

# Nova mrežna pravila i uvjeti prilikom priključenja velikog potrošača na prijenosnu mrežu

---

Vendl, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:652932>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-25**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**NOVA MREŽNA PRAVILA I UVJETI PRILIKOM  
PRIKLJUČENJA VELIKOG POTROŠAČA NA  
PRIJENOSNU MREŽU**

**Završni rad**

**Ivan Vendl**

**Osijek, 2019.**

## **SADRŽAJ**

1. UVOD .....	3
1.1 Opis zadatka .....	3
2. USPOREDBA STARIH I NOVIH MREŽNIH PRAVILA.....	4
2.1 Stara i nova mrežna pravila .....	4
2.2 Usporedba mrežnih pravila .....	5
3. PRIJENOSNI SUSTAV REPUBLIKE HRVATSKE.....	16
4.PRORAČUN .....	19
4.1 Ulazni podaci proračuna i simulacija .....	19
4.2 Opis simulacijskih slučajeva .....	21
4.2.1 Analiza rezultata.....	30
5.ZAKLJUČAK .....	32
LITERATURA.....	33
SAŽETAK.....	35
ABSTRACT .....	36
ŽIVOTOPIS .....	36

# 1. UVOD

Rastom potrebe za električnom energijom potrebno je omogućiti pravilan rad čitavog elektroenergetskog sustava gdje imamo zadužene nadležne službe kao što je Hrvatski operator prijenosnog sustava [3] koja je odgovorna za pouzdanost i raspoloživost opskrbe električnom energijom te pravilna raspodjela sustava proizvodnje, prijenosa i distribucije. Time je potrebno postići sigurnost isporuke električne energije. Svaki elektroenergetski sustav se sastoji od elektrana, prijenosne mreže, distribucijske mreže te potrošača električne energije. Kroz podjelu potrošača prema naponskom nivou preko kojeg su priključeni na električnu mrežu imamo velepotrošače koji su direktno priključeni na prijenosnu mrežu, industrijske potrošače kao što su uslužne ustanove i ostali veliki potrošači spojeni na srednjenaponsku mrežu, te niskonaponske potrošače (rasvjeta, kućanstva,..) . Kroz analize potrošača gdje promatramo dio elektroenergetskog sustava određenog naponskog nivoa sve dijelove nižih naponskih nivoa gledamo kao jednog potrošača s fiksnom impedancijom ili snagom odnosno gledamo ga kao jedan ekvivalentnih svih potrošača spojenih na spomenuti dio nižeg naponskog nivoa. Ukoliko se pojavi potrošač koji ne predstavlja ekvivalent više potrošača nego se on predstavlja kao pojedinačni potrošač, a to je slučaj kod velikih potrošača električne energije (veliki asinkroni motori u industrijskim postrojenjima). Upravo u takvim analizama priključenja velikog potrošača nas zanima takav utjecaj na prijenosnu mrežu kroz mjerenje tokova snaga. Ovaj utjecaj priključenja velikog potrošača na mrežu smo obradili proračunskom analizom na kraju rada. Razvojem tehnologije i rastom EES-a očekivano je imati promjene u pravilima elektroenergetskih mreža. Upravo te promjene su proučavane u prvoj fazi završnog rada i to na dio koji se odnosi na priključenje velikog potrošača. Usporedba se vršila između Mrežnih pravila elektroenergetskog sustava 2006. godine [1] i Mrežnih pravila prijenosnog sustava 2017. godine [2] te njihovom analizom i usporedbom zaključeno je do kojih je promjena došlo.

## 1.1 Opis zadatka

Izvršiti usporedbu novih [2] i starih [1] mrežnih pravila s osvrtom na uvjete prilikom priključenja velikog potrošača na prijenosnu mrežu te izvedba simulacije za priključak velikog potrošača vrijednosti 20MW i 5MVA<sub>r</sub> na 14 sabirnički model prijenosne mreže. Nakon spajanja potrošača uočiti strujno-naponske promjene svih sabirnica, analizirati gubitke u sustavu te opterećenost vodova.

## 2. USPOREDBA STARIH I NOVIH MREŽNIH PRAVILA

### 2.1 Stara i nova mrežna pravila

Mrežna pravila elektroenergetskog sustava 2006. godine [1] donesena su 2006. godine od strane Branka Vukelića, tadašnjeg ministra gospodarstva, rada i poduzetništva, koja obuhvaćaju pravila za prijenosnu i distributivnu mrežu. Donesene su opće, prijelazne i završne odredbe kroz niz članaka, točaka i stavaka. Time su definirana pravila za načine vođenja pogona, razvoja i izgradnje priključaka na prijenosnu i distributivnu mrežu, te mjerna pravila za obračunsko mjerno mjesto. Mrežna pravila prijenosnog sustava 2017. godine [2] donesena su 2017. godine, a donio ih je Hrvatski operator prijenosnog sustava [3] na osnovi Zakona o tržištu električne energije [4] uz prethodnu suglasnost Hrvatske energetske regulatorne agencije [5]. Također se sastoje od niza članaka, točaka i stavaka, ali ova mrežna pravila [2] obuhvaćaju samo prijenosnu mrežu za razliku od mrežnih pravila iz 2006. godine [1] koja obuhvaćaju i prijenosnu i distributivnu mrežu. Novim mrežnim pravilima [2] propisani su tehnički i drugi uvjeti:

- za priključenje korisnika na prijenosnu mrežu
- za sigurno preuzimanje električne energije od proizvođača
- za siguran pogon prijenosne mreže vezan za opskrbu krajnjeg kupca propisanom kvalitetom električne energije
- za pristup prijenosnoj mreži, njezino korištenje i održavanje
- za obveze korisnika prijenosne mreže u tehničkom pogledu
- za obveze korisnika prijenosne mreže pri planiranju pogona i upravljanja prijenosnim sustavom
- za postupke pri pogonu elektroenergetskog sustava u normalnom, poremećenom i izvanrednom pogonu
- propisane su obveze Hrvatskog operatora prijenosnog sustava [3] vezane za rješenja tehničkih poteškoća prijenosne mreže te za obračunska mjerna mjesta.

Uočljiva razlika između starih [1] i novih [2] mrežnih pravila je ta da su stara mrežna pravila [1] donesena od strane tadašnjeg ministra gospodarstva, rada i poduzetništva Branka Vukelića, a nova mrežna pravila [2] su donesena od strane HOPS-a [3]. „Misija HOPS-a [3] je vođenje elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske, prijenos električne energije te održavanje, razvoj i izgradnja prijenosne mreže poradi pouzdane opskrbe korisnika uz minimalne troškove i brigu za okoliš. Osnovan te je počeo sa radom 4. travnja 2005. godine temeljem Zakona o energiji [6], Zakona o izmjenama i dopunama Zakona o energiji [7] i Zakona o tržištu električne energije [4], prvo pod nazivom HEP- Operator prijenosnog sustava d.o.o (HEP-OPS d.o.o) osnovanog kao trgovačko društvo nakon rekonstruiranja hrvatskog elektroenergetskog sektora. Tek 2. srpnja 2005. godine temeljem rješenja Trgovačkog suda u Zagrebu o opisu u sudski registar, povećanju temeljnog kapitala, promjeni tvrtke, predmeta poslovanja i odredbi izjave o osnivanju HEP-Operatora prijenosnog sustava d.o.o. to isto društvo posluje i sudjeluje u pravnom prometu pod novim imenom tvrtke koje glasi Hrvatski

operator prijenosnog sustava d.o.o.[3]. Time HOPS [3] postaje jedini operator elektroenergetskog sustava u Republici Hrvatskoj i vlasnik cjelokupne hrvatske prijenosne mreže, te posjeduje dozvolu za obavljanje energetske djelatnosti prijenosa električne energije kao regulirane javne usluge. Poslovanje HOPS-a [3] regulirano je Zakonom o energiji [7] (Narodne novine 120/2012, 14/2014, 95/2015, 102/2015), Zakonom o tržištu električne energije [4] (Narodne novine 22/2013, 95/2015, 102/2015)“. Zbog toga osnivanjem HOPS-a [3] smo dobili bolju, kvalitetniju i sigurniju opskrbu, održavanje, razvoj i izgradnju elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske što vidimo i iz starih [1] i novih [2] mrežnih pravila gdje su nova [2] opširnija te bolje tehnički opisana.

## 2.2 Usporedba mrežnih pravila

Tablica 2.1. prikazuje usporedbu odnosno promjene i proširenja pravila koja su nastale usporedbom novih mrežnih pravila [2] i starih mrežnih pravila [1] vezanih za temeljne značajke na mjestu priključka na prijenosnu mrežu kao što su odstupanje frekvencije, odstupanje napona, valni oblik napona, uzemljenje zvjezdišta, značajke zaštite, praćenje pogonskih događaja i sl.

Tablica 2.1. Temeljne tehničke značajke na mjestu priključenja na prijenosnu mrežu

Mrežna pravila elektroenergetskog sustava 2006. godine [1]	Mrežna pravila prijenosnog sustava 2017. godine [2]
<b>Odstupanje frekvencije</b>	
„U normalnim pogonskim uvjetima i pri radu hrvatskog sustava u interkonekciji, frekvencija se održava u granicama od 49,95 Hz do 50,05 Hz.“	„U normalnim pogonskim uvjetima i pri radu hrvatskog elektroenergetskog sustava u interkonekciji, frekvencija se održava u granicama od 49,95 Hz do 50,05 Hz. Frekvencija u granicama od 49,5 Hz do 50,5 Hz mora biti održavana tijekom godine u 99,5 % prosjeka 10 sekundnih mjernih intervala. U normalnim pogonskim uvjetima i pri radu hrvatskog elektroenergetskog sustava u interkonekciji, frekvencija u granicama od 47 Hz do 52 Hz uvijek mora biti održana.“
„U normalnim pogonskim uvjetima u izoliranom radu hrvatskog sustava, frekvencija se održava u granicama od 49,50 Hz do 50,50 Hz.“	„U normalnim pogonskim uvjetima u izoliranom radu hrvatskog elektroenergetskog sustava, frekvencija se održava u granicama od 49,50 Hz do 50,50 Hz. Frekvencija u granicama od 49,00 Hz do 51,00 Hz mora biti održavana tijekom svakog tjedna u 95,0 % prosjeka 10 sekundnih mjernih intervala. U normalnim pogonskim uvjetima u izoliranom radu hrvatskog elektroenergetskog sustava, frekvencija uvijek mora biti u granicama od 42,5 Hz do 57,5 Hz.“

<b>Odstupanje napona</b>	
	„Dopuštena odstupanja od referentnog napona, odnosno nazivnog napona 35(30) kV mreže, na sučelju prijenosne i distribucijske mreže u uvjetima normalnog pogona, osim za slučajeve nastale usljed poremećaja i prekida napajanja, utvrđuju se tijekom razdoblja od tjedan dana tako da 99% 10-minutnih prosjeka efektivnih vrijednosti napona mora biti u granicama iz članka 62. stavka 2. ovih Mrežnih pravila. Niti jedna izmjerena 10-minutna efektivna vrijednosti napona na 35(30) kV naponskom sučelju prijenosne i distribucijske mreže tijekom razdoblja od tjedan dana ne smije biti izvan $\pm 15\%$ referentnog napona.“
„U poremećenom pogonu, iznosi napona na mjestima priključka korisnika na prijenosnu mrežu mogu biti u granicama kao što je određeno u točki 4.1.6.5. stavak 12.“	„U poremećenom pogonu iznosi napona na mjestima priključka korisnika na prijenosnu mrežu mogu biti u granicama u skladu sa člankom 62. stavkom 3. ovih Mrežnih pravila. Niti jedna izmjerena 10-minutna efektivna vrijednosti napona na 35(30) kV naponskom sučelju prijenosne i distribucijske mreže tijekom razdoblja od tjedan dana ne smije biti izvan $\pm 15\%$ referentnog napona.“
	„Planirana razina jakosti dugotrajnih treperenja napona u prijenosnoj mreži iznosi $Plt=1,0$ . U normalnom pogonu u bilo kojem razdoblju od tjedan dana jakost dugotrajnih treperenja napona ne smije u 95% 120 minutnih intervala premašiti planiranu razinu.“
	„U cilju ograničavanja kumulativnog utjecaja svih krajnjih kupaca, proizvođača ili operatora distribucijskog sustava na iznos planirane razine jakosti dugotrajnih treperenja napona, granične vrijednosti jakosti dugotrajnih treperenja napona svakog pojedinog krajnjeg kupca, proizvođača ili operatora distribucijskog sustava se određuju proporcionalno njegovoj priključnoj snazi. Za određivanje granične vrijednosti se primjenjuje postupak dan u IEC/TR 61000-3-7.“
	„Planirana razina nesimetričnosti napona u prijenosnoj mreži iznosi 1,4%. Navedena vrijednost nesimetričnosti napona odnosi se na 95% 10-minutnih prosjeka efektivnih vrijednosti inverzne komponente napona za razdoblje od tjedan dana.“

	„U cilju ograničavanja kumulativnog utjecaja svih krajnjih kupaca, proizvođača ili operatora distribucijskog sustava na iznos planirane razine nesimetričnosti napona, granične vrijednosti emisije nesimetričnosti napona svakog pojedinog krajnjeg kupca, proizvođača ili operatora distribucijskog sustava se određuju proporcionalno udjelu njegove priključne snage u snazi kratkog spoja na mjestu priključenja. Za određivanje granične vrijednosti se primjenjuje postupak dan u IEC/TR 61000-3-13.“
	„Kvaliteta napona na sučelju prijenosne i distribucijske mreže u uvjetima normalnog pogona, osim za slučajeve nastale usljed poremećaja i prekida napajanja ili nedopuštenog negativnog povratnog djelovanja iz distribucijske mreže propisana je u skladu s normom HRN EN 50160.“
<b>Valni oblik napona</b>	
	„U cilju ograničavanja kumulativnog utjecaja svih krajnjih kupaca, proizvođača ili operatora distribucijskog sustava na iznos planirane razine jakosti dugotrajnih treperenja napona, granične vrijednosti jakosti dugotrajnih treperenja napona svakog pojedinog krajnjeg kupca, proizvođača ili operatora distribucijskog sustava se određuju proporcionalno njegovoj priključnoj snazi. Za određivanje granične vrijednosti se primjenjuje postupak dan u IEC/TR 61000-3-7.“
„Operator prijenosnog sustava može opremiti mjesta priključka uređajem za mjerenje parametara kvalitete električne energije.“	
„Vrijednosti indeksa jačine ikera u prijenosnoj mreži ne smiju biti veće od 0,8 za kratkotrajne ikere, odnosno 0,6 za dugotrajne ikere.“	
<b>Značajke uzemljivača</b>	
	„U slučaju nastupa jednopolnog kratkog spoja u elektroenergetskom postrojenju prijenosne mreže ili u dijelu prijenosne mreže bliskom tom elektroenergetskom postrojenju, uzemljivač postrojenja poprma povišeni potencijal prema okolini.“
	„Ako su uzemljivači postrojenja operatora prijenosnog sustava i postrojenja korisnika prijenosne mreže, odnosno postrojenja operatora distribucijskog povezani tada se u“



	„slučaju kvara u postrojenju operatora prijenosnog sustava dio potencijala uzemljivača tog postrojenja prenosi na uzemljivač postrojenja korisnika prijenosne mreže, odnosno postrojenja operatora distribucijskog sustava.“
	„U sklopu prethodne energetske suglasnosti za priključak nove građevine na prijenosnu mrežu operator prijenosnog sustava dostavlja vlasniku priključka nove građevine podatke o projektiranim vrijednostima i rezultatima zadnjeg mjerenja potencijala uzemljivača prijenosnog postrojenja na koji se novi korisnik prijenosne mreže priključuje.“

