

## METODE ZA ODREĐIVANJE LIMITA ZA INJEKCIJU POREMEĆAJA U CILJU ODRŽANJA PLANSKIH NIVOVA IZOBLIČENJA

## METHODS FOR DETERMINING THE LIMITS FOR DISTURBANCE INJECTION IN ORDER TO MAINTAIN THE PLANNED DISTORTION LEVELS

Nikola LAKETIĆ, Avalon Partners d.o.o, Srbija  
Aleksandar TATALOVIĆ, Avalon Partners d.o.o, Srbija  
Branka KOVAČEVIĆ, Institut Nikola Tesla AD, Srbija

### KRATAK SADRŽAJ

Sa razvojem OIE i industrije, prenosne i distributivne mreže su izložene povećanoj injekciji poremećaja, kako po intenzitetu, tako i po broju tačaka injekcije. U radu su objašnjeni pojam, značaj i praktična primena planskih nivoa izobličenja koje operator sistema usvaja u cilju dugoročnog održanja željenih vrednosti parametara kvaliteta električne energije. Ukazano je na IEC i IEEE metodologiju za izračunavanje uticaja priključenja novih potrošača na kvalitet električne energije u distributivnoj mreži. Na karakterističnim primerima iz međunarodne i domaće prakse prikazane su postojeće strategije za odbranu planskih nivoa. Rad obrazlaže osnovne smernice za raspodelu kapaciteta mreže za apsorpciju poremećaja i dodelu limita za injekciju poremećaja perspektivnim potrošačima, na osnovu važećih IEC preporuka. Razmotreni su potencijalni problemi primene ovakve strategije u domaćoj praksi. Date su okvirne preporuke šta bi, u domaćoj praksi, trebalo da obuhvati procedura za priključenje novih potrošača u cilju očuvanja planskih nivoa poremećaja u distributivnu mrežu.

**Glavne reči:** kvalitet napona, injekcija poremećaja, emisioni limiti, OIE, planski nivo, apsorpcija poremećaja

### ABSTRACT

With the development of RES and industry, transmission and distribution networks are exposed to increased injection of disturbances both in terms of intensity and number of injection points. The paper explains the concept, significance and practical application of the planned distortion levels adopted by the system operator in order to maintain the desired values of the electricity quality parameters in the long term. The IEC and IEEE methodology for calculating the impact of the connection of new consumers on the quality of electricity in the distribution network was pointed out. The existing strategies for the defense of planning levels are presented on characteristic examples from international and domestic practice. The paper explains the basic guidelines for the allotment of network capacity for the disturbance absorption and the allocation of limits for the disturbance injection to prospective consumers, based on valid IEC recommendations. Potential problems of applying this strategy in domestic practice were considered. Outline recommendations were given as to what the procedure for connecting new consumers, in domestic practice, should include in order to preserve the planned levels of disturbances in the distribution network.

**Key words:** disturbance injection, disturbance limit, RES, planned level, disturbance absorption

Nikola Laketić, [nlaketic@avalon.rs](mailto:nlaketic@avalon.rs)

### 1. UVOD

Sa ubrzanim razvojem energetske elektronike i njenom sve masovnijom primenom u industrijskim pogonima, obnovljivim izvorima energije, poslovnim objektima i domaćinstvima, sve je veći broj potrošača koji u distributivnu mrežu injektuju poremećaje i pogoršavaju opštu sliku kvaliteta napona. U stalnom porastu je broj novih industrijskih pogona koji se priključuju na distributivnu mrežu, a u kojima veliku većinu potrošača čine moderni regulisani pogoni koji se napajaju preko uređaja energetske elektronike.

Pored toga, klasična koncepcija distributivnih mreža biva zamenjena novim konceptima baziranim na pametnim mrežama (engl. *Smart Grid*), masovnoj primeni distribuiranih izvora energije (engl. DR – *Distributed Resources*) kao i uređajima za skladištenje energije. Većina distribuiranih izvora energije bazirana je na primeni energetske elektronike i za distributivnu mrežu takođe predstavlja izvor različitih poremećaja.

Sa jedne strane, u toku je praktično revolucija po osnovu karaktera i tehnologije potrošača, a sa druge reakcija institucija za standardizaciju kao i operatora mreže na ove promene je prilično spora. Postojeći međunarodni standardi, pa i pravila o radu, su nedorečeni u pogledu alata za ograničenje uticaja novih potrošača na kvalitet napona. Zbog toga se u praksi otvara prostor za neadekvatnu primenu standarda i tehničkih preporuka, kao za prebrzo trošenje kapaciteta mreže za apsorpciju poremećaja.

Navedeni trendovi će u narednom periodu biti sve izraženiji, te će, u odsustvu adekvatne i blagovremene reakcije operatora, verovatno dovesti do pojave problema u vezi sa kvalitetom napona i povećanjem gubitaka, koji će se vremenom dodatno zaoštravati.

Cilj rada je da upozna što veći broj inženjera sa postojećom međunarodnom i domaćom praksom u pogledu ograničenja emisije poremećaja, postojećim standardima i tehničkim preporukama. Sistematizovan je pristup proračunu emisije poremećaja prema IEC preporukama, i to od pojmova elektromagnetne kompatibilnosti i imunosti, preko kapaciteta mreže za apsorpciju poremećaja do planskih nivoa poremećaja i emisioh limita. Sa druge strane ovim radom je dat pregled postojećih odredbi Pravila o radu u pogledu emisioh limita, ukazano na: nedostatke odredbi, uočena nepravilna tumačenja IEC/EN standarda te Pravila o radu u domaćoj praksi. Na kraju, argumentovana je potreba i predloženi su pravci za inoviranje članova pravila o radu koja se tiču ograničenja emisije poremećaja.

