

Dragan Mučić
HEP-ODS d.o.o. Elektrodalmacija Split
dragan.mucic@hep.hr

Irena Šagovac
HEP-ODS d.o.o. Elektra Zagreb
irena.sagovac@hep.hr

OSVRT NA RAZINE KOMPATIBILNOSTI ZA NISKOFREKVENCIJSKE VOĐENE SMETNJE

SAŽETAK

Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) je po definiciji sposobnost sustava ili uređaja da funkcionira na zadovoljavajući način u elektromagnetskom okruženju bez stvaranja nedozvoljenih elektromagnetskih smetnji u svom okolišu. Taj je pojam s vremenom obuhvatio i područje kvalitete napona u električnim mrežama.

U javnim niskonaponskim mrežama za EMC je mjerodavna HRN EN 61000-2-2:2008 „Razine kompatibilnosti za niskofrekvencijske vođene smetnje i dojavu u javnim niskonaponskim energetskim sustavima“. Ovaj članak će dati usporedbu ove norme s HRN EN 50160:2012 i „Mrežnim pravilima elektroenergetskog sustava“ kroz nekoliko primjera iz prakse.

Glavne riječi: HRN EN 61000-2-2:2008, elektromagnetska kompatibilnost, smetnje, razina emisije

REVIEW OF COMPATIBILITY LEVELS FOR LOW-FREQUENCY CONDUCTED DISTURBANCES

SUMMARY

Electromagnetic compatibility (EMC) is by definition systems or units ability to function satisfactory in electromagnetic environment without causing forbidden electromagnetic disturbances in its environment. This term evolved with time and encompassed power quality in electrical networks.

In public low-voltage power supply systems for EMC is applicable standard HRN EN 61000-2-2:2008 „Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems“. This article will give its comparison with HRN EN 50160:2012 and „Grid code of electrical power system“.

Key words: HRN EN 61000-2-2:2008, electromagnetic compatibility, disturbances, emission levels

1. UVOD

Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) je po definiciji sposobnost uređaja ili sustava da funkcionira na zadovoljavajući način u svom elektromagnetskom okruženju bez stvaranja nedozvoljenih elektromagnetskih smetnji bilo čemu u tom okruženju [1]. S vremenom, pojam elektromagnetske kompatibilnosti je evoluirao i također obuhvatio područje kvalitete napona u električnim mrežama. Osiguravanje kvalitete električnog napona omogućuje da oprema radi bez vanjskih smetnji, za što je odgovoran operator sustava [2]. Na osnovu EMC-a, definira se snaga mreže (struja kratkog spoja) i razina emisije u svrhu održavanja planiranih razina kompatibilnosti.

Ovaj članak će se osvrnuti na razine kompatibilnosti za niskofrekvencijske vođene smetnje i dojavu u javnim niskonaponskim energetske sustavima koje su definirane u HRN EN 61000-2-2:2008 [1] u usporedbi s HRN EN 50160:2012 [3] i „Mrežnim pravilima elektroenergetskog sustava“ [4].

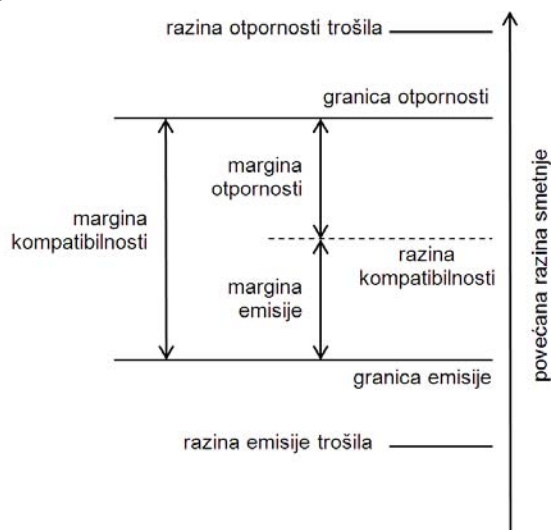
2. GRANICE KOMPATIBILNOSTI

Održavanje određene razine kvalitete napona u nekoj točki mreže je obaveza distributera električne energije. Ovaj zadatak isporučitelj izvršava ograničavanjem negativnog povratnog djelovanja uređaja korisnika mreže. Dakle, svaki korisnik mreže je dužan negativna povratna djelovanja svojih uređaja (injektiranje viših harmonika, nekompenziranje jalove snage, emisije flikera i nesimetrije struja) svesti na propisane, unaprijed dogovorene, granične vrijednosti.