Na temelju uspoređenih pravila vezanih za temeljne tehničke značajke primjećujemo da nova mrežna pravila [2] sadrže puno više točaka te su neke točke bolje opisane. Kod odstupanja frekvencije imamo točnije definirane intervale za rad sustava u interkonekciji i izoliranom radu. Opisi mjerenja vezani za odstupanje frekvencije je usklađen sa normom HRN (EN) 50160 koja se bavi kvalitetom električne energijom. Ovom normom se definiraju i opisuju karakteristike napona glede: frekvencije, iznosa, valnog oblika te simetrije napona faznih vodiča. „Nazivna frekvencija u razdjelnoj mreži je 50 Hz te u normalnim pogonskim uvjetima u niskonaponskim i sredjenaponskim distributivnim mrežama vrijedi da pri normalnim pogonskim uvjetima kroz mjerne vremenske intervale od 10 sekundi frekvencija na godišnjoj razini mora biti održavana u prosjeku 99.5%, a kod otočne razdjelne mreže uvjeti su blaži.“

Za odstupanja napona dodana su pravila vezana za treperenje, nesimetričnost i kvalitetu napona. Treperenje napona je definirano zbog toga što je dokazano da promjena intenziteta svjetla u radnoj ili društvenoj okolini negativno utječe na zdravlje ljudi. Javlja se glavobolje, depresija, nervoza, oštećenje vida i sl. Treperenje je stoga definirano na način da ako u prostoriji u kojoj se nalazi 100 ljudi prilikom promjene amplitude napona zbog koje dolazi do treperenja 50 osoba zapazi promjenu intenziteta svjetlosti, tada kažemo da je intenzitet treperenja 1. Jakost treperenja izračunavamo prema formuli (2-1).

$$Plt = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{Psti^3}{12}} \quad (2-1)[13]$$

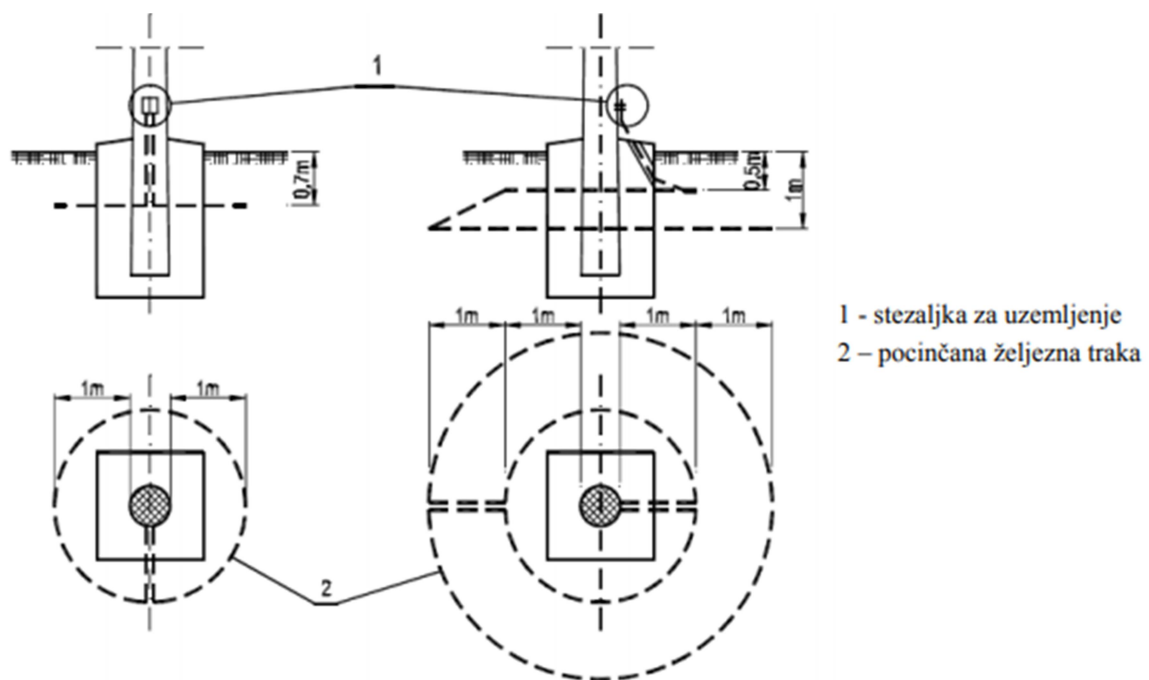
Tablica 2.2. Granične vrijednosti parametara kvalitete opskrbnog napona

Parametar	Granične vrijednosti	Mjerni i vrijednosni parametri			
		Osnovna veličina	Interval usrednjavanja	Promatrano razdoblje	Granica (%)
Frekvencija	50 Hz±1% (2%*) 50 Hz +4%/-6% (±15%*)	Prosječna vrijednost	10 s	1 godina	99,5 100
Treperenje	Pst Plt< 1	Algoritam treperenja	10 min 2 h	1 tjedan	95
Nesimetrija	<2%	Efektivna	10 min	1 tjedan	95

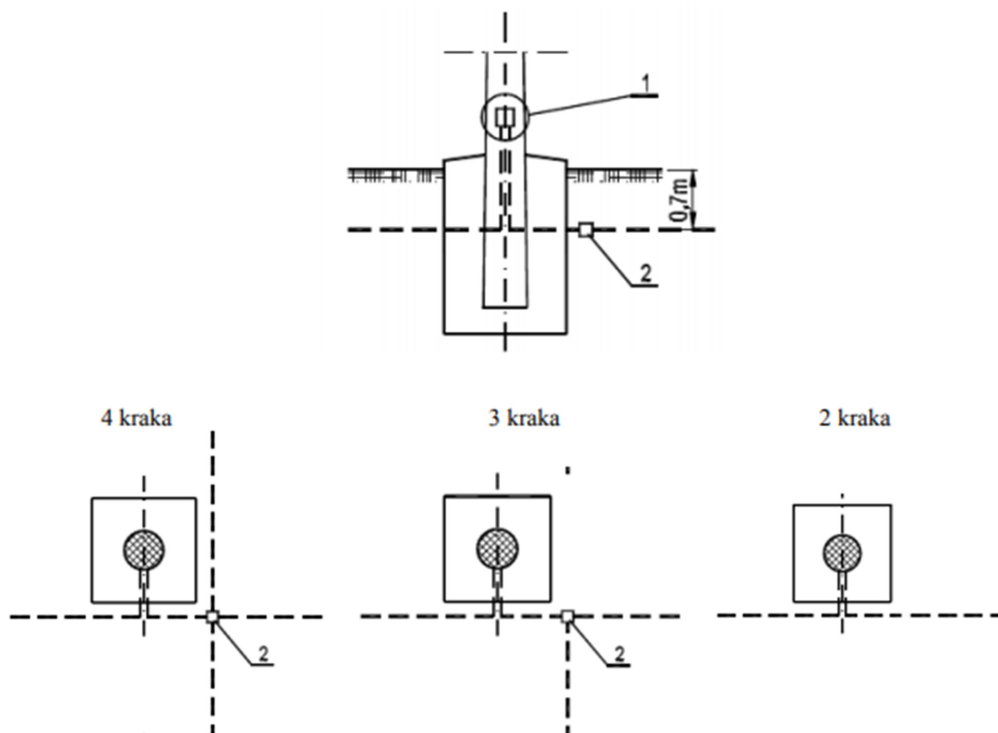
napona		vrijednost			
Harmonici napona	THD $\leq$ 8% (tablica do 40. harm.)	Efektivna vrijednost	10 min	1 tjedan	95
Spore promjene napona	Un $\pm$ 10% Un $\pm$ 15%	Efektivna vrijednost	10 min	1 tjedan	99% 100
Brze promjene napona	4% Max 6%	Efektivna vrijednost	10 ms	1 dan	100

\*kada nema interkonekcije

Tablicom 2.1 prikazane su granične vrijednosti parametara kvalitete opskrbnog napona donesene spomenutom normom HRN (EN) 50160. Dodana su i nova pravila za uzemljivače gdje je definiran način te mjesta njihove primjene. „Kod samog pojma uzemljivača misli se u širem smislu na cijeli sistem koji obuhvaća i zaštitno uže (ako ga ima), sam uzemljivač, te međusobni galvanski spojevi metalnih dijelova koji nisu pod naponom. Zaštitno uže se u distribucijskim mrežama stavlja na 35(30) kV dalekovode, dok se kod mreža 10(20) kV ne koristi. Zadatak uzemljivača je da uspostavi galvansku vezu sa zemljom uz minimalni prijelazni otpor. Kod uzemljenja stupova u distribucijskoj mreži koriste se trakasti uzemljivači.“ Vrste: prstenasti uzemljivači s jednim prstenom ili dva prstena (slika 2.1), zrakasti uzemljivači s 2-4 kraka (slika 2.2).



Slika 2.1. Prstenasti uzemljivač distribucijskog dalekovodnog stupa [8]



Slika 2.2. Zrakasti uzemljivač distribucijskog dalekovodnog stupa[8]

U tablici 2.2. uspoređeni su mrežna pravila vezana za projektiranje, definiranje i izračune koja su potrebna prilikom izgradnje, proširenja i priključka postrojenja na prijenosnu mrežu.

Tablica 2.2. Opći uvjeti za priključenje postrojenja korisnika mreže na prijenosnu mrežu

Mrežna pravila elektroenergetskog sustava 2006. godine [1]	Mrežna pravila prijenosnog sustava 2017. godine [2]
„Mjesto energetskog priključka postrojenja korisnika na prijenosnu mrežu (dio sučelja između mreže i postrojenja korisnika mreže) u pravilu je na mjestu preuzimanja/iskoruke. Pojediniosti o sučelju trebaju se ugovorno regulirati između operatora prijenosnog sustava i korisnika mreže.“	„Mjesto priključenja postrojenja korisnika na prijenosnu mrežu (dio sučelja između prijenosne mreže i postrojenja korisnika prijenosne mreže) odgovara mjestu preuzimanja i/ili predaje električne energije. Pojediniosti o sučelju utvrđuju se ugovorom o priključenju, odnosno u prethodnoj elektroenergetskoj suglasnosti i elektroenergetskoj suglasnosti, u skladu s propisima kojima se uređuje priključenje, naknada za priključenje i povećanje priključne snage te ovim Mrežnim pravilima.“
	„Korisnici mreže s priključnom snagom jednakom ili većom od 10 MW priključuju se na prijenosnu mrežu izuzev u slučaju kada operatori prijenosnog i distribucijskog sustava suglasno utvrde da je priključenje na distribucijsku mrežu opravdano radi optimalnog vođenja i/ili razvoja prijenosne i“

	distribucijske mreže.“
„Korisnik mreže daje operatoru prijenosnog sustava sve zahtijevane tehničke i pogonske podatke za određivanje i provjeru ispunjavanja uvjeta priključka na prijenosnu mrežu (primjerice; isporučitelj opreme, gradijenti snage, faktor snage, pogon kod odstupanja frekvencije i napona, viši harmonici i drugo) i partnerski surađuje pri traženju optimalnog tehničkog rješenja.“	„Zahtjev za izradu EOTRP-a u postupku utvrđivanja uvjeta za priključenje mora sadržavati tehničke parametre građevine ili postrojenja, koju vlasnik ili investitor namjerava priključiti na prijenosnu mrežu, dostatne za izradu EOTRP-a i za određivanje i provjeru ispunjavanja uvjeta priključenja na prijenosnu mrežu (primjerice: nazivne karakteristike i tip opreme, gradijenti snage, faktor snage, pogon kod odstupanja frekvencije i napona, viši harmonici i drugo prema ovim Mrežnim pravilima).“
	„EOTRP izrađuje operator prijenosnog sustava na zahtjev vlasnika građevine ili investitora, odnosno korisnika prijenosne mreže, u skladu s propisima kojima se uređuje priključenje, naknada za priključenje i povećanje priključne snage te ovim Mrežnim pravilima.“
	„Na temelju EOTRP-a operator prijenosnog sustava ispituje jesu li u postojećem ili planiranom čvorištu prijenosne mreže (mjestu priključenja na prijenosnu mrežu), zadovoljeni potrebni uvjeti (dopuštena snaga priključka, snaga kratkog spoja, pouzdanost, kvaliteta napona, frekvencija i drugo prema ovim Mrežnim pravilima, važećim zakonskim i podzakonskim propisima, normama i pravilima struke kojima se uređuje postupak priključenja na prijenosnu mrežu), tako da se postrojenje korisnika može priključiti na prijenosnu mrežu bez opasnosti za pogon postrojenja ostalih korisnika prijenosne mreže i bez nedopuštenih utjecaja na pogon i razvoj elektroenergetskog sustava.“
„Ako nisu ispunjeni tehnički uvjeti za priključak postrojenja korisnika na prijenosnu mrežu, operator prijenosnog sustava je to dužan dokazati odgovarajućim proračunima. Troškove tih proračuna snosi operator prijenosnog sustava. Ako tehnički uvjeti na mjestu priključka postrojenja korisnika na prijenosnu mrežu nisu zadovoljeni (primjerice; moguća priključna snaga na prijenosnu mrežu, snaga kratkog spoja prijenosne mreže, pouzdanost preuzimanja ili isporuke snage/energije, negativno povratno djelovanje mreže na postrojenje korisnika“	„EOTRP mora najmanje: 1) utvrditi mogući način priključenja postrojenja korisnika prijenosne mreže na prijenosnu mrežu, u skladu s godinom planiranog ulaska postrojenja korisnika u pogon i za period važećeg desetogodišnjeg plana razvoja prijenosne mreže, 2) tehnički i financijski vrednovati u slučaju više mogućih rješenja priključenja svaku od varijanti te obrazložiti i predložiti optimalno rješenje priključka, 3) analizom u okolnoj prijenosnoj mreži utvrditi utjecaj postrojenja investitora,“

