

Milan Vurdelja, mag.ing.el.  
HEP – Operator distribucijskog sustava  
[milan.vurdelja@hep.hr](mailto:milan.vurdelja@hep.hr)

## ANALIZA USLUGA ELEKTROENERGETSKOM SUSTAVU PRUŽENIH OD KORISNIKA DISTRIBUCIJSKE MREŽE

### SAŽETAK

Zakonom o tržištu električne energije korisnicima distribucijske mreže omogućena je aktivnija uloga. Aktivne promjene potrošnje i proizvodnje energije pojedinih korisnika mreže prema tržišnim potrebama ili prema signalima od operatora sustava, uz pozitivan utjecaj na cjelokupni sustav, može imati i negativan utjecaj na tehničke prilike u određenom dijelu distribucijske mreže.

Ovaj rad analizira utjecaj pružene usluge korisnika distribucijske mreže koji pruža pomoćne usluge Operatoru Prijenosnog Sustava na naponske prilike u distribucijskoj mreži.

U radu je prikazana analiza utjecaja pružene usluge korisnika distribucijske mreže na 35 kV i 10 kV naponskoj razini, gdje su u obzir uzeti najnepovoljniji uvjeti u mreži.

**Ključne riječi:** usluge prijenosnom sustavu, aktivni korisnik mreže, distribucijski sustav

## THE IMPACT OF TERTIARY POWER BALANCING SERVICES GIVEN FROM DISTRIBUTION NETWORK ON VOLTAGE CONDITONS

### SUMMARY

New law allows distribution network users more active role. While generation and consumption of energy by individual distribution network users, according to market demand or signals from system operator may have positive impact on power system, it may have negative influence on technical conditions in given part of distribution network.

This article analyses the correlation between provided service for TSO by DSO network users and voltage conditions in distribution network.

Given example is impact on voltage level by service provided by DSO network user on 35 kV voltage level network, in most unfavorable conditions.

**Key words:** ancillary services, active role of network user, distribution system

## 1. UVOD

U prošlosti se stabilnost elektroenergetskog sustava osiguravala upravljanjem velikim proizvodnim jedinicama prema potrebama potrošnje. Sami elektroenergetski sustav je bio dimenzioniran kako bi prihvatio sve moguće okolnosti pogona i profila potrošnje korisnika mreže.

U novije vrijeme pojavljuje se sve veći broj distribuiranih izvora, čija je proizvodnja često intermitentnog, nepredvidivog i u konačnici neprilagodljivog karaktera. Povećani utjecaj proizvodnje distribuiranih izvora, nepredvidivog i iznenadnog karaktera ne odgovara nužno potrebama ravnoteže sustava.

Reguliranje stabilnosti sustava samo upravljanjem proizvodnjom postaje sve većim izazovom, te se stoga javlja potreba upravljanja potrošnjom, no za ostvarenje upravljive potrošnje operatorima sustava je potrebna pomoć korisnika mreže.

Novim Zakonom o tržištu električne energije [1], od 6. listopada 2021., prihvaćene su direktive Europske Unije, čime je korisnicima mreže omogućena uloga aktivnog kupca. Korisnici distribucijske mreže sada kao proizvođači i aktivni kupci mogu pomoći operatorima sustava u nastalim okolnostima pružanjem pomoćnih usluga, te sudjelovati na tržištu električne energije.

Kako je samostalno sudjelovanje na tržištu potencijalno velik izazov za korisnika mreže, on može sudjelovati na tržištu i pomoću agregatora. Agregator je sudionik tržišta električne energije koji okuplja više korisnika mreže sposobnih za upravljivu proizvodnju, potrošnju i/ili skladištenje energije u veću cjelinu koja može sudjelovati na tržištu električne energije, odnosno ponuditi svoje usluge operatoru sustava.

Povećana fleksibilnost korisnika mreže može imati snažan utjecaj na prilike u distribucijskoj mreži, budući da je distribucijska mreža do sad bila dimenzionirana za uobičajene okolnosti normalnog pogona, koje uključuju i uobičajeno ponašanje korisnika mreže. Ponašanje korisnika mreže se značajno mijenja u trenutku kad korisnici pružaju pomoćne usluge ili se odazivaju tržišnim signalima.

Ako korisnik pruža pomoćne usluge Operatoru prijenosnog sustava (u daljnjem tekstu: OPS) ili reagira na tržište znači da on to čini kako bi doprinio fleksibilnosti prijenosnog sustava. Takvo ponašanje ne mora biti blagotvorno za prilike u distribucijskom sustavu.

Operator distribucijskog sustava (u daljnjem tekstu: ODS) ima potrebu i dužnost provjeriti, prije samog početka pružanja usluge, ugrožava li pružanje takve pomoćne usluge normalan pogon mreže, kako bi se omogućilo aktivnom korisniku pružanje usluge uz istovremeno nesmetano korištenje mreže svih korisnika distribucijske mreže.

Provjerom se razmatra je li distribucijska mreža dovoljno fleksibilna da podnese uslugu distribucijskog korisnika prijenosnom sustavu bez ugrožavanja pogona distribucijske mreže, odnosno bez narušavanja prilika u distribucijskoj mreži. Analiza odgovara na pitanje stane li usluga aktivnog korisnika mreže u postojeći distribucijski sustav ili će zbog takve pomoćne usluge biti ugrožen pogon, zbog nedostatka fleksibilnosti samog distribucijskog sustava.

Ukoliko analiza mogućnosti pružanja usluge potvrdi da pružanje usluge neće naštetiti pogonu, tada Operatoru distribucijskog sustava nije nužno imati aktivni nadzor nad pružanjem usluge, odnosno to nije preduvjet za pružanje usluge, što u slučaju da se ugrožava pogon nije dopustivo.

Uz fleksibilnost korisnika mreže, postoji i aspekt fleksibilnosti same distribucijske mreže, primjerice promjena uklopnog stanja i sustavi automatske regulacije napona. Razvoj naprednije distribucijske mreže sa visoko optimiranim i fleksibilnim planiranjem i vođenjem u svrhu održanja kvalitetne opskrbe uz prihvaćanje novih profila opterećenja mreže (trošila, proizvođači, skladišta) nije predmet ovog rada.

