

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

Vide Marković
HEP ODS d.o.o. Elektra Zagreb
vide.markovic@hep.hr

DNEVNA REGULACIJA NAPONA

SAŽETAK

Uslijed povećanja broja sunčanih elektrana u niskonaponskim ruralnim mrežama, pojavljuje se problem (pre)visokih napona tijekom dana, dok su u večernjim satima naponske razine zbog povećanog opterećenja niskonaponske mreže značajno niže.

Automatska regulacija napona na razini transformatora 10(20)/0,4 kV još uvijek nije uobičajena, pa se naponi u NN mreži kreću u vrlo širokim rasponima, ovisno o opterećenju mreže i kretanju napona na SN razini. S obzirom na mogućnosti novih uređaja za kontrolu regulatora napona na razini transformatora 110/10(20) kV, pokušalo se napone u NN mreži tijekom dana u vrijeme najveće proizvodnje smanjiti promjenom podešene (srednje) vrijednosti na automatskim regulatorima napona.

U ovom referatu će biti prezentirana ta ideja i dosadašnji rezultati.

Ključne riječi: ruralne mreže, sunčane elektrane, automatska regulacija napona

DAILY VOLTAGE REGULATION

SUMMARY

As a result of growing number of solar power plants in low voltage rural networks, high voltages appear during the day, while in the evening voltage levels, caused by higher load currents, are significantly lower.

Automatic voltage regulation on 10(20)/0,4 kV transformers is still not a common practice, so voltages in LV network change in wide range, depending on network loads and voltage changes in MV network. With features on newly installed relays for voltage control on transformers 110/10(20) kV, the idea to lower voltages in LV network during the day at peak production hours by changing set value was tested.

This paper presents the idea and results of testing it.

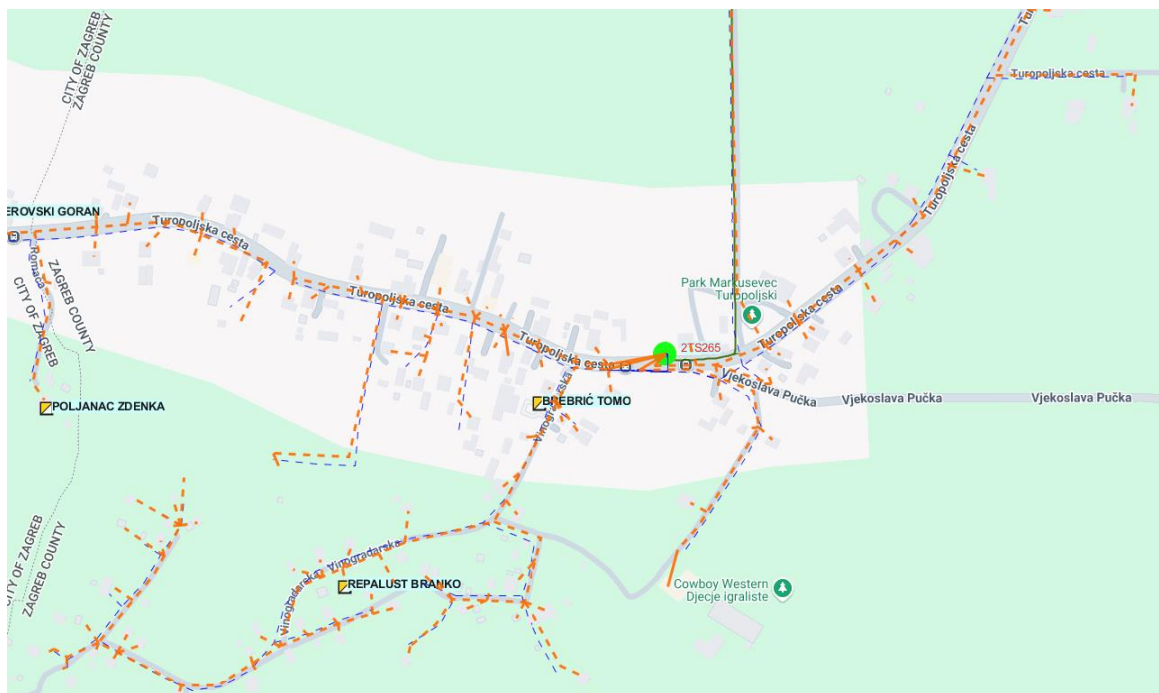
Key words: rural networks, solar power plants, automatic voltage regulation

1. UVOD

Pojednostavljenje procedure za priključak sunčanih elektrana u kućanstvima, pad cijena na tržištu opreme, te državne subvencije uzrokovale su značajno povećanje broja priključaka sunčanih elektrana za vlastitu potrošnju na objektima individualne gradnje (kućama).

