



Ž. RAJIĆ
EI "H. Požar", Zagreb

D 3

TROŠKOVI NEISPORUČENE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Općenito

Svrha elektroenergetskog sustava je kontinuirano napajati potrošače električnom energijom propisane kvalitete uz što niže troškove. Pri tome su zahtjevi za što manjim troškovima investicija i održavanja te što većom pouzdanošću međusobno oprečni jer svako povećanje pouzdanosti znači i veća ulaganja u elektroenergetski sustav.

Pouzdanost karakteriziraju troškovi i vrijednost. *Troškovi pouzdanosti* predstavljaju potrebna ulaganja u sustav da se postigne zahtijevana razina pouzdanosti, a novčana korist koju ostvaruju dobavljač i potrošači električne energije od takvih ulaganja se zove *vrijednost pouzdanosti* [L.4].

Dok su metode za određivanje troškova pouzdanosti odnosno troškova elektroenergetskog sustava vezanih za postizanje zahtijevane razine pouzdanosti u potpunosti razvijene i prihvaćene, postupci za procjenu vrijednosti pouzdanosti još uvijek nisu. Zato se u svrhu utvrđivanja vrijednosti pouzdanosti kao praktična i sve više korištena metoda upotrebljava procjena posljedica prekida napajanja potrošača električnom energijom tj. procjena troškova neisporučene električne energije.

Troškovi neisporučene električne energije kao ekvivalent ili mjera za vrijednost pouzdanosti uzimaju se u širem smislu, a ne u užem kao doslovno samo troškovi neisporučene električne energije. Naime, u stvarnosti treba valorizirati sve aspekte prekida napajanja a ne samo iznos nepotrošene električne energije.

Metode za određivanje troškova neisporučene električne energije

Da bi se odredili troškovi prekida napajanja potrebno je prije svega poznavati kakve posljedice oni izazivaju kod potrošača. Efekti koje uzrokuju prekidi napajanja mogu se razvrstati po različitim kriterijima pa se tako govori o izravnim i neizravnim, ekonomskim i društvenim (ostalim), kratkoročnim i dugoročnim učincima itd.

S potrošačkog stanovišta troškovi prekida ovise o veličini i karakteru zavisnosti prekinutih aktivnosti o napajanju električnom energijom. Ova zavisnost je uvjetovana istovremeno karakteristikama i potrošača i prekida. Značajke potrošača uključuju tip potrošača, obilježja njegovih aktivnosti, obujam rada, opterećenje, dnevne i sezonske promjene potrošnje itd. Prekid je karakteriziran učestalošću, trajanjem, vremenom pojavljivanja, mogućnošću najave i sl. Utjecaj kvara posebno ovisi o odnosu i pripremljenosti potrošača na prekid napajanja, a što je opet povezano sa stupnjem pouzdanosti.

Metode za određivanje troškova neisporučene električne energije mogu se podijeliti u tri široke skupine odnosno *neizravne analitičke metode*, *analize konkretnih prekida napajanja* i *anketiranje potrošača* [L.1, L.3, L.8].

Ovdje će se samo ukratko opisati metoda anketiranja potrošača jer se najčešće koristi za potrebe dobivanja podataka o troškovima prekida napajanja distribucijske mreže.

Metoda anketiranja potrošača

Vrlo važan moment pri provođenju ankete je odabir pristupa odnosno metodologije vrednovanja troškova prekida napajanja, a što jako ovisi o kategoriji potrošača.

Najjasniji i najizravniji pristup je procjena troškova prekida napajanja za određeni ispad koju vrše sami potrošači. Pri tome se, da ne bi bilo dvosmislenosti u odgovorima, anketiranim potrošačima daju uputstva što bi a što ne bi procjena trebala obuhvaćati. Ovaj pristup daje dobre rezultate u situacijama kada se najveći dio gubitaka može jasno uočiti i kvantificirati. Primjenljiv je za industrijske potrošače, trgovine, servise, veće institucije i urede.

Druga metodologija se odnosi na *metodu vezanu uz tarifu (rate-related method (RRM))*, a koja ima dva različita pristupa. Prvim se procjenjuje potrošačeva *pripravnost da plati (willingness to pay (WTP))* premiju odnosno dodatni iznos kako bi izbjegao prekid napajanja, a drugim se prosuđuje potrošačeva *pripravnost da prihvati (willingness to accept (WTA))* nižu razinu pouzdanosti napajanja za određeni postotak smanjenja njegovog računa za električnu energiju. Povećanja i smanjenja iznosa potrošačkih računa interpretiraju se kao odgovarajuće procjene troškova neisporučene električne energije. Iako bi teoretski iznosi povećanja i smanjenja računa za plaćanje električne energije odnosno rezultati i jednog i drugog pristupa trebali biti približno slični, u stvarnosti se metodom WTP dobivaju znatno manje vrijednosti nego metodom WTA.