## 2. PROBLEMATIKA OGRANIČENJA EMISIJE POREMEĆAJA

Već više od dve decenije razvijaju se metodologije i standardi (IEC i IEEE) koji se bave oblašću elektromagnetne kompatibilnosti i kvaliteta napona, a koji su trenutno široko prihvaćeni i primenjivani u velikom broju zemalja. Operatori sistema se naslanjaju na ove standarde i tehničke preporuke, kako bi očuvali kvalitet napona u mreži, tj. sveli emisiju poremećaja potrošača na prihvatljivu meru. U cilju istine mora se istaći da su međunarodni standardi za kvalitet napona i ograničenje emisije poremećaja dosta teško i sporo pronalazili put u domaća pravila o radu operatora sistema. U ovom trenutku *Pravila o radu distributivnog sistema* (iz 2017. godine) [1] nemaju efikasne odredbe u pogledu određivanja dozvoljene emisije poremećaja od strane potrošača priključenih na distributivni sistem. Operator prenosnog sistema se tek nedavno, sa poslednjom izmenom *Pravila za priključenje objekata na prenosni sistem* (novembar 2023.) [1], konačno usaglasio sa IEC standardima, te pravilno i pravično postavio metodologiju priključenja novih potrošača u cilju očuvanja kvaliteta napona.

Zadatak ograničenja emisije poremećaja je veoma osetljiv, tj. važno je pronaći odgovarajuću meru između birokratije i prakse. Sa jedne strane potrebno je sačuvati nivo kvaliteta napona u mreži, a sa druge ne treba ni otežati priključenje novih potrošača i usporiti razvoj privrede.

Da bi bilo jasnije zašto je problem određivanja limita za injekciju postao tako veliki, mora se istaći da ne postoje IEC standardi u kojima se u opštem slučaju propisuje dozvoljeni limit injekcije za neki poremećaj. IEC standardima su definisane metode za procenu uticaja potrošača na kvalitet napona, kao i za proračun emisioh limita pojedinačnih potrošača u konkretnoj tački priključenja (IEC 61000-3-6 **Error! Reference source not found.**, IEC 61000-3-7 **Error! Reference source not found.** i IEC 61000-3-13 [4]), a na osnovu usvojenih planskih nivoa poremećaja. Takođe, navedeni IEC standardi **Error! Reference source not found.**-[4] ne propisuju n i konkretne vrednosti za planske nivoe poremećaja, već daju indikativne vrednosti. Svakom operateru sistema ostavljeno je da samostalno usvoji one vrednosti koje najviše odgovaraju situaciji na terenu. Drugim rečima, dok je IEC dao samo preporuke i metodologiju, operatori mreže su prepušteni sami sebi i sopstvenom iskustvu da usvoje relativno kompleksnu metodologiju, odrede planske nivoe i limite za injekciju.

## 3. ELEKTROMAGNETSKA KOMPATIBILNOST

Elektroenergetske mreže niskog, srednjeg i visokog napona predstavljaju konkretno elektromagnetno okruženje u kome su poremećaji prisutni zbog injekcije od strane korisnika mreže - potrošača i proizvođača, kao i usled kvarova i drugih promena u mreži. Nesmetano i ispravno funkcionisanje opreme jedan je od najvažnijih razloga za održavanje kvaliteta napona u mreži u određenim granicama.

U tom cilju su u IEC standardima definisani **pojmovi kompatibilnosti, imunosti i dozvoljeni nivoi emisije poremećaja** **Error! Reference source not found.**-[4]. Prema standardu, **elektromagnetska kompatibilnost** predstavlja, sa jedne strane sposobnost opreme da funkcioniše na zadovoljavajući način u prisustvu različitih poremećaja u svom elektromagnetnom (u daljem tekstu: EM) okruženju, a sa druge sposobnost iste da funkcioniše bez unošenja nepodnošljivih smetnji u to isto okruženje.

Oprema poseduje određeni **nivo imunosti** na poremećaje koji se mogu pojaviti u EM okruženju. Nivo imunosti je najveći nivo određenog poremećaja pri kome *oprema i dalje zadržava sposobnost da radi* sa deklarisanim stepenom performansi. U suštini, nivo imunosti je određen konstrukcijom opreme, deklarise ga i verifikuje proizvođač opreme. Odgovornost korisnika mreže je da naruči opremu koja ima zadovoljavajući nivo imunosti na EM smetnje. U praksi se često javljaju slučajevi gde korisnik mreže ne zna koji je nivo poremećaja u mreži u tački priključenja, niti ima informacije o dozvoljenoj emisiji poremećaja, zatim poručuje opremu bez ikakvih posebnih zahteva u pogledu imunosti ili limita za injekciju, a onda po ugradnji oprema ne funkcioniše ispravno ili unosi (pre)velike smetnje u mrežu.

U odnosu na nivo imunosti opreme, usvaja se nivo kompatibilnosti koji treba da bude dovoljno niži. **Nivo kompatibilnosti** predstavlja referentni nivo poremećaja u kvalitetu napona u navedenom okruženju, pri kome *statistički najveći broj opreme (preko 95%) funkcioniše bez problema*. Drugim rečima nivo poremećaja u mreži je niži od nivoa imunosti opreme i oprema bi trebalo da funkcioniše bez problema u najvećem broju slučajeva. Nivoi kompatibilnosti za opremu u distributivnim i industrijskim mrežama su definisani standardima IEC 61000-2-12 **Error! Reference source not found.**, IEC 61000-2-2 **Error! Reference source not found.** i IEC 61000-2-4 [7].

#### 4. KAPACITET MREŽE ZA APSORPCIJU POREMEĆAJA

Distributivni i prenosni sistem poseduju konačan kapacitet za apsorpciju poremećaja. **Za datu topologiju mreže i parametre postojećih elemenata mreže (transformatori, vodovi, snaga kratkog spoja ...) mreža može apsorbovati samo konačan iznos poremećaja od postojećih i perspektivnih korisnika, a da ne dođe do prekoračenja određenog nivoa kvaliteta napona.** Povećanje kapaciteta sistema za apsorpciju poremećaja u praksi zahteva velike investicije (npr. izgradnja novih i povećanje snage postojećih transformatora i vodova). Stoga postojeći kapacitet za apsorpciju poremećaja treba čuvati i sprečiti scenarije u kojima jedan korisnik (ili par njih) iskoristi kompletni kapacitet mreže u tački priključenja. U suprotnom, **operator mreže će u doglednoj budućnosti biti primoran da samostalno investira ili u povećanje kapaciteta mreže za apsorpciju poremećaja ili u mere za smanjenje uticaja injektiranih poremećaja od strane postojećih korisnika**, kako bi omogućio priključenje novih korisnika i razvoj mreže. Time se trošak limitiranja injekcije poremećaja prebacuje sa korisnika koji su već dobili dozvolu za priključenje na operatora sistema i/ili buduće korisnike, što nije ispravno.