Takvi objekti su uglavnom smješteni na rubnim dijelovima gradova ili u ruralnim sredinama, te su spojeni na niskonaponske energetske mreže ruralnog karaktera. Njihova je odlika da su jako razvedene uslijed male gustoće naseljenosti, što kao posljedicu ima velike duljine niskonaponskih vodova, a transformatori 10(20)/0,4 kV putem kojih se napajaju su uglavnom malih snaga, te su veći dio dana slabo opterećeni (tijekom radnog dana su objekti uglavnom prazni uslijed radnih i školskih obaveza).

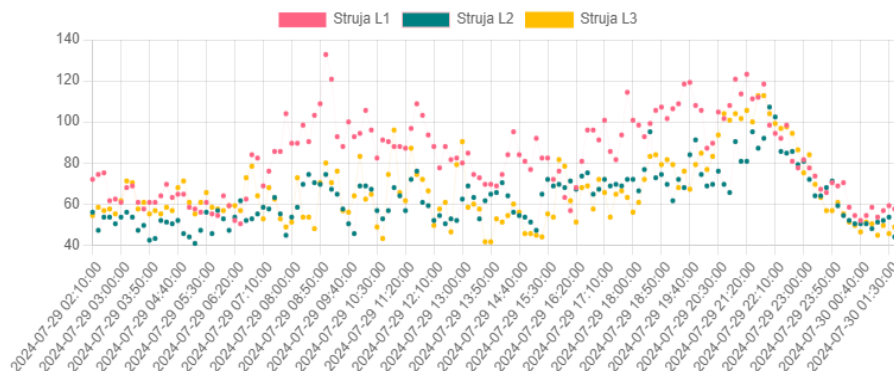
Skica ruralne niskonaponske mreže u GIS-u prikazana je na slici 1.



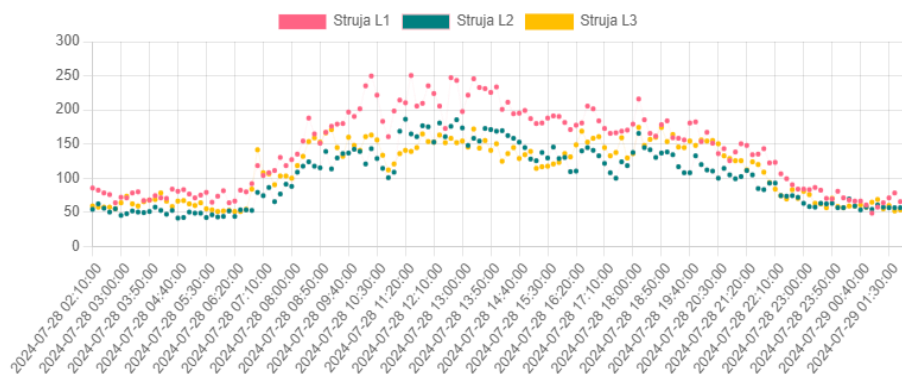
Slika 1. Ruralna mreža

Naponske prilike pri krajevima niskonaponskih strujnih krugova u ruralnim mrežama su izrazito ovisne o strujnom opterećenju zbog velikih duljina niskonaponskih strujnih krugova i padova napona duž njih, te je održavanje napona u propisanim granicama vrlo zahtjevno za operatora distribucijskog sustava. Ukoliko je u njima i veći broj distribuiranih izvora, situacija se dodatno komplicira: tijekom radnog dana naponi u NN mreži su znatno viši od nazivnih vrijednosti, dok se u popodnevnim i večernjim satima spuštaju znatno ispod nazivnih vrijednosti. Naponski profil tijekom vikenda je nešto stabilniji.