Jednostavna podjela odgovornosti za kvalitetu električne energije u sustavu distributer – korisnik mreže uobičajeno se definira na sljedeći način: za kvalitetu napona je odgovoran distributer, a za kvalitetu struje odgovoran je korisnik mreže. Ovo jednostavno pravilo vrijedi tako dugo dok se interakcija strujnih i naponskih karakteristika može u njihovim efektima razdvojiti.

Princip elektromagnetske kompatibilnosti možemo objasniti pomoću dva uređaja: jedan koji uzrokuje elektromagnetske smetnje (generator smetnje ili izvor) i drugi koji je pod utjecajem tih smetnji (receptor ili žrtva). Uobičajeno se ispituje kompatibilnost između ta dva uređaja, što zahtjeva ispitivanje svih mogućih kombinacija ta dva uređaja, kako bi se došlo do zaključka koji od ta dva uređaja ne zadovoljava razine kompatibilnosti.

U sustavu EMC-a definiraju se razina kompatibilnosti, razina dozvoljene emisije i razina minimalne otpornosti (slika 1).



Slika 1. Razine, granice i margine koje se koriste u EMC standardima

Razine kompatibilnosti za elektromagnetske smetnje su referentne vrijednosti za usporedbu emisija i otpornosti uređaja. Razina otpornosti bi trebala biti veća ili jednaka razini kompatibilnosti. Razina emisije je, s druge strane, manja ili jednaka razini kompatibilnosti. Razina otpornosti, razina kompatibilnosti i razina emisije su definirane IEC standardima. Razlika između razine otpornosti i razine kompatibilnosti naziva se margina otpornosti (eng. immunity margin). Razlika između razine kompatibilnosti i razine emisije je margina emisije (eng. emission margin). Ove margine nisu toliko važne

koliko je važna margina kompatibilnosti koju se dobije kao razlika razine otpornosti i razine emisije. Veća margina kompatibilnosti znači manji rizik da smetnja jednog uređaja negativno utječe na rad drugog uređaja.

Prilikom ispitivanja opreme uspoređuje se količina elektromagnetskih smetnji koje proizvodi oprema s dozvoljenom razinom emisije, te otpornost opreme prema razini otpornosti. Da bi ispitivanje zadovoljilo, oprema treba ispuniti oba uvjeta: da je razina emisije manja od dozvoljene i da je razina otpornosti veća od dozvoljene. Dakle, kada dva uređaja uspješno prođu testiranje onda neće biti negativnog utjecaja između njih.

U slučaju da se razine emisije i otpornosti slobodno postavljaju (eng. freely chosen), razina kompatibilnosti se također slobodno postavlja. Previsoko odabrana razina kompatibilnosti uzrokuje visoke troškove otpornosti opreme. Prenisko odabrana razina uzrokuje visoke troškove potrebne za ograničavanje emisije opreme. Razina kompatibilnosti treba biti tako odabrana da ukupni troškovi za otpornost opreme i emisiju opreme budu minimalni. U praksi se postojeća razina smetnji obično uzima kao razina kompatibilnosti.

Na neke smetnje se ne mogu postaviti razine emisije. Promjene magnetskog polja zemlje ili kozmičke radijacije su primjeri gdje se ne može utjecati na razinu emisije. Na sličan način se u EMC standardima tretiraju još neki izvori smetnji (kvarovi, udari munje, sklopne operacije) iako se u ovim slučajevima na direktan ili indirektan način može utjecati na razinu emisije. Ovakva situacija bi se mogla objasniti time da se EMC standardi odnose samo na opremu, pa se kao uzrok naponskih propada kao posljedicu udara munje navodi viša sila. Moguća tehnička rješenja kojom se takva razina emisije može smanjiti su korištenje zaštitnih užadi, viša razina izolacije, podzemni kabeli, bolja uzemljenja itd.

Još jedan primjer smetnji na koje nije moguće postaviti razine otpornosti su naponske fluktuacije u kombinaciji s ljudskim vidom i ljudskim mozgom. Na otpornost kombinacije oko-mozak nije moguće utjecati, zbog toga je razina kompatibilnosti određena razinom otpornosti.

3. ODREĐIVANJE PLANIRANIH RAZINA

Da bi se izbjegao negativan utjecaj novopriključenog korisnika na postojeće korisnike mreže, postavljaju se granice maksimalnih emisija smetnji koje može uzrokovati novi korisnik. To se posebno odnosi na velike instalacije.

Planirana razina kompatibilnosti koju određuje operator sustava je lokalno specifična, trebala bi se odnositi samo na dio mreže, a definirati bi je trebala odgovorna osoba za pogon energetske mreže na određenom području.