Nivo emisije poremećaja od strane proizvođača el. energije limitiran je zasebnim standardima (IEC 61400-21-1:2019 za vetrogeneratore i IEEE 1547 za sve distribuirane izvore), te će u daljem tekstu pažnja biti usmerena na ograničenje emisije od strane potrošača, imajući pri tome u vidu da potrošači i proizvođači dele kapacitet sistema za apsorpciju poremećaja.

Operator sistema bi trebalo da obezbedi **ravnopravnu raspodelu kapaciteta za apsorpciju poremećaja** svim potrošačima, kao i da ostavi jedan deo kapaciteta u rezervi za slučaj priključenja novih i povećanja snage postojećih potrošača. Raspodelu kapaciteta operator vrši tako što potrošačima dodeljuje pojedinačne limite za injekciju poremećaja srazmerno njihovim snagama i time sprečava neke od potrošača da zauzmu nesrazmerno veliki deo ukupnog kapaciteta mreže za apsorpciju poremećaja.

#### 5. PLANSKI NIVOI

Planski nivoi su teoretski nivoi poremećaja koji bi se dostigli kada bi svi postojeći i perspektivni potrošači u datoj konfiguraciji mreže emitovali poremećaje u maksimalno dozvoljenom iznosu. To je nivo koji operator sistema **planira da se u praksi nikada ne dostigne**, jer bi **dostizanje planskog nivoa značilo da više nema slobodnog kapaciteta za apsorpciju poremećaja**. U tom hipotetičkom slučaju, priključenje novih potrošača bi bilo otežano, ako ne i uslovljeno nultom emisijom poremećaja.

Sam termin „planski nivo“ je prilično nesrećno odabran. U praksi se sreće tumačenje ove veličine kao da je to nivo poremećaja koji Operator planira da dostigne, tj. da je to slobodni prostor za dozvoljeno povećanje nivoa poremećaja strane pojedinačnih potrošača dok se planski nivo poremećaja ne dostigne! Ništa dalje od istine, tj. upravo suprotno – to je **veličina za koju se planira da se nikada i ni u kom slučaju ne dostigne!**

Planski nivo je **veličina za internu upotrebu** operatora sistema i nema pravnu težinu (za razliku od limita za emisiju). To je referentna vrednost datog poremećaja koja se **koristi u procesu određivanja pojedinačnih limita** za dozvoljenu emisiju poremećaja od strane konkretnog potrošača. Stoga je **usvajanje planskog nivoa besmisleno bez usvajanja metodologije za ograničenje emisije poremećaja**.

Planske nivoe poremećaja je u praksi potrebno pažljivo odrediti. Sa jedne strane ne smeju biti postavljeni previsoko, da ne bi došlo do prebrzog prljanja mreže, povećanja gubitaka, pojave rezonansi, itd...; ali ni prenisko, kako se ne bi usporio razvoj privrede. Treba uzeti u obzir i razvoj mreže, čime se vremenom povećava kapacitet mreže za apsorpciju poremećaja, te se time olakšava odbrana planskih nivoa.

U IEC tehničkim preporukama **Error! Reference source not found.-Error! Reference source not found.** date su samo indikativne vrednosti za planske nivoe za srednji i visoki napon. Vrednosti planskih nivoa koje usvajaju operatori sistema razlikuju se od slučaja do slučaja i **ne moraju nužno da budu jednake indikativnim vrednostima iz IEC preporuka**, već bi trebalo da odgovaraju konkretnoj situaciji i da obezbede optimalan rad prenosne i distributivne mreže u uslovima aktuelne i perspektivne injekcije poremećaja od strane potrošača.

Primećeno je u domaćoj praksi da se za planske nivoe poremećaja usvajaju indikativne vrednosti iz IEC preporuka, bez detaljnije analize konkretne situacije. S obzirom da je konkretna vrednost planskog nivoa određenog poremećaja od strateške važnosti za budućnost mreže, kako sa stanovišta pouzdanosti eksploatacije, nivoa gubitaka, tako i sa stanovišta budućih investicija, izbor ove vrednosti bi morao biti predmet detaljne i sveobuhvatne analize postojećeg i perspektivnog stanja konkretne mreže.

## 6. LIMITI ZA INJEKCIJU POREMEĆAJA

Usvajanjem vrednosti za planske nivoe poremećaja za svaki naponski nivo, implicitno se određuje koliki je deo kapaciteta mreže za apsorpciju poremećaja dodeljen potrošačima na svakom od naponskih nivoa. Ovime je određeno i koliki je dozvoljeni ukupni istovremeni nivo emisije svih postojećih i perspektivnih potrošača. Tek na osnovu toga, operator potrošačima može raspodeliti pojedinačne limite za emisiju poremećaja, a u funkciji relativne snage konkretnog potrošača u odnosu na snagu mreže **Error! Reference source not found.-Error! Reference source not found.** Jasno je da ovakvim pristupom **dozvoljeni nivo emisije poremećaja pojedinačnog potrošača predstavlja samo jedan manji deo kapaciteta mreže** i jedan potrošač ne može (ne sme) da iskoristi kompletan kapacitet mreže i dovede poremećaj do planske vrednosti. Šta više, čak i kada bi svi potrošači emitovali dozvoljene poremećaje ne bi došlo do dostizanja planske vrednosti, zbog stohastike i međusobnog delimičnog poništavanja uticaja. **Pravilnom primenom emisionih limita, sa velikom verovatnoćom može se smatrati da planski nivo poremećaja neće biti dostignut.**

U **tehničkim izveštajima** [3]-[5] date su smernice o metodama koji se mogu koristiti kao osnov za određivanje limita prilikom priključenja instalacija koje injektuju smetnje u SN i VN mrežu (više harmonike i interharmonike, nesimetriju, fliker napona). Osnovni cilj ovih tehničkih izveštaja je da pruži uputstva operatorima sistema o inženjerskim praksama kojima se će odrediti dozvoljeni limiti za injekciju poremećaja pojedinih potrošača, a da pri tome ukupni nivo poremećaja u mreži ostane u zadovoljavajućim granicama. Time se olakšava pružanje adekvatnog kvaliteta usluga za sve povezane kupce. Ovi tehnički izveštaji bave se u suštini alokacijom kapaciteta sistema da apsorbuje poremećaje, ne bave se ublažavanjem poremećaja ili povećanjem kapaciteta sistema.