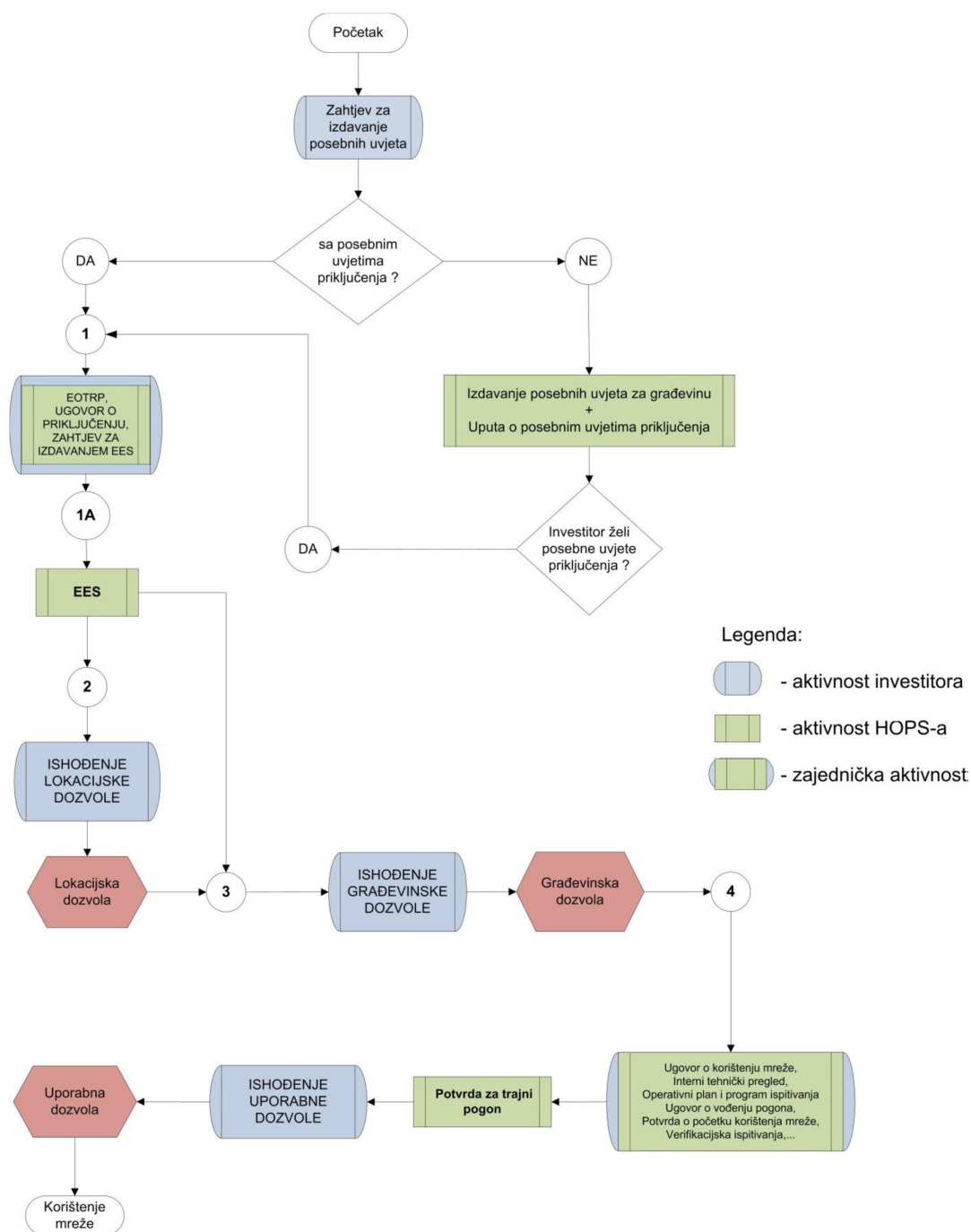
<p>„mreže), operator prijenosnog sustava može korisniku mreže predložiti odgovarajuće prilagodbe na njegovu postrojenju. Ako se zahtijeva izgradnja, pojačavanje prijenosne mreže ili posebne tehničke promjene u elektroenergetskom sustavu (primjerice; prilagodba sustava zaštite ili sustava daljinskog vođenja i telekomunikacija) tada operator prijenosnog sustava utvrđuje opseg i provedbu tih promjena radi ispravnog pogona planiranog postrojenja korisnika mreže, vodeći računa i o planovima razvoja prijenosne mreže. „</p>	<p>„odnosno korisnika prijenosne mreže na: – tokove snaga i struja kratkih spojeva u više scenarija pogonskog stanja i razvoja prijenosne mreže (najmanje: najmanje i najveće opterećenje elektroenergetskog sustava, povoljne i nepovoljne hidrološke prilike) – napone čvorišta i utjecaj na regulaciju napona u elektroenergetskom sustavu, – kvalitetu napona (odstupanje, harmonička izobličenja, treperenja i drugo prema ovim Mrežnim pravilima), – opterećenja vodova i podešenje relejne zaštite, gdje je potrebno, – statičku i prijelaznu stabilnost elektroenergetskog sustava i – potrebe za sekundarnom i tercijarnom regulacijskom rezervom snage-frekvencije u elektroenergetskom sustavu. 4) utvrditi potrebu stvaranja tehničkih uvjeta u prijenosnoj mreži/elektroenergetskom sustavu za priključak korisnika prijenosne mreže i procijeniti trošak izgradnje priključka i stvaranja tehničkih uvjeta u prijenosnoj mreži.“</p>
	<p>„Stvaranje tehničkih uvjeta u prijenosnoj mreži u smislu ovih Mrežnih pravila predstavlja izgradnju novih dijelova i/ili rekonstrukciju postojećih dijelova prijenosne mreže, radi priključenja novog korisnika prijenosne mreže ili povećanja priključne snage postojećeg korisnika prijenosne mreže.“</p>
	<p>„Stvaranje tehničkih uvjeta u prijenosnoj mreži iz stavka 2. ovog članka ostvaruje se izgradnjom i/ili rekonstrukcijom prijenosne mreže iste naponske razine i/ili prve nadređene naponske razine, osim u slučaju priključenja na prijenosne mrežu 220 kV i 400 kV kada se ostvaruje i izgradnjom i/ili rekonstrukcijom prijenosne mreže prve podređene naponske razine.“</p>
<p>„Kupci priključeni na mrežu napona 110 kV ili više trebaju operatoru prijenosnog sustava dostaviti tehničke podatke i specifikaciju trošila koja mogu biti uključena u plan obrane elektroenergetskog sustava. Način upravljanja tim trošilima u okviru plana obrane sustava (podfrekvencijsko rasterećenje, podnaponsko rasterećenje, ručno i automatsko upravljanje...) dogovaraju i ugovorno reguliraju operator prijenosnog“</p>	

sustava i kupci.	
<p>„Ugovor o vođenju pogona postrojenja korisnika mreže, koji mogu zaključiti operator prijenosnog sustava i korisnik mreže, mora sadržavati sljedeće:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– imenovanje odgovornih osoba za korištenje postrojenja i uklopničarsku službu,</li> <li>– ovlaštenja operatoru prijenosnog sustava za naloge u pogledu načina pogona postrojenja korisnika mreže, kao i pogonske manevre,</li> <li>– pravilnik o obavljanju uklopničarske službe,</li> <li>– pravilnik o primjeni mjera zaštite na radu,</li> <li>– ovlaštenje za pristup postrojenju korisnika mreže,</li> <li>– postupak pri održavanju postrojenja,</li> <li>– postupak pri kvarovima, smetnjama i nedostacima,</li> <li>– način komuniciranja i obveza obavještanja o promjeni na postrojenju korisnika,</li> <li>– primjenu Pojmovnika iz ovih Mrežnih pravila i hrvatskog jezika komuniciranja.“</li> </ul>	

Primjećujemo da su nova mrežna pravila [2] bolje definirana što se tiče samih uvjeta i pravila prilikom priključenja postrojenja na mrežu. U starim mrežnim pravilima [1] zahtjev se slao operatoru mrežnog sustava koji je vršio izračune i odredbe dali određeno postrojenje ispunjava sve uvjete priključenja dok kod novih mrežnih pravila [2] imamo formiran Elaborat optimalnog tehničkog rješenja [10]. On predstavlja složenu analizu mreže koja u obzir uzima trenutno i planirano stanje mreže, te trenutne i planirane korisnike. Sa svim prikupljenim podacima EOTRP [10] analizira mrežu te vrši proračune u svim uvjetima od normalnih do ekstremnih uvjeta za proizvodnju i potrošnju. Izrada EOTRP-a [10]. je u nadležnosti HEP ODS-a, a trošak izrade snosi postrojenje ili izvođač radova. Iz slike 2.3. i slike 2.4 vidljiv je postupak u koracima, koji zahtjevi i izvješća su potrebni te što se nalazi u nadležnosti HOPS-a odnosno izvoditelja radova .



Slika 2.3. Postupak priključenja postrojenja putem EOTRP-a [9]



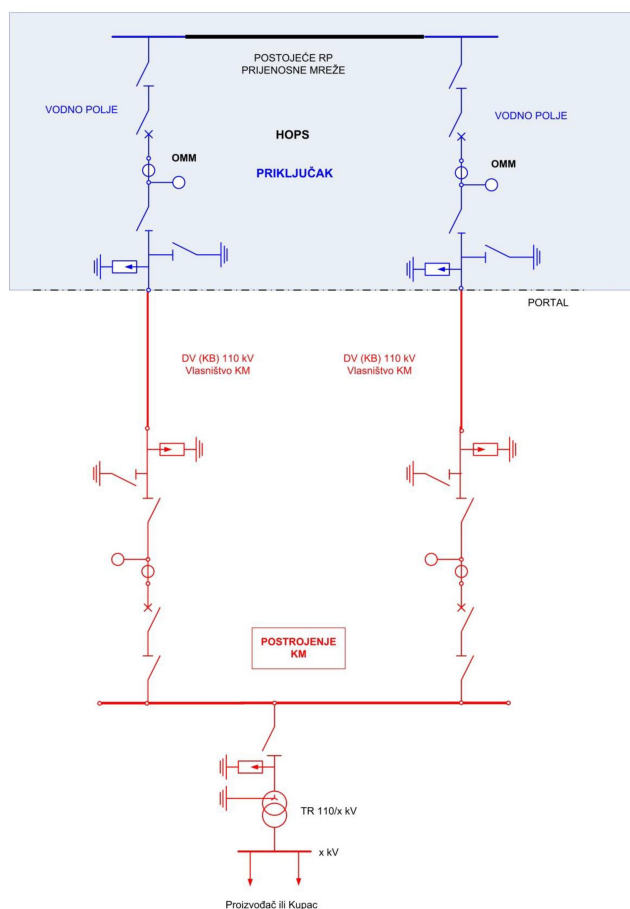
Slika 2.4. Općeniti blok dijagram kompletnog postupka za ishođenje dozvola utvrđenim mjerodavnim propisima za građevinu sa priključenjem investitora na prijenosnu mrežu [9]

Priključenje građevine investitora na prijenosnu mrežu, koje zadovoljava uvjete EOTRP-a [10], vrši se na slijedeće načine:

- priključenjem na najbliže postojeće rasklopno postrojenje operatora prijenosnog sustava
- priključenjem u postojeći vod operatora prijenosnog sustava po principu ulaz/izlaz, uz izgradnju novog čvorišta prijenosne mreže, koje postaje sastavni dio prijenosne mreže

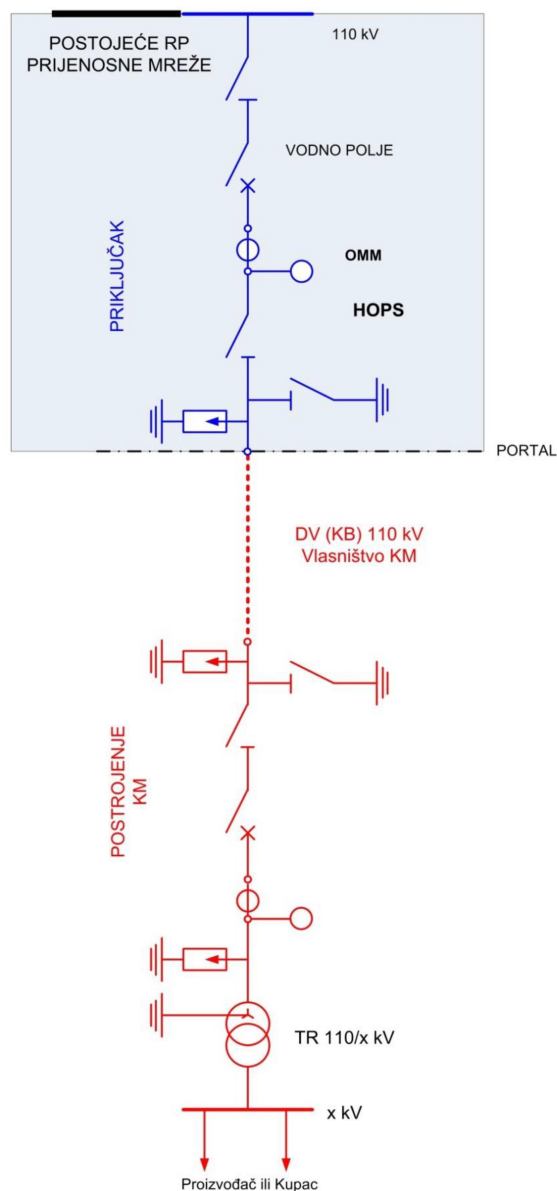
- izgradnjom novog čvorišta prijenosne mreže, kao centralnog priključnog mjesta, na mjestu koje odredi operator prijenosnog sustava, u slučaju priključenja posebnih zona ili proizvođača

Priključak zgrade investitora odnosno postrojenja na prijenosnu mrežu operatora izvodi se visokonaponskim nadzemnim ili kabelskim vodovima imajući na umu zadovoljenje kriterija „N-1“ prema principijelnoj shemi na slici 2.2.5 . Ukoliko investitor na svoj zahtjev ne želi primjenu „N-1“ kriterija sigurnosti za priključak svog postrojenja na prijenosnu mrežu, tada se priključak na prijenosnu mrežu vrši jednostrukim nadzemnim ili kabelskim vodom prema principijelnoj shemi na slici 2.2.6.



Slika 2.5. Principijelna shema priključka postrojenja investitora na postojeću mrežu operatora prijenosnog sustava [9]





*Slika 2.6. Principijelna shema priključka postrojenja investitora na postojeću mrežu operatora prijenosnog sustava jednostrukim vodom [9]*

### 3. PRIJENOSNI SUSTAV REPUBLIKE HRVATSKE

Danas u Hrvatskoj unutar prijenosnog sustava imamo ukupno 6 trafostanica 400kV razine, te 17 trafostanica ili postrojenja 220kV razine. U vlasništvu HOPS-a [3] je 7791 km visokonaponske mreže 400kV, 220kV i 110kV. U interkonekciji sa susjednim članicama European Network of Transmission System-a Hrvatska je povezana s 8 dalekovoda 220kV. Također broji i 18 dalekovoda na 110kV u trajnom ili povremenom pogonu koji služe za umrežavanje sa okruženjem. Iz navedenih podataka vidljivo je da je Hrvatska jedna od značajnih poveznica elektroenergetskih sustava srednje i jugoistočne Europe. Samim time to

Hrvatskoj omogućava izvoz, uvoz i tranzit električne energije preko prijenosne mreže. Strukturu prijenosne mreže postignuta je razmjena električne energije sa susjednim elektroenergetskim sustavima ponajviše vezanog za uvoz gdje je kroz tekuću 2018. godinu u Hrvatsku, uključujući i 50% NE Krško, ušlo 12692 GWh električne energije. U istoj godini izvezeno je 6532 GWh električne energije. Potrošnja električne energije na prijenosnoj mreži u RH iznosi 17.30 TWh što je 0,13% manje u odnosu na prethodnu 2017. godinu. Ukupni gubici iznose 2,23% odnosno ekvivalent od 534 GWh što je 27,95% više u odnosu na 2017. godinu gdje su gubici i dalje na razini gubitaka ostalih operatora prijenosnog sustava Europske Unije.

Tablica 3.1. Ukupan broj transformatorskih stanica i vodova prijenosnog sustava RH [11]

<b>Transformatorske stanice</b>		
<b>Naponska razina</b>	<b>Broj</b>	<b>MVA</b>
400/x kV	6	4400
220/x kV	14	3570
110x/ kV	161	5177
<b>Ukupno</b>	181	13147
<b>Vodovi [km]</b>		
<b>Napon</b>	<b>Ukupno</b>	
440 kV	1246,4	
220 kV	1330,8	
110 kV	5138,8	
Srednji napon	10,7	
<b>Ukupno</b>	7276,7	

Prema shemi na Slici 3.1. imamo četiri velika prijenosna područja: Osijek, Rijeka, Split, Zagreb. Njihov ukupan broj trafostanica i transformatora podijeljen prema prijenosnim područjima je prikazan u Tablicama 3.2 i 3.3.