Primjer opterećenja transformatora 10(20)/0,4 kV koji napaja ruralnu mrežu tijekom jednog ljetnog radnog i neradnog dana prikazan je na slikama 2.a i 2.b.

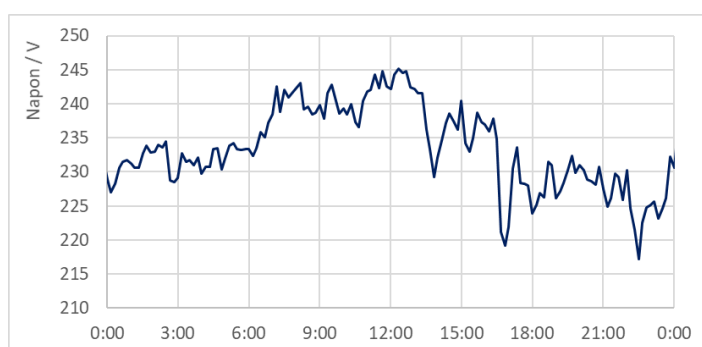


Slika 2.a Opterećenje transformatora – radni dan



Slika 2.b Opterećenje transformatora – neradni dan

Na slici 3 prikazan je naponski profil na jednofaznom priključku korisnika mreže s ugrađenom sunčanom elektranom za vlastite potrebe koji je spojen pri kraju strujnog kruga dugačkog oko 500 m tijekom ljetnog radnog dana, gdje je vidljivo da se napon kreće u rasponu od 217 do 245 V.



Slika 3. Naponski profil 1F korisnika mreže s vlastitom sunčanom elektranom

U nestručnoj javnosti uvriježeno je mišljenje da izgradnja sunčanih elektrana doprinosi poboljšanju naponskih prilika. To je djelomično točno u slučaju ruralnih mreža samo tijekom ljetnih vikenda – kada se proizvodnja preklopi s povećanom potrošnjom električne energije korisnika mreže. Ostatak vremena proizvodnja električne energije u ruralnoj mreži, gdje tijekom radnog dana nema istovremene potrošnje, uzrokuje povišenja napona često i preko propisanih vrijednosti. Jedan od pokušaja održavanja napona u propisanim granicama opisan je u ovom referatu.

2. KARAKTERISTIKE MREŽE I NAPONSKE PRILIKE

Kao što je navedeno u uvodu, u ruralnim niskonaponskim mrežama naponski profil je jako ovisan o strujnom opterećenju mreže. Iako takvo stanje u mrežama nije poželjno, dokle god se naponske prilike mogu održavati u skladu s važećim propisima [1] te se on kreće u opsegu do 207 V do 253 V, ne planiraju se ulaganja u rekonstrukcije takvih mreža.

Poticaaj ulaganju u rekonstrukcije/dogradnju mreže je uobičajeno pritužba korisnika mreže na naponske prilike ili zahtjev za novi priključak objekta (potrošač i/ili proizvođač).

Do poremećaja naponskih prilika, te zatim i pritužbi na njih, dolazi uslijed povećane potrošnje u mreži (npr. promjena faktora istovremenosti – klimatizacijski uređaji koje svi korisnici mreže koriste u isto vrijeme), angažiranja većeg udjela zakupljene snage kod korisnika mreža (npr. kupnja električnog automobila, te punjenje istog), izgradnja i priključenje sunčane elektrane ili novog priključka potrošača pri čemu proces izdavanja dozvole ili priključenje nije ispravno provedeno i sl.

Prilikom odobrenja i izdavanje dozvole za novi priključak objekta (potrošač i/ili proizvođač) iznimno je važno sagledati strujno-naponske prilike i tehničke karakteristike postojeće mreže, te provesti potrebne proračune, kako po izgradnji i priključenju objekta ne bi došlo do narušavanja postojećih naponskih prilika u mreži.

2.1. Urbane i ruralne mreže

Kao što je ranije navedeno, automatska regulacija napona na razini transformatora SN/NN ne postoji, te nije moguće automatski održavati naponske prilike po mikrolokacijama distribucijske mreže. Jedina automatska regulacija napona se odvija na SN razini u transformatorskim stanicama 110/x ili 30/x kV koje su pojne točke srednjonaponske 10 ili 20 kV mreže.