Planirane razine se uglavnom odnose na srednji i visoki napon. No kako smetnje propagiraju u oba pravca između niskog, srednjeg i visokog napona, pri koordinaciji razina emisije treba uzeti u obzir sve naponske razine.

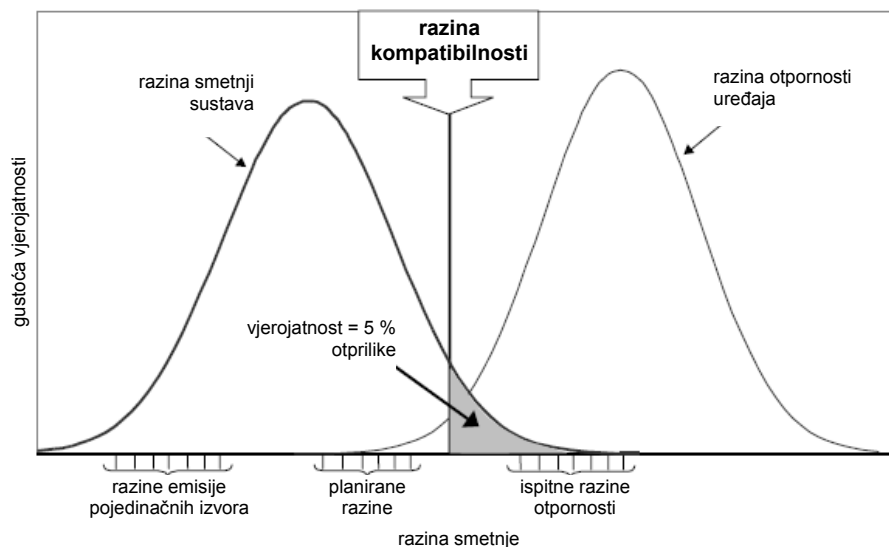
Pri definiranju planiranih razina potrebno je imati na umu sljedeće [1]:

- vrijednost planiranih razina trebaju prihvatiti tijela koja su odgovorna za planiranje i pogon energetske mreže u određenom području, a koristi se za određivanje graničnih razina emisije za velike potrošače i instalacije koje se priključuju u određenom području;

- vrijednosti planiranih razina ne mogu biti veće od razine kompatibilnosti. Općenito, moraju biti niže za marginu koja ovisi o faktorima kao što su vrsta smetnje, struktura i karakteristike energetske mreže (uz uvjet da je prikladno dizajnirana i održavana), postojeća razina smetnji, mogućnost rezonancije i slično. Vrijednosti su dakle specifične za određenu lokaciju u mreži.

- iako se planirane razine uglavnom odnose na velike potrošače i instalacije, moraju se uzeti u obzir brojni manji izvori smetnje spojeni na niskom naponu. Prostor margine slobodan za smetnje velikih priključaka ovisi o efikasnosti limitiranja smetnji brojnih malih uređaja. Ako margine nisu dovoljno velike potrebno je postrožiti uvjete za razinu emisije malih uređaja. Koordiniranje razina emisije smetnji osigurava da ukupne smetnje ne prelaze razinu kompatibilnosti.

Shematski prikaz različitih razina EMC i granica, prikazan je na slici 2 [1]. Krivulje nisu matematički egzaktni, ali ilustriraju odnose između tih vrijednosti.



Slika 2. Odnos između razine kompatibilnosti, otpornosti, planiranja i emisije

4. RAZINE KOMPATIBILNOSTI

Operator distribucijskog sustava ima zadatak isporučivati električnu energiju određene kvalitete prema normi HRN EN 50160:2012 [3], a korisnik mreže ne smije uzrokovati smetnje iznad granica dozvoljenih IEC normama i tehničkim izvještajima serije IEC 61000-3-x.

U nastavku će biti definirane razine kompatibilnosti za pojedine poremećaje. U praksi se često istovremeno događa nekoliko poremećaja, što može negativno djelovati na karakteristike opreme u smislu elektromagnetske kompatibilnosti (EMC).

4.1. Fluktuacije napona i flikeri

Fluktuacije napona u niskonaponskoj mreži su posljedica fluktuacije opterećenja, rada automatske regulacije napona energetskih transformatora, kvarova i drugih prilagodbi sustava i komponenti spojenih na sustav.