Tablica 3.2. Broj trafostanica na određenim prijenosnim područjima [11]

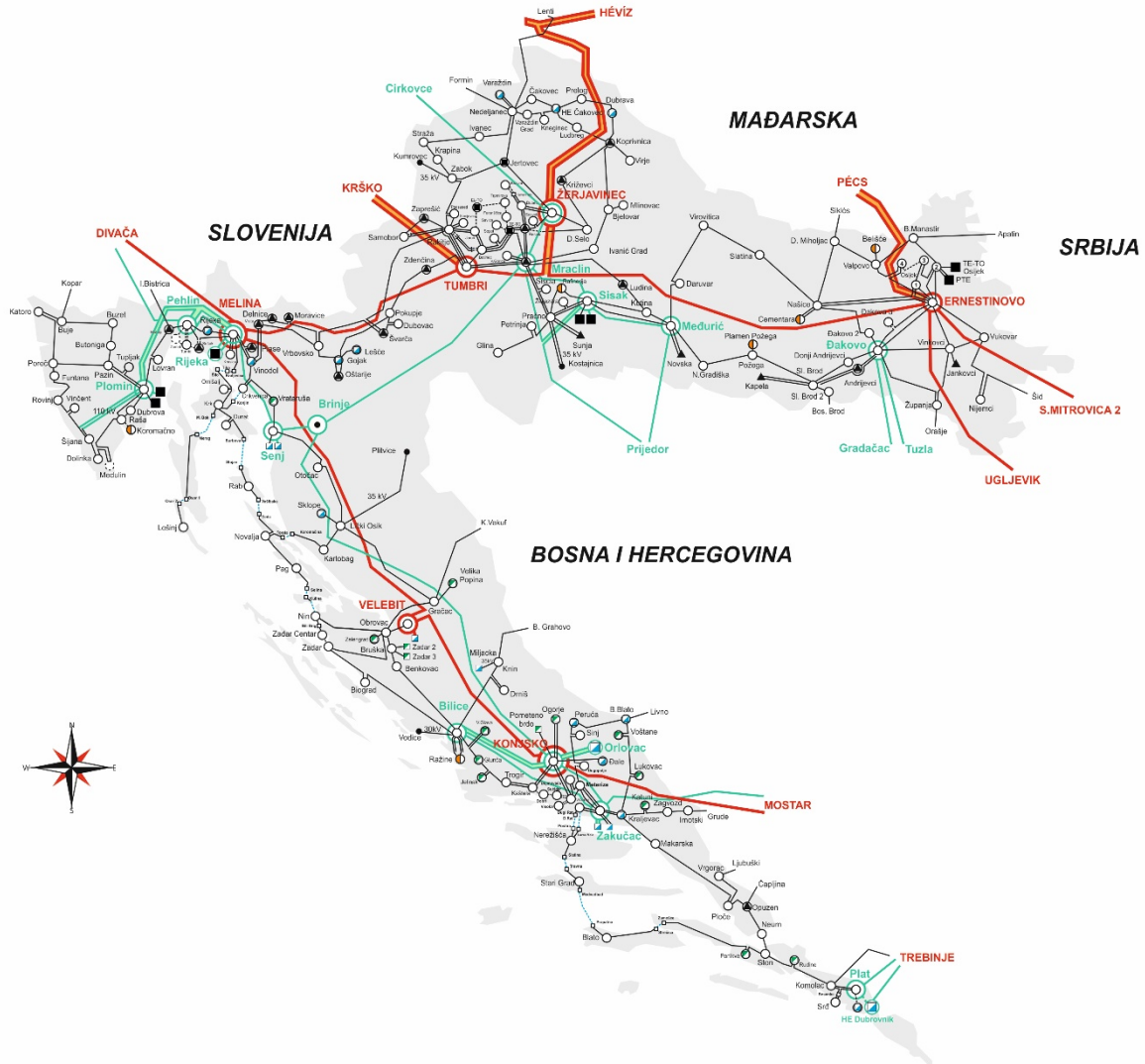
<b>Prijenosno područje</b>	<b>Broj trafostanica (kom.)</b>				<b>Broj polja s prekidačima (kom.)</b>			
	<b>400/x</b>	<b>220/x</b>	<b>110/x</b>	<b>Ukupno</b>	<b>400</b>	<b>220</b>	<b>110</b>	<b>Ukupno</b>
Osijek	1	1	21	23	9	5	159	173
Rijeka	1	5	39	45	7	40	227	274
Split	2	5	47	54	11	44	275	330
Zagreb	2	14	161	181	45	115	1032	1192

Tablica 3.3. Broj transformatora na određenim prijenosnim područjima [11]

<b>Prijenosno područje</b>	<b>Broj transformatora (kom.)</b>				<b>Instalirana snaga (MVA)</b>			
	<b>400/x</b>	<b>220/x</b>	<b>110/x</b>	<b>Ukupno</b>	<b>400/</b>	<b>220/</b>	<b>110/</b>	<b>Ukupno</b>
Osijek	2	2	33	37	600	300	1162	2062
Rijeka	2	9	29	40	800	1270	772	2842
Split	3	8	42	53	1100	1200	1622	3922
Zagreb	6	5	45	56	1900	800	1621	4321



# HRVATSKA PRIJENOSNA MREŽA



**Legenda:**

- |                               |                        |                             |     |
|-------------------------------|------------------------|-----------------------------|-----|
| 400 kV dvostruki nadzemni vod | TS 400/220/110 kV      | TS (RP) 220 kV + TE         | EVP |
| 400 kV nadzemni vod           | TS 400/110 kV          | TS (RP) 220 kV + HE         | TE  |
| 220 kV dvostruki nadzemni vod | TS 220/110 kV          | TS (RP) 110 kV + VE         | HE  |
| 220 kV nadzemni vod           | TS 220/35 kV           | TS (RP) 110 kV + HE         | VE  |
| 220 kV kabelski vod           | TS 110x35 kV           | TS (RP) 110 kV + TE         |     |
| 110 kV nadzemni vod           | TS 110x kV             | TS (RP) 110 kV kupca        |     |
| 110 kV kabelski vod           | TS (RP) 110 kV + EVP   | 110 kV Kabelsko postrojenje |     |
| 110 kV podmorski kabel        | TS 110x kV U IZGRADNJI |                             |     |
|                               | TS 35x kV              |                             |     |

Prosinac, 2018.  
Izradio: Marijo Kosović, PrP Zagreb

Slika 3.1. Shema prijenosnog sustava RH [12]

## 4.PRORAČUN

### 4.1 Ulazni podaci proračuna i simulacija

Model na kojem smo vršili simulaciju je IEEE 14 Bus Test System [15] koji se temelji na Američkom prijenosnom sustavu 138kV/69kV iz 1962. godine. Sastoji se od 14 sabirnica, dva generatora, 3 kompenzatora, 15 potrošača (Slika 4.1.) sa zadanim vrijednostima iz Tablice 4.1. i Tablice 4.2.

Tablica 4.1. Podaci o sabirnicama [15]

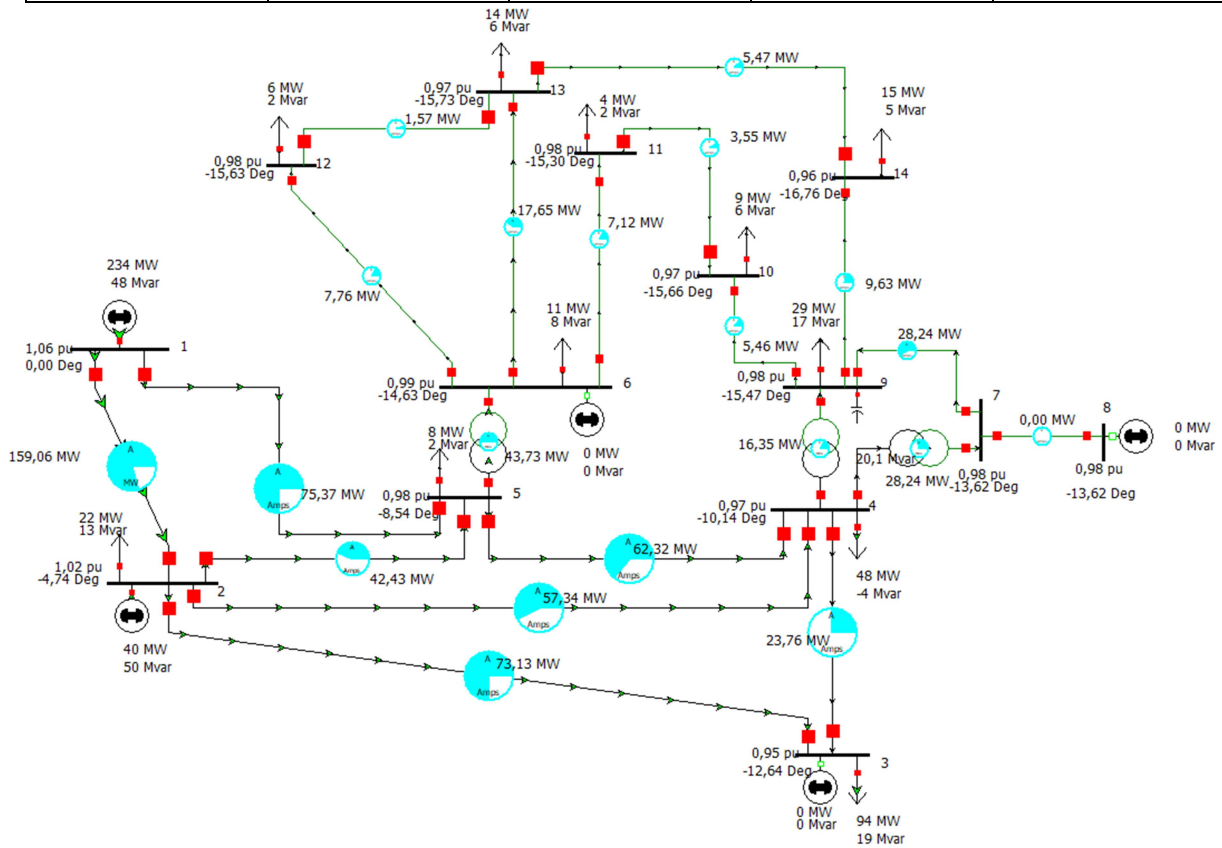
Rb.	Naponska razina	Tip *	Opterećen je [MW]	Opterećen je [MVar]	Proizvodnja [MW]	Proizvodnja [MVar]	Iznos koji se regulira (p.u.)	Maksimum [MVar]	Minimum [MVar]
1	HV	3	0	0	232.4	-16.9	1.06	0	0
2	HV	2	21.7	12.7	40	42.4	1.045	50	-40
3	HV	2	94.2	19	0	23.4	1.01	40	0
4	HV	0	47.8	-3.9	0	0	0	0	0
5	HV	0	7.6	1.6	0	0	0	0	0
6	LV	2	11.2	7.5	0	12.2	1.07	24	-6
7	HV	0	0	0	0	0	0	0	0
8	SN	0	0	0	0	17.4	1.09	24	-6
9	LV	0	29.5	16.6	0	0	0	0	0
10	LV	0	9	5.8	0	0	0	0	0
11	LV	0	3.5	1.8	0	0	0	0	0
12	LV	0	6.1	1.6	0	0	0	0	0
13	LV	0	13.5	5.8	0	0	0	0	0
14	LV	0	14.9	5	0	0	0	0	0

\*0-PQ (potrošačka) sabirnica, 2-Pv (generatorska) sabirnica, 3-referentna sabirnica

Tablica 4.2. Podaci o granama [15]

Od	Do	Djelatni otpor R (p.u.)	Reaktancija X (p.u.)	Poprečna susceptancija B (p.u.)
1	2	0.01938	0.05917	0.0528
1	5	0.05403	0.22304	0.0492
2	3	0.04699	0.19797	0.0438
2	4	0.05811	0.17632	0.034
2	5	0.05695	0.17388	0.0346
3	4	0.06701	0.17103	0.0128
4	5	0.01335	0.04211	0
4	7	0	0.20912	0
4	9	0	0.55618	0
5	6	0	0.25202	0
6	11	0.09498	0.1989	0
6	12	0.12291	0.25581	0
6	13	0.06615	0.13027	0
7	8	0	0.17615	0
7	9	0	0.11001	0
9	10	0.03181	0.0845	0
9	14	0.12711	0.27038	0
10	11	0.08205	0.19207	0

12	13	0.22092	0.19988	0
13	14	0.17093	0.34802	0

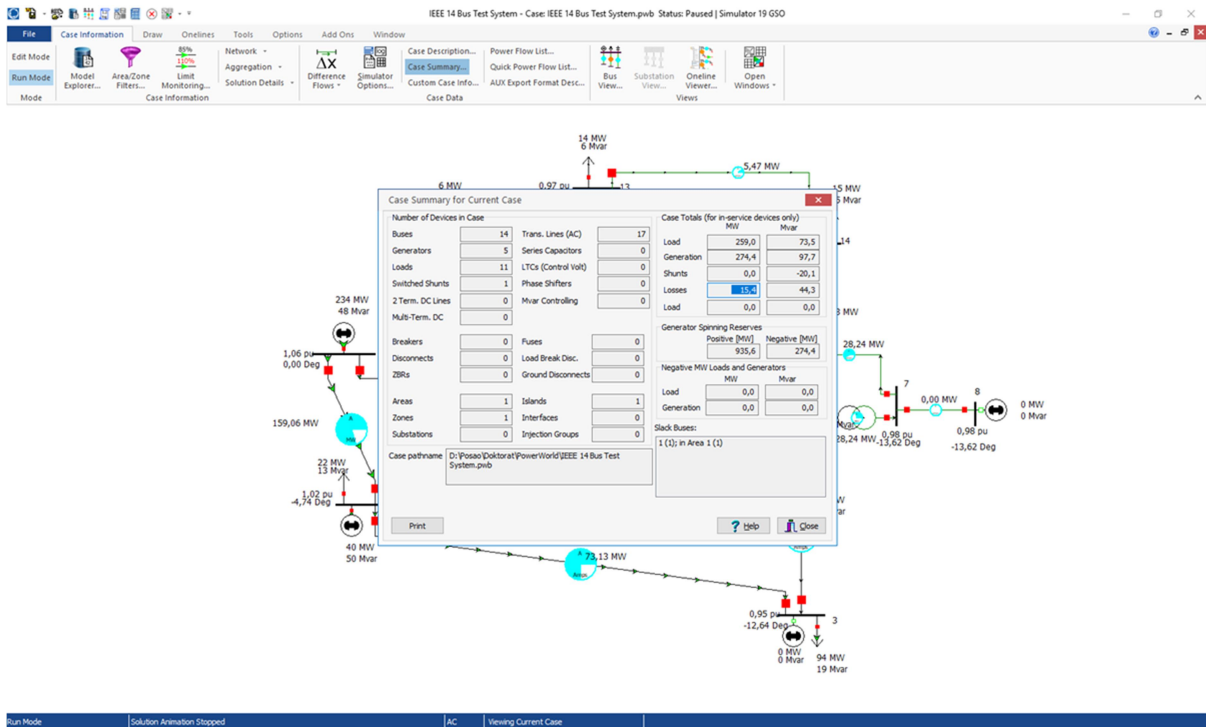


Slika 4.1. Model 14 sabirničkog sustava

Simulaciju smo vršili u programskom paketu Power World Simulator-u 19 [14]. To je interaktivni program za dizajniranje i simulaciju elektroenergetskog sustava visokih napona. On omogućava vizualnu predodžbu promatranog sustava s mogućnošću mijenjanja i dodavanja raznih parametara i dijelova elektroenergetske mreže kao što su potrošači, generatori, kompenzatori i slično, njegovo sučelje je prikazano na slici 4.3. Sam program računa sve parametre sustava te dobivene rezultate prikazuje u tablicama koje je moguće prebaciti u Excel tablice što nam olakšava daljnju analizu istih kao što je prikazano na slici 4.2..