Podešene vrijednosti (U set) automatskih regulatora napona u HEP ODS DP Elektri Zagreb su u 10 kV mreži 10,25 kV, te 20,5 kV u 20 kV mreži. Ove su vrijednosti odabrane iskustveno na temelju provedenih mjernih kampanja prije 20-ak godina. Iznimka su dvije transformatorske stanice 110/10 kV koje napajaju centar grada gdje je napon podešen na 10 kV. Razlog je slaba opterećenosti transformatora 10/0,4 kV s prijenosnim omjerom 10/0,42 kV, gdje je bilo nemoguće postići zadovoljavajuće naponske prilike na 0,4 kV strani – napon je i pri položaju regulacijske preklopke 1/5 bio visok.

Na automatskim regulatorima su mrtve zone uobičajeno $\pm 1,2$ % uz korak regulacije 1,5 %. Uz takva podešenja, položaj većine regulacijskih preklopki na transformatorima 110/20 kV se kreće između 2. i 4. položaja uz 4-5 dnevnih promjena, pri čemu se u najnižem položaju nalazi u pravilu u noćnim satima.

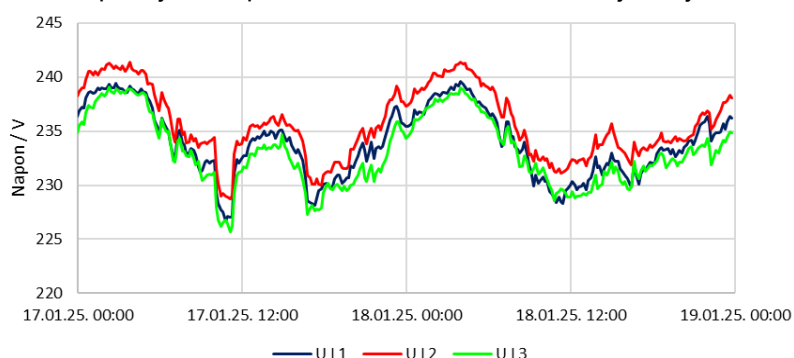
U urbanim sredinama gdje su srednjonaponski izvodi i niskonaponski strujni krugovi kratki, a gustoća izgradnje transformatorskih stanica 10(20)/0,4 kV velika, prethodno navedene podešene vrijednosti osiguravaju stabilne naponske prilike u NN mreži.

Primjer naponskog profila na niskonaponskim sabirnicama transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV u urbanoj sredini prikazan je na slici 4.



Slika 4. Naponski profil urbane mreže

U ruralnoj mreži su promjene napona u NN mreži veće, kao što je vidljivo na slici 5.



Slika 5. Naponski profil ruralne mreže

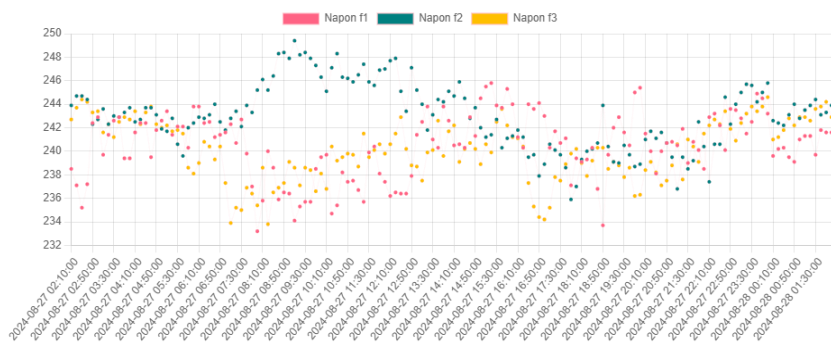
2.2. Naponske prilike u ruralnim mrežama s priključenim sunčanim elektranama

U ruralnim mrežama je vrlo čest slučaj da na istom strujnom krugu postoji nekoliko sunčanih elektrana, pri čemu nije neuobičajeno da je više njih jednofaznih.