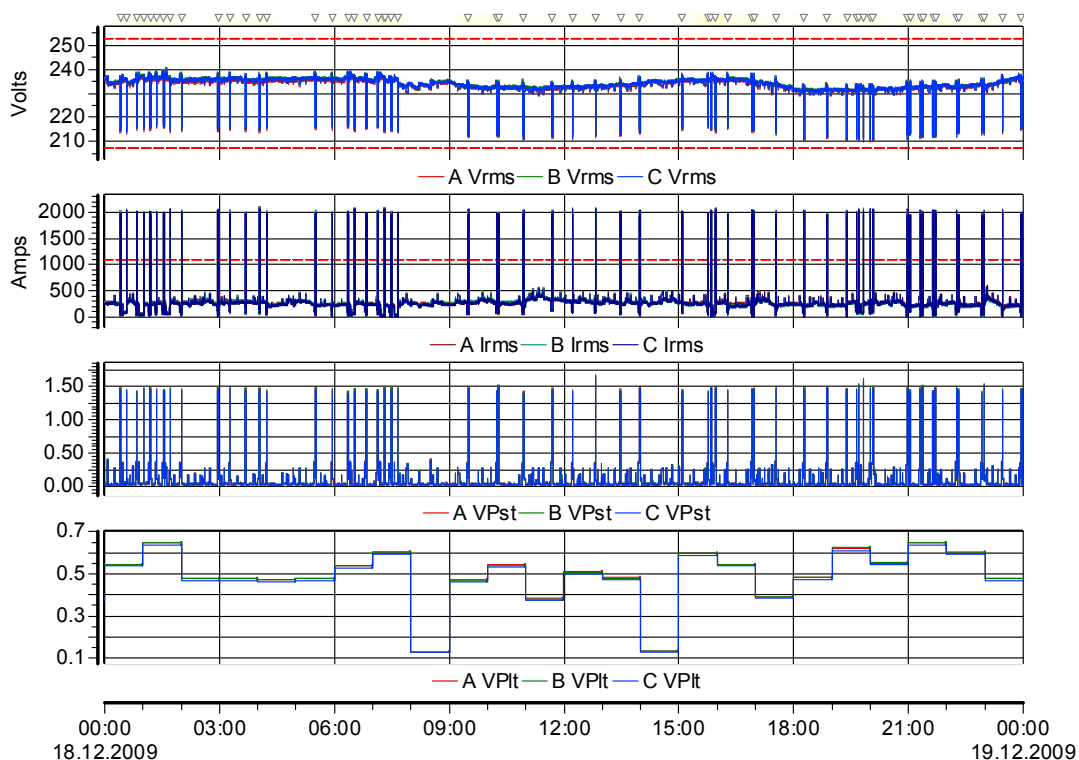
U normalnim okolnostima vrijednost brzih promjena napona (eng. rapid voltage changes – RVC) je ograničena na 3 % nazivnog napona napajanja. U praksi se događaju i brze promjene napona veće od 3 %, ali su one vrlo rijetke u javnoj niskonaponskoj mreži. Osim toga, kod iznenadnih promjena opterećenja ili sklopnih operacija, može doći do promjene napona izvan dozvoljenih granica ($\pm 10 \% U_n$) u trajanju od nekoliko desetaka sekundi dok automatska regulacija napona na energetskim transformatorima ne dovede vrijednost napona u dozvoljene granice.

Za primjer iz prakse prikazan na slici 3 gdje jedno postrojenje svojim radom u toku dana uzrokuje promjene napona veće od 3 % četrdeset i pet (45) puta na dan, u hrvatskim važećim propisima [3] nema definiranih dozvoljenih granica.

Fluktuacija napona u niskonaponskoj mreži može uzrokovati flikere, što je također vidljivo u primjeru na slici 3.

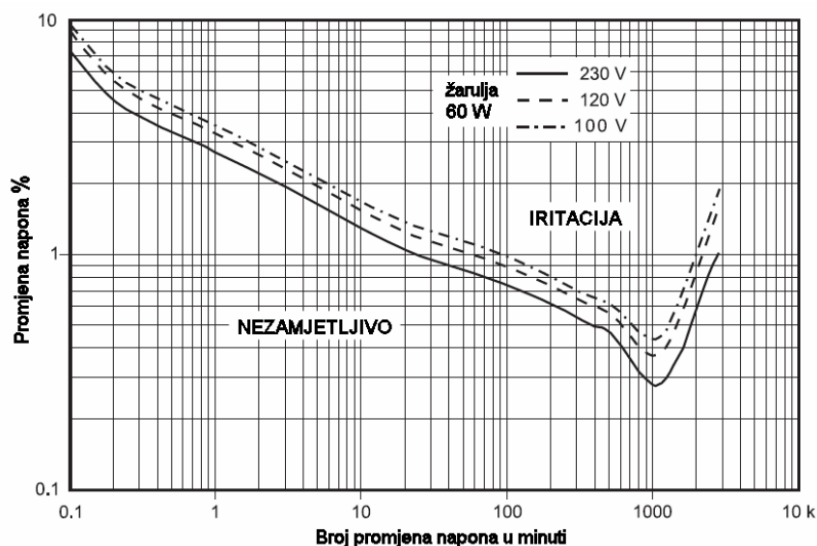
Razina flikera se mjeri prema HRN EN 61000-4-15:2012 [4] i procjenjuje prema HRN EN 61000-3-3:2103 [6]. Razlikujemo kratkotrajne i dugotrajne flikere. Kratkotrajni flikeri (eng. short term P_{st}) se odnose na 10-minutno vremensko razdoblje, dok se dugotrajni flikeri (eng. long term P_{lt}) računaju u vremenskom periodu od 2 h na temelju 12 uzastopnih vrijednosti P_{st} [5].