Zbog svega napred navedenog, limit za dozvoljenu emisiju pojedinačnog poremećaja ima pravnu težinu, koju dobija kroz Pravila o radu ili Pravila o priključenju.

## 7. PRIKLJUČENJE NOVIH POTROŠAČA

Procedura za izdavanje dozvole za priključenje trebalo bi da obuhvati i **procenu uticaja novog potrošača na kvalitet napona i nivo poremećaja u mreži**. Ova procedura trebalo bi da obezbedi da se unapred sagleda u kojoj meri novi potrošač negativno utiče na kvalitet napona i da se u skladu sa tim potrošaču odrede limiti za emisiju poremećaja kako bi se taj uticaj ograničio na prihvatljivu i razumnu meru. U toku procesa izdavanja dozvole za priključenje, često nisu poznati svi relevantni podaci o postrojenju potrošača, te je navedenu procenu potrebno učiniti uz usvajanje određenih razumnih pretpostavki i aproksimacija.

U IEC tehničkim izveštajima **Error! Reference source not found.-Error! Reference source not found.** preporučeno je da se navedena procena uticaja potrošača na nivo poremećaja podeli u tri koraka. Za svaki od koraka definisan je inicijalni opseg snaga na koji se odnosi, kao i uslovi koje potrošač mora da zadovolji da bi u okviru tog koraka dobio dozvolu za priključenje. Potrošač koji ne zadovoljava uslove za priključenje u tekućem

koraku, prebacuje se u sledeći korak odlučivanja. Opseg potrošača za određeni korak odlučivanja određuje se na osnovu naponskog nivoa na koji se potrošač priključuje i ukupne snage potrošača ili ukupne ponderisane snage opreme koja injektuje specifičan poremećaj.

Ovakva podela koraka pretpostavlja da se nivo detalja koji se zahteva od samih potrošača uskladi sa stepenom rizika da će navedeni potrošač značajno uticati na nivo poremećaja u mreži. U skadu sa tim, u prvom koraku omogućava se priključenje potrošača manje snage po pojednostavljenim uslovima, bez detaljne procene nivoa poremećaja koji injektuje u mrežu. U prvom koraku kao kriterijumi se najčešće koriste ukupna snaga potrošača i ukupna snaga opreme koja injektuje specifičan poremećaj.

U drugom koraku, potrošaču se dodeljuje jedan deo kapaciteta mreže za apsorpciju poremećaja, a prema odobroj snazi potrošača. Ovde se mora uzeti u obzir i postojeći nivo poremećaja u mreži, odnosno koliko je trenutno zauzeće kapaciteta sistema od strane postojećih korisnika.

Za potrošače sa većim nivoom emisije poremećaja limiti za emisiju dodeljeni u okviru drugog koraka mogu biti previše restriktivni. U ovakvim specifičnim slučajevima, u trećem koraku mogu se privremeno dodeliti i veći limiti nakon detaljnog razmatranja postojećeg stanja u mreži i stepena iskorišćenosti dodeljenog kapaciteta za apsorpciju od strane postojećih potrošača.

Vidi se da je **ovakva metodologija dovoljno fleksibilna i za priključenje najvećih potrošača**. Ona zahteva značajne promene u organizaciji rada operatora sistema i angažovanje dodatnih inženjera i pravnika, a možda i formiranje novog odseka.

## 8. METODA KONTROLISANJA EMISIJE

Da bi operator obavljao svoju funkciju održavanja parametara kvaliteta napona u distributivnoj mreži na zadovoljavajućem nivou, potrebno je da (1) **potrošačima dodeli pojedinačne dozvoljene nivoe emisije** prema njihovoj odobroj snazi i (2) **vrši kontrolu** kako nivoa emisije od strane pojedinih potrošača, tako i ukupnog nivoa poremećaja u mreži.

Dozvoljeni nivoi emisije pojedinačnih poremećaja, kao i mehanizmi za njihovu kontrolu, trebalo bi da uđu u ugovor o isporuci električne energije ili u neki opštiji dokument na koji bi se ugovori pozivali. Ovakva kontrola zahtevala bi merenja parametara kvaliteta napona i struje modernim prenosnim i stacionarnim mrežnim analizatorima u više tačaka mreže. Ovakve kontrole, prema iskustvima drugih operatera, vrše se planski u određenim intervalima, a naročito u slučaju prijave problema. S obzirom da su emisijski limiti deo ugovora o isporuci električne energije, a da su merenja izvršena adekvatnim mrežnim analizatorima, operatoru sistema je relativno jednostavno da **potrošaču izda naređenje za smanjenje emisije**. U nekim distributivnim preduzećima u svetu, postoji praksa da se ovakvi potrošači ozbiljno finansijski sankcionišu ili čak isključe sa mreže, dok ne dovedu svoju emisiju u okvire ugovorenog.

Sa druge strane, **bilo bi korektno da se budući investitori obaveste koji je postojeći nivo kvaliteta napona u tački budućeg priključenja, kao i dozvoljeni nivo emisije**, kako bi se blagovremeno isprojektovala oprema za kontrolu emisije.

U ovom trenutku poseban problem predstavlja i činjenica da velikom broju postojećih potrošača nije dodeljen nikakav limit za emisiju poremećaja. To je i tehničko i pravno pitanje - kakve su mogućnosti da se njima naknadno dodele limiti za emisiju.