Number	Name	Area Name	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)	Load MW	Load Mvar	Gen MW	Gen Mvar	Switched Shunts Mvar	Act G Shunt MW	Act B Shunt Mvar	Area Num	Zone Num
1	1	1	138,00	1,06000	146,200	0,00			234,43	47,67		0,00	0,00	1	1
2	2	1	138,00	1,02102	140,901	-4,74	21,70	12,70	40,00	50,00		0,00	0,00	1	1
3	3	1	138,00	0,94823	130,855	-12,64	94,20	19,00	0,00	0,00		0,00	0,00	1	1
4	4	1	138,00	0,96908	133,733	-10,14	47,80	-3,90				0,00	0,00	1	1
5	5	1	138,00	0,97857	134,767	-8,54	7,60	1,60				0,00	0,00	1	1
6	6	1	69,00	0,99106	68,383	-14,63	11,20	7,50	0,00	0,00		0,00	0,00	1	1
7	7	1	69,00	0,98213	67,767	-13,62						0,00	0,00	1	1
8	8	1	69,00	0,98213	67,767	-13,62			0,00	0,00		0,00	0,00	1	1
9	9	1	69,00	0,97901	67,551	-15,47	29,50	16,60			20,11	0,00	0,00	1	1
10	10	1	69,00	0,97311	67,145	-15,66	9,00	5,80				0,00	0,00	1	1
11	11	1	69,00	0,97824	67,499	-15,30	3,50	1,80				0,00	0,00	1	1
12	12	1	69,00	0,97523	67,291	-15,63	6,10	1,60				0,00	0,00	1	1
13	13	1	69,00	0,97025	66,947	-15,73	13,50	5,80				0,00	0,00	1	1
14	14	1	69,00	0,95567	65,942	-16,76	14,90	5,00				0,00	0,00	1	1

Slika 4.2. Izgled rezultata proračuna u tablici



Slika 4.3. Prikaz sučelja programskog paketa Power World Simulatora [14]

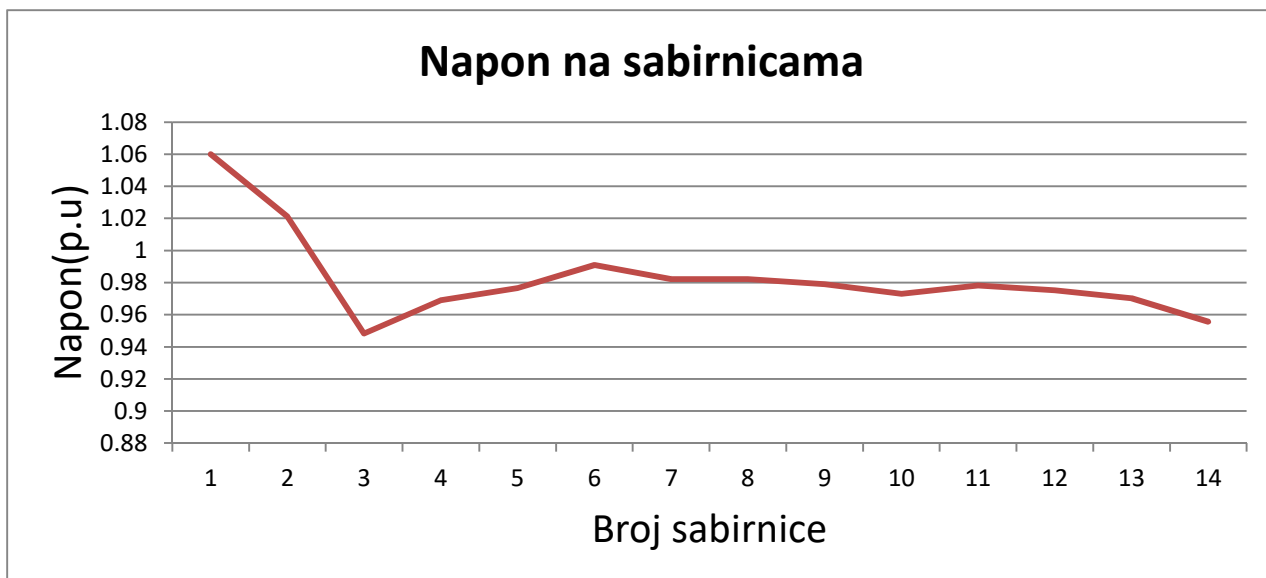
## 4.2 Opis simulacijskih slučajeva

Na već spomenuti 14 sabirnički sustav vršimo priključak velikog potrošača 20MW i 5MVar na 69kV granu, odnosno na sabirnice 8,9,14,10,11,13 i 12. Analiziramo napone svih sabirnica, gubitke u sustavu te opterećenost vodova. Prije analize moramo uvesti par pretpostavki:

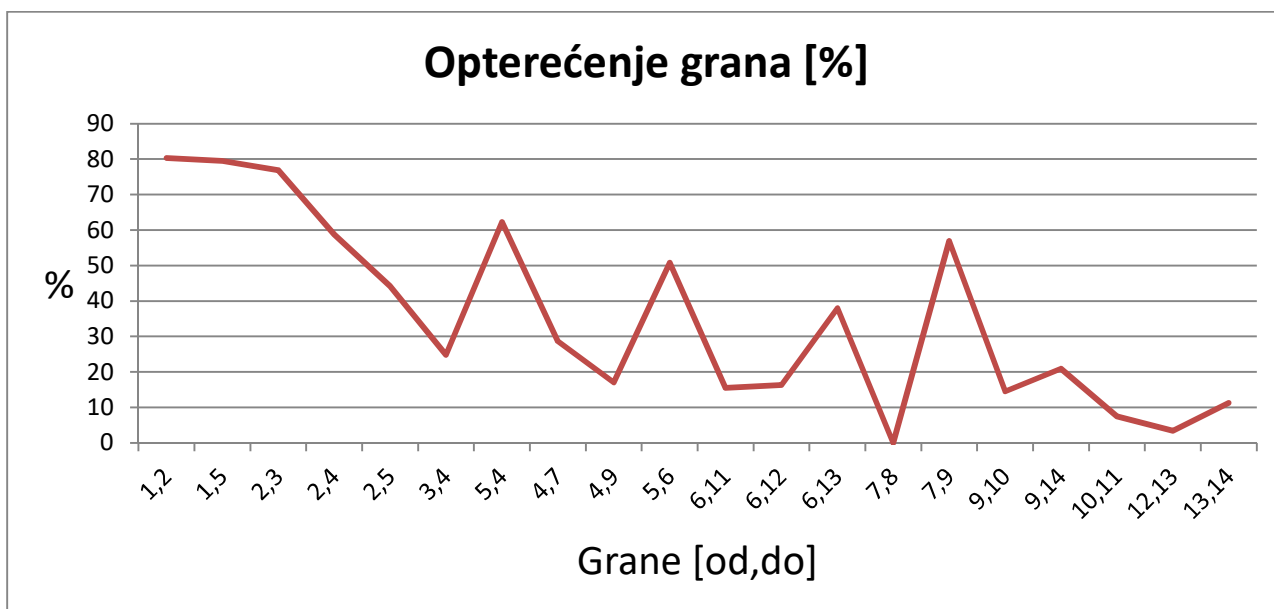
- Isključena kompenzacija - promatramo i komentiramo samo odnose napona prilikom priključenja velikog potrošača na svaku od spomenutih sabirnica
- U sustavu nemamo zadano koliko određeni vodovi mogu prenijeti električne energije te smo visokonaponsku granu od 139kV postavili na 100MVA, a nižu naponsku granu 69kV na 50MVA.

### a) Osnovni slučaj – isključena kompenzacija

Ovaj slučaj se uzima kao referentni odnosno ovdje nema priključka velikog potrošača na prijenosnu mrežu. Proračunom tokova snaga dobili smo grafički prikaz rezultata (Graf 4.1. i 4.2.) kojeg uspoređujemo sa svakim sljedećim slučajem spajanja velikog potrošača na prijenosnu mrežu. Iz grafa 4.1. na grani između sabirnica 7 i 8 nemamo nikakvo opterećenje, a ukoliko pogledamo testni sustav u toj grani se nalazi samo kompenzator. Time smo i analizom potvrdili da su nam kompenzatori u sustavu isključeni. Izmjereni ukupni gubici sustava iznose 15,4 MW.



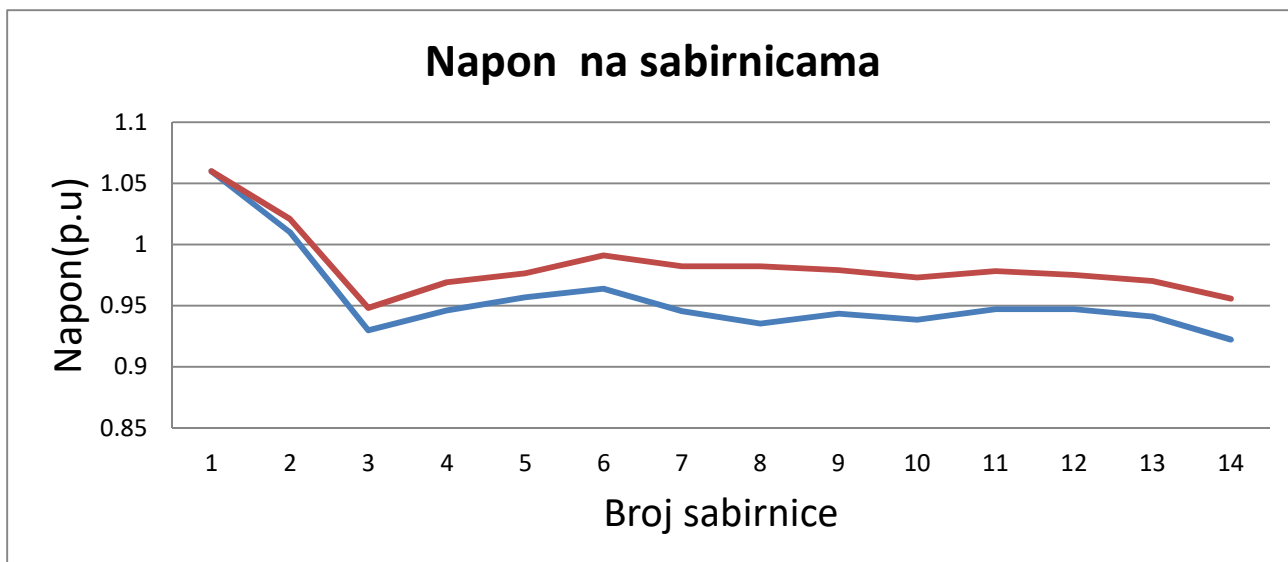
Graf 4.1. Grafički prikaz napona (p.u.) na sabirnicama



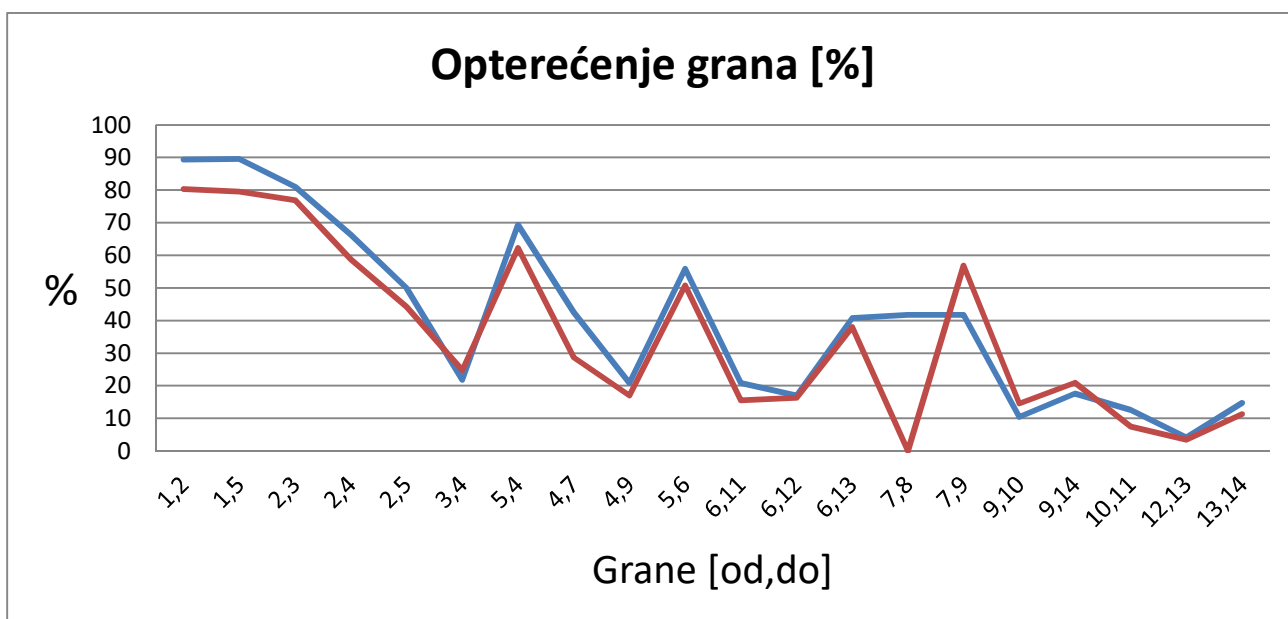
Graf 4.2. Grafički prikaz opterećenja grana u postocima

#### b) Priključenje velikog potrošača na sabirnicu 8 (20 MW i 5 MVar)

Priključenjem velikog potrošača na sabirnicu 8 vidljiv je pad napona na sabirnicama jer smo dodatno opteretili vodove priključenjem potrošača. Svi parametri su u dozvoljenim granicama prema novim mrežnim pravilima [2]. Naponi su niži s obzirom na osnovni slučaj te najniža vrijednost napona se pojavljuje na sabirnici 14 i iznosi 0.922 p.u. Potrošač dodatno opterećuje sustav što vidimo i blagim povećanjem u grafu 4.3. Pojavljuje se opterećenje između sabirnica 7 i 8 jer smo na sabirnicu broj 8 priključili potrošača. Povećanjem opterećenja u granama i padom napona na sabirnicama povećao se i ukupni gubitak sustava na 18,8 MW što je povećanje od 22%.



Graf 4.3. Grafički prikaz usporedbe napona (p.u.) osnovnog slučaja (crvena) sa naponom (p.u.) priključenog velikog potrošača na sabirnicu 8

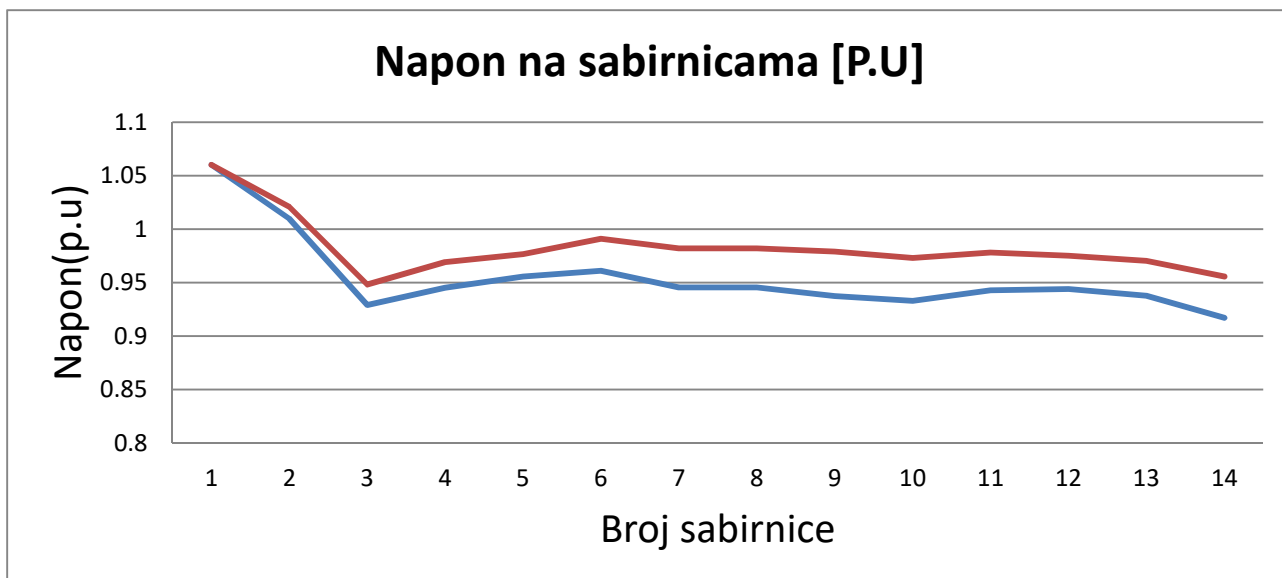


Graf 4.4. Grafički prikaz opterećenja grana osnovnog slučaja (crvena) sa opterećenjem kod priključenja velikog potrošača na sabirnicu 8 (plava)

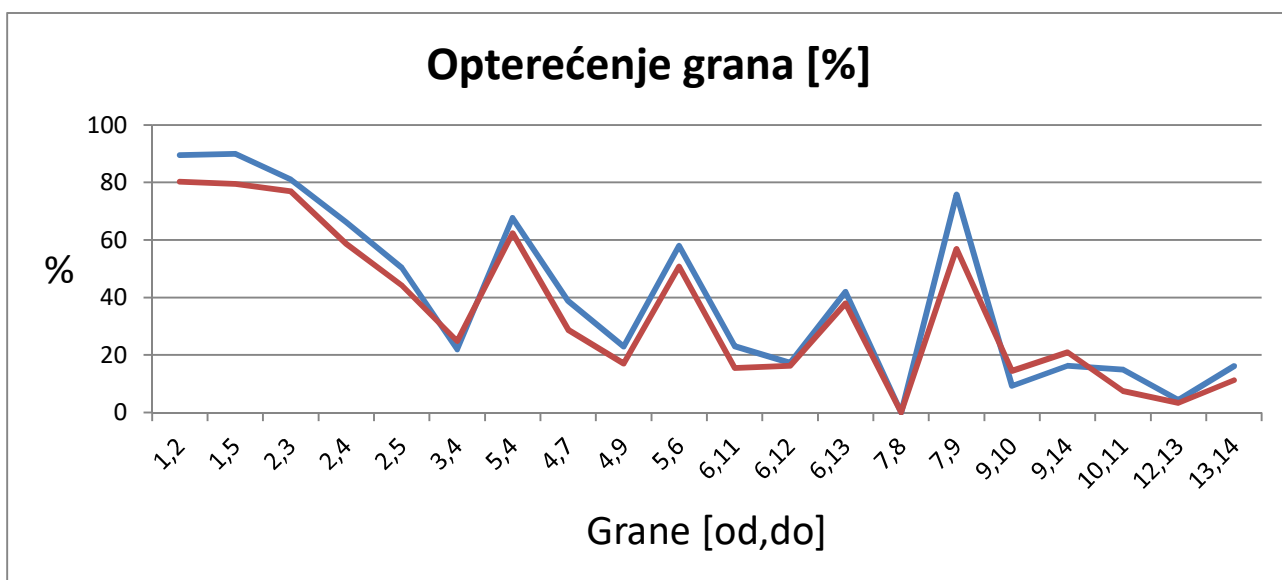
#### c) Priključenje velikog potrošača na sabirnicu 9 (20 MW i 5 MVar)

Rezultat priključka potrošača na sabirnicu 9 je sličan kao i u prethodnom primjeru. Imamo povećani pad napona koji uzrokuje niže napone u sustavu. Kod opterećenja grana isključenjem potrošača sa sabirnice 8 tom sabirnicom ne teče energija što rezultira i grafičkim prikazom u nuli. Tokovi energiju su se nešto drugačije rasporedili dijelom sustava, ali su i dalje u dozvoljenim granicama. Vrijednosti napona su niže, a najniža vrijednost napona se pojavljuje na sabirnici 14 i iznosi 0.917 p.u. Ukupan gubitak sustava iznosi 18,9 MW što je povećanje od 22%.