## 2. POMOĆNA USLUGA TERCIJARNE REGULACIJE PRIJENOSNOM SUSTAVU IZ PERSPEKTIVE OPERATORA DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA

Tercijarna regulacija frekvencije i snage (engleski manual frequency restoration reserve, skraćeno mFRR) je regulacija radne snage na razini jednog prijenosnog sustava kojom se balansira odnos ulazne snage u sustav spram izlazne snage na sučelju sa distribucijom i korisnicima prijenosne mreže. Reguliranje se može vršiti povećanjem ili smanjenjem snage u smjeru proizvodnje ili u smjeru potrošnje.

Prije su takve usluge mogli ponuditi samo korisnici prijenosne mreže, dok je novim Zakonom o tržištu električne energije [1] omogućeno korisnicima distribucijske mreže pružanje pomoćne usluge tercijarne regulacije iz dubine distribucijskog sustava.

Proračuni mreže u postupku priključenja prilikom korisnika na distribucijsku mrežu uzimaju u obzir faktor istodobnosti i očekivano ponašanje korisnika, odnosno način korištenja mreže. U slučaju pružanja pomoćne usluge mijenja se očekivano ponašanje korisnika mreže, što može imati negativan utjecaj na strujne i naponske prilike u dubini distribucijske mreže.

Mrežnim pravilima distribucijskog sustava [2] definiran je normalni pogon mreže, kao stanje u kojem su osigurani uvjeti nesmetanog korištenja mreže, vrijednost frekvencije i napona u mreži i na sučelju s korisnicima mreže u rasponu između dopuštene maksimalne i minimalne vrijednosti, te su opterećenja svih jedinica mreže manja od graničnih vrijednosti.

Po prirodi pomoćne usluge, aktivni korisnici distribucijske mreže koji su pružatelji usluge prijenosnom sustavu mogu utjecati na minimalne i maksimalne vrijednosti napona, te opterećenja vodova i transformatora u distribucijskoj mreži.

Mrežnim pravilima [2] su točno definirane granice napona i opterećenja u normalnom pogonu mreže. Stanje u sustavu distribucijske mreže smatra se zadovoljavajuće ukoliko su iznosi napona unutar rasponu od  $\pm 10\%$  nazivnog napona ( $90 - 110\% U_n$ ) za svaki razmatrani smjer napajanja, te ukoliko su iznosi strujnog opterećenja svakog elementa sustava (bilo koje dionice nadzemnog voda/kabela ili transformatora) manji od maksimalno dozvoljenih vrijednosti -  $100\%$  nazivne struje nadzemnih vodova/kabela te  $100\%$  nazivne snage transformatora pri redovnom uklopnom stanju, odnosno  $120\%$  nazivne snage transformatora pri izvanrednim uklopnim stanjima.

Ukoliko bi pružanjem pomoćne usluge operatoru prijenosnog sustava korisnici distribucijske mreže uspjeli izgurati prilike u dijelu distribucijske mreže izvan ovih granica, mreža bi iz normalnog pogona prešla u poremećeni pogon. Jasno je kako svrha pomoćne usluge nije narušavanje pogona distribucijske mreže.

S druge strane, ukoliko su zadovoljeni uvjeti, te korisnik distribucijske mreže može blagotvorno djelovati na regulaciju energetskeg sustava bez narušavanja načela normalnog pogona distribucijske mreže, isto mu treba omogućiti. Iz toga proizlazi potreba za provjerom može li se usluga provoditi bez opasnosti za normalan pogon distribucijskog sustava. Pružanje usluga Operatoru prijenosnog sustava iz dubine distribucijskog sustava je tek u začetku, te je stoga i postupak provjere tek u razvitku.

U sljedećim poglavljima ovoga rada prikazane su analize dva međusobno različita primjera, gdje je najznačajnija razlika među primjerima naponska razina priključenja i lokacija korisnika unutar distribucijske mreže, dok priključne snage i iznos pružene usluge nisu značajno različite.

Prvim primjerom prikazan je utjecaj jednog korisnika mreže na 35 kV naponski reguliranoj mreži, dok je u drugom primjeru obrađen utjecaj pet korisnika 10 kV naponski neregulirane mreže na prilike u distribucijskoj mreži.

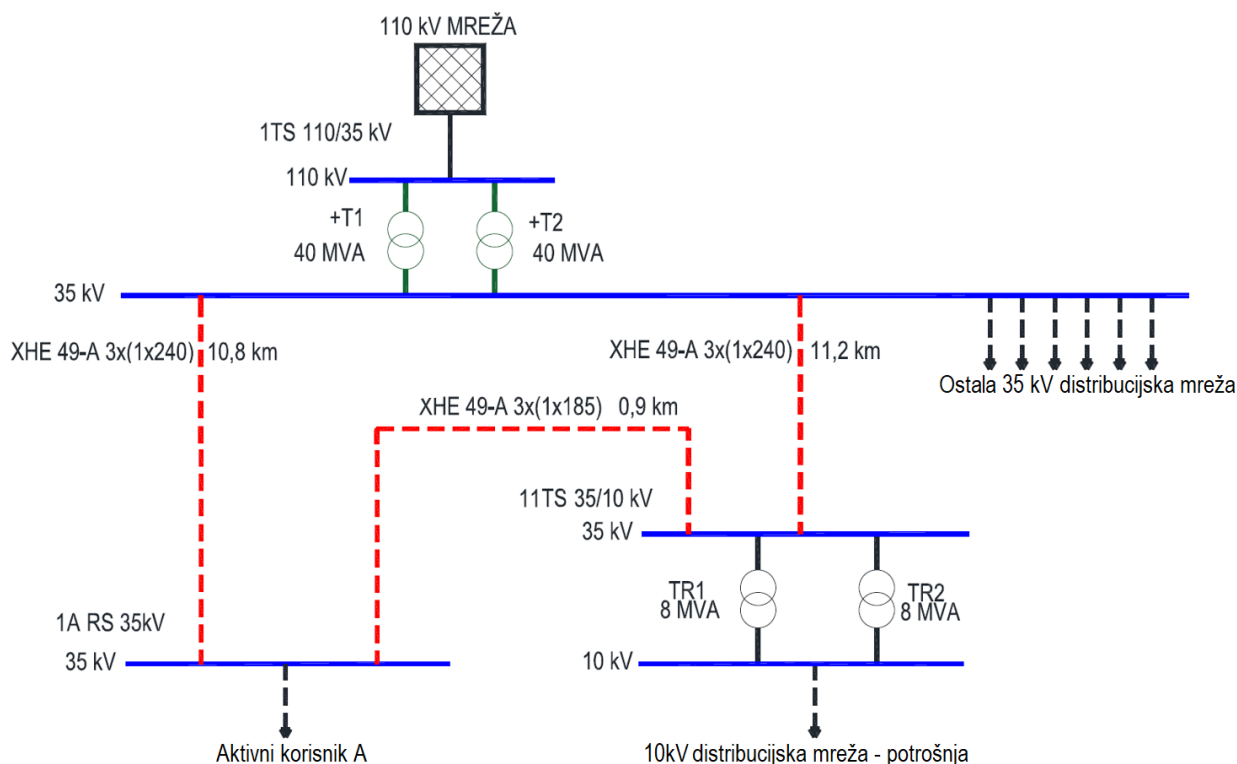
### **3. PRIMJER 1: ANALIZA UTJECAJA PRUŽANJA USLUGE SMANJENJA OPTEREĆENJA AKTIVNOG KUPCA NA PRILIKE U 35 kV MREŽI**

