

Denisa Galzina
Hrvatski operator prijenosnog sustava
denisa.galzina@hops.hr

BENCHMARKING KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

SAŽETAK

Tijekom nekoliko desetljeća, kvaliteta električne energije postajala je sve važniji čimbenik u opskrbi električnom energijom. To je proizašlo iz razloga što su kupci postajali sve svjesniji kvalitete električne energije i zato što su električna trošila postajala sve sofisticiranija i osjetljivija na naponske smetnje.

Benchmarking je proces mjerenja i uspoređivanja tvrtkinih operacija, proizvoda i usluga s najboljima, bilo unutar tvrtkina područja djelovanja ili izvan njega.

Pokuša li se benchmarking provesti na području elektroenergetskih sustava, proizlazi da to nije nimalo jednostavno. Čak ni usporedba unutar jedne države nije jednostavna, a kada se govori o dvije države problemi se javljaju zbog različitih navika, normi ili tehničkih rješenja.

Rad pokazuje na koji način se može provesti benchmarking kvalitete električne energije, i kako pojam približiti i kupcima bez tehničkog znanja.

Ključne riječi: kvaliteta napona, kvaliteta električne energije, benchmarking, flikeri, harmoničko izobličenje napona

ELECTRIC POWER QUALITY BENCHMARKING

SUMMARY

Over the decades, power quality has become an increasingly important factor in electricity supply. This was due to the fact that customers became more aware of the power quality and because the electrical appliances became more sophisticated and sensitive to voltage disturbances.

Benchmarking is the process of measuring and comparing a company's operations, products, and services with the best, whether within or outside the company's field of business.

If benchmarking is made in the field of power systems, it turns out that this is not at all simple. Even comparison within one country is not easy, and when talking about two countries, problems arise because of different habits, norms or technical solutions.

The paper shows how power quality benchmarking can be implemented, and how to approach the term to customers without technical knowledge.

Key words: voltage quality, power quality, benchmarking, flicker, voltage harmonic distortion

1. UVOD

Pojam „kvaliteta električne energije“ je relativno nov i teško ga je jednoznačno definirati. Naime, pojam kvalitete napona (predstavljen jedino tehničkim parametrima koje je moguće mjeriti) se često u literaturi miješa s pojmom kvalitete električne energije (engl. power quality), iako kvaliteta napona predstavlja samo o jedan aspekt kvalitete opskrbe električnom energijom. Druga dva aspekta su kvaliteta usluga (pružanje informacija kupcu) te pouzdanost opskrbe.

Kvaliteta napona je bitna i radi ekonomskih i radi tehničkih razloga, budući da sve više krajnjih korisnika mreže posjeduje opremu osjetljivu na promjene opskrbnog napona. Sami krajnji korisnici također mogu biti uzrok smetnji te utjecati na optimalan rad opreme ostalih korisnika mreže.

Kako se stalno uspoređuje kvaliteta jednog proizvoda s drugim, tako se i kod električne energije traži usporedba kvalitete napona prema naponskim razinama, prema drugim operatorima, prema vrsti korisnika mreže.

2. BENCHMARKING KVALITETE NAPONA U EUROPI

Prema *Leksikonu menadžmenta* [1] benchmarking je proces mjerenja i uspoređivanja tvrtkinih operacija, proizvoda i usluga s najboljima, bilo unutar tvrtkina područja djelovanja ili izvan njega. Benchmarking je postupak koji se temelji na uspoređivanju vlastitih dimenzija (procesa, proizvoda, troškova itd.) s nekom tvrtkom koja zaslužuje biti mjera vrijednosti. Potrebno je naći takvu tvrtku s kojom se može – i vrijedi – usporediti te izvesti zaključke i poruke iz spoznaja o iskustvima drugih.

Pokuša li se benchmarking provesti na području elektroenergetskih sustava, proizlazi da to nije nimalo jednostavno. Čak ni usporedba unutar jedne države nije jednostavna, a kada se govori o dvije države problemi se javljaju zbog različitih navika, normi ili tehničkih rješenja.