Graf 4.5. Grafički prikaz usporedbe napona (p.u.) osnovnog slučaja (crvena) sa naponom (p.u.) priključenog velikog potrošača na sabirnicu 9

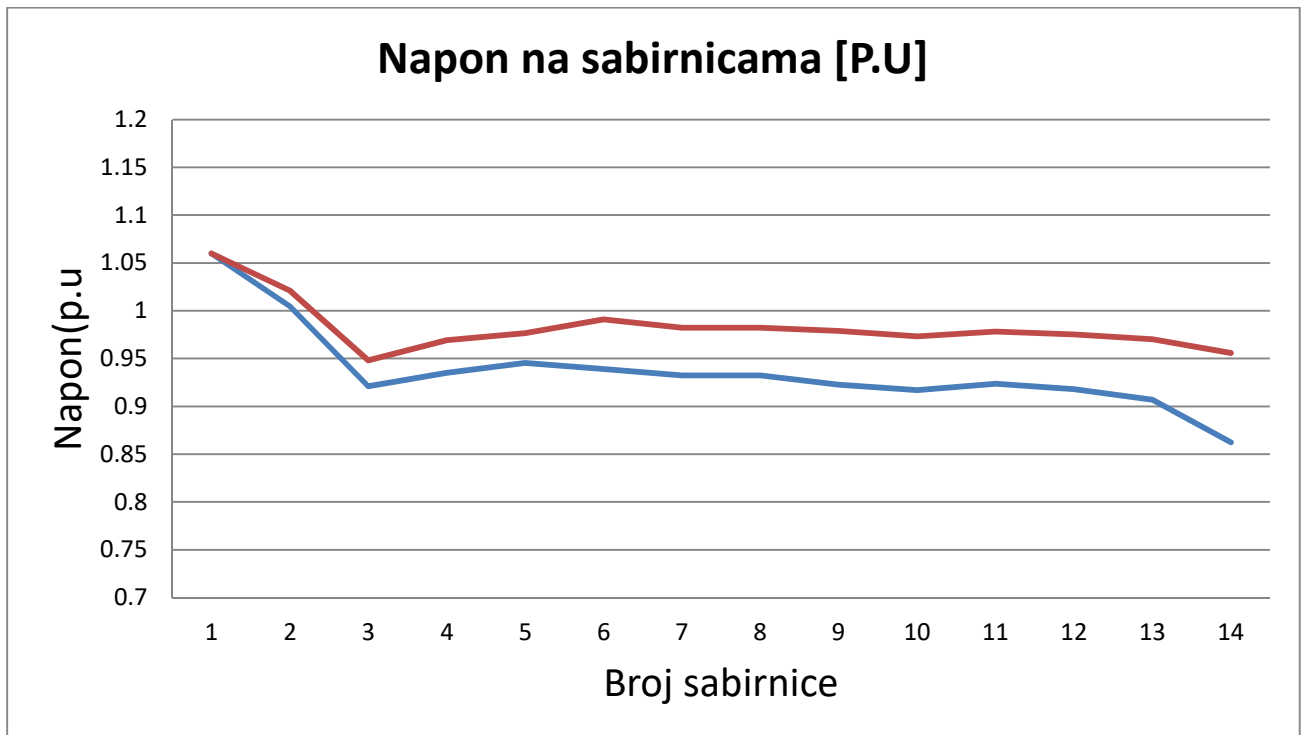


Graf 4.6. Grafički prikaz opterećenja grana osnovnog slučaja (crvena) sa opterećenjem kod priključenja velikog potrošača na sabirnicu 9 (plava)

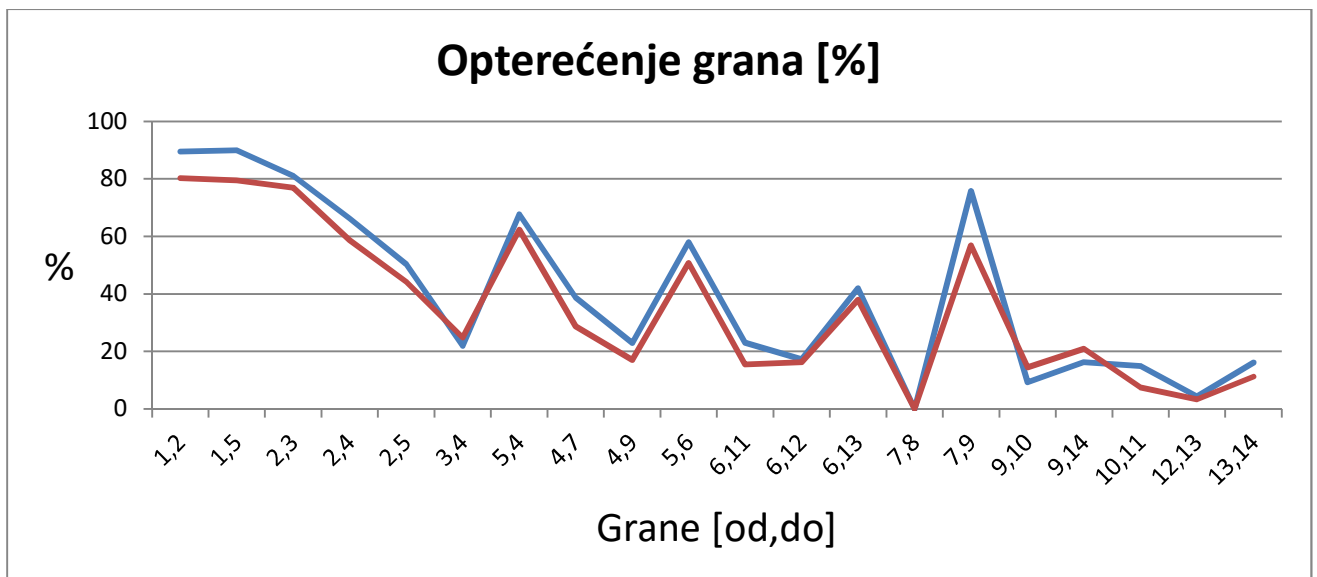
#### d) Priključenje velikog potrošača na sabirnicu 14 (20 MW i 5 MVar)

Priključkom potrošača na sabirnicu 14 iz grafičkog prikaza je vidljivo da imamo pad napona na sabirnici 14 koji je 14% (0.86 p.u.) te ne zadovoljava kriterije odstupanja prema mrežnim pravilima [2]. Potrošača ne možemo priključiti na prijenosnu mrežu te je potrebna korekcija prijenosne mreže u dogovoru investitora i operatora. Korekcije su moguće kroz kompenzatore. Izgledom samog testnog sustava bilo je i očekivano da nije moguć priključak potrošača na sabirnicu 14 jer se topološki nalazi daleko od izvora električne energije te bez kompenzatora priključak nije moguć. Opterećenje grana je približno jednako prošlom slučaju.

Rezultat povećanog pada napona su nam i povećani ukupni gubici iznosa 22 MW što je povećanje od 43%.



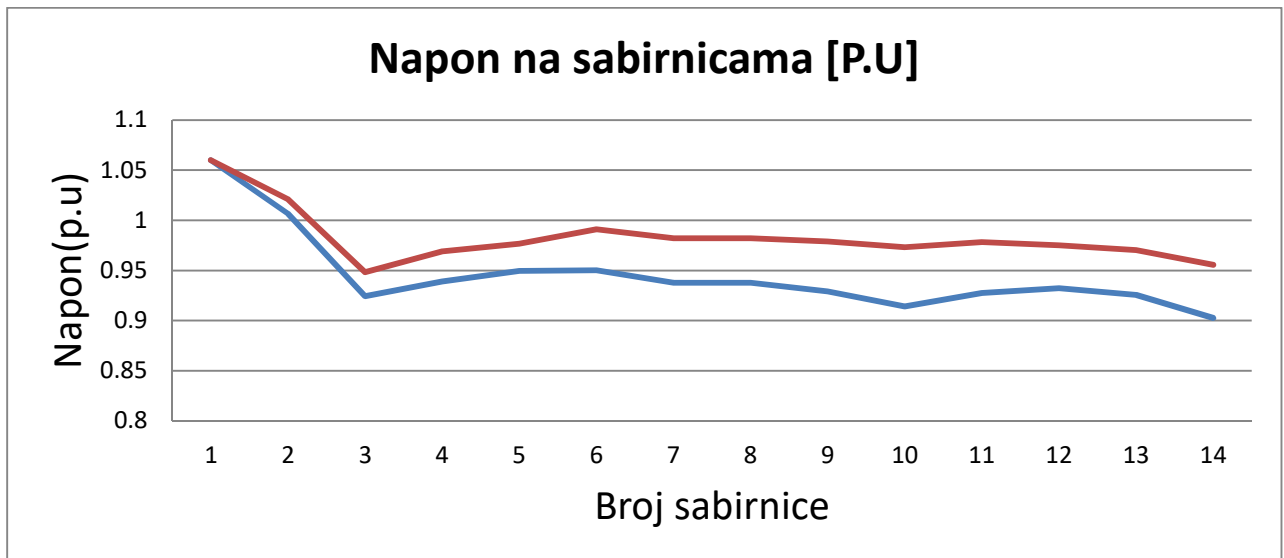
Graf 4.7. Grafički prikaz usporedbe napona (p.u.) osnovnog slučaja (crvena) sa naponom (p.u.) priključenog velikog potrošača na sabirnicu 14



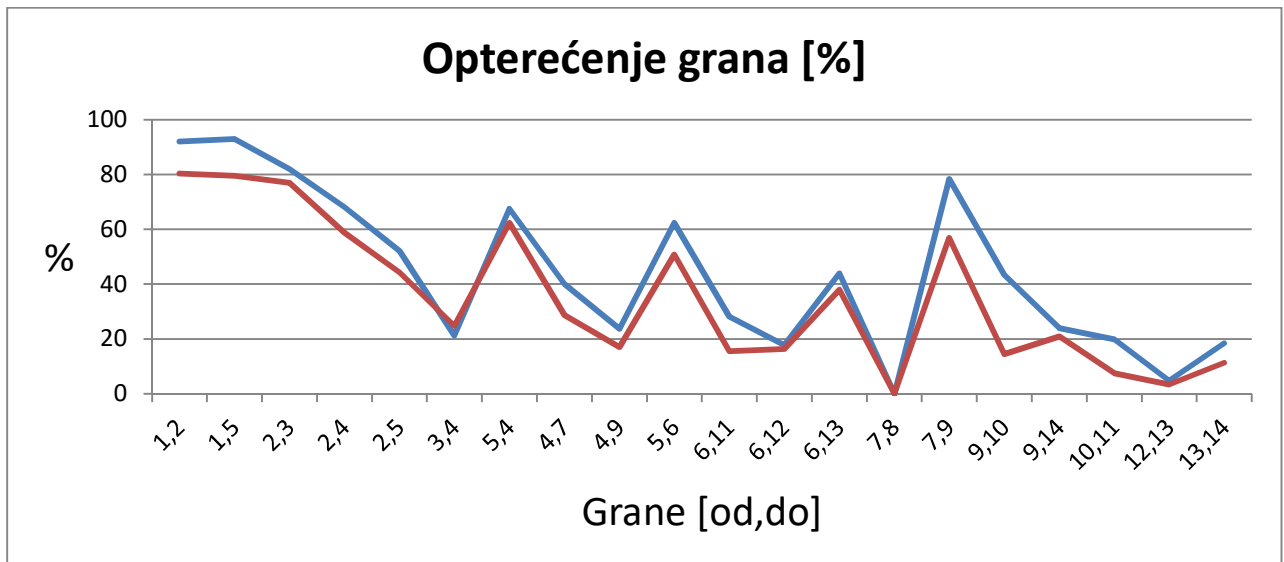
Graf 4.8. Grafički prikaz opterećenja grana osnovnog slučaja (crvena) sa opterećenjem kod priključenja velikog potrošača na sabirnicu 14 (plava)

### e) Priključenje velikog potrošača na sabirnicu 10 (20 MW i 5 MVar)

Rezultati priključka potrošača na sabirnicu 10 su na samoj granici zadanih kriterija gdje imamo odstupanje nešto manje od 10%. Najmanji iznos napona pojavljuje se na sabirnici 14 i iznosi 0.9 p.u. Priključak većeg potrošača ne bi bilo moguće bez upotrebe kompenzatora. Opterećenje u granama je analogno dosadašnjim slučajevima. Ukupni gubici sustava iznose 20,3 MW, što je povećanje od 32%. Može se reći da ono predstavlja granični gubitak odnosno njegovim povećanjem priključak potrošača ne bi bio moguć



