

# REGULACIJA NAPONA U ELEKTROENERGETSKOJ MREŽI

---

Vico, Doris

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split / Sveučilište u Splitu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:228:530018>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-06**



Repository / Repozitorij:

[Repository of University Department of Professional Studies](#)



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Specijalistički diplomski stručni studij Elektrotehnike

**DORIS VICO**

**ZAVRŠNI RAD**

**REGULACIJA NAPONA U  
ELEKTROENERGETSKOJ MREŽI**

Split, 2021.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Specijalistički diplomski stručni studij Elektrotehnike

**DORIS VICO**

**ZAVRŠNI RAD**

**REGULACIJA NAPONA U  
ELEKTROENERGETSKOJ MREŽI**

Split, srpanj 2021.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE**

Specijalistički diplomski stručni studij Elektrotehnike

**Predmet:** Telekomunikacije u elektroenergetskim sustavima

**Z A V R Š N I R A D**

**Kandidat:** Doris Vico

**Naslov rada:** Regulacija napona u elektroenergetskoj mreži

**Mentor:** dr.sc. Slobodanka Jelena Cvjetković, prof. v. š

Split, srpanj 2021.

# SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| SAŽETAK.....   | 1  |
| SUMMARY .....  | 2  |
| 1. UVOD .....  | 3  |
| 2. ELEKTROENERGETSKI SUSTAV .....  | 4  |
| 2.1. Proizvodnja .....   | 5  |
| 2.2. Prijenosna mreža .....  | 6  |
| 2.3. Distribucijska mreža .....  | 7  |
| 2.4. Potrošači električne energije .....   | 7  |
| 2.5. Kvaliteta električne energije .....   | 8  |
| 2.6. Naponske okolnosti u elektroenergetskoj mreži .....                           | 9  |
| 2.7. Utjecaj vodiča na naponske prilike.....                                       | 10 |
| 3. UZROCI NASTANKA POVIŠENIH NAPONA.....   | 12 |
| 3.1. Procedure praćenja i registracije naponsko-reaktivnih prilika.....            | 13 |
| 3.2. Mjere za sniženje napona u elektroenergetskom sustavu .....                   | 13 |
| 4. POVIŠENI NAPONI U ELEKTROENERGETSKOM SUSTAVU U BOSNI I<br>HERCEGOVINI.....      | 15 |
| 4.1. Satne vrijednosti napona u elektroenergetskom sustavu BiH.....                | 17 |
| 4.1.1. TS 400/220/110 kV Mostar 4.....   | 25 |
| 4.1.2. TS 400/220/110kV Trebinje .....   | 29 |
| 4.1.3. TS 400/110 kV Sarajevo 10 .....   | 32 |
| 4.1.4. TS 400/110 kV Banja Luka 6.....   | 35 |
| 4.1.5. TS 400/220/110 kV Tuzla 4.....  | 37 |
| 4.1.6. TS 220/110 kV Prijedor 2 .....  | 40 |
| 5. SINKRONI KOMPENZATORSKI POBUĐENI RAD CRPNE HIDROELEKTRANE<br>ČAPLJINA .....     | 43 |
| 5.1. Rad CHE Čapljina u kompenzatorskom režimu .....                               | 44 |
| 5.2. Uvjeti za održavanje testa .....  | 45 |
| 5.3. Stanje u elektroenergetskom sustavu prije početka testa.....                  | 46 |
| 5.4. Topologija prienosne mreže u BiH.....   | 49 |
| 5.4.1. Test 1a. – Rad CHE Čapljina u kompenzatorskom potpobuđenom režimu rada...52 |    |

