

Danijel Dobutović
HEP – ODS d.o.o. Elektra Vinkovci
danijel.dobutovic@hep.hr

Matija Babić
HEP – ODS d.o.o. Elektra Vinkovci
matija.babic@hep.hr

Ivan Musić
HEP – ODS d.o.o. Elektra Vinkovci
ivan.music@hep.hr

SAŽETAK

U članku je opisana procedura nadzora kvalitete napona na području HEP ODS DP Elektra Vinkovci.

Opisani načini na koje praćenje i analiza kvalitete napona može doprinijeti procesu održavanja mreže, te su navedeni primjeri neispravnosti elemenata vođenja i održavanja mreže koji mogu dovesti do narušavanja kvalitete napona i obratno. Prikazan je primjer sanacije narušene kvalitete napona ugradnjom regulatora napona.

Također, podaci o kvaliteti električne energije koriste se u proračunima u postupku izdavanja dokumenata priključenja obnovljivih izvora.

Ključne riječi: kvaliteta električne energije, mjerenje, analiza, održavanje, vođenje, pristup mreži

ABSTRACT

The article describes the procedure for voltage quality supervision in the area of HEP ODS DP Elektra Vinkovci.

The article explores how monitoring and analysing voltage quality can improve network maintenance processes. It presents examples of network management and maintenance element irregularities that can lead to voltage quality disruption and vice versa. A specific example of voltage quality restoration through voltage regulator installation is demonstrated.

Furthermore, electrical energy quality data are used in calculations when documents for requests for grid connection of renewable energy sources are issued.

Key Words: electrical energy quality, measurement, analysis, maintenance, network management, network access

1. UVOD

Monitori kvalitete električne energije trajno ugrađeni u postrojenja Elektre Vinkovci ozbiljnije su se sustavno počeli ugrađivati s integracijom distribuiranih izvora energije. Korištenjem tih uređaja brzo su se uvidjele sve mogućnosti kao i prednosti sustavnog praćenja i arhiviranja prikupljenih podataka.

Glavni motivi za uvođenje sustava nadzora kvalitete električne energije u Elektri Vinkovci su:

Provjera usklađenosti sa standardima – provjerava se usklađenost parametara kvalitete električne energije sa standardima, između najmanje dva ugovorno vezana subjekta. (propisuje Pravilnik o općim uvjetima za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom; Članak 27., Članak 28., Pravilnik o uvjetima kvalitete opskrbe električnom energijom; Članak 55.)

Procjena stanja sustava – analiza sustava i rezultati se koriste u razne interne svrhe (npr. strateško planiranje, upravljanje imovinom itd.)

Karakterizaciju određene lokacije - koristi se za kvantificiranje i detaljno opisivanje parametara kvalitete električne energije na određenom mjestu.

Otkrivanje problema - mjerenja za rješavanje problema temeljena na parametrima kvalitete električne energije (planiranje, održavanje, vođenje).

Napredne aplikacije i studije – napredne aplikacije i studije uključuju konkretnija mjerenja i analize što često nije dio svakodnevnog posla.

Aktivno upravljanje kvalitetom napajanja - uključuje sve aplikacije u kojima postoje bilo koje vrste kontrola rada mreže izvedene iz parametara kvalitete električne energije (offline ili u stvarnom vremenu).

2. KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE U ODRŽAVANJU

Električna energija kao resurs predstavlja jedinstveni proizvod čiju kvalitetu za razliku od opipljive robe nije moguće ispitati prije isporuke. Nezadovoljavajuća kvalitete električne energije može biti posljedica višestrukog broja različitih smetnji izazvanih od strane priključenih trošila, pojne mreže, promjena u režimu rada, kvarova i slično.

Suvremeni sustavi za upravljanje kvalitetom električne energije teže uspješnom pronalasku uzroka poremećaja kroz analizu u kvaliteti napajanja prije samog nastanka potencijalnih neželjenih problema na opremi od koje se sastoji EES ili njegov segment.

Održavanje EES i pripadne opreme predstavlja skup aktivnosti čiji je zajednički cilj zadržati pouzdanost i stabilnost uz maksimalno iskorištenje životnog vijeka opreme koja je dio takvog sustava.

2.1. Ključni aspekti u održavanju

S obzirom da se kvaliteta električne energije može ispitati tek u fazi isporuke i korištenja, kao takva predstavlja trajni izazov koji je jedinstven za svaki novi i postojeći dio EES podložan aktivnostima održavanja.

Za poboljšanja u sklopu redovnog održavanja, najznačajnije informacije o KEE možemo dobiti putem opreme za trajni nadzor, ugrađene u pojnim točkama ili transformatorskim stanicama s ciljem praćenja stanja na vodnim poljima i niskonaponskim izlazima.