U analiziranom slučaju, korisnik SN mreže na 35 kV naponskoj razini, priključne snage 16.5 MW, uz posredovanje agregatora nudi pružanje pomoćne usluge tercijarne regulacije OPS-u smanjenjem snage u iznosu 7 MW (smanjenje u iznosu 43.75% priključne snage). Potrebno je provjeriti utjecaj pružanja usluge na prilike u distribucijskoj mreži, odnosno ugrožava li korisnik mreže pružanjem ove usluge normalni pogon distribucijskog sustava.

Predmetni korisnik mreže (u daljenjem tekstu: Aktivni korisnik A) povezan je na distribucijsku mrežu pomoću susretnog postrojenja RS 35 kV, koje je u normalnom pogonu u prstenastom spoju sa TS 35/10 kV instalirane snage 2x8 MVA, dok je cjelokupan prsten napojen pomoću kabelskih vodova sa TS 110/35 kV transformatorske stanice instalirane snage transformatora 2x40 MVA, što prikazano slikom 1.

Energetski transformatori pojne TS 110/35 kV su nazivne snage 40 MVA, nazivnog prijenosnog omjera 110/36,75 kV, regulacijskog opsega  $\pm 15\%$  u 10 koraka (1.5% po koraku). Automatska regulacija po

postavljenoj vrijednosti napona 36,05 kV (103%  $U_n$ ) je inverzne karakteristike, stupnja neosjetljivosti 1.2 % uz vrijeme odgode djelovanja 60 sekundi, uz nadstrujnu blokadu.



Slika 1. Prikaz spoja Aktivnog korisnika mreže

Uz opisanu mrežu, sa predmetne pojne TS 110/35 kV u normalnom pogonu je dodatno napojeno 35 kV omrežje ukupne duljine 175,61 km nadzemnih dalekovoda, na koju je priključeno 10 transformatorskih stanica 35/10(20) kV ukupne instalirane snage 82 MVA. Na predmetnom omrežju se nalaze i 3 značajnija proizvođača (smatraju se svi proizvođači snage priključenja 1MW ili više) električne energije, ukupne proizvodne snage 7,21 MW, od čega su 5,91 MW elektrana na biomasi, dok je 1,3 MW proizvodnja iz elektrana na sunčanu energije.

Ukupno maksimalno opterećenje dobiveno zbrojem neistodobnih maksimuma tereta pojedinačnih TS 35/10(20) kV iznosi 34,28 MW, dok je izmjereno istodobno maksimalno opterećenje 27,83 MW. Ukupno minimalno opterećenje dobiveno zbrojem neistodobnih minimuma tereta pojedinačnih TS 35/10(20) kV iznosi 2,07 MW, dok je izmjereno istodobno minimalno opterećenje 2,67 MW.

Modelirana je mreža u normalnom uklopnom stanju. Analiza kreće sa najgorim scenarijem, uz dodatnu marginu sigurnosti. Ukoliko je fleksibilnost mreže dostatna u ekstremnom slučaju smatra se kako zadovoljava i za sve ostale slučajeve, korisnik pružanjem usluge ne može narušiti normalan pogon mreže, te detaljnija analiza nije potrebna.

S obzirom na konfiguraciju promatrane mreže, bez proizvođača u strujnom krugu razmatranog aktivnog korisnika mreže, utjecaj pružene usluge na strujno opterećenje komponenata sustava u normalnom pogonu ne može biti negativan. Stoga se konstatira da je potrebno analizirati samo utjecaj pružanja usluge na naponske okolnosti.

Distribucijska 35 kV mreža u okruženju lokacije predmetnog korisnika mreže modelirana je i potrebni proračuni izrađeni su u programskom paketu NEPLAN 5.5.8..R2, model je prikazan na slici 2. Modelirana su 2 ekstremna stanja mreže:

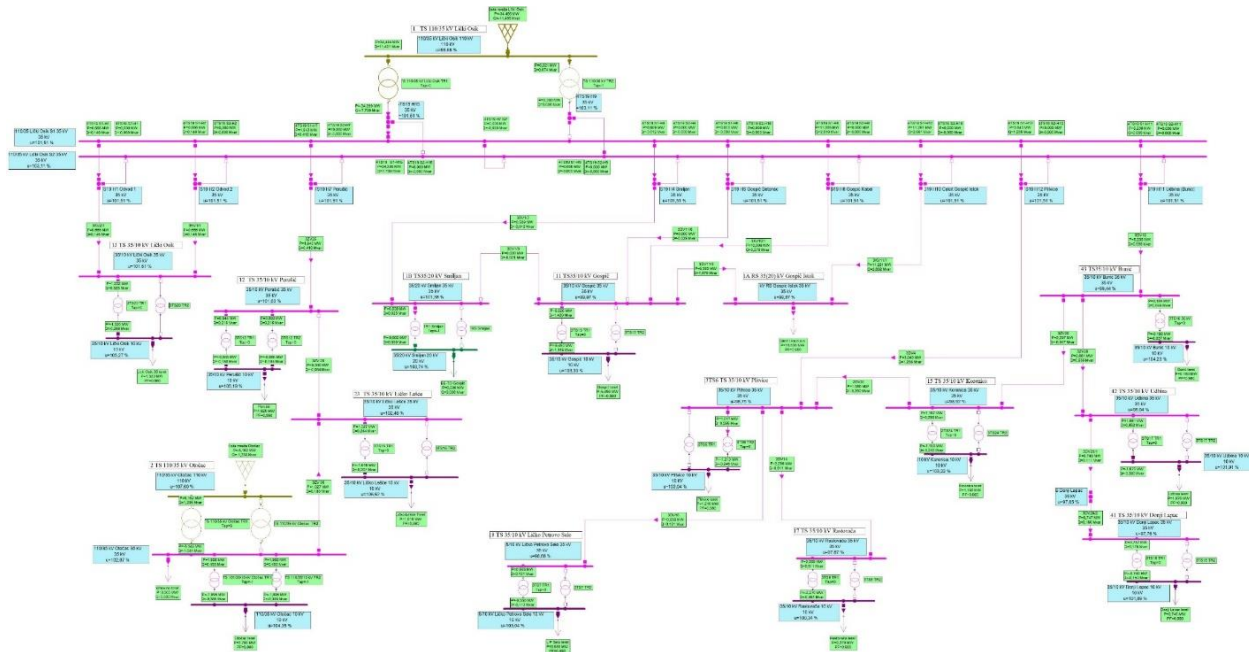
- maksimum potrošnje bez proizvodnje,
- minimum potrošnje sa proizvodnjom na maksimumu.

Na takav model superponirana su dva ponašanja korisnika mreže koji pruža pomoćnu uslugu:

- u prvom slučaju korisnik je maksimum opterećenja 16.5 MW, te ruši svoje opterećenje za 7 MW,

b) u drugom slučaju korisnik radi sa opterećenjem 7,95 MW, te ruši svoje opterećenje za 7 MW i ostaje raditi sa izmjenjenim minimumom potrošnje

Za potrebe ove analize uzeta su neistodobna opterećenja, čime je postignuta zadovoljavajuća margina sigurnosti u odnosu na izmjerena maksimalna i minimalna opterećenja predmetne mreže. Ovako dobivena opterećenja su 23,17% viša od izmjenjenog maksimuma, odnosno 30.31% niža od izmjenjenog minimuma, što se za ovaj stupanj, na početku razvoja analize mreže smatra primjerenim.



Slika 2. Shematski prikaz simulacijskog modela analiziranog sustava

Tereti na 10 kV sabirnicama postrojenja pripadnog omrežja napajana sa pojne točke TS 110/35 kV su simulirani uz faktor snage  $\cos \varphi = -0,98$  (kapacitivno). Iznimno kogeneracijsko energetskog postrojenja na drvenu biomasu 5 MW, koje je modelirano na  $\cos \varphi = 1$  u skladu sa stvarnim stanjem. Kapacitivni karakter 10 kV mreže je modeliran je temeljem mjerenja u mreži, a stanje odražava podopterećenost mreže i nedostatak induktivnih trošila.

### 3.1. Ispitni scenarij: Analiza pružanja pomoćne usluge pri maksimalnom opterećenju mreže

Tablica 1. Pregled napona i opterećenja pojedinih sabirnica pri maksimalnom teretu mreže

Naziv sabirnice	Početno stanje (Tap = 0)				Pružena pomoćna usluga (Tap = 0)				$\Delta U_n$ %
	U kV	% $U_n$	P MW	Q Mvar	U kV	% $U_n$	P MW	Q Mvar	
TS 110/35 kV Lički Osik 110 kV	109,65	99,68	34,45	11,52	109,65	99,68	27,22	7,55	0,00
TS 110/35 kV Lički Osik S1 35 kV	35,53	101,51	-34,28	-7,74	35,89	102,55	-27,10	-5,21	1,04
TS 35/10 kV Lički Osik 10 kV	10,53	105,27	1,32	0,27	10,64	106,38	1,32	0,27	1,11
TS 35/10 kV Perušić 10 kV	10,52	105,19	1,82	0,37	10,63	106,29	1,82	0,37	1,10
TS 35/20 kV Smiljan 20 kV	20,75	103,74	0,5	0,00	20,96	104,79	0,50	0,00	1,05
TS 35/10 kV Gospić 10 kV	10,33	103,29	5,49	1,12	10,50	104,96	5,49	1,12	1,67
<b>RS 35 (20) kV - Priključak aktivnog korisnika mreže</b>	<b>34,95</b>	<b>99,87</b>	<b>16,50</b>	<b>5,42</b>	<b>35,52</b>	<b>101,48</b>	<b>9,50</b>	<b>3,12</b>	<b>1,61</b>
TS 35/10 kV Plitvice 10 kV	10,30	103,04	1,21	0,25	10,41	104,08	1,21	0,25	1,04
TS 35/10 kV Bunić 10 kV	10,42	104,23	0,18	0,04	10,54	105,35	0,18	0,04	1,12
TS 35/10 kV Udbina 10 kV	10,19	101,91	1,87	0,38	10,33	103,33	1,87	0,40	1,42
TS 35/10 kV L. P. Selo 10 kV	10,30	103,04	0,55	0,11	10,42	104,18	0,55	0,11	1,14
TS 35/10 kV Rastovača 10 kV	10,03	100,34	2,27	0,46	10,14	101,42	2,27	0,46	1,08
TS 35/10 kV Korenica 10 kV	10,32	103,22	1,19	0,24	10,44	104,36	1,19	0,24	1,14
TS 35/10 kV Donji Lapac 10 kV	10,19	101,89	0,74	0,15	10,33	103,31	0,74	0,15	1,42

Za proračun pružanja usluge pri najvećem teretu mreže modeliran je najniži napon na sekundaru transformatora 110/35 kV, što je načelno za slučaj maksimalne potrošnje u minimumu proizvodnje. Najniži

napon je modeliran kao 1,5% Un niži od zadane podešene vrijednosti regulatora, čime se uvažila mrtva zona regulatora i odgađanje njegovog odziva.