## 9. MEĐUNARODNA PRAKSA

U međunarodnoj praksi među regulatornim agencijama i među operatorima sistema široko je prihvaćen opšti pristup iz IEC tehničkih izveštaja **Error! Reference source not found.-Error! Reference source not found.**. Pristup IEC u pogledu priključenja instalacija potrošača sa fluktuacijom snage (potrošača koji utiču na fliker) na mrežu prihvatio je i IEEE izdavanjem svojih preporuka IEEE Std. 1453.1-2022 [8] u kojima preuzima **Error! Reference source not found.** U velikom broju slučajeva na nacionalnom i regionalnom nivou donete su inženjerske preporuke i pravila za priključenje u kojima su definisani planski nivoi i u kojima je osnovna metodologija iz IEC za priključenje novih potrošača razrađena i prilagođena konkretnoj situaciji.

U regionu koji čine Nemačka, Austrija, Švajcarska i Češka planski nivoi i procedura za procenu uticaja i priključenje novih potrošača i obnovljivih izvora dati su u dokumentu D-A-CH-CZ - *Technische Regeln zur*

*Beurteilung von Netzrück-wirkungen* [10]. Iako se prvobitno odnosio na niskonaponske i sredjenaponske mreže, u najnovijoj verziji je delokrug proširen i obuhvata sve naponske nivoe od niskog do visokog napona [11][12]. Opisana procedura sastoji se takođe iz više koraka. U prvim koracima dopušta se priključenje manjih potrošača ukoliko zadovoljavaju određene pojednostavljene uslove u pogledu snage potrošača, snage kratkog spoja mreže i eventualno snage opreme koja injektuje specifičan poremećaj. Za potrošače koji nisu dobili saglasnost za priključenje u početnim koracima, kao i za veće potrošače, zahteva se da ispunje propisane uslove u pogledu emisije poremećaja da bi dobili saglasnost za priključenje na mrežu.

U Velikoj Britaniji i Irskoj je Asocijacija energetskih mreža (eng. *Energy Networks Association* - ENA) koja uključuje operatore prenosnih i distributivnih elektroenergetskih i gasnih mreža donela nove verzije inženjerskih preporuka G5 [9] - za više harmonike i P28 [13] - za fliker napona (dok za nesimetriju još uvek važi prvo izdanje P29 [14]). U njima su definisani planski nivoi i nivoi kompatibilnosti za sve naponske nivoe i detaljno je opisana procedura za procenu uticaja novih potrošača i davanje saglasnosti za priključenje. Procedura je zasnovana na opštem pristupu koji je dat u IEC tehničkim izveštajima, s tim što je dodatno razrađena i prilagođena lokalnoj situaciji i postojećoj praksi. Procena uticaja vrši se u više koraka na osnovu snage potrošača (i snage opreme koja injektuje određeni poremećaj), snage kratkog spoja mreže i postojećeg nivoa poremećaja u mreži. Operator sistema od potrošača može zahtevati sprovođenje mera za smanjenje injekcije poremećaja ukoliko se pokaže da bi njihov nivo bio neprihvatljiv nakon priključenja potrošača.

U Australiji i na Novom Zelandu tehnički izveštaji **Error! Reference source not found.-Error! Reference source not found.** dobili su status nacionalnog standarda. Međutim javile su se izvesne teškoće u njihovoj primeni koje su pokazale da su neke procedure u pomenutim tehničkim izveštajima date sa manje detalja i da ih je potrebno konkretizovati i razraditi, kao i da je potrebno predložena rešenja sa rasuđivanjem prilagoditi i primeniti na konkretni slučaj[15].

Kao alternativa IEC 61000-3-6, za limitiranje emisije viših harmonika u anglosaksonskim zemljama koristi se standard IEEE 519 [16]. Ovaj standard limitira i više harmonike napona u mreži, za šta je odgovoran operator i injekciju viših harmonika struje od strane pojedinih potrošača. Injekcija viših harmonika struje od strane pojedinačnih potrošača limitirana je u zavisnosti od naponskog nivoa i od odnosa snage kratkog spoja i odobrene snage potrošača i restriktivnija je za veće potrošače.

## 10. DOMAĆA PRAKSA

### 10.1 Emisioni limiti za potrošače i proizvođače

U važećim Pravilima o radu distributivnog sistema **Error! Reference source not found.** koja su usvojena 2017. godine, kvalitet napona predstavlja jednu od **mera kvaliteta isporučene električne energije** (član 2.1.1 i 2.1.3 Pravila). Limiti za parametre kvaliteta napona (članovi 2.2.4-2.2.6) koriste se isključivo za ocenu kvaliteta proizvoda koji operator sistema isporučuje krajnjim potrošačima. Limiti u gore pomenutim članovima Pravila (THDU<8%, Ki/Kd<2%, Plt<1) su preuzeti iz standarda SRPS EN50160 [17]. Standard EN50160 je napravljen imajući u vidu, između ostalog, i zaštitu najšireg broja operatora sistema širom Evrope od neosnovanih zahteva potrošača. U standard su utkani mehanizmi za maksimalnu zaštitu operatora, kao što su: 95% interval poverenja, vremenska agregacija na 10 minuta, nerazumno visoki limiti za poremećaj (npr 8% za THDU). Ovakvi mehanizmi filtriranja podataka i nerealno visoki limiti omogućili su da se evrpski operatori saglase sa usvajanjem EN50160. **Stoga je važno da se ovi limiti koriste isključivo za ono za šta su usvojeni (ocena kvaliteta isporučene električne energije), a nikako kao planski nivoi kvaliteta ili za ocenu emisije poremećaja, kako se to ponekad događa u domaćoj praksi.**

U Pravilima o radu [1], članom **4.5 Uticaj objekta koji se priključuje na kvalitet napona**, dati su uslovi za priključenje potrošača koji se tiču emisije poremećaja, koje su u praksi pokazale tri osnovna nedostatka:

**4.5.2 Objekat kupca ne sme prouzrokovati izobličenje talasnog oblika napona, kojim bi se prekoračile srednje efektivne vrednosti za svaki pojedinačni harmonik i THD napona koje su navedene u tački 2.2.4 ovih Pravila. Način kontrole i merenja talasnog oblika napona je opisano u Poglavlju 2.**

**4.5.3 Objekat kupca ne sme prouzrokovati nesimetriju napona iznad granične vrednosti koja je definisana u tački 2.2.6 ovih Pravila. Simetričnost faznog napona se utvrđuje merenjem opisanim u Poglavlju 2, tačka 2.2.6.**

**4.5.4 Koeficijent jačine dugotrajnog flikera uzrokovanog od strane objekta kupca priključenog na distributivni sistem treba da bude manji od 1.**

Prva primedba na ove članove je da oni samo implicitno ograničavaju emisiju poremećaja, a ne eksplicitno kako je to definisano IEC preporukama **Error! Reference source not found.-Error! Reference source not found.**, što Operatoru otežava ili onemogućava merenje emisije konkretnog potrošača.