S druge strane, za poboljšanje i otklanjanje problema u sklopu izvanrednog održavanja, informacije o KEE najčešće postaju dostupne nakon intervencije na zahtjev korisnika mreže, odnosno nakon uočenih smetnji i prijave operatoru. U tom slučaju informacija se može dobiti putem prijenosne opreme koja služi za privremena i kratkotrajna ispitivanja na ključnim ili kritičnim mjestima u EES.

U analizu rezultata dobivenih mjerenjem KEE, najčešće je potrebno uključiti i proračun ili simulaciju dijela EES na kojem su utvrđene smetnje ili problemi.

Ključni aspekti kvalitete električne energije u održavanju EES ili njegovog segmenta mogu se podijeliti na:

1. Otkrivanje smetnji i/ili problema kao što su padovi napona, prenaponski udari, harmonici, treperenje napona, nesimetrija i opterećenja. Navedene smetnje mogu uzrokovati kvarove ili neefikasno funkcioniranje opreme, a pravovremeno otkrivanje i uklanjanje smetnji doprinosi smanjenju oštećenja na električnim uređajima i sustavima.
2. Prevencija kvarova opreme uslijed prenaponskih udara ili harmonika, koji mogu skratiti životni vijek opreme poput motora, transformatora i drugih električnih uređaja koji su dio EES. Analiza omogućava otkrivanje ovih smetnji, što dovodi do potrebe za preventivnim održavanjem i zamjenom dijelova opreme prije nego što dođe do ozbiljnog kvara.
3. Optimizacija energetske učinkovitosti poboljšanjem parametara kvalitete električne energije. Primjerice, harmonici mogu povećati gubitke u transformatorima i drugoj opremi koja je dio EES. Pravovremenim uočavanjem smetnje, može se pribjeći optimizaciji sustava i smanjenju nepotrebnih gubitaka.
4. Smanjenje zastoja i neplaniranih isključenja analizom kvalitete električne energije s ciljem predviđanja potencijalnog problema i smanjenja učestalosti zastoja u radu primjenom pravovremenog održavanja, čime se ujedno povećava raspoloživost sustava.
5. Razvoj strategije održavanja temeljem podataka o kvaliteti električne energije može biti osnova za dugoročno planiranje. Na osnovu rezultata analize mogu se identificirati najkritičniji dijelovi sustava koji zahtijevaju veću pažnju ili specifične intervencije. Ovi podaci također pomažu pri donošenju odluka o modernizaciji i unapređenju infrastrukture, primjeni novih tehnologija i odabir optimalnih tehnno-ekonomskih zahvata u praksi.
6. Poboljšanje pouzdanosti sustava kroz kontinuirano praćenje kvalitete električne energije omogućava otkrivanje potencijalnih problema u ranoj fazi smetnji i utjecaja na opremu, što pomaže u očuvanju pouzdanosti, stabilnosti i životnog vijeka opreme.

2.2. Otkrivanje i otklanjanje smetnji i problema kroz procese održavanja

Prema normi EN 50160, kvaliteta električne energije obuhvaća sljedeće parametre koji mogu utjecati na stabilnost napajanja:

- Nesimetrija napona; najčešće uzrokovana nepravilno raspoređenim jednofaznim trošilima koja može izazvati smanjenje učinkovitosti i pregrijavanje opreme.
- Pad napona ili porast napona; najčešće uzrokovan promjenama u opterećenju ili kvarovima u sustavu.
- Prenapon; najčešće uzrokovan brzim promjenama u opterećenju ili atmosferskim pražnjenjem koji može uzrokovati oštećenje opreme.
- Harmonici: najčešće uzrokovani nelinearnim opterećenjima kao što su ispravljači, intermitirani pogoni, balasti za rasvjetu i druga nelinearna trošila.
- Flikeri: Brze promjene u intenzitetu svjetlosti zbog naglih promjena napona, koje mogu utjecati na osjetljive uređaje.

S obzirom na uočene pokazatelje iz mjerenih veličina kvalitete električne energije, moguće je otkriti smetnje i probleme, analizirati uzroke i primijeniti rješenja.

2.2. 1. Nesimetrija

Problem nesimetrije napona u trofaznom sustavu može se pratiti pomoću analizatora kvalitete energije koji mjeri naponske razlike između faza. U idealnom slučaju, razlike ne bi smjele prelaziti 2% od nominalnog napona. Ukoliko postoji jasno uočena nesimetrija, polazište svakako treba biti provjera pravilnog

rasporeda opterećenja jednofaznih trošila (jednofazni priključci korisnika mreže) kako bi se osigurali zahvati za ravnomjerniju raspodjelu.

