-srednji broj prekida u distributivnoj mreži godišnje
- (2) **SAIDI** (System Average Interruption Duration Index): Prosječno-srednje trajanje prekida u distributivnoj mreži
- (3) **CAIFI** (Customer Average Interruption Duration Index): Prosječna učestalost prekida opskrbe po potrošaču u distributivnoj mreži
- (4) **CAIDI** (Customer Average Interruption Duration Index): Prosječno trajanje prekida po potrošaču u distributivnoj mreži
- (5) **AENS** (Average Energy Not Supplied): Prosječna vrijednost neisporučene električne energije

U Velikoj Britaniji gornji je proces još u tijeku, no s obzirom da se početak primjene rezultata očekuje u travnju 2002. Godine, mogu se donijeti određeni zaključci. S obzirom da se radi o mnoštvu vrlo složenih pitanja, ovdje će se prikazati samo osnovi obvezujućih zaključci koji se tiču distributivnih mreža sa stajališta pouzdanosti. Prva važna promjena odnosi se na **izlazne pokazatelje distributivnih organizacija u izvješćima koje su dužni dostavljati Regulatoru**, a to su:

- * **Customers Interruptions (CI)**, pokazatelj definiran kao ukupan broj svih prekida opskrbe na 100 priključenih potrošača, (pokazatelj odgovara CAIFIx100) tj.:

$$CI = \frac{\text{zbroj broja prekida svakog potrosaca zbog svih razloga} \times 100}{\text{ukupan broj potrosaca}} \quad [\text{prekida}/100\text{potrošača}]$$

- * **Customers Minutes Lost (CML)**, pokazatelj definiran kao ukupano trajanje svih prekida opskrbe po jednom potrošaču, (pokazatelj odgovara CAIDI, ako se trajanje prekida izrazi u minutama), tj.:

$$CML = \frac{\text{zbroj minuta trajanja svih prekida u svakoj fazi zastoja zbog svih razloga}}{\text{ukupan broj potrosaca}} \quad [\text{min}/\text{potrošaču}]$$

- **Customers Short Interruptions [CSI]**, pokazatelj definiran kao ukupan broj svih kratkih prekida opskrbe (do 3 minute) na 100 priključenih potrošača (za potrebe industrijskih potrošača), tj.:

$$CSI = \frac{\text{broj broja kratkih prekida svakog potrosaca zbog svih razloga} \times 100}{\text{ukupan broj potrosaca}} \quad [\text{krat.prekida}/100\text{potr.}]$$

Pokazatelj CI uobičajeno se naziva pokazateljem sigurnosti, engl. *Security Index*, dok se pokazatelj CML uobičajeno naziva pokazateljem dostatnosti, engl. *Availability Index*, no pri tome treba imati na umu da se u oba slučaja radi o pokazateljima pouzdanosti.

Naravno, pri tome se postavljaju određeni zahtjevi za preciznost mjerenja i obrade podataka, koji su strogo kontrolirani od strane Regulatora. Na osnovi ovih rezultata postavljaju se zatim ciljevi, tj. smanjenje ovih općih pokazatelja (ili povećanje pouzdanosti) koje pojedine distributivne organizacije moraju ostvariti u sljedećem kontrolnom razdoblju (prvo je 2004/05), uvažavajući pri tome specifičnosti pojedinih mreža, ponajprije zemljopisne karakteristike, stupanj urbaniziranosti i sl. (nemoguće je očekivati iste pokazatelje za npr. distributivnu organizaciju u rijetko naseljenim planinskim krajevima Walesa i Škotske, s uglavnom radijalno napajanim potrošačima putem nadzemnih dalekovoda, u odnosu na visoko urbanizirana područja kao npr. grad London i okolina, s uglavnom kablovskom mrežom).