Tablicom I. prikazani su rezultati dobiveni analizom. Iznosi napona u svim čvorištima mreže se nalaze unutar raspona 99,87%-106,29% Un, što je unutar propisanih granica prema Mrežnim pravilima distribucijskog sustava. Tijekom pružanja usluge do promjene položaja regulacijske preklapke transformatora 110/35 kV nije došlo.

Zbog pružanja usluge došlo je do porasta napona u iznosu od 1,61%Un na impedancijski najbližoj TS aktivnom korisniku mreže. Najmanji utjecaj, uz 30 kV sabirnice pojne TS 110/35 kV, vidljiv je na TS koja nije dio prstena, a napojena je dalekovodom najvećeg presjeka (1,04% Un) i na TS na kojoj se nalazi najveći proizvođač (1,05% Un).

### 3. 2. Ispitni scenarij: Analiza pružanja pomoćne usluge pri minimalnom opterećenju mreže

Tablica II. Pregled napona i opterećenja pojedinih sabirnica pri minimalnom teretu mreže

Naziv sabirnice	Početno stanje (Tap = 1)				Pružena pomoćna usluga (Tap = 2)				$\Delta Un$ %
	U kV	% Un	P MW	Q Mvar	U kV	% Un	P MW	Q Mvar	
TS 110/35 kV Lički Osik 110 kV	111,78	101,62	9,18	2,07	111,78	101,62	2,11	1,08	0,00
TS 110/35 kV Lički Osik S1 35 kV	36,58	104,50	-9,13	-1,68	36,31	103,75	-2,07	-0,64	-0,75
TS 35/10 kV Lički Osik 10 kV	10,67	106,65	0,36	0,07	10,59	105,87	0,36	0,07	-0,78
TS 35/10 kV Perušić 10 kV	10,92	109,20	0,71	0,14	10,84	108,40	0,71	0,14	-0,80
TS 35/20 kV Smiljan 20 kV	21,68	108,38	-4,86	0	21,52	107,62	-4,86	0	-0,76
TS 35/10 kV Gospić 10 kV	10,83	108,29	2,61	0,53	10,80	107,99	2,61	0,53	-0,30
<b>RS 35 (20) kV - Priključak aktivnog korisnika mreže</b>	<b>36,32</b>	<b>103,78</b>	<b>7,95</b>	<b>2,61</b>	<b>36,245</b>	<b>103,56</b>	<b>0,95</b>	<b>0,31</b>	<b>-0,22</b>
TS 35/10 kV Plitvice 10 kV	10,89	108,94	0,33	0,07	10,81	108,13	0,33	0,07	-0,81
TS 35/10 kV Bunić 10 kV	10,66	106,55	0,02	0,01	10,58	105,77	0,02	0,01	-0,78
TS 35/10 kV Udbina 10 kV	10,90	108,97	0,23	0,05	10,82	108,17	0,23	0,05	-0,80
TS 35/10 kV L. P. Selo 10 kV	10,62	106,18	0,18	0,04	10,54	105,39	0,18	0,04	-0,79
TS 35/10 kV Rastovača 10 kV	10,83	108,31	0,61	0,12	10,75	107,50	0,61	0,12	-0,81
TS 35/10 kV Korenica 10 kV	10,89	108,87	0,52	0,11	10,81	108,07	0,52	0,11	-0,80
TS 35/10 kV Donji Lapac 10 kV	10,88	108,77	0,25	0,05	10,80	107,96	0,25	0,05	-0,81

Za proračun pružanja usluge pri najmanjem opterećenju mreže modeliran je napon za 1.5% Un viši od zadane podešene vrijednosti regulatora na sekundaru transformatora 110/35 kV, što je tipično tijekom minimuma potrošnje uz maksimum proizvodnje.

Tablicom II. prikazani su rezultati dobiveni analizom. Iznosi napona u svim čvorištima mreže se nalaze unutar raspona 103,78%-108,40% Un, što je unutar propisanih granica prema Mrežnim pravilima distribucijskog sustava, zahvaljujući odradi automatske regulacije napona u pojnoj TS 110/35 kV.