Slika 4 prikazuje krivulju dozvoljenih pravokutnih promjena napona u odnosu na učestalost promjena za standardnu žarulju sa žarnom niti snage 60 W za $P_{st}=1$. Ako promjene napona nisu pravokutnog oblika, razina treperenja se treba odrediti mjerenjem pomoću flikermetra ili pomoću korekcijskih faktora prema [6].



Slika 3. RVC i flikeri u toku jednog dana

Razine kompatibilnosti su prema [1] za kratkotrajni fliker $P_{st}=1$, a za dugotrajni $P_{lt}=0,8$.



Slika 4. Flicker-krivulja ($P_{st}=1$) za pravokutnu naponsku promjenu na niskonaponskoj javnoj mreži

Po HRN EN 50160:2012 [3] dozvoljena vrijednost je $P_{lt}=1$ tijekom 95 % vremena, dok za P_{st} nisu definirane vrijednosti.

Vrijednost indeksa jačine flikera u Mrežnim pravilima [4] definirana je u točki 5.3.2.3. Valni oblik napona: „(2) Vrijednosti indeksa jačine flikera uzrokovanih priključenjem proizvođača i/ili kupca na mjestu preuzimanja i/ili predaje mogu iznositi najviše:

- za kratkotrajne flikere: 0,7,
- za dugotrajne flikere: 0,5.“

4.2. Viši harmonici

Pri određivanju razine kompatibilnosti za harmonike u obzir se uzimaju dvije činjenice: povećani broj izvora harmonika i razmjerno smanjen udio trošila čisto radnih tereta (npr. grijači elementi). Iz tog se razloga očekuje povećanje razine harmonika u javnoj opskrbenj mreži sve dok se ne poduzmu efikasne mjere u kontroli izvora harmonika.

Razine kompatibilnosti harmonika u [1] odnose se na „stacionarne“ vrijednosti harmonika i dane razine su referentne i za dugotrajne i za kratkotrajne efekte. Dugotrajni efekti odnose se na termičko zagrijavanje kabela, transformatora, motora, kondenzatora. Oni su definirani na vremenskim intervalima od 10 minuta ili duže. Kratkotrajni efekti se uglavnom odnose na smetnje radu elektroničkih uređaja koji mogu biti osjetljivi na povišenu razinu harmonika u intervalima od 3 sekunde ili kraće. Tranzijenti nisu uključeni.

4.2.1. Viši harmonici definirani na vremenskim intervalima od 10 minuta ili duže

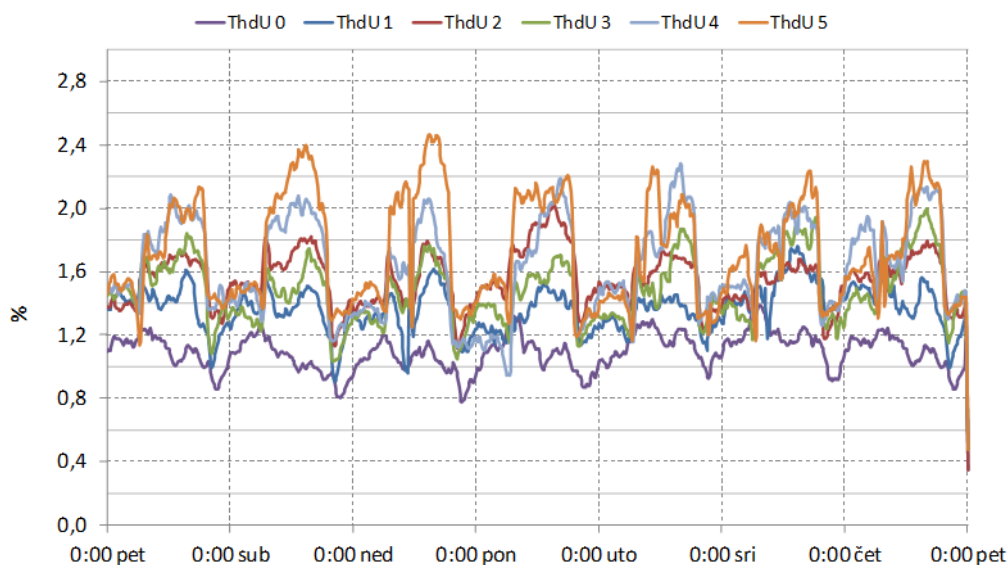
Razine kompatibilnosti prema [1] za pojedini viši naponski harmonik, a povezane s dugotrajnim efektima, dane su u tablici I. Odgovarajuća razina kompatibilnosti za ukupno harmoničko izobličenje (eng. total harmonic distortion – THD) je 8 %.