Treća metodologija ili pristup se zasniva na primjeni posrednih procjena vrijednosti neisporučene električne energije. Izborom ponuđenih alternativa ili odgovorima na pitanja indirektnih metoda koja mogu dovesti u vezu s vlastitim iskustvima anketirani potrošači daju informacije na temelju kojih se može procijeniti vrijednost neisporučene električne energije.

Za procjenu vrijednosti neisporučene električne u kućanstvima najčešće se koriste drugi i treći pristup.

Izračunavanje troškova neisporučene električne energije potrošača

Troškovi neisporučene električne energije ovise o trenutku pojave i duljini trajanja prekida te vrsti potrošača. S obzirom na karakteristike potrošnje električne energije potrošači se dijele na različite kategorije ili sektore kao što su kućanstva, industrija, poljoprivreda, trgovine i uslužni sektor, javni sektor itd.

Utvrđeni *troškovi prekida napajanja potrošača (customer interruption costs (CIC))* koji se odnose na troškove prekida napajanja pojedinog potrošača odnosno na prosječne troškove prekida napajanja potrošača unutar neke kategorije normaliziraju se s obzirom na godišnje vršno opterećenje ili godišnju potrošnju energije pa se dobivaju odgovarajući *jedinični troškovi prekida napajanja*. Neki planeri mreže sugeriraju da se kraći prekidi normaliziraju s obzirom na godišnju vršnu snagu, a dulji s obzirom na godišnju potrošnju električne energije [L.4]. Kao granična vrijednost trajanja prekida obično se uzima 1 h. Funkcije koje prikazuju vrijednost ovih jediničnih troškova u ovisnosti o vremenu trajanja prekida zovu se *funkcije troškova prekida napajanja potrošača (customer damage functions (CDF))*.

Prema publiciranim radovima, na ovoj problematici je u posljednje vrijeme dosta učinjeno u Kanadi, Velikoj Britaniji i nordijskim zemljama.

U tablici 1 su prikazani jedinični troškovi prekida napajanja potrošača po kW godišnjeg vršnog opterećenja i prema duljini prekida, a na temelju ankete provedene 1987. godine u Kanadi [L.1].

Tabl. 1 Troškovi prekida napajanja potrošača [DEM/kW] u Kanadi
prema anketi iz 1987. g.

Kategorija potrošnje	Trajanje prekida				
	1 min	20 min	1 h	4 h	8 h
Veliki potrošači	1.750	2.625	3.874	6.908	14.346
Industrija	2.829	6.734	15.817	43.809	97.162
Usluge	0.663	5.170	14.890	54.523	144.517
Poljoprivreda	0.104	0.597	1.129	3.593	7.173
Kućanstva	0.002	0.162	0.839	8.555	27.316
Institucije	0.077	0.642	2.560	11.417	45.336
Uredi i zgrade	8.318	17.198	36.674	119.833	207.458

U tablicama 2 i 3 prikazani su jedinični troškovi prekida napajanja potrošača po kW godišnjeg vršnog opterećenja i MWh godišnje potrošnje električne energije u Velikoj Britaniji dobiveni na temelju ankete provedene 1993. godine [L.3, L.4]. Kao veliki potrošači kategorizirani su svi oni koji imaju vršno opterećenje veće od 8 MW, a oznaka *mom.* se odnosi na trenutačne prekidne.

Tabl. 2 Troškovi prekida napajanja potrošača [DEM/kW] u Velikoj Britaniji
prema anketi iz 1993. g.

Kategorija potrošnje	Trajanje prekida						
	mom.	1 min	20 min	1 h	4 h	8h	24 h
V. potrošači	19.580	19.580	19.928	20.860	25.738	28.208	38.782
Industrija	17.866	18.795	41.454	73.380	209.780	348.920	436.854
Usluge	2.876	2.963	11.300	30.938	113.411	228.478	290.442
Kućanstva	-	-	0.436	1.569	10.807	-	-

Tabl. 3 Troškovi prekida napajanja potrošača [DEM/MWh] u Velikoj Britaniji
prema anketi iz 1993. g.