2.1. Kvaliteta napona u europskim zemljama

Vijeće europskih energetske regulatora, CEER (Council of European Energy Regulators) redovito provodi istraživanje i analizu kvalitete opskrbe električnom energijom u svojim zemljama članicama. Rezultati se objavljuju u obliku benchmarking izvještaja, čime se olakšava pristup informacijama o kvaliteti opskrbe i utjecaju regulatora na samu kvalitetu.

Prema zadnjem izvješću [2], u istraživanju kvalitete napona sudjelovalo je 27 zemalja (Austrija, Belgija, Bugarska, Češka, Danska, Estonija, Finska, Francuska, Grčka, Irska, Island, Italija, Latvija, Litva, Luxemburg, Malta, Mađarska, Nizozemska, Norveška, Njemačka, Poljska, Portugal, Slovačka, Slovenija, Španjolska, Švedska i Velika Britanija), a Hrvatska se spominje kao jedna od zemalja u kojoj je obavezno mjerenje parametara kvalitete električne energije.

Hrvatska je, umjesto Bugarske u gornjem popisu zemalja, jedna od 27 zemalja koja je sudjelovala i u istraživanju kvalitete opskrbe električnom energijom.

Posebno poglavlje opisuje stanje kvalitete napona i vezanu regulativu za svaku pojedinu zemlju. Većina zemalja je i za prijenosnu naponsku razinu preuzela normu EN 50160:2010, neki s originalnim graničnim vrijednostima (ili integracijskim periodima), a neki s promijenjenim.

Norma EN 50160:2010 promatra period mjerenja od sedam dana, a mjerni isječak u kojem se promatraju svi parametri je 10 min, osim frekvencije koja se promatra u 10 s intervalima. Norma propisuje granice parametara koje moraju biti zadovoljene unutar 95% perioda mjerenja, dok su u ostalih 5 % slučajeva granice parametara šire ili čak nisu propisane.

Granične vrijednosti parametara prema normi EN 50160:2010 dane su u tablici I, dok su vrijednosti harmoničkih napona dane u tablici II.

Tablica I. Granične vrijednosti parametara prema normi EN 50160:2010

R. br.	Parametar	dozvoljena vrijednost prema EN 50160:2010
1	Frekvencija	$\pm 1\%$ za 99,55% tjedna -6% / +4% za 100% tjedna
2	Promjena napona	$\pm 10\%$ za 99% tjedna
3	Brze naponske promjene	$P_{IT} < 1$ za 95% tjedna
4	Propadi napona	trajanje <1s dubina propada <60%
5	Kratkotrajni ispadi	do 3 minute
6	Dugotrajni ispadi	duži od 3 min, <10-50/god
7	Nesimetrija	< 2% za 95% vremena
8	Harmonički naponi	prema tablici 4.

Tablica II. Granične vrijednosti harmoničkih napona za visoki napon

Neparni harmonici, djeljivi s 3		Neparni harmonici, nisu djeljivi s 3		Parni harmonici	
Red harmonika	Harmonički napon (%)	Red harmonika	Harmonički napon (%)	Red harmonika	Harmonički napon (%)
3	3,0	5	5,0	2	1,9
9	1,5	7	4,0	4	1,0
15, 21	0,5	11	3,0	6-24	0,5
		13	2,5		
		>17	-		

Pravila za kvalitetu napona različita od norme EN 50160:2010, a koja se odnose na promjene napona napajanja, dana su u Tablici III.

Tablica III. Promjene napona napajanja različite od norme EN50160:2010

Zemlja	Indikator	Integracijski period	Vrijeme promatranja	Granična vrijednost
Švedska	Efektivna vrijednost napona	10 min	100 %	$\pm 10\% U_n$
Portugal		10 min	95 %	$\pm 5\% U_n$
Nizozemska		10 min	99,9 %	$\pm 10\% U_n$
Francuska		10 min	100 %	$\pm 5\% U_n$
Velika Britanija		10 min	100 %	$\pm 6\% U_n$
Irska – razina 38 kV		10 min	100 %	34,8-43 kV
Malta – razina 132 kV		10 min	95 %	$\pm 6\% U_n$

Pravila za kvalitetu napona različita od norme EN 50160:2010, a koja se odnose na ostale parametre kvalitete napona, dana su u Tablici IV.