Tablica I. Razina kompatibilnosti za više harmonike u niskonaponskoj mreži prema [1]

Neparni harmonici nisu višekratnici broja 3		Neparni harmonici višekratnici broja 3*		Parni harmonici	
red harmonika h	napon harmonika %	red harmonika h	napon harmonika %	red harmonika h	napon harmonika %
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,4	6	0,5
13	3	21	0,3	8	0,5
$17 \leq h \leq 49$	$2,27 \times (17/h) - 0,27$	$21 < h \leq 45$	0,2	$10 \leq h \leq 50$	$10 \leq (10/h) + 0,25$

* Razine neparnih harmonika višekratnika broja 3 se odnose na harmonike nultog sustava. U 3-faznim mrežama bez nultog vodiča ili bez faznih tereta, vrijednosti 3. i 9. harmonika mogu biti puno manje od razina kompatibilnosti, ovisno i nesimetriji sustava.

U nastavku se daje primjer analize razine THD napona u niskonaponskoj mreži pri priključivanju pet malih ($P \leq 30$ kW) solarnih elektrana (SE) u istu niskonaponsku mrežu.



Slika 5. Porast THD-a napona uzrokovan priključkom malih SE

Na slici 5 prikazani su rezultati mjerenja THD napona na priključnom mjestu elektrana na mrežu. Mjerni su rezultati „preklopljeni“, te prikazani na jednom grafu, jer su sva mjerenja započela u isti dan u tjednu (petak). Prvo je mjerena razina THD napona sedam dana bez ijedne priključene SE (THD U0), zatim sedam dana nakon uključenja prve SE (THD U1), pa nakon uključenja druge (THD U2) i tako do pete male SE (THD U5). Rezultati pokazuju porast THD u vremenu rada malih SE. S obzirom da su doprinosi pojedinih novopriključenih malih SE po iznosu povećanja THD napona manji od 2,5 %, uvjet priključenja elektrane prema [4] je zadovoljen. Postavlja se pitanje što bi se dogodilo kada bi se pojavili zahtjevi za priključenjem dodatnih SE u istu točku mreže?

Ukupno povećanje THD-a nakon priključka svih 5 SE je skoro 1,3 %.

4.2.1. Viši harmonici definirani na vremenskim intervalima od 3 sekunde ili kraće

Ograničenje kratkotrajnih efekata harmonika se za pojedine harmonike računa pomoću korekcijskog faktora k kojeg množimo s graničnim vrijednostima za pojedini harmonika iz Tablice I. Faktor k se računa prema formuli:

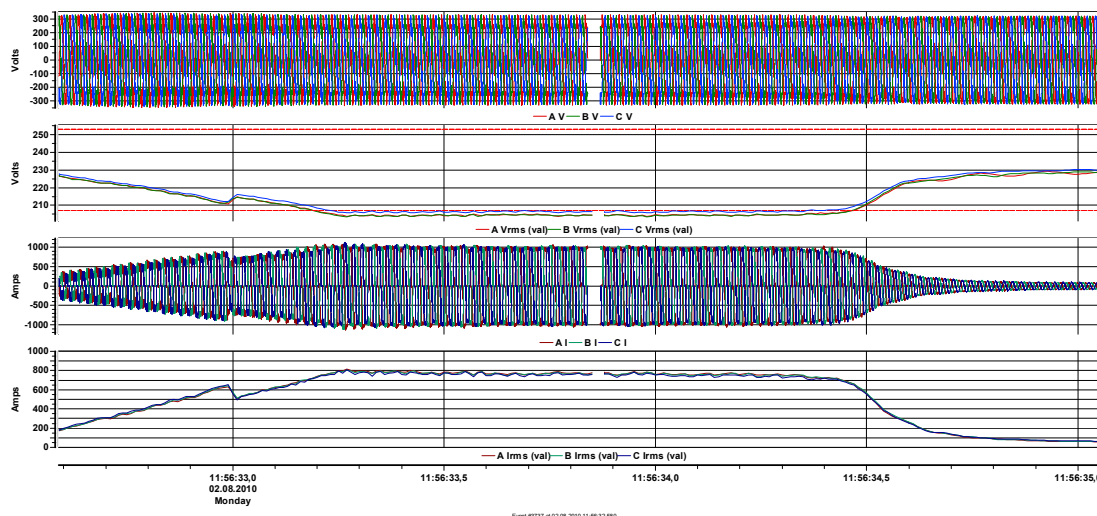
$$k = 1.3 + \frac{0.7}{45} \cdot (h - 5) \quad (1)$$