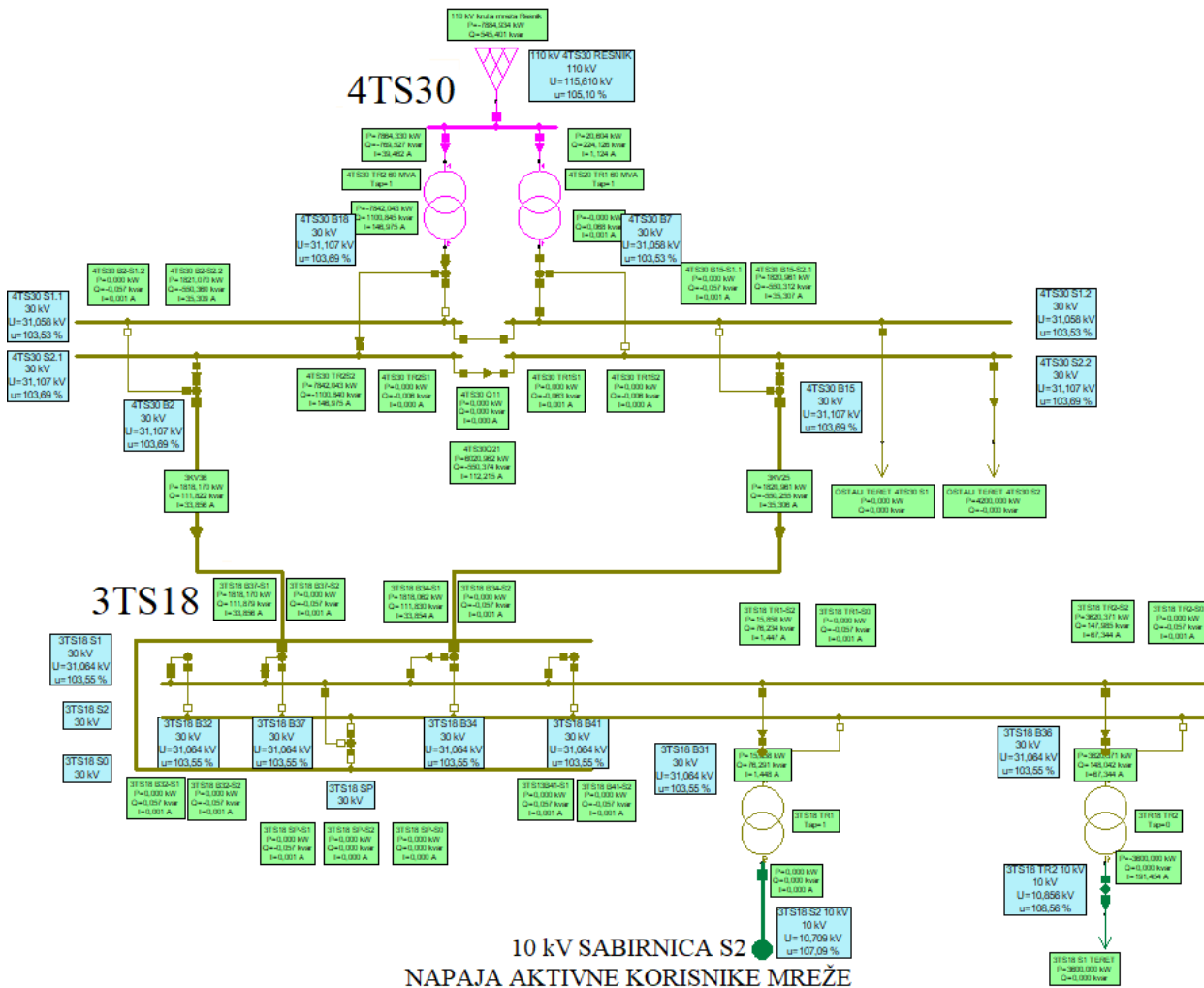
## 4. PRIMJER 2: ANALIZA UTJECAJA PRUŽANJA USLUGE SMANJENJA OPTEREĆENJA PET AKTIVNIH KUPACA NA 10 kV MREŽI

Pet aktivnih korisnika mreže na 10 kV naponskoj razini, priključne snage 17.74 MW, uz posredovanje agregatora, pružaju pomoćnu uslugu tercijarne regulacije Operatoru prijenosnog sustava smanjenjem radne snage 9.46 MW (smanjenje u iznosu 53,33% ukupne priključne snage).

Svi korisnici su na distribucijsku mrežu spojeni kabelskim vodovima na 10 kV sabirnice iste pojne transformatorske stanice 30/10 kV instalirane snage 2x16 MVA. TS je bez mogućnosti regulacije napona pod teretom. Predmetna TS u normalnom pogonu napojena je dvama 30 kV kabelskim vodovima napojena sa TS 110/30 kV instalirane snage transformatora 2x60 MVA sa automatskom regulacijom napona.

Energetski transformatori pojne TS 110/30 kV su regulacijskog opsega  $\pm 15\%$  u 10 koraka (1.5% po koraku), dok je postavna vrijednost automatske regulacije napona iznosi 30,90 kV (103% Un).

Elektronenergetska mreža u okruženju predmetnih aktivnih korisnika mreže modelirana je i potrebni proračuni izrađeni su u programskom paketu NEPLAN 5.5.8..R2. Prikaz modela mreže je dan na slikama 3. i 4.



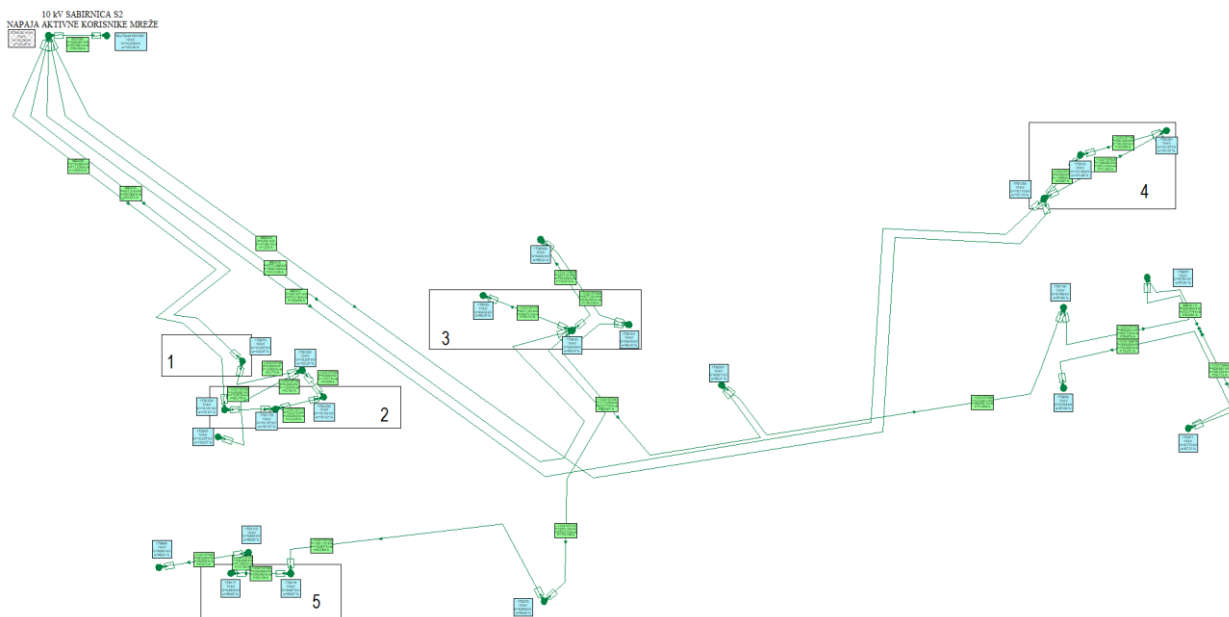
Slika 3. Model 30 kV mreže koja napaja aktivne korisnike mreže

Opterećenja na TS30/10 kV u predmetnom omrežja napajanoga sa pojne točke TS 110/30 kV su simulirani uz faktor snage  $\cos \varphi = 0,95$  (induktivno). Induktivni karakter 10 kV mreže je modeliran temeljem mjerenja, zbog industrijskog karaktera trošila na razmatranom dijelu mreže.