Iako združeni zaštitni i neutralni vodič (PEN) čine fizičko ostvarenje distribucije električne energije jednostavnijom, istovremeno donosi izazove u pogledu stabilnosti i kvalitete napajanja ako primjerice dođe do prekida ili lošeg spoja na PEN vodiču, jer se tada u sustavu smanjuju ili gube funkcije zaštite.

Ukoliko je problem nesimetrije napona i dalje prisutan, posebice po dubini mreže, nastavlja se s pretpostavkom da je uzrok smetnje upravo prekid ili loš spoj na PEN vodiču, kojeg je potrebno pravilno dimenzionirati, ispitati te izvesti korektivne zahvate u smislu zamjene dijela opreme ili poboljšanja (dotezanja) kritičnih spojeva.

Dakako, ne treba isključiti niti mogućnost da je uzrok smetnje nepravilan rad transformatora, kojeg se u tom slučaju ispituje, odnosno mijenja (ako je starijeg vijeka) transformatorom veće snage ili opsega regulacije sekundarnog napona.

2.2. 2. Pad napona

Kao polazište za ispitivanje ili zamjenu transformatora može se uzeti i problem pada napona, kada se mjerenjima utvrdi nagla promjena u naponskim vrijednostima, obično u trenucima kada dođe do promjena u opterećenju, a transformator nije u mogućnosti održavati stabilan napon. S druge strane, trajni pad napona ukazuje na okolnosti trajnog kvara u mreži koji je povezan sa neadekvatno dimenzioniranim vodičima ili zaštitom u TS (predimenzioniran osigurač), što je potrebno korigirati u smislu zamjene dijela opreme, poboljšanja (dotezanja) kritičnih spojeva ili povećanja selektivnosti "rasijecanjem" mreže.

Neadekvatno dimenzionirano i/ili održavano uzemljenje u sustavu TN-C podjednako se preslikava na korijen problema nesimetrije, pada i povišenja napona. Iz navedenog razloga kao preventivna mjera, obavljaju se periodička mjerenja i po potrebi odrađuju sanacije na mjestima s lošim vrijednostima uzemljenja.

Po iscrpljenim ranije navedenim mogućnostima i rješenjima iz domene održavanja, preostaje i mogućnost ugradnje uređaja za regulaciju napona na povoljnom mjestu po dubini mreže sa ciljem sanacije nepovoljnih naponskih okolnosti i nesimetrije opterećenja.

2.2. 3. Porast napona

Problem porasta napona koji se može pojaviti kao smetnja potrebno je razmotriti uzimajući u obzir pogonske okolnosti – broj i raspored po fazama jednofaznih trošila (jednofazni priključci), broj i raspored jednofaznih distribuiranih izvora (najčešće FNE), nelinearna jednofazna trošila veće snage kod krajnjih korisnika (primjerice punjači za EV) uz stanje u kojem se mreža nalazi (neadekvatno dimenzionirani dijelovi mreže; posebice PEN, transformator, loši spojevi i slično). Koraci za otklanjanje nedostataka slijede analogiju ranije navedenim koracima za slučaj nesimetrije i pada napona.

Kada je mreža izvedena kao podzemna (kabelom), otkrivanje uzroka smetnje i otklanjanje problema porasta napona znatno je lakše u odnosu na nadzemnu mrežu, a s obzirom na relativno jednostavnu mogućnost za ostvarivanje pogonskog stanja praznog hoda magistralnog voda (primjerice NN izlaza iz TS).

2.2. 4. Prenapon

Za razliku od problema porasta napona, prenapon se kao smetnja obično javlja u obliku kratkotrajnog porasta napona koji može biti uzrokovan naglim promjenama u mreži (sklopne radnje i atmosferska pražnjenja), nepravilnim radom transformatora (kvar na transformatoru), pogrešne konfiguracije uređaja za regulaciju napona ili kvara na opremi (npr. oprema za kompenzaciju ili zaštitu).

Otklanjanje navedene smetnje svodi se u prvom redu na primjenu zaštitnih uređaja poput odvodnika prenapona u kombinaciji sa redovitom kontrolom uzemljenja, kako bi se apsorbirali visoki naponi

te spriječili daljnji utjecaji i širenje smetnji do eliminacije uzroka (primjerice zamjena neispravnog transformatora, pravilno konfiguriranje uređaja za regulaciju napona, dimenzioniranje uređaja za kompenzaciju i slično).

2.2. 5. Harmonici

Sve navedene smetnje i problemi koje možemo uočiti mjerenjima kvalitete električne energije, u praksi najčešće prati i prisutnost harmonika. Ukoliko se radi o visokoj prisutnosti (primjerice 5. i 7. harmonik), možemo očekivati povećane gubitke u mreži.

Na razini niskonaponskog TN-C sustava, harmonici često nastaju zbog nelinearnih trošila ili bolje rečeno sučelja, poput elektroničkih uređaja koji koriste nelinearne strujne krugove (računala, LED rasvjeta, napajanja sa statičkim ispravljačima i balastima).