Tablica IV. Parametri kvalitete napona različiti od norme EN50160:2010

Poremećaj	Oznaka	Integracijski period	Vrijeme promatranja	Limit	Zemlja
Fliker	P _{st}	10 min	95%	≤0,35	Cipar
		10 min	95%	≤0,8	Češka
		10 min10 min	100%	≤0,85	Italija
		10 min	100%	≤1	Norveška
		10 min	100%	≤1	Portugal
	P _{lt}	120 min	95%	≤0,35	Cipar
		120 min	95%	≤0,6	Češka
		120 min	100%	≤0,62	Italija
		120 min	100%	≤0,8	Norveška
		120 min	100%	≤5	Nizozemska
Nesimetrija napona	V _{un}	10 min	95%	≤1%	Italija
			100%	≤2%	Norveška, Švedska
			99,9%	≤1%	Nizozemska
Harmonički naponi	THD	10 min	100%	≤3	Italija
			100%	≤3	Norveška
			95%	≤6	Nizozemska
			99,9	≤7	Nizozemska

Bitan aspekt regulacije kvalitete električne energije je mjerenje parametara kvalitete napona. Od navedenih 27 zemalja koje su sudjelovale u istraživanju kvalitete napona, 18 ih ima ugrađene uređaje za mjerenje parametara kvalitete napona. Neke zemlje provode mjerenja na svim naponskim razinama (Bugarska, Cipar, Češka, Francuska, Italija, Letonija, Nizozemska, Portugal i Rumunjska), neke ne mjere na visokom naponu (Austrija, Grčka, Mađarska, Malta i Litva), neke ne mjere na niskom naponu (Belgija, Irska, Norveška i Slovenija), a Grčka i Malta ne mjere na srednjem naponu.

Ukupno 18 država mjeri propade napona, 17 nadvišenja napona, 11 brze naponske promjene, 17 ih mjeri flikere, 15 nesimetriju napona, a njih 7 tranzijentne prenapone. Može se vidjeti da mjerenje nije unificirano, niti približno jednako u parametrima koji se promatraju.

Iako neke zemlje pokrivaju sve naponske razine, to ne znači da su sva obračunska mjesta pokrivena uređajima. Na primjer, u Francuskoj je na visokonaponskoj razini pokriveno samo 12% mjernih mjesta, a na niskom naponu samo 1%. U Italiji je pokriveno samo 0,007% korisnika na srednjem naponu (ali zato sve sabirnice i transformatorske stanice), dok je na istoj razini u Portugalu pokriveno 18,5% mjernih mjesta.

Vijeće europskih energetskih regulatora preporuča izvještavanje i objavljivanje podataka o kvaliteti napona. Ni tu nije strogo određeno koji se podaci moraju objavljivati i na koji način.

Na primjer, Francuska objavljuje broj naponskih propada u prijenosnoj mreži u godišnjem izvješću na stranicama operatora prijenosnog sustava.

Mađarska odvojeno prikuplja podatke za srednji i niski napon te ih prijavljuje regulatornoj agenciji. U Irskoj se podaci o distribucijskoj razini ne objavljuju, a korisnici mreže mogu dobiti izvještaj o kvaliteti napona na zahtjev.

U Italiji se podaci objavljuju na stranicama operatora sustava te u njegovom godišnjem izvješću, a prikupljaju se prema više kriterija, uključujući i prema regiji, provinciji, vrsti dalekovoda i njegovoj dužini, ili snazi učinskog transformatora.

Litva objavljuje samo podatke o pouzdanosti napona i to javno na internetskim stranicama. Nizozemska objavljuje koliko puta određeni izmjereni podatak nije bio u skladu s mrežnim pravilima, dok Portugal objavljuje za svaki mjereni parametar najbolji i najgori podatak za svako mjerno mjesto.

Norveška objavljuje podatke o mjerenju kvalitete napona kao dio godišnjeg izvješća rada prijenosnog sustava, a Slovenija svoje podatke o mjerenju uključuje u godišnje izvješće o kvaliteti usluge.