U slučaju ne ispunjavanja tih ciljeva, u početnom razdoblju predviđa se da distributivna organizacija plati novčanu kompenzaciju regulatoru u iznosu do max. 2 % ukupnog profita, dok one distribucije koje budu radile bolje od postavljenih ciljeva mogu očekivati poticaje do max 2 % ukupnog profita. S vremenom će se nastojati postići određeni sustav poticaja i kompenzacija koji bi u svojoj prirodi trebao osigurati da svi potrošači, neovisno o distributivnoj organizaciji plaćaju onoliko cijenu električne energije kolika je kvaliteta usluga koju primaju, pri čemu će gore navedeni pokazatelji imati utjecaja na formiranje cijena usluga.

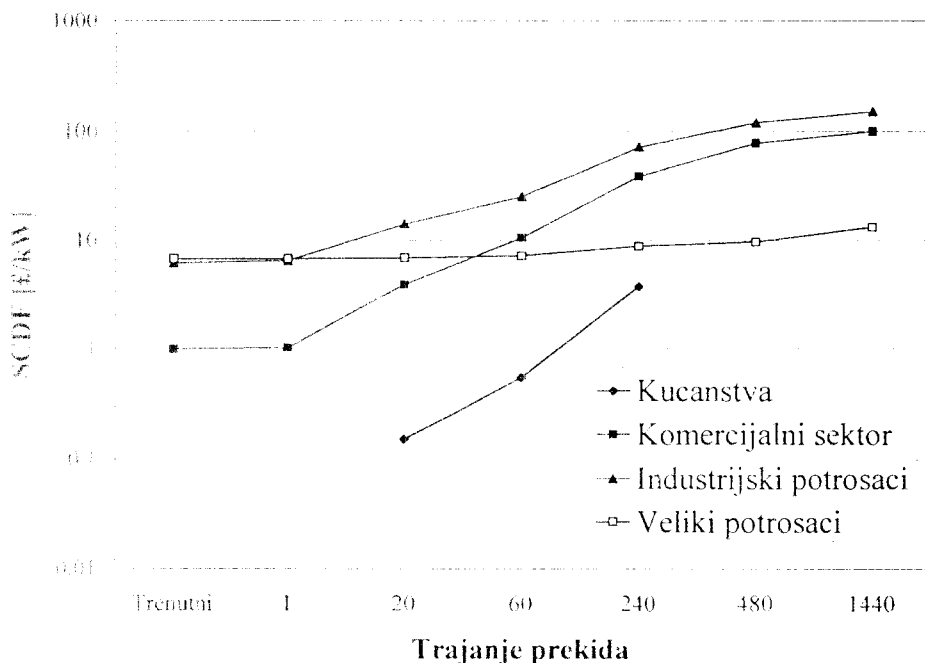
Sve gore navedeno ne znači međutim da se odustaje od dosadašnjih standarda, čak se dodatno se predlaže, u svrhu zaštite potrošača, da se najmanji period kad se moraju plaćati kompenzacije direktno potrošačima smanji s 24 sata na 18 sati, uz detaljnije uvažavanje stvarnih troškova koje potrošači mogu imati zbog tih prekida. Posljedica ovakvog pristupa jest velika **zainteresiranost distributivnih organizacija za analizu pouzdanosti svojih mreža**, jer je jedino na taj način moguće odrediti optimalan odnos između razine i načina ulaganja u povećanje pouzdanosti i dobiti koju time ostvaruju. To je tzv. troškovna analiza pouzdanosti (engl. *reliability cost/worth analysis*), koja sa sobom nosi mnogo novih izazova i problema.

3. Koji se izazovi i problemi pojavljuju u samim proračunima, te što učiniti s rezultatima?

Povećati pouzdanost napajanja moguće je postići na mnogo načina, npr. izgradnjom dodatnih elemenata u mreži poput generatora, vodova, transformatora i sl., promjenom konfiguracija distributivnih stanica, promjeno načina napajanja pojedinih potrošača, kompenzacijom jalove energije, zamjenom starih komponenata novim i pouzdanijim, boljom raspodjelom rezervnih komponenata, boljim odabirom perioda između dva održavanja i sl. Pitanje koje se postavlja: koji je kriterij optimalnog odabira ulaganja?