Konkretno rješenje je najčešće izvan utjecaja operatora, s obzirom da se svodi na neki oblik redizajna instalacije krajnjeg korisnika ili zamjene opreme koja uzrokuje harmonike, opremom s boljim faktorom snage i linearnim karakterom. Iz tog razloga (kada operator nema mehanizam za uvjetovanje korisniku mreže), rješenje koje preostaje svodi se na implementaciju pasivnih ili aktivnih filtara harmonika u distributivnom dijelu mreže.

2.2. 6. Flikeri

Problem treperenja napona (flikeri) najčešće je očit i vizualno (treperenje rasvjetnih tijela), posebno u područjima s trošilima velikih snaga ili intermitiranih pogona (motori velikih snaga, velike kompresorske stanice i rashladni uređaji, veliki grijači i slično). Ovaj fenomen u pravilu uzrokuje nelagodu i smanjenu produktivnost.

Kao i ranije, nedostatak stabilnosti PEN vodiča u TN-C sustavu i ovdje može pogoršati pojavu treperenja napona, a rješenje (ukoliko operator nema mehanizam za uvjetovanje korisniku mreže) se svodi na implementaciju dinamičkog naponskog stabilizatora, statičkog sinkronog kompenzatora, posebno galvansko odvajanje ili povećanje snage distributivnog transformatora u TS i primjenu ranijih mjera za poboljšanje naponskih okolnosti, simetrije i pojave harmonika jer su usko povezani s problemom treperenja napona..

2.3. Primjer iz prakse

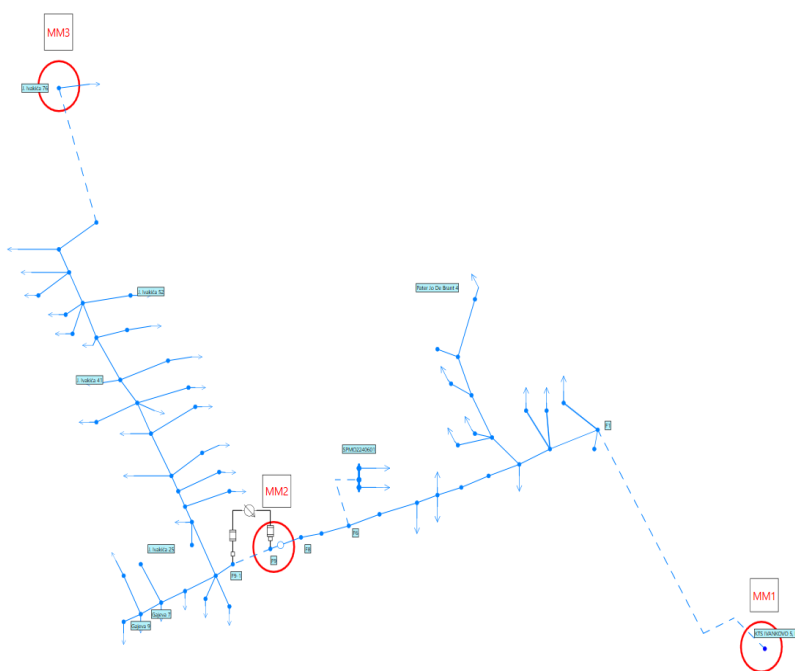
Temeljem prigovora na loše naponske prilike i kvalitetu električne energije od strane korisnika mreže, pokrenuta je inicijativa mjerenja pokazatelja kvalitete električne energije korištenjem prijenosne opreme duž niskonaponskog izlaza kraja NNI6 (F) iz postrojenja KTS "Ivankovo 5". Radi vjerodostojnog prikaza mjernih rezultata i lakše obrade podataka na svim lokacijama korišteni su jednaki mjerni instrumenti A klase proizvođača Metrel, model MI2892.

Neposredno prije spajanja mjernih instrumenata izvršena je detekcija faznih vodiča od postrojenja KTS "Ivankovo 5", sve do kraja NNI6 (F) izlaza tako da faze L1, L2 i L3 odgovaraju fazama na ostalim instrumentima postavljenim po dubini mreže.

Prvi mjerni instrument (MM1) priključen je na sabirnice 0,4 kV u predmetnom postrojenju. Drugi mjerni instrument (MM2) priključen je na stupu F9, a sam uređaj smješten u vodonepropusni ormarić kako je prikazano na slici 1., dok je treći mjerni instrument (MM3) postavljen je na kraju NNI6 (F) u KPTO kod korisnika mreže koji posjeduje trofazni priključak. Sva tri instrumenta označena su na modelu mreže u programskom paketu Neplan kako je prikazano na slici 2., a vremenske postavke na svim instrumentima kalibrirane su u odnosu na internetsko vrijeme putem računala.