|   |    |
|---|----|
| 5.4.2. Test 1b. – Rad CHE Čapljina u kompenzatorskom potpobuđenom režimu rada i maksimalni potpobuđeni režim rada TE Gacko.....   | 57 |
| 5.4.3. Test 1c. – Rad CHE Čapljina u kompenzatorskom potpobuđenom režimu rada, maksimalni potpobuđeni režim rada TE Gacko i isključenje DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko..... | 61 |
| 5.4.4. Test 1d. – izlazak CHE Čapljina i TE Gacko iz potpobuđenog režima rada.....  | 67 |
| 5.4.5. Usporedba izmjerenih podataka sa sustava SCADA i uređaja MAVOWATT.....   | 72 |
| 5.4.6. Ukupni rezultati mjerenja i proračuna .....  | 74 |
| 5.4.7. Zaključci mjerenja .....   | 75 |
| 6. ZAKLJUČAK.....   | 79 |
| LITERATURA .....  | 80 |
| POPIS SLIKA .....   | 81 |
| POPIS TABLICA .....   | 83 |
| PRILOZI.....  | 85 |
| Prilog 1 - Analize reaktivnih snaga na 400 kV međunarodnim dalekovodima.....  | 86 |
| Prilog 2 - Analize reaktivnih snaga na 220 kV međunarodnim dalekovodima.....  | 88 |
| Prilog 3 - Opterećenje elemenata EES-a BiH .....  | 90 |
| Prilog 4 - Bilanca snaga EES-a BiH po elementima i naponskim nivoima .....  | 91 |
| Prilog 5 - Pregled napona EES-a BiH.....  | 92 |
| Prilog 6 - Bilanca snaga i pregled napona EES-a Hrvatske .....  | 93 |
| Prilog 7 - Bilanca snaga i pregled napona EES-a Srbije.....   | 94 |

## SAŽETAK

S obzirom na SARS-COV-2 pandemiju i boravak u Bosni i Hercegovini, ukazala se prilika suradnje na izradi studije i projektne dokumentacije ispitivanja i testiranja crpne hidroelektrane Čapljina. Suradnja na studiji upotpunila je cjelokupnu sliku poznavanja elektroenergetskog sustava u praksi. Kontrola promjene (povišenja) napona neupitna je glede sigurnosti i kvalitete isporuke električne energije. Komunikacijski sustavi u službi kontrole i regulacije, posebice vršnog opterećenja i gubitaka u mreži, olakšali su pristup ispitivanju mreže bez izlaska na teren i time smanjili dodatne troškove.

Operator sustava je odgovoran za upravljanje naponom i reaktivnom snagom u prijenosnoj mreži elektroenergetskog sustava, te ima obavezu održavanja napona unutar definiranih granica. Prijenosna mreža Bosne i Hercegovine izvedena je takvom strukturom da su dalekovodi podopterećeni i od trenutka puštanja u pogon, javljaju se problemi sa naponima. Kompenzatorski potpobuđeni rad postrojenja uvelike pridonosi regulaciji napona u elektroenergetskom sustavu, kao i isključenje podopterećenih dalekovoda.

Analiza kompenzatorskog rada crpne hidroelektrane Čapljina u regulaciji naponskih prilika, koja ima značajan utjecaj u elektroenergetskoj mreži, jasno prikazuje regulirane napone u dijelovima elektroenergetskog sustava. Izmjerene veličine napona pokazuju da kompenzatorski režim rada ima utjecaj na smanjenje napona u dijelovima elektroenergetskog sustava. To potvrđuje činjenicu da je problematika naponskih prilika i Q/V regulacije lokalnog karaktera, odnosno, da za dobru sistemsku Q/V regulaciju resursi regulacije trebaju biti pravilno raspoređeni u cijelom sustavu.

*Ključne riječi: regulacija, povišeni naponi, kompenzatorski rad, elektroenergetski sustav*

## SUMMARY

### VOLTAGE REGULATION IN THE POWER GRID

Considering the SARS-COV-2 situation and stay in Bosnia and Herzegovina, there was an opportunity to cooperate in the preparation of a study and project documentation for testing pumped hydropower plant Čapljina. Collaboration on the study completed the overall picture of knowledge of the power system in practice. Voltage change (increase) control is unquestionable in terms of security and quality of electricity supply. Communication systems in the control and regulation service, in particular peak load and network losses, have facilitated access to network testing without going out into the field and thus reduced additional costs.

The system operator is responsible for the management of voltage and reactive power in the transmission network of the power system, and has the obligation to maintain the voltage within the defined limits. The transmission network of Bosnia and Herzegovina is constructed in such a structure that the transmission lines are underloaded and from the moment of commissioning, there are problems with voltages. Compensatory stimulated operation of the plant greatly contributes to the regulation of voltage in the power system, as well as the disconnection of the transmission line, which is underloaded.

The analysis of the compensatory operation of the Čapljina pumped hydropower plant in the regulation of voltage conditions, which has a significant impact in the electricity network, clearly shows the regulated voltages in parts of the electricity system. The measured voltage values show that the compensating mode of operation has an impact on the voltage reduction in parts of the power system. This confirms the fact that the issue of voltage conditions and Q/V regulation is of a local character, that is, that for good system Q/V regulation, control resources should be properly distributed throughout the system.