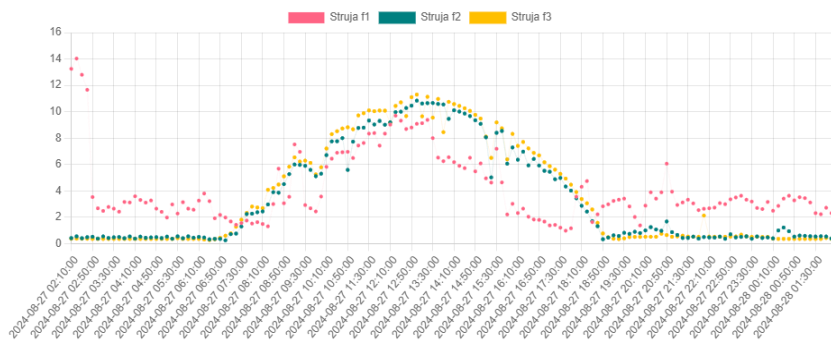
Prilikom procedure izdavanja dozvole za priključak, nije uobičajeno da se provjerava na koju je fazu izveden spoj na niskonaponsku mrežu. Tako da nije rijetkost da na jednom strujnom krugu na istu

fazu budu spojene 2 ili više jednofaznih elektrana. U slučaju da na istom strujnom krugu postoji i poneka trofazna elektrana, često nastaju problemi s naponskim prilikama.

U vrijeme maksimalne proizvodnje i minimalne potrošnje, što je tijekom ljeta svaki radni dan, napon faze s većim brojem jednofaznih elektrana spojenih na nju se zna približiti, ili čak prijeći gornju dozvoljenu vrijednost napona od 253 V, dok je na preostale dvije faze napon unutar granica. Jednaki efekt postiže se i nejednolikim smanjenjem potrošnje po fazama. Primjer jednog takvog slučaja prikazan je na slikama 6.a i 6.b – naponi na priključku 3F elektrane u NN mreži, gdje je uslijed pada potrošnje na jednoj fazi došlo do porasta napona na njoj.



Slika 6.a Naponi 3F elektrane na ljetni dan u nesimetrično opterećenoj mreži



Slika 6.b Struja 3F elektrane na ljetni dan u nesimetrično opterećenoj mreži

Ovakvi slučajevi uglavnom imaju za posljedicu pritužbe korisnika mreže s jednofaznim elektranama, jer one svakodnevno ispadaju iz pogona uslijed previsokog napona. I tek kada dođe do pritužbe, provjerava se i utvrđuje raspodjela priključaka po fazama, te se naponske prilike relativno jednostavno saniraju njihovom preraspodjelom.

U slučajevima kada se na istom strujnom krugu nađe više trofaznih sunčanih elektrana, te su povišenja napona u mreži jednaka u sve tri faze, rješenje nije jednostavno niti ekonomično po operatora distribucijskog sustava.

U vremenskim periodima kada proizvodnje nema, a potrošnja je maksimalna (radni dan, predvečer) naponi se na krajevima niskonaponskih strujnih krugova približavaju, a nerijetko i prelaze, donje propisane vrijednosti. To je ujedno i glavni razlog zašto se regulacijske preklopke na transformatorima 10(20)/0,4 kV drže na položajima koji osiguravaju napone u propisanim granicama tijekom najveće potrošnje. Na žalost, taj položaj preklopki ne odgovara režimu pogona sunčanih elektrana.

3. DNEVNO PODEŠENJE AUTOMATSKE REGULACIJA NAPONA

Lokalni problem previsokih napona u niskonaponskim mrežama tijekom velike proizvodnje iz distribuiranih izvora, te preniskih napona u intervalima velike potrošnje nije jednostavno riješiti.