Druga primedba se odnosi činjenicu da, sa ovako definisanim limitima, dozvoljeni nivo emisije poremećaja od strane pojedinačnog potrošača je izuzetno visok. Svakom pojedinačnom potrošaču koji se priključuje na mrežu, bez obzira na odobrenu snagu, dozvoljeno je da ukupna superpozicija njegove emisije i postojećeg nivoa poremećaja dostigne granice koje se primenjuju isključivo na kvalitet isporučene energije od strane Operatora (npr. THDu=8%)! Jasno je da se ovom odredbom bitno ograničava manevarski prostor Operatoru da upravlja kvalitetom isporučene energije, jer je taj prostor prepušten na slobodnu emisiju potrošačima.

Treća primedba se odnosi na činjenicu da primenom tačaka 4.5.2-4.5.4 Pravila, potrošačima je onemogućen ravnopravni pristup distributivnom sistemu, jer pojedinačni implicitni limiti emisije zavise od redosleda priključenja! To u praksi znači da potrošač koji se prvi priključio može slobodno iskoristiti nesrazmeran deo kapaciteta mreže za apsorpciju poremećaja i time značajno otežati/poskupeti pristup distributivnom sistemu za svakog sledećeg potrošača.

Istine radi, važeća Pravila o radu [1] imaju drugačiji tretman kontrole emisija poremećaja od strane elektrana priključenih na distributivni sistem. Članom 4.9.2 definišu se dozvoljeni nivoi emisije poremećaja (struje viših harmonika, flikeri) u funkciji relativne snage predmetne elektrane. Ovakav pristup je verovatno posledica očekivanja, u vreme pisanja pravila 2017- godine, da će OIE predstavljati značajan izvor poremećaja.

I pored toga što i elektrane i potrošači mogu predstavljati izvor poremećaja i dele isti kapacitet mreže za apsorpciju poremećaja, važeća Pravila o radu [1], **problematiku ograničenja emisije poremećaja posmatraju odvojeno za elektrane (tačka 4.9.2) i ostale potrošače (tačka 4.5)**. Iako ne moraju važiti isti kriterijumi pri dodeli emisionih limita za potrošače i za proizvođače, taj postupak bi trebalo koordinirati za sve korisnike koji se priključuju u istoj tački. Ovu činjenicu je prepoznao D-A-CH-CZ *Technische Regeln zur Beurteilung von Netzrückwirkungen* [10] te raspodelu kapaciteta mreže za apsorpciju poremećaja vrši uzimajući u obzir zajednički uticaj i potrošača i proizvođača.

Ono što deluje alarmantno, to je da je u međuvremenu operator sprečen da potrošačima sa modernim proizvodnim tehnologijama koji su se priključivali od 2017. do danas dodeli adekvatne limite srazmerno njihovoj snazi. Zbog toga je došlo do stihijskog zauzeća kapaciteta mreže za apsorpciju poremećaja od strane potrošača, te primetnog povećanja izobličenja napona u nekim tačkama distributivne mreže - pogotovo u industrijskim zonama sa velikom gustinom nelinearnih potrošača i solarnih elektrana.

## 10.2 Planski nivo poremećaja i nivo kvaliteta isporučene električne energije

U domaćoj praksi se neretko događa da Operator odbacuje pritužbu na kvalitet napona u mreži sve dok je, na primer THDu manji od 8% - što je ispravno, ali pri tome **ne preduzima bilo kakve aktivnosti na ograničenju nivoa poremećaja u mreži** – što mislimo da je pogrešno. Ovaj pristup je posledica nedorečenosti važećih Pravila o radu, kojim su Operatoru vezane ruke - kako je to već navedeno, usled čega se problemu dozvoljava da nekontrolisano raste.

**Limiti iz SRPS EN50160** i članova 2.2.4-2.2.6 Pravila o radu (npr THDu=8%), su globalni limiti za ocenu kvaliteta isporučene energije i **predstavljaju krajnje granice prihvatljivosti u pogledu kvaliteta napona koji operator isporučuje potrošačima** na koje kupac nema pravo da se žali, a nikako željene vrednosti parametara kvaliteta napona u mreži. Postoji suštinska razlika između limita za kvalitet isporučene energije i planskih nivoa poremećaja. **Planski nivoi poremećaja su onaj parametar koji treba koristiti za realnu ocenu stanja kvaliteta napona u mreži, planiranje razvoja mreže, kao i za određivanje dozvoljene emisije poremećaja od strane potrošača.** Limiti za kvalitet isporučene energije su apsolutno neodgovarajući za ocenjivanje injekcije poremećaja potrošača, kao ni za ocenu stanja kvaliteta napona u mreži, niti je dozvoljeno da korisnici i približno zaprljaju mrežu do tih granica!

Zbog svega navedenog važno je da operator usvoji planske nivoove poremećaja, kao i metode za dodelu pojedinačnih limita dozvoljene emisije, kako bi dobio alate za efikasno upravljanje kvalitetom napona u mreži.

Ovakav pristup vidljiv je i u **završnom izveštaju CIGRE radne grupe C4.07 Indeksi i ciljevima kvaliteta električne energije** [19] koji jasno razlikuje dve grupe indeksa: (1) indekse za planiranje i (2) indekse za

karakteristike napona. Dok indeksi iz druge grupe predstavljaju vrednosti koje operator garantuje kupcu, indeksi iz prve grupe su vrednosti koje operator koristi u svrhu planiranja i koordinisanja limita za emisiju poremećaja od strane pojedinih potrošača.