Key words: *regulation, elevated voltage, compensatory work, power system*



## 1. UVOD

Elektroenergetski sustav koji se sastoji od proizvodnje, prijenosna, distribucije i potrošnje električne energije ima za temeljnu zadaću opskrbiti električnom energijom svoje potrošače, na način da svi dijelovi sustava budu kvalitetni i pouzdani. Svaki dio sustava biti će objašnjen posebno, te će se prikazati glavni zadaci koje treba ispuniti.

Nadalje, biti će pojašnjena pojava visokih napona u čvorištima elektroenergetskog sustava koja je uočljiva je pri eksploataciji sustava tokom čitave godine. Operator sustava koji je odgovoran za upravljanje naponom i reaktivnom snagom u prijenosnoj mreži elektroenergetskog sustava ima obavezu održavanja napona unutar definiranih granica, pa će samim time biti opisane mjere i način snižavanja, odnosno održavanja napona u dozvoljenim granicama.

Prijenosna mreža Bosne i Hercegovine izvedena je takvom strukturom da su dalekovodi podopterećeni i od trenutka puštanja u pogon, javljaju se i problemi sa naponima. Naponi iznad dozvoljenih vrijednosti imaju nepovoljan utjecaj na izolaciju opreme, skraćujući njen životni vijek, posebno kada se radi o energetske transformatorima. Bit će prikazani rezultati mjerenja napona bilježeni u satnim intervalima promatranog razdoblja.

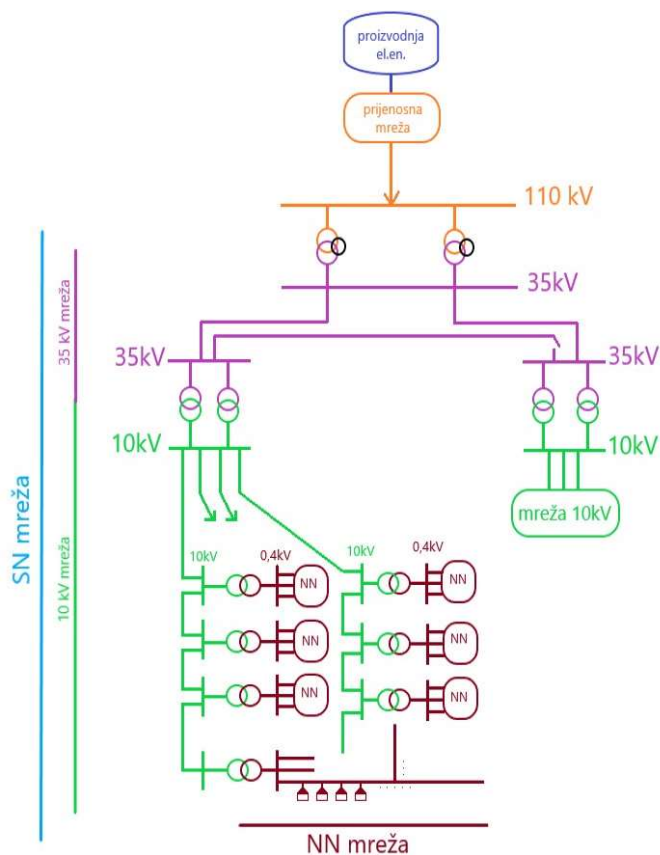
Suradnjom na studiji i stvaranjem cjelokupne slike o poznavanju elektroenergetskog sustava u praksi, prikazat će se kontrola promjene napona koja je važna zbog sigurnosti i kvalitete isporuke električne energije. Komunikacijski sustavi u službi kontrole i regulacije, posebice vršnog opterećenja i gubitaka u mreži, olakšali su pristup ispitivanju mreže.

Analiza rada CHE Čapljina u regulaciji naponskih prilika, koja ima značajan utjecaj u elektroenergetskoj mreži, biti će prikazana detaljno kroz testove. Mjerenja tijekom provođenja testa u realnom vremenu jasno će pokazati napone u dijelovima elektroenergetskog sustava. Zabilježene rekordne vrijednosti napona i dužine trajanja rada transformatorskih stanica pri nedozvoljenim naponima u 400 kV i 220 kV mreži, zahtijevat će rješavanje problema i pronalazak trajnog rješenja.