Za distributivne organizacije postavlja se sljedeći kriterij optimalnih ulaganja: **minimizirati ulaganja koja će omogućiti postizanje zadanih ciljeva, tj. zadanih CI, CML i CSI za sljedeći kontrolni period**. Deterministički kriteriji više nisu dovoljni iz razloga opisanih na početku, ali ni analitički pristup pouzdanosti kojim se doduše mogu izračunati zahtjevani srednji pokazatelji pouzdanosti više nije dostatan s obzirom da je potrebno poznavati i razdiobu vjerojatnosti tih pokazatelja. Naime, može se npr. dogoditi da se kod pojedinog potrošača, analizirajući određena ulaganja u sustav pojavi srednja vrijednost trajanja prekida koja ne zadovoljava kriterije i standarde (npr. preko 18 sati, kad je potrebno platiti kompenzaciju potrošaču), ali da je razdioba takva da je vjerojatnost da je trajanje prekida preko 18 sati zanemarivo mala (npr. jedan prekid u znatno dužem trajanju, ali zanemarivo malo vjerojatan), da nema potrebe za daljnjim ulaganjem u pouzdanost napajanja tog potrošača. Takav zaključak nemoguće je donijeti koristeći se srednjim vrijednostima. Osim toga, zbog povećanog interesa u zaštitu potrošača, planira se promjena iznosa tih novčanih kompenzacija potrošačima koji bi odrazili stvarne troškove tih potrošača. Analitički pristup proračunu pouzdanosti ni tu ne zadovoljava, iako je moguće procijentirati očekivane vrijednosti neisporučene energije potrošačima. Razlog leži u činjenici da, za razliku od iznosa neisporučene energije potrošaču, stvarni troškovi ne ovise linearno s vremenom trajanja prekida.

Potrebno je stoga najprije utvrditi tzv. *Sector Customer Damage Functions*, krivulje ovisnosti troškova pojedinih skupina potrošača o trajanju prekida napajanja. U Velikoj Britaniji potrošači su podjeljeni na četiri skupine (engl. sectors): kućanstva, komercijalni sektor, industrijske i velike potrošače tzv. *Economy 7*. Ove krivulje dobijaju se najčešće na temelju direktnih anketa, tj. ispitivanja potrošača (engl. *Customer Surveys*), tako što se "sirovi" podaci o troškovima prekida, engl. *Customer Interruption* za svaki sektor potrošača normalizira ili prema vršnom opterećenju ili po godišnjoj potrošenoj energiji u mreži. Za Veliku Britaniju, *Sector Customer Damage Functions* prikazane su na slici 2.[3].



Slika 2. *Sector Customer Damage Functions* koje se koriste u Velikoj Britaniji

Osim Velike Britanije, takva istraživanja već je provelo više zemalja u kojima je uspostavljeno tržište električne energije, poput Australije, Danske, Grčke, Irana, Nepala, Novog Zelanda, Norveške, Portugal, Saudijske Arabije, Švedske i SAD, na temelju kojih je moguće odrediti ukupne troškove koje imaju potrošači zbog svih prekida napajanja, tzv. *Customers Outage Costs*, poznavajući vršno opterećenje ili godišnju potrošenu energiju, te odnos broja različitih skupina potrošača (tzv. *customer mix*) na svakoj promatranoj potrošačkoj sabirnici u distributivnoj mreži. (Smatramo da bi se i kod nas u okviru određene regulative i istraživanja trebale provesti ankete takve vrste). Ovi troškovi uspoređuju se s investicijama u povećanje pouzdanosti sustava, imajući u vidu i moguću promjenu operativnih troškova, s konačnim ciljem pronalaza optimalnog rješenja, tj. najisplativije varijante ulaganja. Detaljnije u ovu problematiku zbog ograničenosti prostora nije moguće ući, ali se više informacija može pronaći u [3]. Međutim, da bi se ovi troškovi prekida napajanja mogli izračunati, potrebno je poznavati broj prekida u pojedinim intervalima. Npr. u Velikoj Britaniji razlikuju sljedeće intervale: prekidi do 20 minuta, od 20 minuta do 1 sata i od 1 do 4 sata za kućanstva; te dodatno: trenutni prekidi, prekidi do 1 minute, od 4 do 8 sati i od 8 do 24 sata za ostale.