gdje je h vrijednost iz tablice I.

Razina kompatibilnosti THD za kratkotrajne efekte iznosi 11 %.

Kao primjer iz prakse vezan uz kratkotrajne efekte viših harmonika daje se puštanje u pogon velikog kompresora na području HEP-ODS-a Elektrodalmacije Split.

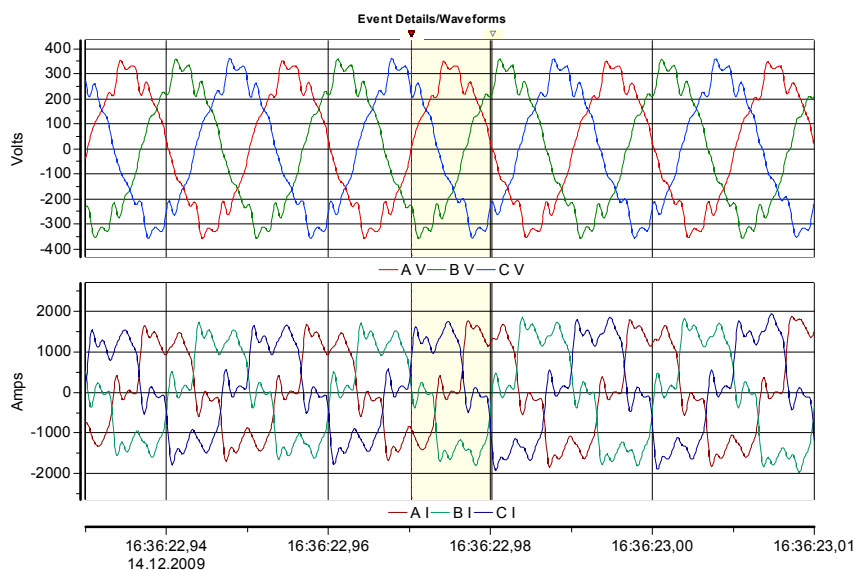
Na slici 6 prikazane su strujne i naponske prilike pri puštanju kompresora u pogon. Vidljivo je da pri startu kompresora napon tijekom 1,3 s pada ispod dozvoljenih 207 V. Tada u pogonu postrojenja dolazi do poremećaja rada elektroničkih uređaja koji su osjetljivi na povišenu razinu harmonika.



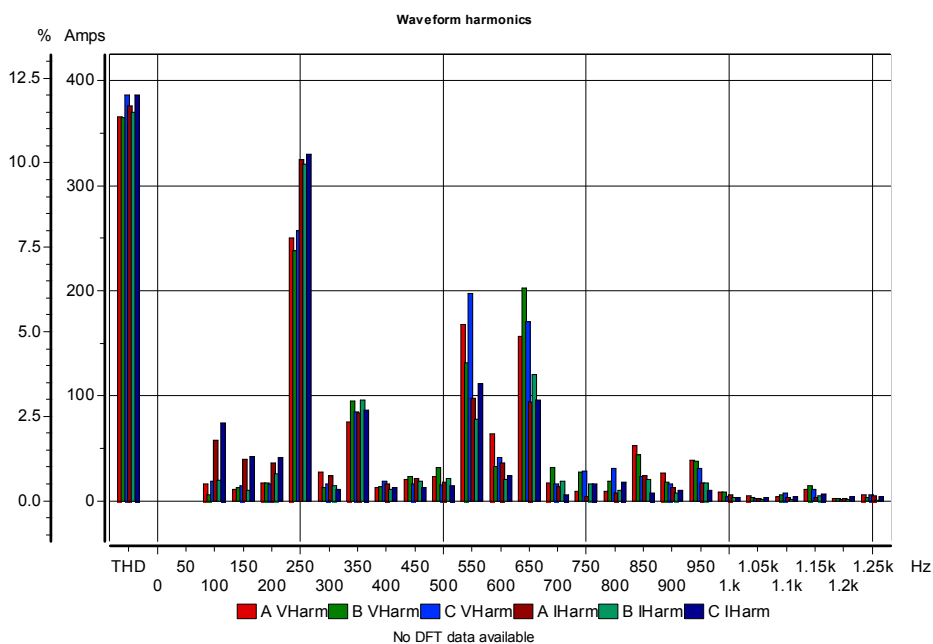
Slika 6. Prikličenje kompresora na NN mrežu