## 2. ELEKTROENERGETSKI SUSTAV

Elektroenergetski sustav se sastoji od proizvodnje, prijenosna, distribucije i potrošnje električne energije. Temeljna zadaća elektroenergetskog sustava je opskrba električnom energijom, na način da svi dijelovi sustava budu kvalitetni i pouzdani pri opskrbi energijom.

Nakon proizvedene električne energije ona se predaje potrošačima elektroenergetskim vodovima. S obzirom na rasprostranjenost vodova i to da je svaka pojedina država isprepletana elektroenergetskim prijenosnicima električne energije, možemo kazati da je elektroenergetski sustav najveći, najutjecajniji, najrasprostranjeniji i u konačnici najpotrebniji tehnički sustav današnjice. Samim time i najskuplji. Električna energija proizvedena u elektranama, obnovljivog ili neobnovljivog izvora, šalje se prijenosnom mrežom, preko distributivne mreže do krajnjih potrošača. (Slika 2.1.)

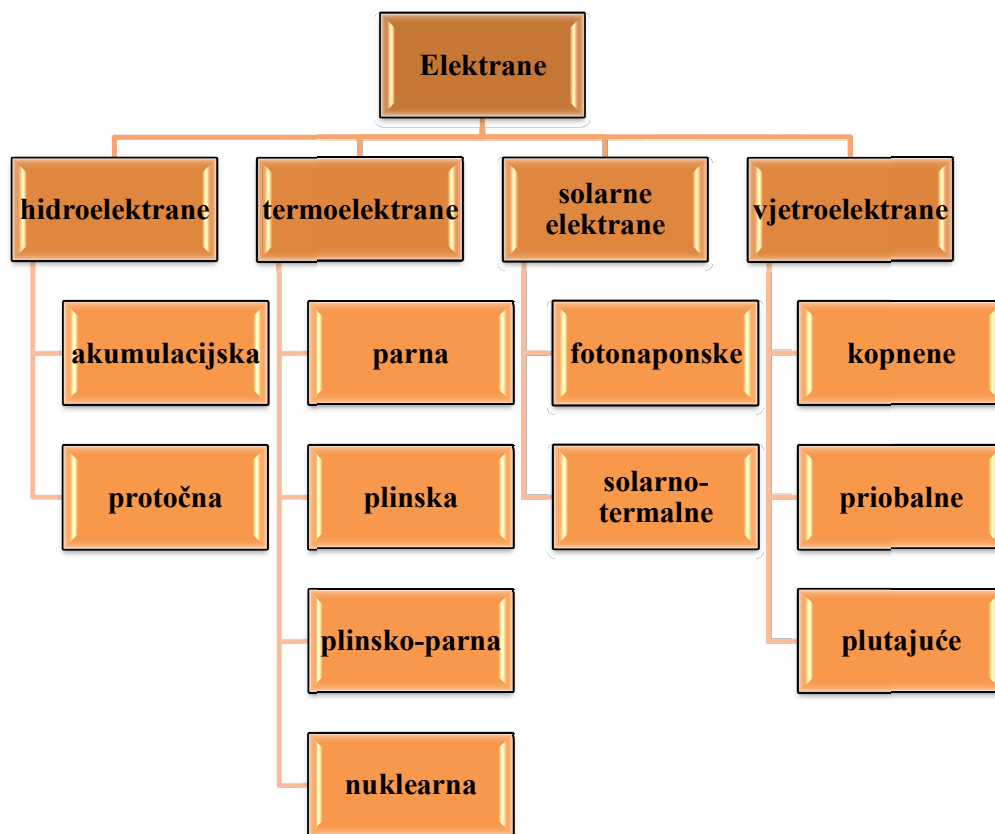


Slika 2.1. Elektroenergetska mreža

## 2.1. Proizvodnja

Postrojenja u kojima se iz različitih oblika energije proizvodi električna energija, nazivamo elektrane. Mogu biti elektrane pogonjene obnovljivim ili neobnovljivim izvorima energije (Slika 2.2.).

Standardne elektrane sastoje se od izvora energije – generatora i transformatora. Tijekom vrtnje generatori proizvode električnu energiju visokih vrijednosti. Nakon proizvodnje energija prolazi kroz transformator koji transformira napon. Transformira se u naponsku razinu mreže na koju je elektrana priključena. Prijenos električne energije učinkovitiji što su viši naponi prijenosa.