Na osnovu svega navedenog, bilo bi razumno da se u sledećoj reviziji Pravila o radu izvrše sledeća unapređenja:

- (1) **usvoje planski nivoi poremećaja**, koji neće imati nikakve veze sa EN50160, već će biti dovoljno manji od nivoa kompatibilnosti opreme na datom naponskom nivou, a u koordinaciji sa planskim nivoima poremećaja na višim naponskim nivoima. Zbog koordinacije sa planskim nivoom THD<sub>U</sub> za 110 kV mreže, koji iznosi 3%, kao i **zbog minimizacije gubitaka** u distributivnoj mreži, smatramo da planske nivoe za THD<sub>U</sub> ne bi trebalo da se postave iznad 3,5% za SN mreže, odnosno 4% za NN mreže.
- (2) **Usvoje emisioni limiti za svakog pojedinačnog (većeg) potrošača** u funkciji relativne snage datog potrošača u odnosu na snagu mreže, u skladu sa IEC 61000-3-6, 61000-3-7, 61000-3-13.
- (3) Omogući Operatoru da **sankcioniše potrošača** čija emisija poremećaja prevazilazi dodeljene emisione limite, kao i da potrošaču naloži sprovođenje korekcionih mera.

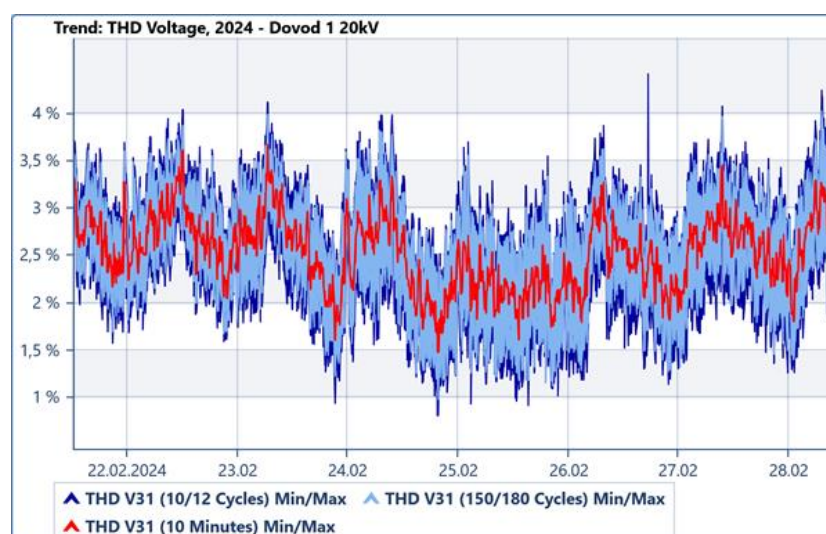
Kao priprema za inoviranje Pravila o radu, bilo bi korisno da se izvrše sveobuhvatna terenska merenja kvaliteta napona na kompletnom distributivnom konzumu, koja bi utvrdila postojeće stanje i predstavljala osnovu za određivanje planskih nivoa kvaliteta napona.

## 11. PRAKTIČNI PRIMER IZ DOMAĆE PRAKSE

Za potrebe ovog rada predstavljamo jednostavan primer iz industrijske zone u blizini Beograda, gde se veći broj fabrika međunarodnih korporacija snabdeva električnom energijom sa distributivnog transformatora 110/20 kV.

THD napona u 20 kV distributivnoj mreži, usled rada postojećih fabrika i solarnih elektrana, ide i do 4% (slika 1). Zbog toga u fabričkim NN mrežama THD napona ide preko 7% što je iznad nivoa kompatibilnosti za pojedinu NN opremu. Zbog ovoga se javljaju problemi u radu, zastoji, žalbe, povećano nepoverenje u naš elektroenergetski sistem itd... Fabrike ovaj problem ne mogu rešiti jednostavno, jer uzrok problema nije u potpunosti u njihovom dvorištu. To je izvor velike frustracije korporativnih investitora, jer je problem iz njihove perspektive nerešiv ili nepravedno rešiv – oni investiraju da bi rešavali tuđu neodgovornost. U konkretnom slučaju, predmetna fabrika će instalirati opremu kojom će rešiti problem u svojoj industrijskoj mreži, ali će time efektivno povećati injekciju struja viših harmonika iz svoje fabrike u SN distributivnu mrežu, čime će se problem pogoršati za ostale potrošače a i za samog Operatora. I tako se krug zatvara, a problem nastavlja da eskalira. Očigledno je da **jedino operator mreže može koordinisati sve potrošače i primenjene mere kako bi se došlo do dugoročnog rešenja prihvatljivog za sve strane**.

Istraživanjem konkretnog primera ustanovljeno je da ne postoji jedan dominantan emiter struja viših harmonika, već da svaka od fabrika emituje „po malo“ i ukupan rezultat je kao na slici. Sa proširenjem postojećih fabrika (kao što se planira) i priključenjem novih problem će postati ozbiljan.



Slika 1 – Vremenski dijagram THD<sub>U</sub> u distributivnoj mreži naponskog nivoa 20 kV u okolini Beograda



U konkretnom primeru ni jedan potrošač pojedinačno nije izobličio napon preko 8%, te formalno gledano nesmetano može nastaviti sa emisijom. Ovde je očigledan pogrešan uticaj tačke 4.5 Pravila o radu što je **svakom potrošaču prepustio kompletan kapacitet mreže za apsorpciju poremećaja** i time operatoru smanjio manevarski prostor. Šta će se dogoditi kada  $THD_U$  zaista dođe u blizinu limita od 8%? Verovatno će operator morati samostalno da investira u veći transformator, nove dalekovode ili u STATCOM.

U ovom konkretnom slučaju, u ovom trenutku, za Operatora problem formalno i ne postoji. Nivo  $THD_U$  u mreži je ispod 8%, kako je to deklarirano u članu 2.2.4. Pravila o radu, te je kvalitet isporučene električne energije što se tiče Operatora zadovoljavajući i operator neće preduzeti dalje korake. Ovim primerom je pokazano kako limiti za kvalitet isporuke **u praksi počinju efektivno da se koriste kao planski nivoi poremećaja!**

Stoga je jasno zbog čega u ovom radu insistiramo da se u sledećoj reviziji Pravila o radu uvedu planski nivoi poremećaja i limiti za emisiju, koordinisano za svaki naponski nivo ponaosob. Potom bi **Operator imao pravo i obavezu da se stara da održi kvalitet napona u mreži u okviru planskih nivoa** (kako to predviđa IEC **Error! Reference source not found.**-**Error! Reference source not found.**), **a ne u okviru limita za kvalitet isporuke** (kako je to sada u praksi)!