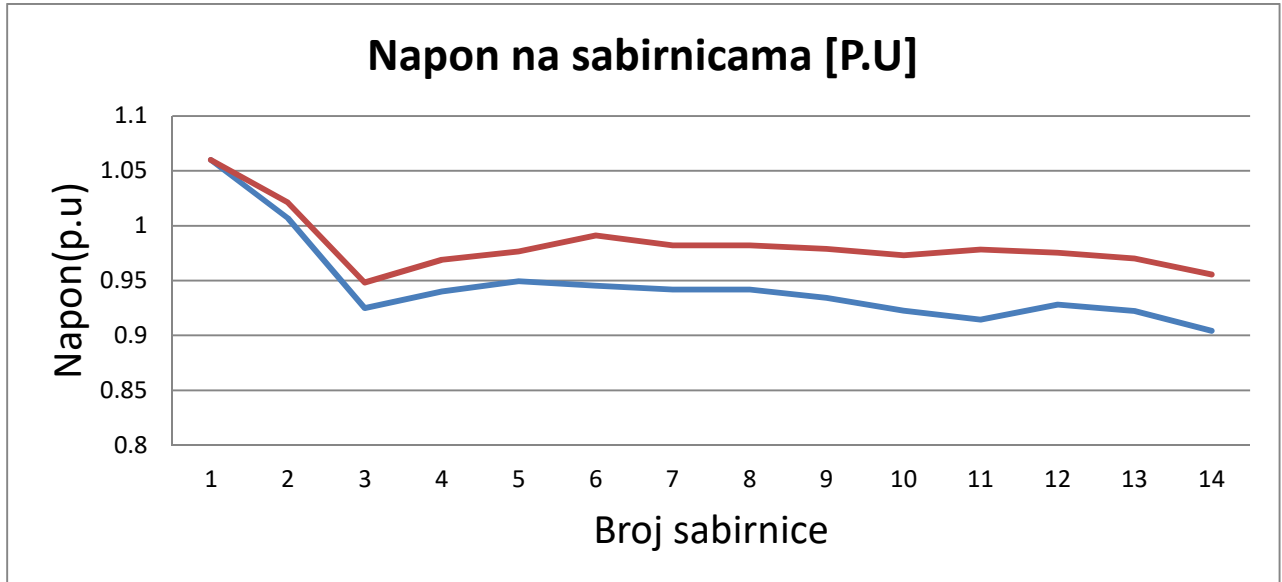
Graf 4.9. Grafički prikaz usporedbe napona (p.u.) osnovnog slučaja (crvena) sa naponom (p.u.) priključenog velikog potrošača na sabirnicu 10



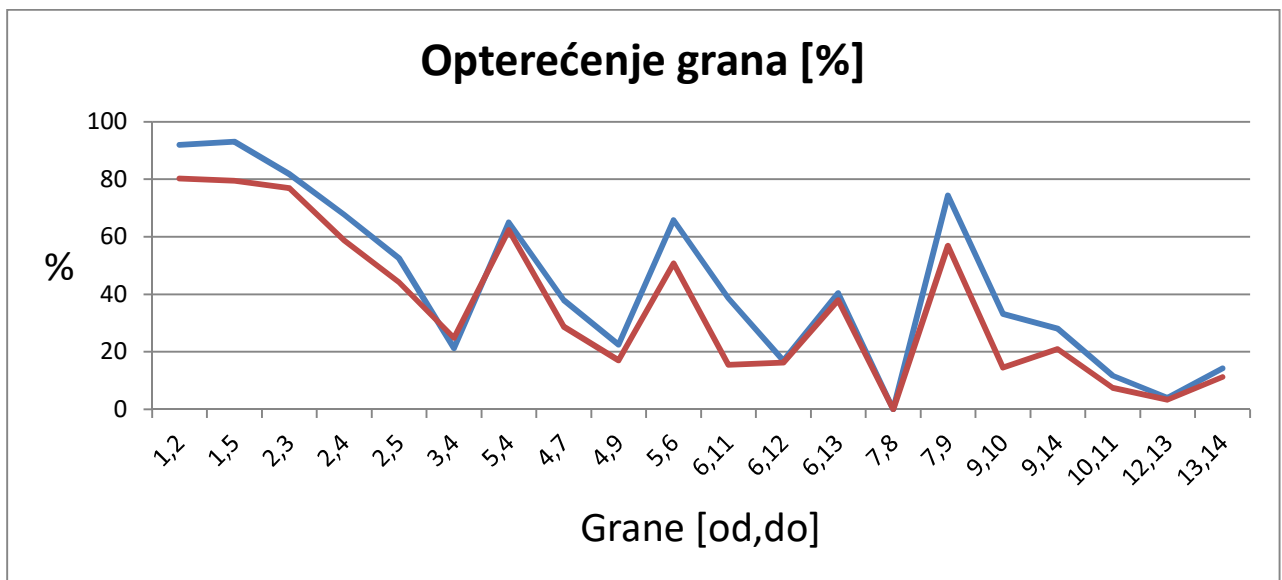
Graf 4.10. Grafički prikaz opterećenja grana osnovnog slučaja (crvena) sa opterećenjem kod priključenja velikog potrošača na sabirnicu 10 (plava)

### f) Priključenje velikog potrošača na sabirnicu 11 (20 MW i 5 MVar)

Sabirnica 11 se topološki nalazi jako blizu sabirnice 10 te imaju gotovo identične rezultate napona te opterećenja po vodovima. Ukupni gubici su blizu graničnih te iznose 20,2 MW, povećanje od 31%



Graf 4.11. Grafički prikaz usporedbe napona (p.u.) osnovnog slučaja (crvena) sa naponom (p.u.) priključenog velikog potrošača na sabirnicu 11

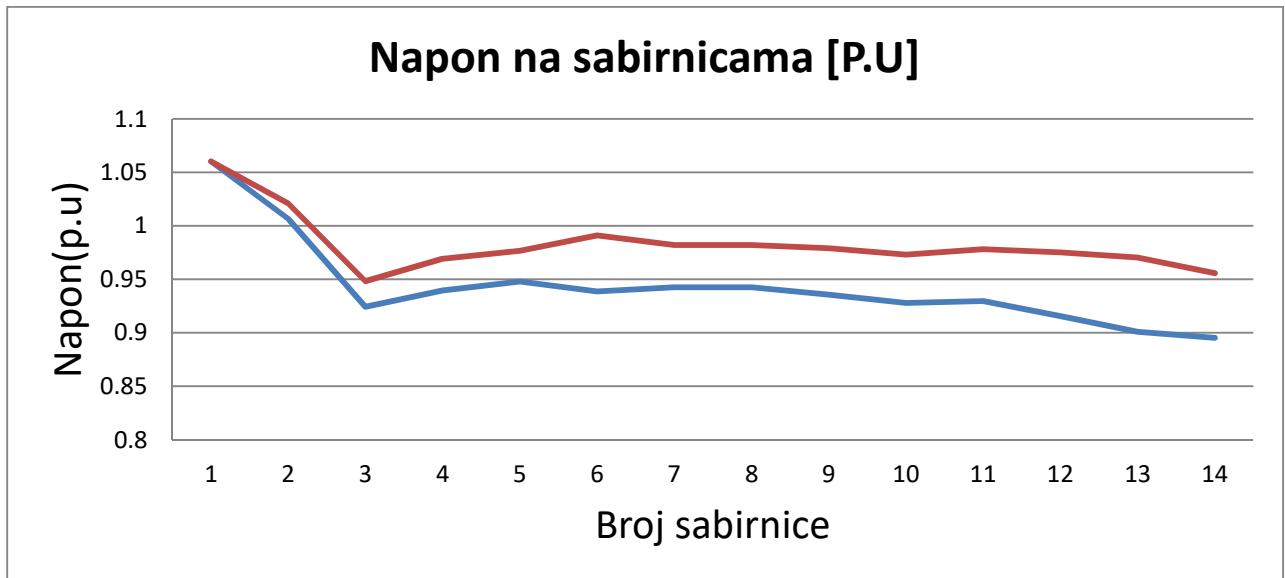


Graf 4.12. Grafički prikaz opterećenja grana osnovnog slučaja (crvena) sa opterećenjem kod priključenja velikog potrošača na sabirnicu 11 (plava)

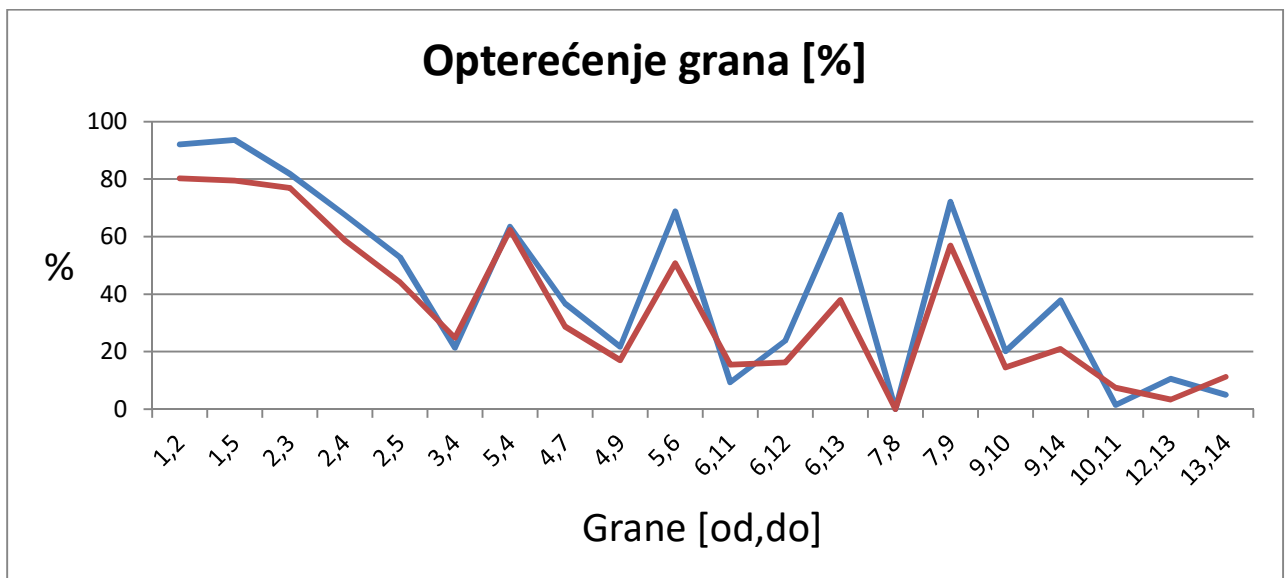
### g) Priključenje velikog potrošača na sabirnicu 13 (20 MW i 5 MVar)

Iz grafičkog prikaza 4.13. i 4.14. vidimo da priključenjem potrošača na sabirnicu 13 vrijednosti napona prelaze definiranih 10% u sabirnici 14 (0.89 p.u.) te priključak potrošača nije moguć.

Kod opterećenja vodova vidljive su promjene između grana 6 i 13 te 7 i 9 što je rezultat promjene toka energije promjenom mjesta potrošača. Ukupni gubici sustava iznose 20,7 MW, povećanje od 34 %.



Graf 4.13. Grafički prikaz usporedbe napona (p.u.) osnovnog slučaja (crvena) sa naponom (p.u.) priključenog velikog potrošača na sabirnicu 13

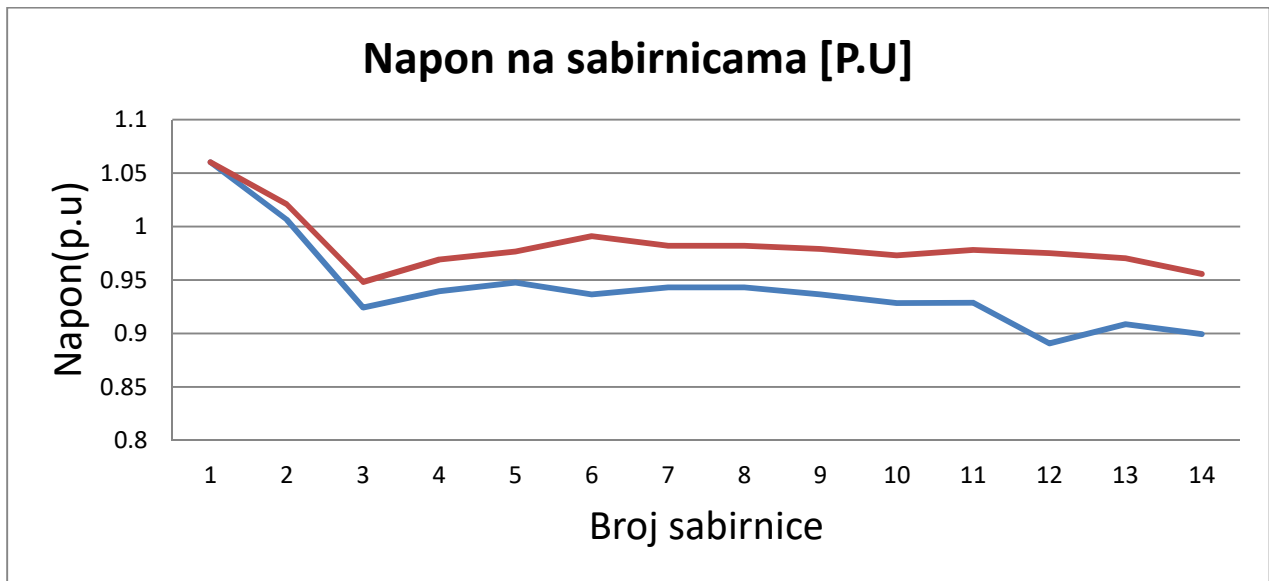


Graf 4.14. Grafički prikaz opterećenja grana osnovnog slučaja (crvena) sa opterećenjem kod priključenja velikog potrošača na sabirnicu 13 (plava)

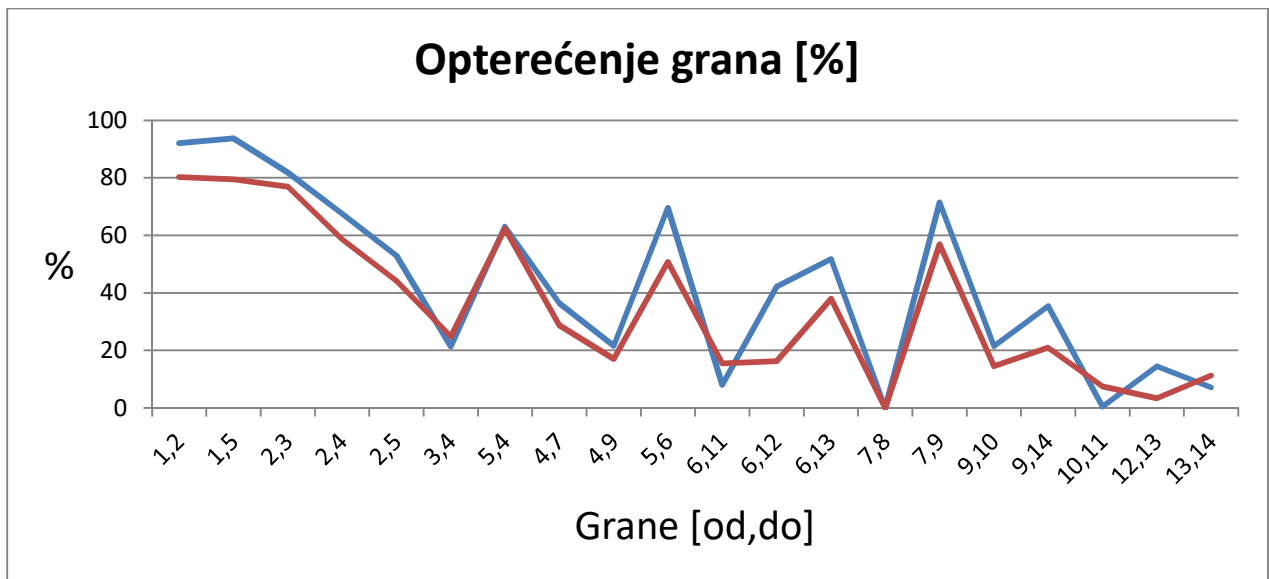
#### h) Priključenje velikog potrošača na sabirnicu 12 (20 MW i 5 MVar)

Kod topološki najudaljenije sabirnice 12 priključenjem potrošača pad napona na sabirnicama 12 i 14 (obje imaju napon od 0.89 p.u.) ne zadovoljava dane kriterije što je vidljivo iz grafičkog prikaza 4.15. Dolazi do velikog pada napona s obzirom na osnovni slučaj. Povećano opterećenje grana se pojavljuje između sabirnice 6 i 12, ali i dalje ostaje ne preopterećen. Prvi

put tijekom simulacija pojavljuje se pad napona na dvije sabirnice koji ne zadovoljava dane kriterije. Ukupni gubici sustava iznose 20,8MW, povećanje od 35%.