Vidi se da ni ovdje ne postoji unificiranost na europskoj razini.

3. USPOREDBA KVALITETE NAPONA NA RAZLIČITIM ČVORIŠTIMA MREŽE

Kako bi se kupcima bez tehničkog znanja približio pojam razine kvalitete električne energije, nizozemski operator distribucijskog sustava je inicirao izradu jednostavnog načina klasifikacije normalizacijom parametara kvalitete električne energije [3].

Osim što korisnici na taj način mogu jednostavno vidjeti razinu kvalitete električne energije koju plaćaju, mogu se i uspoređivati razine kvalitete različitih parametara.

Tako je:

$$r_{(v,q,p)} = 1 - \frac{m_{(v,q,p)}}{l_{(q)}} \quad (1)$$

gdje je

$r_{(v,q,p)}$ – normalizirani parametar q, na lokaciji v, za fazu p

$m_{(v,q,p)}$ – izmjerena razina parametra q, na lokaciji v, za fazu p

$l_{(q)}$ – razina kompatibilnosti za parametar q.

Normalizirani parametar ima vrijednost jedan, ukoliko je izmjerena razina parametra jednaka nuli, odnosno nula ako je izmjereni parametar jednak dozvoljenoj vrijednosti parametra. Vrijednosti normaliziranog parametra kvalitete električne energije te stanje kvalitete raspodijeljene su na način prikazan u tablici V.

Ukoliko se na jednom mjernom mjestu prati više parametara, ukupna normalizirana vrijednost parametara kvalitete (nazovimo ju B) jednaka je zbroju pojedinih normaliziranih parametara. Tako se različita mjerna mjesta mogu uspoređivati (provoditi benchmarking) preko okvira norme, a ne pojedine smetnje.

Tablica V. Klasifikacija normaliziranog parametra kvalitete električne energije

Vrijednost normaliziranog parametra		Stanje kvalitete
maksimalna	minimalna	
1	0,66	vrlo visoka kvaliteta
0,66	0,33	visoka kvaliteta
0,33	0	normalna kvaliteta
0	-0,33	loša kvaliteta
-0,33	-0,66	vrlo loša kvaliteta
-0,66	-1	izuzetno loša kvaliteta

4. BENCHMARKING KVALITETE NAPONA NA PRIJENOSNOJ RAZINI

U Hrvatskom operatoru prijenosnog sustava praćenje parametara kvalitete napona započelo je tijekom 2008. g i to u Prijenosnim područjima Split i Opatija, a godinu dana kasnije su s ugradnjom uređaja za trajno praćenje parametara počela Prijenosna područja Zagreb i Osijek. Kriterij mjesta ugradnje bio je obračunsko mjerno mjesto ili neka bitna točka sustava.

Trenutno je u diljem cijele mreže instalirano više od 320 uređaja, koji mogu izmjerene vrijednosti uspoređivati sukladno nekoj normi (npr. EN 50160:2010), ali mogu i mjeriti pojedine parametre te se oni posebno mogu pregledavati i uspoređivati.

Kako bi se rezultati mogli jednostavnije pretražiti i obraditi, grupirani su po naponskoj razini (400, 220, 110 kV), po jedinici mreže (vodovi, transformatori, kupci), ili prema vremenskom periodu (godina ili sezona).

Ako promatramo samo flikere i harmoničko izobličenje, rezultati su navedeni u tablicama VI i VII.