Kategorija potrošnje	Trajanje prekida						
	mom.	1 min	20 min	1 h	4 h	8h	24 h
V. potrošači	3.108	3.108	3.166	3.951	4.416	4.968	6.943
Industrija	8.773	9.093	18.360	34.686	94.674	155.011	194.923
Usluge	1.336	1.394	4.764	14.264	52.668	107.660	138.220
Kućanstva	-	-	0.174	0.610	4.183	-	-

U tablici 4 prikazani su jedinični troškovi prekida napajanja potrošača po kW vršnog opterećenja za poljoprivredu, industriju i usluge (veletrgovine, robne kuće, trgovine na malo, servisi, hoteli, restorani, kazališta, kina, banke, osiguravajuća društva, sportski objekti itd.), a na osnovi rezultata ankete provedene 1992. i 1993. godine u Danskoj, Finskoj, Islandu, Norveškoj i Švedskoj. Za Švedsku, podaci koji se nalaze u rubrici trajanja prekida od 1 minute stvarno se odnose na troškove prekida napajanja od 2 minute. Isto tako, industrijski potrošači su za Švedsku podijeljeni na male i velike. Detaljni podaci o provedenoj anketi i utvrđivanju troškova neisporučene električne energije u nordijskim zemljama nalaze se u [L.5].

Tabl. 4 Troškovi prekida napajanja potrošača [DEM/kW] u nordijskim zemljama prema anketi iz 1992. i 1993. godine

Kategorija potrošnje		Trajanje prekida			
		1 min	1 h	4 h	8 h
INDUSTRIJA					
Danska		5.602	31.139	60.201	100.492
Finska		5.313	20.409	59.044	107.567
Island		0.342	17.568	39.740	85.344
Norveška		2.472	12.650	39.950	79.110
Švedska	mala	2.078	8.127	33.322	71.536
	velika	4.077	9.468	19.383	38.717
USLUGE					
Danska		0.947	12.019	38.503	79.505
Finska		3.886	23.065	61.016	125.793
Island		7.785	29.588	76.849	134.761
Norveška		1.736	8.810	36.873	84.870
Švedska		3.025	13.834	66.855	152.698
POLJOPRIVREDA					
Danska		-	30.403	-	217.870
Finska		-	8.390	-	125.951
Island		-	3.051	-	17.332
Norveška		-	0.289	3.656	15.438
Švedska		-	4.708	16.753	48.076

Radi lakše usporedbe sve cijene su izražene u DEM i to prema odnosu valuta koji je vrijedio 05.09.1998. godine: 1 DEM = 3.628 Kn , 1USD = 6.136 Kn , 1DKK (Danska kruna) = 0.954 Kn i 1 GBP (Britanska funta) =10.539 Kn.

Na temelju funkcija troškova prekida napajanja potrošača CDF mogu se za bilo koji čvor mreže, ako je poznata njegova struktura potrošnje, formirati *složene funkcije troškova prekida napajanja potrošača (composite customer damage function (CCDF))* koje onda predstavljaju jedinične troškove prekida napajanja u razmatranom čvoru. Kao kriterij za određivanje učesća funkcija troškova prekida napajanja pojedinih kategorija potrošača u složenim funkcijama obično se uzima njihova relativna potrošnja električne energije. Za kratke prekide doprinos pojedinih kategorija potrošača se ponekad određuje na osnovi njihovog relativnog češća u vršnom opterećenju.

Procedura za računanje *očekivane neisporučene električne energije (expected energy not supplied (EENS))* i *troškova prekida napajanja (energy cost (ECOST))*, koje neki autori nazivaju i *troškovi ispada potrošača (customer outage costs (COC))* [L.3, L.4, L.8], u bilo kojem čvoru razdjelne elektroenergetske mreže odvija se u 4 koraka:

- 1) Za svaki potrošački čvor razdjelne mreže p identificiraju se elementi j čiji ispad doprinosi prekidu napajanja razmatranog čvora odnosno utvrde se srednja (prosječna) učestalost kvara λ_j , srednje vrijeme trajanja kvara r_j i neraspoloživost ili srednje godišnje vrijeme trajanja kvara N_j dotičnih elemenata.
- 2) Ovisno o srednjem vremenu trajanja kvara r_j elementa j procijene se troškovi prekida napajanja $c_{pj}(r_j)$ čvora p prema odgovarajućoj složenoj funkciji troškova prekida napajanja potrošača $CCDF_p$.
- 3) Ako su L_{vp} vršno opterećenje i LF_p faktor opterećenja u čvoru p , troškovi prekida napajanja $ECOST_p$ i očekivana neisporučena električna energija $EENS_p$ u čvoru p uslijed ispada elementa j računaju se prema (1) i (2):

$$ECOST_{pj} = c_{pj}(r_j) L_{vp} \lambda_j \quad [\text{Kn/god}] \quad (1)$$

$$EENS_{pj} = L_{vp} LF_p \lambda_j r_j \quad [\text{kWh/god}] \quad (2)$$

- 4) Koraci 2 i 3 se ponove za svaki element j čiji ispad doprinosi prekidu napajanja čvora p pa se ukupni troškovi prekida napajanja i očekivana neisporučena električna energija u čvoru p dobivaju kao:

$$ECOST_p = \sum_j ECOST_{pj} \quad [\text{Kn/god}] \quad (3)$$

$$EENS_p = \sum_j EENS_{pj} \quad [\text{kWh/god}] \quad (4)$$

Na temelju poznavanja troškova prekida napajanja i iznosa neisporučene električne energije mogu se procijeniti *jedinični troškovi neisporučene električne energije* [Kn/kWh], a definiraju se kao omjer troškova prekida napajanja i neisporučene električne energije. U literaturi se često označavaju indeksom IEAR (*Interrupted Energy Assessment Rate*) [L.2, L.7, L.8]. Općenito, jedinični troškovi neisporučene električne energije se mogu prikazati izrazom:

$$IEAR = \frac{ECOST}{EENS} \quad [\text{Kn/kWh}] \quad (5)$$

Prema tome, na osnovi procedure za računanje očekivane neisporučene električne energije EENS i troškova prekida napajanja ECOST koja se sastoji od 4 koraka mogu se izračunati jedinični troškovi neisporučene električne energije.

Međutim, u tu svrhu se mogu koristiti i aproksimativne metode [L.8]. Iako one često ne daju dobre procjene jediničnih troškova neisporučene električne energije njihova osnovna prednost je što su, u situacijama kada su poznata prosječna vremena trajanja i odgovarajuće složene funkcije troškova prekida napajanja u potrošačkim točkama ili vrijednosti CAIDI i CCDF na razini sustava, jednostavno primjenjive.

U [L.6] je dan iscrpan pregled vrijednosti jediničnih troškova neisporučene električne energije za razdoblje od 1970. do 1988. godine, a za Hrvatsku je procijenjena aktualna prosječna vrijednost oko 3 DEM/kWh.

Prema [L.9], procjena jedinične vrijednosti neisporučene električne energije u Hrvatskoj za 1993. godinu je iznosila 4,58 DEM/kWh.

Kako na razini HEP-a nisu službeno utvrđeni troškovi neisporučene električne energije u [L.10] je predloženo korištenje prosječnih vrijednosti preuzetih iz svjetske prakse i to:

- industrija	15.0 [DEM/kWh]
- usluge	18.0 [DEM/kWh]
- poljoprivreda	10.0 [DEM/kWh]
- kućanstva	3.5 [DEM/kWh]
- javne službe	6.0 [DEM/kWh]

odnosno ekvivalentni iznos od 5.0 [DEM/kWh].

Gledano kronološki, opća karakteristika koja se može uočiti vezano za jedinične troškove neisporučene električne energije je njihov stalni rast što ukazuje na sve veći značaj i realnije valoriziranje pouzdanosti. Između ostaloga, i ova činjenica ukazuje na neophodnost provedbe istraživanja u svrhu utvrđivanja aktualnih troškova neisporučene električne energije u Hrvatskoj.

LITERATURA

1. Billinton R., Allan R.:
"Reliability Evaluation of Power Systems", Plenum Press, New York, 1996.
2. Goel L., Billinton R.:
"A Procedure for Evaluating Interrupted Energy Assessment Rates in an Overall Electric Power Systems", IEEE Trans. on Power Systems, No. 4, November 1991, pp. 1396-1403.
3. Kariuki K. et al.:
"Assessment of customer outage costs due to electricity service interruptions", CIRED '95, ref. 2.05., Brussels, 1995.

4. Kariuki K., Allan R.:
 "Evaluation of reliability worth and value of lost load",
 IEE Proc. - Gener. Transm. Distrib., No. 2, March 1996, pp. 171-180.
5. Lethonen M. et al.:
 "Electricity supply outage costs in the Nordic countries",
 CIRED '95, ref. 2.06., Brussels, 1995.
6. Mravak I.:
 "Specifične štete uslijed neisporučene električne energije i snage potrošačima",
 Energija, br. 1, 1997., str. 23-30.
7. Oteng-Adjei J., Billinton R.:
 "Evaluation of Interrupted Energy Assessment Rates in Composite Systems",
 IEEE Trans. on Power Systems, No. 4, November 1990, pp. 1317-1323.
8. Rajić Ž.:
 "Razmatranje pouzdanosti pri planiranju razdjelnih elektroenergetskih mreža",
 studija, EI "H. Požar", Zagreb, 1999.
9. Slipac G.:
 "Štete zbog neisporučene električne energije",
 3. savjetovanje HK CIGRE, ref. 37.01., Cavtat, 1997.
10. Žutobradić S.:
 "Planiranje i razvitak distribucijske mreže HEP-a", HK CIGRE, 2. simpozij o
 elektrodistributivnoj djelatnosti, ref. 1.01., Trogir, 1998.