## 12. ZAKLJUČAK

Razvojem industrijske tehnologije i povećanjem broja i snage priključenih OIE, povećava se gustina injekcije poremećaja u distributivnu mrežu. Stoga dolazi do laganog ali nepovratnog povećanja opšteg nivoa izobličenja u distributivnoj mreži.

Postojeća domaća regulativa (Pravila o radu, Pravila o priključenju) su pisana pre većeg broja godina i ne daju dovoljno ovlašćenja Operatoru distributivnog sistema da uredi i kontroliše ovu oblast.

Postoji jasna potreba da se postojeća regulativa inovira u najkraćem mogućem roku i usaglasi sa međunarodnim standardima iz ove oblasti i praksom drugih operatera u Evropi i drugim zemljama zapadne hemisfere.

Ovim radom je prikazano postojeće stanje domaće i međunarodne regulative, neki primeri domaće prakse i date su smernice za inoviranje domaće regulative. Predlozi za inovaciju Pravila dati su primenom IEC tehničkih izveštaja (61000-3-6, 61000-3-7, 61000-3-13), kao i pozitivne prakse drugih operatera. Međunarodna praksa pokazuje da distributivna preduzeća sve više primenjuju kontrolisan pristup priključenju novih potrošača u pogledu injekcije poremećaja. Primenjuju se metode za proračun uticaja pojedinačnih korisnika na kvalitet napona i u skladu sa rezultatima proračuna propisuju limite za dozvoljenu injekciju poremećaja svakog pojedinačnog korisnika.

Usvajanjem planskih nivoa poremećaja i limita za dozvoljenu emisiju, a zatim i kontrolom dozvoljene emisije korisnika, proces povećanja izobličenja u distributivnoj mreži će se značajno usporiti i staviti pod kontrolu. Ovo će rezultirati smanjenjem (ograničenjem) gubitaka u distributivnoj mreži, poboljšaće se kvalitet napona za sve potrošače, te omogućiti brži i stabilniji razvoj mreže, priključenje novih potrošača i obnovljivih izvora; što je sve u skladu sa postojećim naporima operatora distributivnog sistema.

## REFERENCE

- [1] Pravila o radu distributivnog sistema, EPS Distribucija d.o.o, Beograd, jul 2017.
- [2] Pravila za priključenje objekata na prenosni sistem, EMS AD Beograd, nov. 2023.
- [3] *IEC Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-6: Limits - Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV and EHV power systems*, IEC TR 61000-3-6:2008 ED2, Feb. 2008.
- [4] *IEC Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-7: Limits - Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems*, IEC TR 61000-3-7:2008 ED2, Feb. 2008.
- [5] *IEC Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-13: Limits - Assessment of emission limits for the connection of unbalanced installations to MV, HV and EHV power systems*, IEC TR 61000-3-13:2008 ED1, Feb. 2008.
- [6] *IEC Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-12: Environment - Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public medium-voltage power supply systems*, IEC 61000-2-12 ED1, Apr. 2003.

- [7] *IEC Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-2: Environment - Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems*, IEC 61000-2-2:2002 ED2.2, May 2018.
- [8] *IEC Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-4: Environment – Compatibility levels in power distribution systems in industrial locations for low-frequency conducted disturbances*, IEC 61000-2-4 ED3, May 2024.
- [9] *IEEE Standard for Measurement and Limits of Voltage Fluctuations and Associated Light Flicker on AC Power Systems*, IEEE 1453-2022, June 2022.
- [10] D-A-CH-CZ - Technische Regeln zur Beurteilung von Netzrückwirkungen, VEÖ TR Ed. 2, 2007
- [11] J. Meyer, W. Mombauer and M. Híckel, "THE THIRD EDITION OF THE AUSTRIAN-CZECH-SWISS-GERMAN (D-A-CH-CZ) TECHNICAL RULE FOR ASSESSMENT OF NETWORK DISTURBANCES," CIREC 2021 - The 26th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, Online Conference, 2021, pp. 1026-1030, doi: 10.1049/icp.2021.1770.
- [12] J. Meyer and W. Mombauer, "Assessment of emission limits for disturbing installations connected to HV distribution networks in AT, CH, CZ and GE," 2012 IEEE 15th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Hong Kong, China, 2012, pp. 262-267, doi: 10.1109/ICHQP.2012.6381239.
- [13] *Harmonic voltage distortion and the connection of harmonic sources and/or resonant plant to transmission systems and distribution networks in the United Kingdom*, Engineering Recommendation G5, Issue 5 2020, OPERATIONS DIRECTORATE OF ENERGY NETWORKS ASSOCIATION
- [14] *Voltage fluctuations and the connection of disturbing equipment to transmission systems and distribution networks in the United Kingdom*, Engineering Recommendation P28, Issue 2 2019, OPERATIONS DIRECTORATE OF ENERGY NETWORKS ASSOCIATION
- [15] *Planning limits for voltage unbalance in the UK for 132 kV and below*, Engineering Recommendation P29, Issue 1 1990, OPERATIONS DIRECTORATE OF ENERGY NETWORKS ASSOCIATION
- [16] Gosbell, V. J., Robinson, D. A., Perera, S. & Baitech, A. (2001). The application of IEC 61000-3-6 to MV systems in Australia. Quality and Security of Electrical Supply Conference Proceedings (pp. 7.1-7.1.10). UK: ERA Technology
- [17] *IEEE Standard for Harmonic Control in Electric Power Systems*, IEEE Std. 519-2022, 2022.
- [18] *SRPS EN 50160:2023 Karakteristike napona isporučene električne energije iz javnih električnih mreža*, dec. 2023.
- [19] *POWER QUALITY INDICES AND OBJECTIVES*, Joint Working Group Cigré C4.07 / Cired Final WG Report, rev. March 2004.