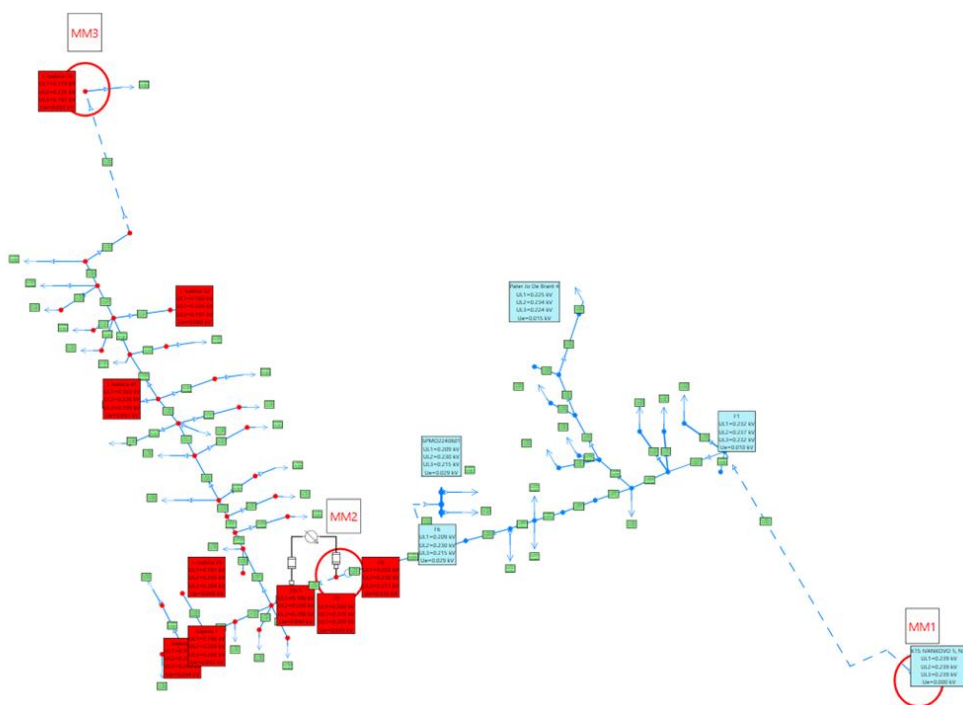


Slika 1. Drugi mjerni instrument – stup F9



Slika 2. Geografski prikaz lokacija mjernih instrumenata

Nakon mjerenja KEE na povoljnoj lokaciji mreže, NN proračuna i simulacije u okruženju Neplan, nedvojbene su utvrđene i potvrđene loše naponske prilike u dijelu mreže te je stup F9 u trasi je određen i odabran kao optimalan za ugradnju regulatora napona tipa LVRSys 70 kVA (A.Eberle).



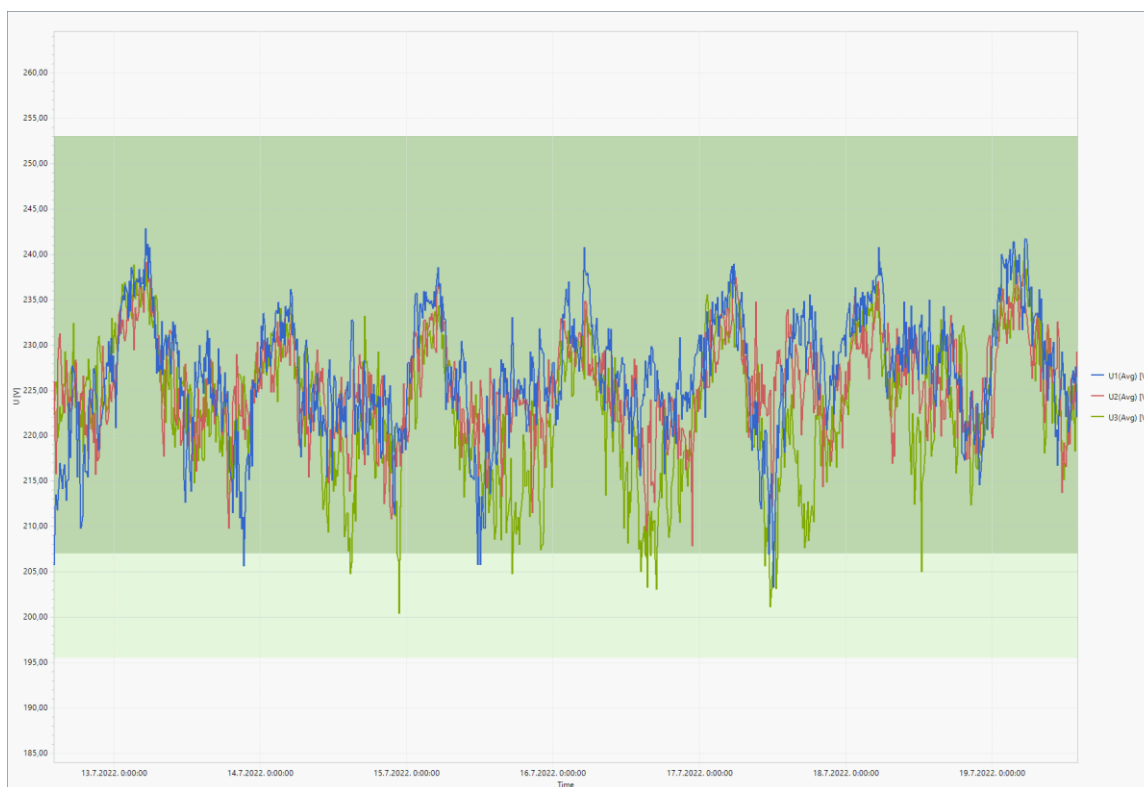
Slika 3. Tokovi snaga prije ugradnje regulatora napona