Kako lokalna automatska regulacija napona na razini transformatorske stanice 10(20)/0,4 kV još uvijek nije uobičajena, došlo se na ideju da se tijekom dana, u vrijeme najviše proizvodnje sunčanih elektrana, promjeni podešenje automatske regulacije na razini 110/20 kV transformatora na način da se podešena vrijednost napona snizi s 20,5 na 20,25 kV (za 1,25 %). Na niskonaponskoj razini to znači snižavanje napona za oko 3 V. Na prvi pogled je to mala promjena, ali snižavanje napona u maksimumu s 253 na 250 V znači da će sunčane elektrane ostati u pogonu. Pretpostavljeno je da potrošnja u vrijeme najviše proizvodnje elektrana ne uzrokuje prevelike padove napona, te snižavanje napona za 3 V na NN razini ne uzrokuje nedozvoljeno niske napone kod korisnika spojenima na mreže u kojima nema distribuiranih izvora u blizini.

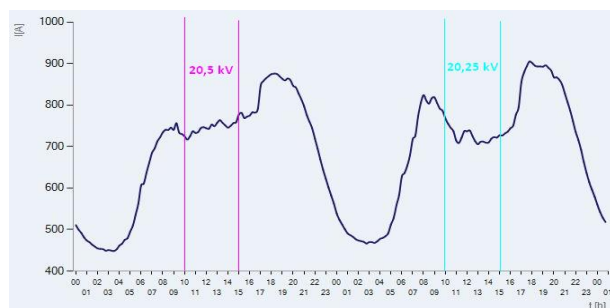
Za isprobavanje funkcionalnosti ideje odabrana je mreža napajana iz transformatorske stanice 110/20 kV 4TS 23 Botinec u kojoj je nedavno zamijenjen uređaj za automatsku regulaciju napona. Novi uređaj REG-D proizvođača A-Eberle ima mogućnost definiranja više podešenih vrijednosti te opciju automatske promjene podešenja u odabranim vremenskim intervalima. Osim automatike promjena podešene vrijednosti je moguća i ručno daljinskim putem. Za vremenski interval u kojem je očekivana najveća proizvodnja elektrana odabran je period od 10:00 do 15:00 sati. U probnom periodu prebacivanje podešenja vrijednosti napona je provođeno daljinski ručno preko SCADA-e.

U 10:00 sati je podešenje automatske regulacije napona prebačeno na vrijednost 20,25 kV, a u 15 sati je podešenje vraćeno na standardnu vrijednost od 20,5 kV.

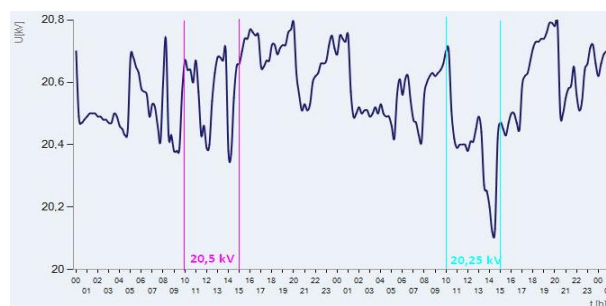
Tijekom probne procedure praćene su naponske prilike u niskonaponskoj mreži, te su mjerni rezultati uspoređivani s mjerenjima napona u danima kada promjena regulacijskih postavki nije primjenjivana.

Na sljedećim slikama prikazan su rezultati pokusa s prebacivanjem podešenja regulatora na novu vrijednost na dan 29. listopada 2024. g.

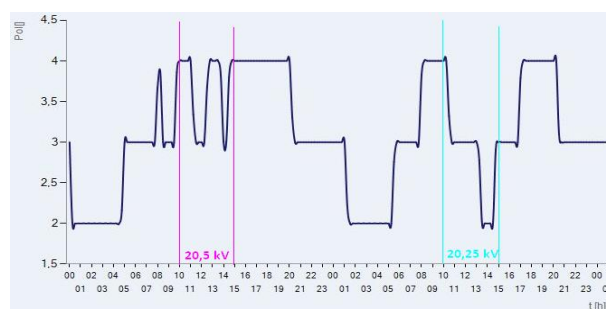
Na slikama 7, 8 i 9 prikazano je opterećenje i napon 20 kV strane 110/20 kV transformatora T1 u 4TS 23 Botinec, te promjene položaja regulacijske preklapke na dane 28. i 29. listopada 2024. g.