Tablica VI. Pregled CP95 vrijednosti THD-a prema mjestu mjerenja

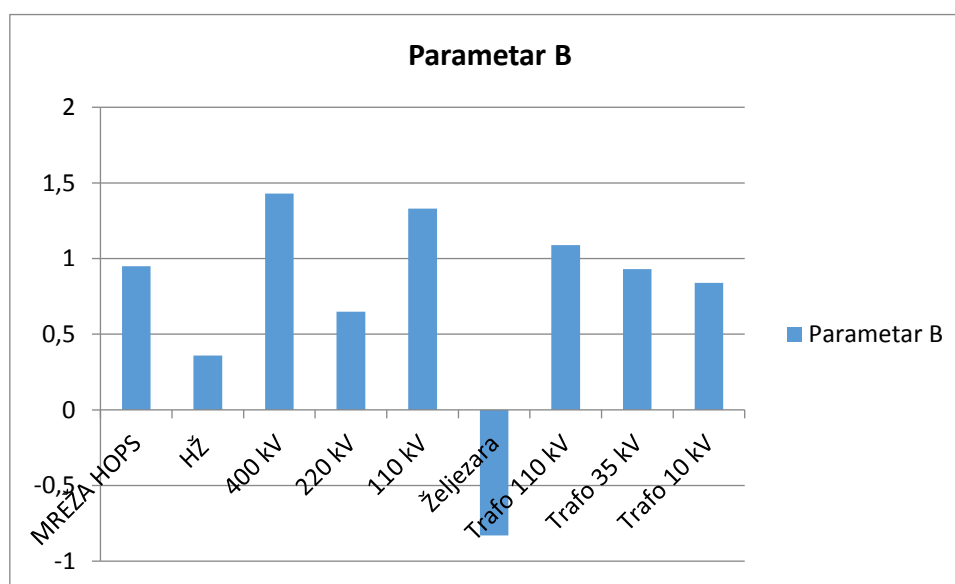
Promatrano mjesto mjerenja	THD [%]
Cijela mreža HOPS-a	1,55
HŽ postrojenja	1,76
Dalekovodi – 400 kV	1,30
Dalekovodi – 220 kV	1,09
Dalekovodi – 110 kV	1,05
Željezara	1,07
Transformatori – 110 kV	1,05
Transformatori – 35/30 kV	1,70
Transformatori – 10 kV	2,54

Tablica VII. Pregled CP95 vrijednosti P_{It} prema mjestu mjerenja

Promatrano mjesto mjerenja	P_{It}
Cijela mreža HOPS-a	0,53
HŽ postrojenja	1,05
Dalekovodi – 400 kV	0,53
Dalekovodi – 220 kV	0,62
Dalekovodi – 110 kV	0,32
Željezara	2,47
Transformatori – 110 kV	0,56
Transformatori – 35/30 kV	0,51
Transformatori – 10 kV	0,31

Primijeni li se normalizacija oba parametra, može se vidjeti da maksimalna vrijednost parametra B iznosi 2, dok minimalna može biti i manja od -2 (smetnja može biti višestruko veća od dozvoljene vrijednosti).

Grupirani parametri B za istovrsne objekte su prikazani na slici 1.



Slika 1. Iznos benchmarking parametra B prema tipu objekta

Primjenom klasifikacije, sa slike 1 se može očitati kako je kvaliteta električne energije u prijenosnoj mreži operatora prijenosnog sustava većinom visoka, vrlo visoka za 400 i 110 kV vodove, normalna u objektima željeznica i na 220 kV vodovima te vrlo loša u objektu Željezare.

5. ZAKLJUČAK

Norme i pravila za praćenje parametara kvalitete električne energije nisu ujednačene u svim europskim zemljama, ni u području dozvoljenih iznosa parametara, ni trajanja mjerenja istih.

Budući da je električna energija roba, čija se kvaliteta mjeri i uspoređuje, potrebno je iznaći način kako uspoređivati tako izmjerene vrijednosti parametara kvalitete napona. Rješenje se nalazi u normalizaciji svakog pojedinog parametra, tako da se on uspoređuje sa svojom dozvoljenom graničnom vrijednosti prema odabranoj normi.

Na taj način se može jednostavno napraviti pregled parametara kvalitete napona, i odmah vidjeti o kojoj se kategoriji kvalitete radi – u rasponu od izuzetno loše, do vrlo visoke kvalitete.

6. LITERATURA

- [1] P. Sikavica, F. Bahtijarević-Šiber, „Leksikon menadžmenta“, Masmedia, Zagreb, 2001.
- [2] Council of European Energy Regulators (CEER), “6th Benchmarking Report on the Quality of Electricity and Gas Supply“, 2016
- [3] Prego 2 Onderscheidend vermogen (in Dutch); KEMA 2003.