U nastavku je prikazan primjer naponskih okolnosti prije i nakon ugradnje regulatora napona tipa LVRSys 70 kVA kroz mjeru korektivnog održavanja. Smetnje koje su se javljale bile su vezane uz drastičnu pojavu pada napona uslijed povećanja dnevnih opterećenja (jednofazni priključci) i slijedno pojavu treperenja napona na izlazu broj NNI6 (F).

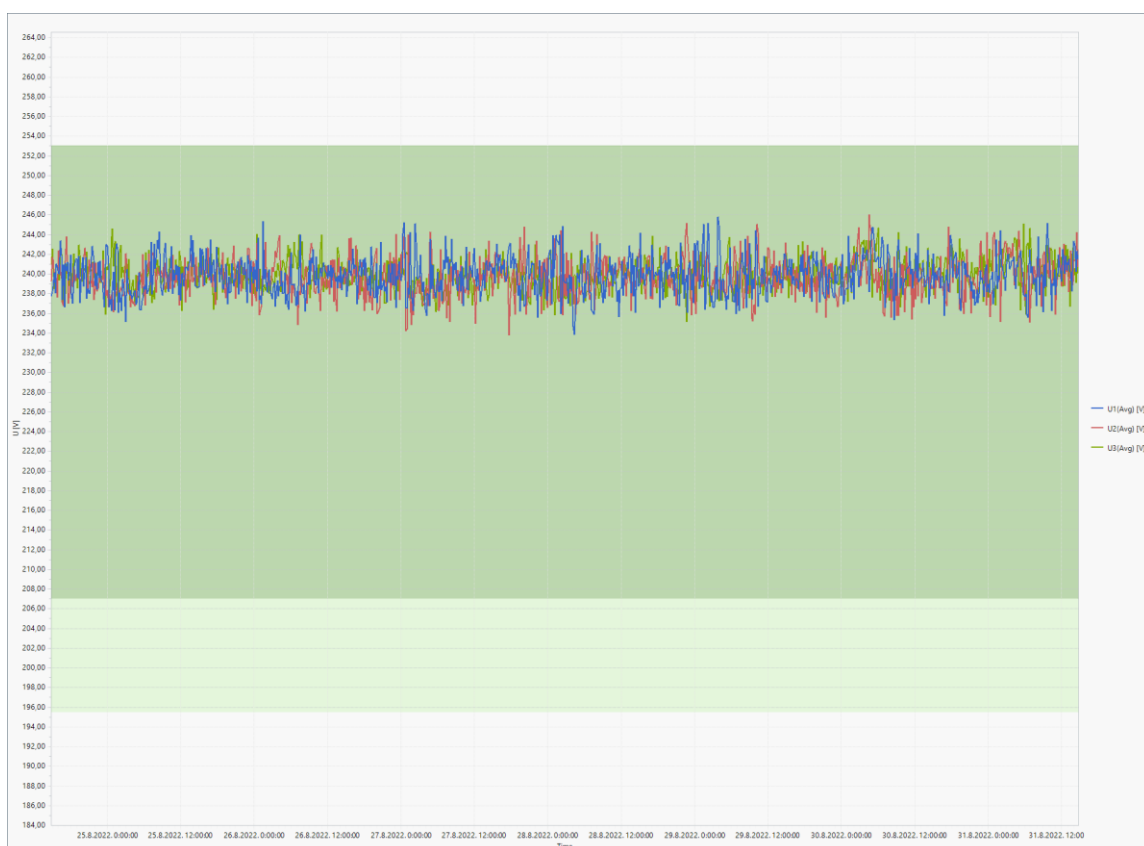
Dodatno je u sklopu parametrisiranja i puštanja u pogon iskorištena mogućnost nezavisne regulacije napona i drugih okolnosti za svaku fazu pojedinačno, što se prema mjerenjima obavljenim nakon ugradnje automatskog regulatora napona pokazalo kao dodatno pozitivno rješenje. Uz navedeno, svakako treba naglasiti da je ugradnjom automatskog regulatora napona, mreža na mjestu ugradnje dodatno selektivnije odvojena pripadnom zaštitnom mjerom, čime je povećana pouzdanost i stabilnost iste.