Na predmetnom omrežju ne nalaze se značajniji proizvođači (smatraju se svi proizvođači snage priključenja 1MW ili više). Modelirani su proizvodnja Aktivnih korisnika 2,3 i 4 (solarna energija), i to kako slijedi: na 1TS1250 0,1MW, 1TS1350 0,5 MW i 1TS403 0,5 MW.

Prilikom kreiranja ispitnih scenarija, scenarij maksimalnog opterećenja mreže uz maksimalno opterećenje od strane svih aktivnih korisnika mreže nije analiziran, budući da istovremeno angažiranje kompletne priključne snage svih pet aktivnih korisnika nije realan scenarij. U ovom pogledu velika je razlika u odnosu na prethodno analizirani slučaj sa jednim aktivnim korisnikom mreže, gdje je čak i izmjereno korištenje cijelog iznosa priključne snage.

Istovremeno korištenje cijele priključne snage od strane svih aktivnih korisnika iznosa 17.74 MW zahtijevalo bi uklapanje oba transformatora u transformatorskoj stanici 3TS18 uslijed preopterećenja jedne jedinice, što nije realan pogonski događaj i daleko premašuje izmjerene, odnosno očekivane terete. Scenarij u kojemu svih pet aktivnih korisnika mreže istovremeno koriste svu svoju priključnu snagu je očekivan u slučaju da svi aktivni korisnici mreže pružaju OPS-u uslugu povećanja opterećenja, što nije predmet ovoga rada.



Slika 4. Model 10 kV mreže koja napaja aktivne korisnike mreže

Stoga je kreiran samo jedan ispitni scenarij, ukupnog opterećenja modeliranog prema opterećenju izmjenom u karakterističnom trenutku visokog iznosa 30 kV napona na pojnoj 4TS30. Zasebno je modelirano opterećenje 3TS18, dok je preostalo opterećenje modelirano izravno na 30 kV sabirnicu 4TS30.

Opterećenje same 3TS18 modelirano je na način da je na TR2, gdje nema pružatelja usluga, izmjereno opterećenje modelirano izravno na sekundar transformatora.

Na TR1 su spojeni svi aktivni korisnici mreže. Opterećenje aktivnih korisnika mreže dobiveni su množenjem maksimalno zabilježene radne snage sa koeficijentom 0.8. Modelom je predviđeno da aktivni korisnici sudjeluju u pomoćnoj usluzi punom snagom, tj. da spuštaju svoje opterećenje na nulu.

Modeliran je i jedan vod bez aktivnih korisnika mreže gdje su opterećenja po TS raspodijeljena proporcionalno u odnosu na instaliranu snagu transformatora u pojedinoj TS, a na način kako bi u zbroju dali opterećenje jednako izmjenom opterećenju navedenog voda za odabrani karakteristični trenutak.

Preostalo opterećenje TR1 u 3TS18 modelirano je izravno na sekundar transformatora.

#### 4.1. Ispitni scenarij: analiza utjecaja pružanja pomoćne usluge pružene iz 10 kV mreže

Tablica III. Pregled napona i opterećenja pojedinih sabirnica prilikom pružanja pomoćne usluge

Naziv korisnika	Naziv TS	Početno stanje (Tap=1)				Pružena pomoćna usluga (Tap=1)				$\Delta U_n$ %
		U kV	% $U_n$	P kW	Q kVar	U kV	% $U_n$	P MW	Q Mvar	
4TS30 - 30 kV SABIRNICA		30,904	103,01	19,738	4,848	31,127	103,76	10,220	0,092	0,75
3TS18 - 10 kV SABIRNICA		10,265	102,65	11,538	3,503	10,635	106,35	2,366	0,963	3,70
Aktivni korisnik 1	1TS270	10,236	102,36	0,922	0,303	10,635	106,35	0	0	3,99
Aktivni korisnik 2	1TS1179	10,186	101,86	0,723	0,238	10,638	106,38	0	0	4,52
	1TS1259	10,182	101,82	0,723	0,238	10,638	106,38	0	0	4,56
Aktivni korisnik 3	1TS1250	10,189	101,89	0,723	0,238	10,638	106,38	-0,100	0	4,49
	1TS793	9,975	99,75	0,644	0,211	10,538	105,38	0	0	5,63
Aktivni korisnik 4	1TS403	9,978	99,78	0,644	0,211	10,538	105,38	-0,500	0	5,60
	1TS2404	9,876	98,76	0,644	0,212	10,471	104,71	0	0	5,95
Aktivni korisnik 5	1TS1350	10,138	101,38	0,594	0,194	10,662	106,62	-0,500	0	5,24
	1TS446	10,135	101,35	0,594	0,194	10,662	106,62	0	0	5,27
Aktivni korisnik 5	1TS2381	10,136	101,36	0,594	0,194	10,662	106,62	0	0	5,26
	<b>1TS417</b>	<b>9,894</b>	<b>98,94</b>	<b>0,47</b>	<b>0,155</b>	<b>10,521</b>	<b>105,21</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>6,27</b>
	1TS418	9,897	98,97	0,756	0,245	10,521	105,21	0	0	6,24
Impedancijski najudaljenija od 3TS18 na vodu bez pružatelja usluga – 1TS659		9,799	97,99	0,309	0,102	10,399	103,99	0,309	0,102	6,00



Za proračun pružanja usluge pri najvećem teretu mreže odabran je napon na sekundaru transformatora 110/30 kV tako da je najviši u slučaju pružene usluge, tj. da ne dođe do promjene položaja regulacijske preklopke, kako bi se lakše prikazala razlika u naponskim prilikama prije i prilikom pružanja pomoćne usluge.

Tablicom III. prikazani su rezultati dobiveni analizom. Tijekom Iznosi napona u svim modeliranim SN čvorištima mreže se nalaze unutar raspona 97,99%-106,62%  $U_n$ , što je unutar zadanih granica prema Mrežnim pravilima distribucijskog sustava.