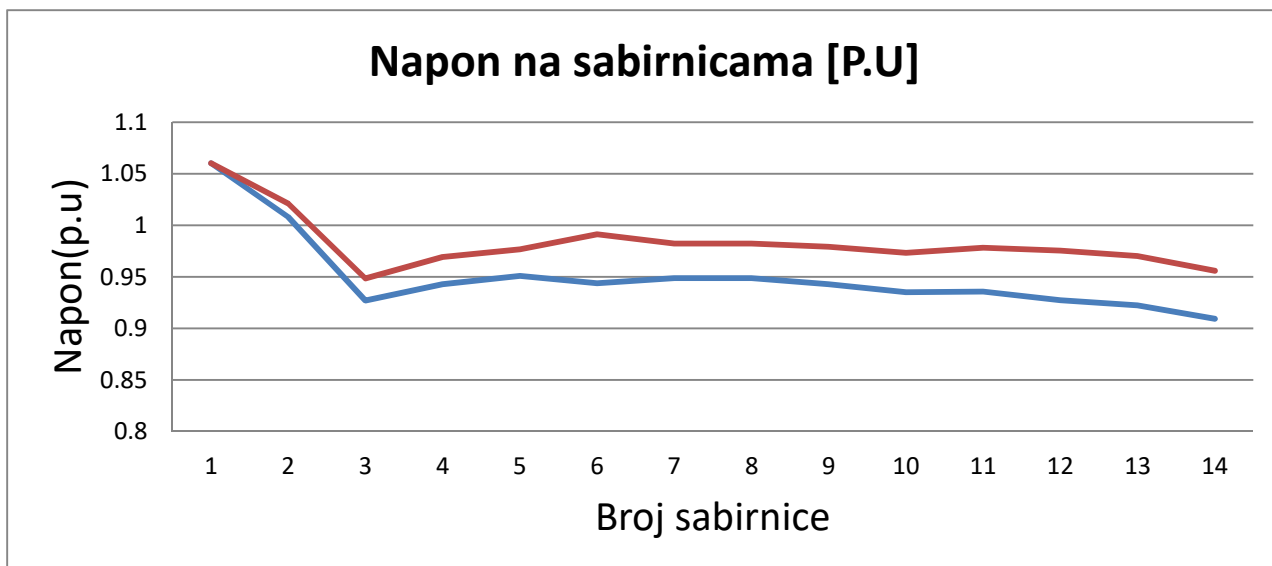
Graf 4.15. Grafički prikaz usporedbe napona (p.u.) osnovnog slučaja (crvena) sa naponom (p.u.) priključenog velikog potrošača na sabirnicu 12



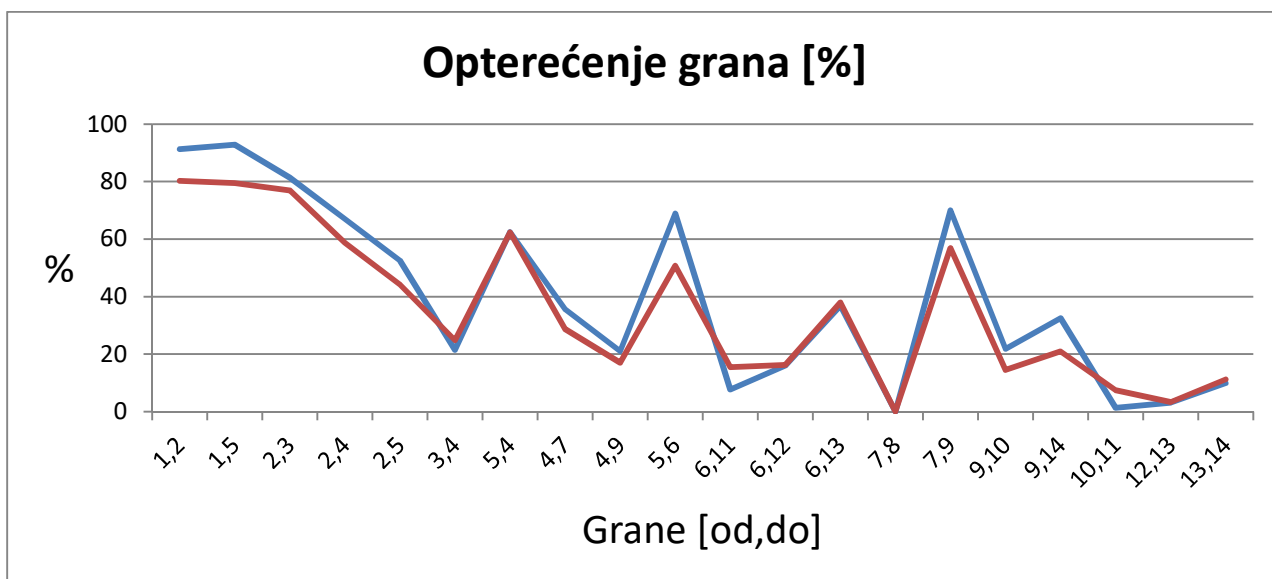
Graf 4.16. Grafički prikaz opterećenja grana osnovnog slučaja (crvena) sa opterećenjem kod priključenja velikog potrošača na sabirnicu 12 (plava)

#### i) Priključenje velikog potrošača na sabirnicu 6 (20 MW i 5 MVar)

Rezultati napona te opterećenja grana priključkom potrošača na sabirnicu 6 jednako prati rezultate kao i priključkom potrošača na sabirnice 8,9,10,11. Ukupni gubici sustava iznose 19.5 MW, povećanje od 27%.



Graf 4.17. Grafički prikaz usporedbe napona (p.u.) osnovnog slučaja (crvena) sa naponom (p.u.) priključenog velikog potrošača na sabirnicu 6



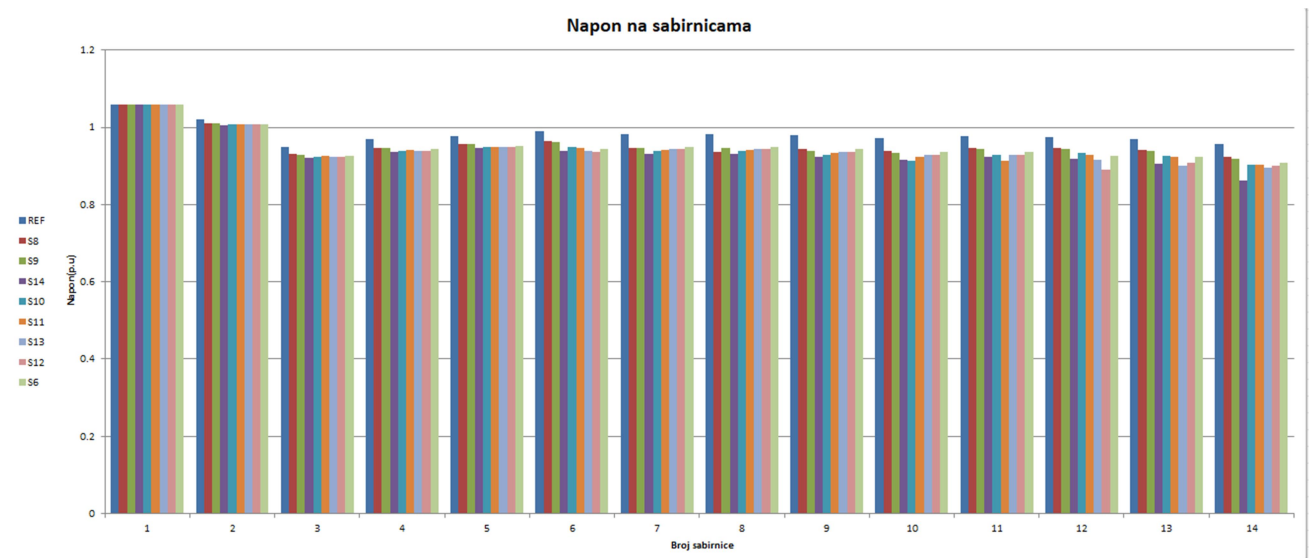
Graf 4.18. Grafički prikaz opterećenja grana osnovnog slučaja (crvena) sa opterećenjem kod priključenja velikog potrošača na sabirnicu 6 (plava)

#### 4.2.1 Analiza rezultata

Iz provedenih simulacije prilikom priključka potrošača na svaku od sabirnica niže naponske vrijednosti 69kV kriterije nismo zadovoljavali u tri slučaja :

- priključenje velikog potrošača na sabirnicu 12
- priključenje velikog potrošača na sabirnicu 13
- priključenje velikog potrošača na sabirnicu 14

Vrijednosti napona najčešće su nam prelazile zadane kriterije u sabirnici 14 koja se i topološki nalazi najdalje od izvora električne energije. Time vidimo da je i položaj i mjesto izgradnje pogona potrošača jako važan ukoliko investitor ne želi imati dodatne troškove izazvane kupnjom kompenzatora. Što je potrošač bliže izvoru električne energije to su gubici manji. priključenjem potrošača na bilo koju od sabirnica iz grafova je vidljivo da imamo pad napona te su samim time naponi na sabirnicama niži nego u osnovnom slučaju. Važno je naglasiti da se dobiveni gubici događaju tijekom cijele godine odnosno tijekom rada postrojenja potrošača, a s financijske strane ukoliko kroz cijelu godinu imamo jednake financijske gubitke i operatoru je u cilju te gubitke smanjiti. Na primjer ukoliko nam 1MW/h košta 1000kn te kroz godinu u kojoj imamo 8700h gubici mogu nadmašiti vrijednost kompenzatora. Najjeftinija regulacija napona je preko transformatora, zatim ju slijedi kondenzatorska baterija pa sinkroni kompenzator. Alternativni način je pojačati mrežu odnosno uvesti vodove većeg presjeka no to je uglavnom financijski preskupo. Ukoliko usporedimo opterećenja grana kroz simulacije uglavnom imamo jednake rezultate. Priključkom dva potrošača na sabirnice, grana između sabirnica 1 i 5 bi bila preopterećena te prijenos energije ne bih bio moguć bez daljnjeg ulaganja u mrežu.



Slika 4.4. Prikaz napona na sabirnicama za sve slučajeve



## 5.ZAKLJUČAK

Razvojem tehnologije usporedno s njom razvija se i industrija. Te korake razvoja mora pratiti i elektroenergetski sustav na koji se iz dana u dan priključuje sve više korisnika različitih iznosa potrošnje. EES-u manji potrošači ne predstavljaju problem jer uglavnom zahtijevaju konstantne vrijednosti energije ovisno o dijelu godine gdje se krivulje potrošnje mogu unaprijed odrediti. Problem predstavljaju veliki potrošači te priključak velikih potrošača koji mogu biti ekvivalent velikim skupinama manjih potrošača. Iz tog razloga imamo i posebna pravila [2] koja se odnose na sve korisnike EES-a koja smo usporedili sa starim pravilima [1] i vidjeli do kakvih je promjena došlo. Simulacijama prijenosne mreže na jednostavan način možemo analizirati postojeću mrežu te ispitati što se događa ukoliko mijenjamo njezine parametre ili dodajemo nove elemente. Na taj način možemo testirati limite mreže te zaključiti koji elementi i na kojim mjestima su potrebni da bi EES bio stabilan kao što je upotreba kompenzatora i slično.

## LITERATURA

[1] Ministarstvo gospodarstva, rada i poduzetništva, Mrežna pravila , Elektroenergetskog sustava, url:

[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2006\\_03\\_36\\_907.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2006_03_36_907.html) (10.4.2019.)

[2] Hrvatski operator prijenosnog sustava d.o.o, Mrežna pravila prijenosnog sustava, url:

[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017\\_07\\_67\\_1585.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2017_07_67_1585.html) (17.4.2019.)

[3] Hrvatski operator prijenosnog sustava, url:

<https://www.hops.hr> (17.4.2019.)

[4] Hrvatski sabor, Zakon o izmjeni i dopuni zakona o tržištu električne energije url:

[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_05\\_52\\_994.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_05_52_994.html) (17.4.2019.)

[5] Hrvatska energetska regulatorna agencija, url:

<https://www.hera.hr/hr/html/index.html> (18.4.2019.)

[6] Zakona o izmjenama i dopunama Zakona o energiji, url:

[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018\\_07\\_68\\_1397.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_07_68_1397.html) (18.4.2019.)

[7] Zakon o energiji, url:

[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2012\\_10\\_120\\_2583.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2012_10_120_2583.html) (22.4.2019.)

[8] preuzeto s web stranice, Fakultet Elektrotehnike, Strojarsva i Brodogradnje Split, Distribucija električne energije url:

<http://marjan.fesb.hr/~rgoic/dm/skriptaDM.pdf> (22.8.2019.)

[9] preuzeto s web stranice, Pravila o priključenju na prijenosnu mrežu

url:

[https://www.hops.hr/page-file/qP0Fv6cmca2kFggK0HAiR3/pravila-o-prikljucenju-na-prijenosnu-mrezu/Pravila\\_o\\_priklju%C4%8Denju\\_na\\_prijenosnu\\_mre%C5%BEu-26-04-2018-sa\\_potpisom.pdf](https://www.hops.hr/page-file/qP0Fv6cmca2kFggK0HAiR3/pravila-o-prikljucenju-na-prijenosnu-mrezu/Pravila_o_priklju%C4%8Denju_na_prijenosnu_mre%C5%BEu-26-04-2018-sa_potpisom.pdf) (22.8.2019.)

[10] Uredbu o izdavanju energetske suglasnosti i utvrđivanju uvjeta i rokova priključenja na elektroenergetsku mrežu, url:

[https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018\\_01\\_7\\_180.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_01_7_180.html) (24.8.2019.)

[11] Godišnji izvještaj EES RH, url:

[http://hopsinfo-web/page-file/H3RNLB1jsq69lQfz07B552/godisnji-izvjestaji/Financijski\\_izvje%C5%A1taj\\_2018.pdf](http://hopsinfo-web/page-file/H3RNLB1jsq69lQfz07B552/godisnji-izvjestaji/Financijski_izvje%C5%A1taj_2018.pdf) (2.9.2019.)

[12] preuzeto s web stranice, HOPS, url:

<https://www.hops.hr/shema-ees-a> (2.9.2019.)

[13] Keyhani A., "Power Grids." Design of smart power grid renewable energy systems. No. 621.3191 K44d. Wiley, 2011, pp. 43-44

[14] Power World Simulator 19.0 ,url:

<https://www.powerworld.com/products/simulator/overview> (16.9.2019.)

[15] IEEE 14 bus test system, url:

[http://www.fglongatt.org/Test\\_Systems/IEEE\\_14bus.html](http://www.fglongatt.org/Test_Systems/IEEE_14bus.html) (16.9.2019.)

## SAŽETAK

U ovom radu uspoređena su Mrežna pravila elektroenergetskog sustava 2006. godine [1] i Mrežna pravila prijenosnog sustava 2017. godine [2] gdje je posebna pažnja obraćena na priključak velikog potrošača na prijenosnu mrežu. Teorijski je obrađen prijenosni sustav Republike Hrvatske, a zatim se prelazi na proračunski dio. Kod proračunskog dijela smo imali izvođenje simulacije prilikom priključenja potrošača iznosa 20MW i 5MVA<sub>r</sub> na testnu 14 sabirnički prijenosnu mrežu. Simulacija je izvođena u programu Power World Simulator 19.0 [14]. Nad dobivenim rezultatima je vršena analiza te je donesen zaključak.

Ključne riječi: veliki potrošač, mrežna pravila, prijenosna mreža

## **ABSTRACT**

In this analysis we studied and compared The Grid Code of Electric Power System of 2006 and The Grid Code of Transmission System of 2017 where full attention was given on connection of a large consumer on the transmission network. Transmission system of Croatia was theoretically processed and then was moved on budgetary part. Budgetary evidences are result of simulation when connecting consumers of 20MW and 5MVAR to the test 14 bus transmission network. The simulation was performed in Power World Simulator 19.0 [14]. The results obtained were analyzed and a conclusion is given.

Keywords: big consumer, network rules, transmission network

Ivan Vendl rođen je 6.11.1996. godine u Zagrebu. Završio je Osnovnu školu Ivane Brlić-Mažuranić u Andrijaševcima. Pohađao je srednju Tehničku školu Ruđera Boškovića u Vinkovcima koju završava 2015. godine. 2016. godine upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Na drugoj godini studija opredjeljuje se za smjer elektroenergetika.