Sve gore navedeno potvrđuje da je potrebno poznavati funkciju razdiobe trajanja prekida (CDF), što znači da srednje vrijednosti, a time i analitički pristup u analizi pouzdanosti nisu dovoljni. Stoga, u Velikoj Britaniji, i u drugim zemljama s uspostavljenim tržištem električne energije dolazi do snažnog razvoja metoda za proračun pouzdanosti zasnovanih na sekvencijalnoj Monte Carlo simulaciji, koja omogućava ne samo proračun razdioba vjerojatnosti pojedinih pokazatelja pouzdanosti, već i precizno uvažavanje gotovo svih čimbenika koji utječu na ponašanje sustava u slučaju zastoja.

Glavni izazovi nalaze se u uvažavanju svih čimbenika koji utječu na optimiranje pouzdanosti opskrbe potrošača distributivnih mreža u fazi planiranja i vođenja, te različitih tehničkih aspekata, poput načina rada zaštite, stupnja automatiziranosti postrojenja, broja i rasporeda timova na terenu, kvalitete

ulaznih parametara (poboljšanja u statistikama pogonskih događaja), optimalnog broja rezervnih komponenata na skladištu, održavanje temeljeno na proračunima pouzdanosti (RCM), utjecaja starenja pojedinih komponenata, utjecaja dodatnih izvora energije u distributivnim mrežama itd., kao i razvoju novih metoda koje omogućuju efikasniji i točniji proračun pouzdanosti poput fuzzy logic, neuralnih mreža, genetičkih algoritama i programiranja i sl.[4].

4. Umjesto zaključka

Rezultati svih ovih analiza i proračuna trebaju se koristiti u svrhu poticanja distributivnih organizacija za podizanjem razine svojih usluga i povećanja razine efikasnosti, kako bi se spriječilo postojanje interesa vlasnika distributivnih organizacija u narušavanju sigurnosti i pouzdanosti napajanja potrošača u svrhu povećanja trenutnog profita neulaganjem u mrežu.

Stoga bi i kod nas potrebno učiniti sljedeće:

- Uvesti stohastičke metode i alate za analizu pouzdanosti u distributivnim organizacijama
- Uvesti praćenje kakvoće električne energije prame Europskoj normi EN 16050
- Uvesti statističke metode i alate za praćenje pogonskih događaja u distributivnoj organizaciji (primjer DP "Elektra" Slavonski Brod)
- Obaviti ankete i izvršiti procjenu funkcije krivulje troškova zbog neisporučene električne energije za različita opterećenje i sektore potrošnje (*Load and Sector Customer Damage Functions*)
- Utvrditi u podzakonskim aktima prosječne (srednje) vrijednosti dopuštenih pokazatelja pouzdanosti opskrbe u distributivnim organizacijama

Literatura:

- [1] The Electricity Council, *Engineering Recommendation P.2/5 – Recommended Standards of Security of Supply*, October 1978.
- [2] Ofgem, Office of the Gas and Electricity Market, *Information and Incentives Project*, March 2000., www.ofgem.gov.uk.
- [3] CIGRE Task Force 38.06.01., *Methods to Consider Customers Interruption Costs in Power System Analysis*, August 2001.
- [4] R. Allan, R. Billinton, *Probabilistic Assessment of Power System*, Proceedings of the IEEE, Vol. 88, No. 2, February 2000