Slika 8. Opterećenje T1 u 4TS 23 Botinec



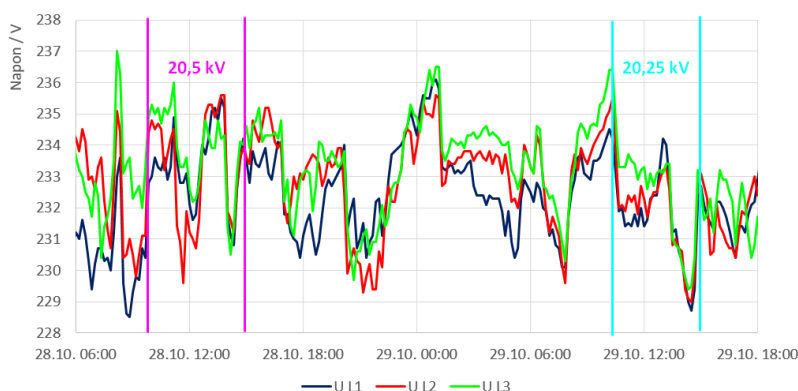
Slika 8. Napon na T1 u 4TS 23 Botinec



Slika 9. Promjene položaja regulacijske preklapke na T1 u 4TS 23 Botinec

Sa slike 8 je vidljivo da je opterećenje na dan 28. listopada otprilike jednako kao i na dan kada je isproban novi princip regulacije. Naponi na dan 28. listopada su vremenu između 10:00 i 15:00 sati viši nego u isto vrijeme dan kasnije, što odgovara željenim promjenama u regulaciji napona (slika 9).

Promjena napona na NN razini na dane 28. i 29. listopada prikazana je na slici 10.



Slika 10. Naponi na priključku SE u NN mreži

Sa slike 10 je vidljivo da je u istom vremenskom intervalu (između 10:00 i 15:00 sati) u danu kada je podešena vrijednost automatske regulacije napona bila 20,25 kV, najviša vrijednost napona bila otprilike 3 V niža nego dan prije, kada je automatska regulacije bila podešena na 20,5 kV. Proizvodnja elektrane je oba dana u istom periodu bila podjednaka.

Na žalost, novi uređaj automatske regulacije napona pušten je u pogon tek u listopadu, pa proizvodnja iz sunčanih elektrana tijekom pokusa nije bila na maksimalnim vrijednostima. Bolji rezultati se očekuju u ljetnim mjesecima.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prezentiran rezultat isprobavanja nove metode upravljanja naponskim zagušenjem u mreži, pri čemu je glavni cilj osiguranje stabilnih prilika u niskonaponskoj mreži, te održavanje malih solarnih elektrana u pogonu.

U niskonaponskim ruralnim mrežama većih duljina niskonaponskih strujnih krugova, a uslijed dnevnog rasporeda proizvodnje iz distribuiranih izvora i potrošnje, napon značajno oscilira tijekom dana. Naponske preklopke na transformatorima 10(20)/0,4 kV su fiksne i podešene tako da u vrijeme najvećeg strujnog opterećenja naponske prilike u svim točkama NN mreže koju napajaju budu u propisanim granicama. To ima za posljedicu da su naponi u vrijeme najmanje potrošnje, a najveće proizvodnje, ponekad vrlo blizu gornjih dozvoljenih vrijednosti.

Promjenom podešenja iznosa napona, kojeg održava automatski regulator napona na transformatorima 110/20 kV, snižavanjem s 20,5 kV na 20,25 kV u periodima kada je očekivana najveća proizvodnja iz distribuiranih sunčanih elektrana (od 10:00 do 15:00 sat), pokušali su se smanjiti maksimalni naponi koji se postižu u NN mreži. Inicijalni rezultati mjerenja za sada pokazuju da bi to moglo biti dobro rješenje.

Kako je novi uređaj automatske regulacije napona pušten u pogon tek u listopadu, vremenske prilike nisu bile povoljne za dugotrajnije testiranje. S pojavom više sunčanih dana planira se nastaviti s isprobavanjem metode, te će rezultati biti prezentirani na nekom od sljedećih savjetovanja.

5. LITERATURA

- [1] HRN EN 50160:2023 "Naponske karakteristike električne energije iz javnog distribucijskog sustava" (EN 50160:2022 Voltage characteristics of electricity supplied by public electricity networks)