Predstavnici postrojenja, koje je izvor smetnji, obratili su se HEP-ODS-u sa zahtjevom da im se otklone smetnje, jer dolazi do zastoja proizvodnje i oštećenja opreme. Prilikom mjerenja kvalitete prema [3] svi parametri su bili u zadovoljavajućim granicama, iako je THD za kratkotrajne efekte veći od 11 %.

Na slici 7 prikazan je valni oblik struje i napona tijekom upuštanja kompresora u rad, dok je na slici 8 dana harmonička analiza tog istog valnog oblika.



Slika 7. Priključenje kompresora na nn mrežu (valni oblici)



Slika 8. Priključenje kompresora na NN mrežu (harmonička analiza)

Treba naglasiti da, za razliku od [1] u kojem se definira pojam kratkotrajnih efekata harmonika, propisi [3] i [4] se bave samo dugotrajnim efektima harmonika koji su u ovom slučaju zbog 10-minutnog usrednjavanja ispod dozvoljenih 8 %.

5. ZAKLJUČAK

U ovom članku analizirane su razine kompatibilnosti za niskofrekvencijske vođene smetnje i pojavu u javnim niskonaponskim energetskim sustavima koje su definirane u HRN EN 61000-2-2:2008 [1].

U Općim uvjetima [2] u čl. 14 je definirano da je operator sustava dužan održavati razinu kvalitete opskrbe električnom energijom, što uključuje kvalitetu napona, a sve u skladu s propisima kojima se ona uređuje. U tom smislu bi se, uz ostale „uobičajene“ propise ([3] i [4]) trebalo primjenjivati i odredbe norme

HRN EN 61000-2-2:2008, pri ograničavanju negativnog povratnog utjecaja korisnika mreže na elektroenergetsku mrežu.

Treba naglasiti da se za razliku od IEC 61000-2-2, koja definira pojam kratkotrajnih efekata harmonika, EN 50160 i Mrežna pravila bave samo dugotrajnim efektima harmonika koji su zbog 10-minutnog usrednjavanja u većini slučajeva ispod dozvoljenih 8 %.

U prilog tome ide primjer upuštanja kompresora kojim je pokazano da, iako je kvaliteta napona prema [3] bila zadovoljavajuća, korisnici mreže osjećaju poremećaj u radu svojih trošila time uzrokovan, jer je THD za kratkotrajne efekte bio veći od 11 % [1].

Analizirana je razina THD u jednoj niskonaponskoj mreži pri priključivanju pet malih SE (30 kW). Mjereno je sedam dana bez SE, zatim sedam dana nakon uključenja prve SE, pa nakon uključenja druge i tako do pete SE. S obzirom da su pojedini doprinosi novopriključenih SE po iznosu povećanja THD napona manji od spomenutih 2,5 % Mrežna pravila su zadovoljena. Moglo bi se postaviti pitanje što bi se dogodilo kada bi se pojavili novi zahtjevi za priključenjem dodatnih SE?

6. LITERATURA

- [1] HRN EN 61000-2-2:2008 „Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) – Dio 2-2: Okoliš – Razine kompatibilnosti za niskofrekvencijske vođene smetnje i dojavu u javnim niskonaponskim energetskim sustavima“
- [2] „Opći uvjeti za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom“, Narodne novine 85/2015
- [3] HRN EN 50160:2012 "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems"
- [4] „Mrežna pravila elektroenergetskog sustava", Narodne novine 36/2006
- [5] HRN EN 61000-4-15:2012 „Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) - Dio 4-15: Ispitne i mjerne tehnike - Flickermetar - Funkcionalne specifikacije i dizajn“
- [6] HRN EN 61000-3-3:2013 „Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) - Dio 3-3: Granice – Ograničenje kolebanja napona i treperenja u niskonaponskim sustavima napajanja za opremu s nazivnom strujom ≤ 16 A i koja nije predmet uvjetovanog priključka“