Najveća promjena napona u trenutku pružene pomoćne usluge vidljiva je na 10kV sabirnicama koje napajaju aktivnog korisnika mreže koji je impedancijski najudaljeniji od pojnih sabirnica, a riječ je o povećanju napona za iznos 6,27% $U_n$ . Zamjetna je promjena napona i na impedancijski najudaljenijoj TS spojenoj na sabirnice pojne TS 30/10 kV putem kabelskog voda na kojemu nema pružatelja pomoćne usluge, iznosa 6,00% $U_n$ .

Najmanji efekt pružene pomoćne usluge je na sabirnicama pojne 110/30 kV stanice, gdje je vidljiva promjena od samo 0.75% $U_n$ .

## 5. ZAKLJUČAK

Zbog potrebe za povećanom fleksibilnosti sustava otvara se nova mogućnost korisnicima distribucijske mreže gdje je omogućeno pružanje pomoćne usluge tercijarne regulacije iz dubine distribucijskog sustava.

Razmatrano je na pružanje usluge na dva različita primjera: u prvom primjeru jedan aktivni korisnik na 35 kV mreži priključne snage 16.5 MW pruža uslugu smanjenja radne snage u iznosu 7.5 MW, dok u drugom primjeru veći broj korisnika mreže grupiran na istoj 10 kV mreži zbrojene ukupne priključne snage 17.74 MW pružaju uslugu iznosa 9.46 MW. Iz perspektive naručitelja pomoćne usluge, OPS-a, ova dva primjera djeluju veoma slično, međutim iz perspektive ODS-a slučajevi su značajno različiti.

Pregledom omrežja aktivnih korisnika mreže u razmatranim slučajevima se može zaključiti kako se pružanjem usluge niti ne može izazvati strujno preopterećenje nekog od elemenata razmatrane mreže (bilo koje dionice nadzemnog voda/kabela ili transformatora), te stoga strujno opterećenje nije analizirano, već samo uvjet naponskih granica.

U prvom analiziranom primjeru aktivni korisnik mreže je spojen izravno na naponski reguliranu 35 kV mrežu. Budući da je analizirana mreža napojena naponski reguliranom točkom, iznosi napona ne mogu dugotrajno izaći izvan propisanih vrijednosti. Temeljem navedenog, može se zaključiti kako mreža posjeduje dovoljnu fleksibilnost, te takav korisnik mreže može pružati pomoćnu uslugu dok su okolnosti u mreži u skladu s modeliranim stanjem u normalnom pogonu.

Drugim primjerom razmatran je utjecaj pružanja usluge smanjenja opterećenja više aktivnih korisnika na 10 kV mreži. Cilj navedene analize je bio istražiti mogućnosti pružanja od strane više aktivnih korisnika mreže na njima zajedničkoj lokalnoj naponski nereguliranoj SN mreži.

Usporedbom dobivenih rezultata u oba primjera, može se primijetiti kako utjecaj pružene usluge na napon 35 kV, odnosno 30 kV sabirnica pojnih točaka praktički zanemariv. U prvom primjeru ostvarena je promjena 1.04% $U_n$ , dok je u drugom primjeru promjena 0.75% $U_n$ , što je omjer koji ugrubo odgovara snagama transformatora – u primjeru 2 je pojna TS opremljena dvama transformatorima instalirane snage 60 MVA, dok je u primjeru 1 instalirana snaga pojne TS manja – 2x40 MVA.

Najveća naponska promjena koja je dobivena u Primjeru 1 iznosi 1,42% $U_n$  i vidljiva je na 10 kV sabirnicama impedancijski najudaljenije TS 35/10 kV od pojne točke 110/35 kV, a ne na mjestu same pružene usluge. U primjeru 2 nisu analizirane okolne TS 30/10 kV, već samo ona koja napaja aktivne korisnike mreže, kod koje je dobivena promjena napona 3,70% $U_n$  na 10 kV sabirnicama. Budući da su u primjeru 2 aktivni korisnici u dubini 10 kV mreže, analizirana

Najveća promjena napona, iznosa 6.27% $U_n$ , se nalazi kod aktivnog korisnika koji se nalazi impedancijski najdalje od izvora. Međutim, zanimljivo je primijetiti kako je velika promjena i na kraju voda na kojem nema aktivnih pružatelja usluga, iznosa čak 6.24% $U_n$ .

Premda su u oba analizirana primjera naponski uvjeti u mreži zadovoljeni, odnosno možemo reći kako je u oba slučaja mreža dovoljno fleksibilna, ističe se bitna razlika – jedan veći aktivni korisnik

samostalnim pružanjem usluge manje utječe na sustav nego više manjih korisnika priključenih na istu mrežu, zbog narušavanja faktora istodobnosti koji je poštivan prilikom priključenja pojedinog korisnika na mrežu. Druga bitna razlika je kako je kod mreže više impedancije utjecaj pružanja usluga bitno veći.

Na 35 kV naponskoj razini u pogonu u petlji ima znatno manji utjecaj na cjelokupnu distribucijsku mrežu od korisnika na 10 kV, što zbog razlika u impedanciji mreže, što zbog razlika u naponskoj reguliranosti izvora mreže. Iz svega se može zaključiti da usluga koja je istovjetna sa aspekta pruženog smanjenja snage ima bitno različit utjecaj na prilike u mreži u ovisnosti o tome koliko je sama mreža jaka i regulirana, odnosno drugim riječima koliko je mreža fleksibilna.

Iz provedenih analiza se može zaključiti kako je usluga tercijarne regulacije sa aspekta distribucijskog sustava je znatno manje rizična, odnosno znatno povoljnija ukoliko se pružanje usluge vrši na 35 kV naponskoj razini. Ostaje za istražiti, ispitati i donijeti odluke i kriterije vezane uz problematiku istodobnosti pružanja usluga u slučaju kada se pojavi više pružatelja usluge na istom području.

## **6. LITERATURA**

- [1] Zakon o tržištu električnom energijom, NN 111/2021, listopad 2021.,
- [2] Mrežna pravila distribucijskog sustava, NN 74/2018, kolovoz 2018.,