Maksimalna djelatna snaga koju zahtijevaju potrošači koji se nalaze na promatranom dijelu mreže nakon mjesta ugradnje automatskog regulatora napona, manja je od nazivne snage regulatora (snage koju regulator može regulirati) pa je stoga nedvojbeno zadovoljen kriterij snage na mjestu ugradnje, odnosno, predviđena mogućnost priključenja dodatnog broja krajnjih korisnika mreže u budućnosti. Uz navedeno, regulacijska preklapka transformatora u KTS nalazi se u položaju - 2,5 % pa je ostavljena i mogućnost podizanja vrijednosti napona na sabirnicama za još 2,5 % ukoliko bi se pojavio dodatni (veći) pad napona kod krajnjih korisnika mreže.

Po provedenim mjerenjima, općenito se zaključuje kako su postavke regulatora zadovoljavajuće po svim kriterijima te je slijedno napon u svim točkama iza mjesta ugradnje u zadovoljavajućim granicama, a što je u nastavku grafički prikazano rezultatima mjerenja, usporedbom kojih se jasno mogu vidjeti naponske prilike prije i nakon ugradnje uređaja.



Slika 4. Prikaz mjerenih napona na povoljnoj lokaciji prije ugradnje regulatora napona



Slika 5. Prikaz mjerenih napona na povoljnoj lokaciji nakon ugradnje regulatora napona



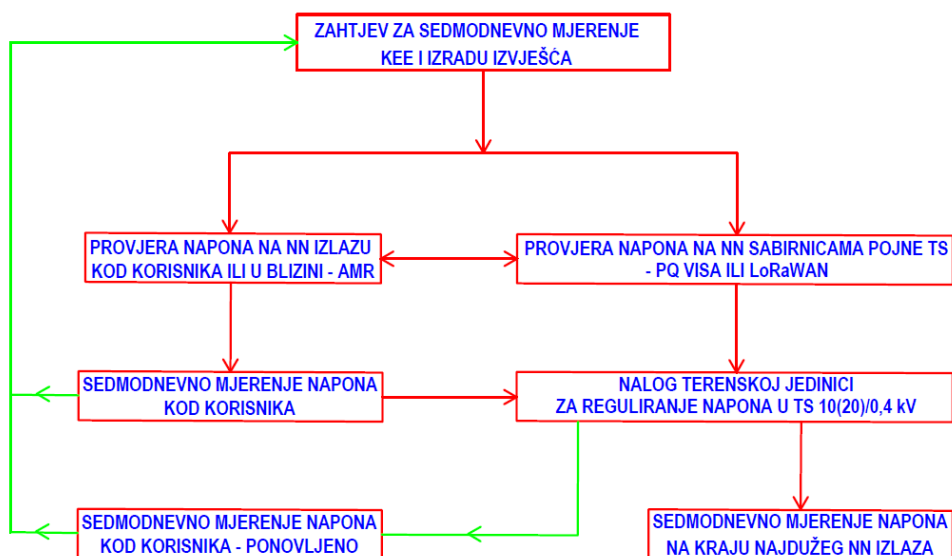
Slika 6. Prikaz ugradnje regulatora napona na povoljnoj lokaciji

3. KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE U VOĐENJU

Služba za vođenje pogona koordinira i kontrolira otkrivanje i otklanjanje smetnji i problema kroz procese redovnog održavanja, te ih sustavno se prati i po potrebi inicira njihovo rješavanje. Najčešći indikatori problema vezanih uz kvalitetu električne energije su žalbe korisnika na kvalitetu električne energije sa zahtjevom za ispitivanje i izradu izvješća, i prorade naponskih zaštita kod korisnika mreže.

3.1. Žalbe na kvalitetu električne energije

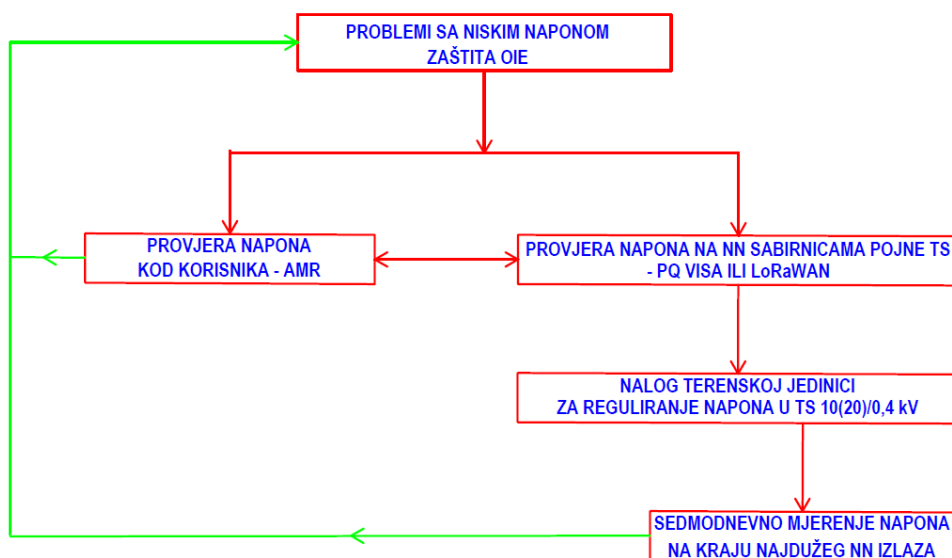
Dijagram toka kod žalbe korisnika mreže na kvalitetu električne energije prikazan je na slici 7.



Slika 7. Dijagram toka kod žalbe korisnika mreže na kvalitetu električne energije

3.2. Prorade naponskih zaštita kod korisnika mreže

Dijagram toka otklanjanja poremećaja kod učestalih prorada naponskih zaštita kod korisnika mreže prikazan je na slici 8.



Slika 8. Dijagram toka kod učestalih prorada naponskih zaštita kod korisnika mreži

4. KVALITETA ELEKTRIČNE ENERGIJE U SLUŽBI ZA REALIZACIJU INVESTICIJSKIH PROJEKATA I PRISTUP MREŽI

Služba za realizaciju investicijskih projekata i pristup mreži u proračunima koristi podatke o ekstremima, tj. maksimalnim i minimalnim vrijednostima u redovnom uklopnom stanju u godini dana. Podaci se između ostalih izvora crpe iz aplikacije IEL PQ VISA, te iz aplikacije Mjerinfo. Zbog izazova priključenja sve većeg broja obnovljivih izvora i sve veće ukupne snage proizvodnje potrebna je ugradnja monitora kvalitete ili sumarnih (kontrolnih) poluizravnih intervalnih brojila u svim trafostanicama 10(20)/0,4 kV na području Elektro Vinkovci.

5. ZAKLJUČAK

Mjerenjem i analizom kvalitete električne energije dobivamo ulazne podatke za strateško planiranje i upravljanje imovinom.

Primjena mjerenja i analize kvalitete električne energije u održavanju omogućava ne samo očuvanje funkcionalnosti i dugovječnosti opreme, već i smanjenje troškova, povećanje energetske učinkovitosti i osiguranje usklađenosti sa pravilima struke i standardima te kao takva predstavlja značajnu odrednicu za prevenciju kvarova i optimizaciju ukupnog rada elektroenergetskog sustava.

Također, mjerenje i analiza kvalitete električne energije omogućava brz i točan odgovor na žalbe korisnika mreže, pomaže u izradi izvješća po normi HR EN 50160.

Isto tako u Elektri Vinkovci mjerenje i analizu kvalitete električne energije povremeno koristimo za izradu studija i znanstvenih radova, te za izradu pripravnčkih radova.

6. LITERATURA

- [1] IEEE 1159: Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, lipanj 2019.
- [2] EN 50160: Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Distribution Systems, rujan 2022.
- [3] A. Meheub.; G. Mandela, "Power Quality Problems and Solutions: An Overview", International Journal of Science and Research (IJSR), listopad 2014.
- [4] Arhiva podataka i fotografija DP Elektro Vinkovci, kolovoz 2022.
- [5] M.H.J. Bollen, J.V. Milanović2, N. Čukalevski, "Power Quality Monitoring", International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPARAMETARA KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE'14), Cordoba (Spain), 8th to 10th April, 2014
- [6] IEC 61000-4-30, Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) -- Dio 4-30: Ispitne i mjerne tehnike -- Metode mjerenja kvalitete električne energije (IEC 61000-4-30:2015/Corr:1:2016; EN 61000-4-30:2015/AC:2017).
- [7] Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) -- Dio 4-30: Ispitne i mjerne tehnike -- Metode mjerenja kvalitete električne energije (IEC 61000-4-30:2015; EN 61000-4-30:2015)
- [8] MREŽNA PRAVILA DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA, Narodne novine" broj 74/18 i NN 52/2020 (29.4.2020.), Izmjene i dopune Mrežnih pravila distribucijskog sustava, HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o., od 27. srpnja 2018. godine.