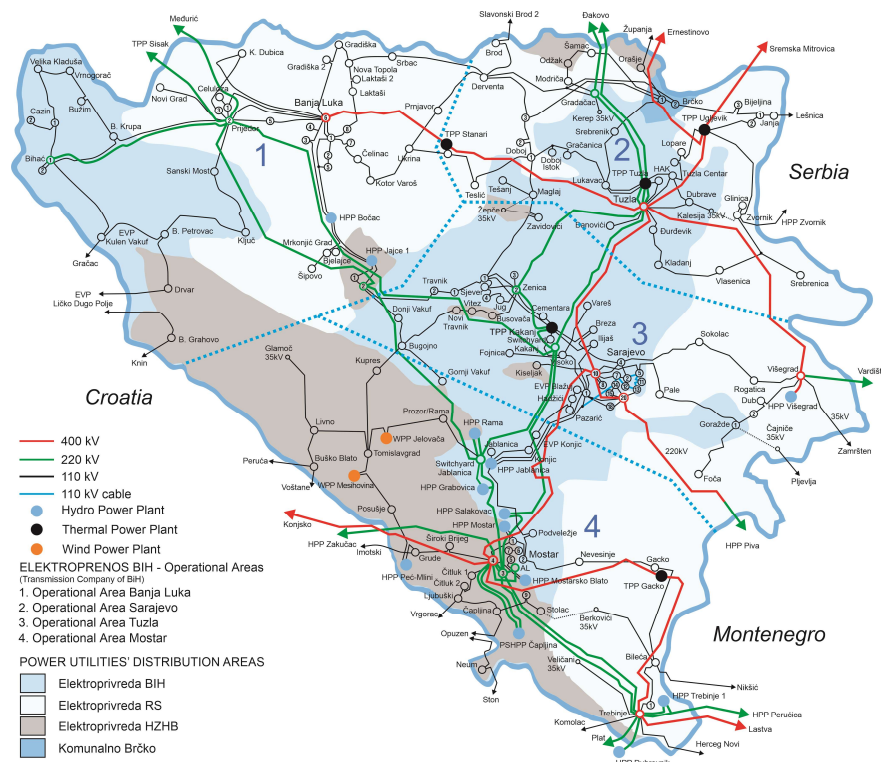
Slika 2.2. Podjela elektrana prema izvoru energije

Elektrane prema raspoloživosti dijelimo na temeljne i vršne elektrane. Krivulje troškova tih elektrana se bitno razlikuju. Da bi se njima upravljalo ekonomično potrebno je poznavati karakteristike i opterećenje sustava. Stupanj iskoristivosti neke elektrane računa se prema izrazu 2.1.. Temeljne elektrane prilagođene su stalnom radu pod opterećenjem te je njihov stupanj iskoristivosti visok, dok su vršne elektrane predviđene za kratka i velika opterećenja, a njihov stupanj iskoristivosti nizak.

$$\text{stupanj iskoristivosti} = \frac{\text{proizvedena energija [kWh]}}{\text{jedinica kapaciteta [kW] \cdot \text{sati rada jedinice}} \quad (2.1.)$$

## 2.2. Prijenosna mreža

Prijenosnu mrežu je visokonaponska mreža ( $\geq 110$  kV) kojom se prenosi električna energija iz elektrane do rasklopnog postrojenja distribucijske mreže. Glavni dio prijenosne mreže čine nadzemni vodovi, najčešće izgrađeni od aluminij-čelik kombinacije zbog odličnih tehničkih svojstava za prijenos električne energije, i transformator koji transformira napon na razinu mreže koju napaja.



Slika 2.3. Elektrane i elektroprijenos u Bosni i Hercegovini

### 2.3. Distribucijska mreža

Distribucijsku mrežu karakteriziraju srednji i niski naponi, različitih naponskih razina. Srednje naponska ili nisko naponska mreža preuzima transformiranu energiju iz prijenosne mreže ili manje elektrane te je prenosi do malih i srednjih potrošača pomoću nadzemnih i kablskih vodova.

Električna energija se iz distribucijskih transformatorskih stanica, na različitim srednje naponskim razinama, razvodi i upotrebljava za pogon u industriji, tramvaja i drugih sredstava javnog prijevoza, koja pogoni električna energija. Nadalje, dolazimo do transformatora smješteni na stupove ili u kućice u kojima se električna energija transformira na najniže naponske razine koje se koriste u kućanstvima. Napon se transformira s razina 10 000 ili 20 000 V na razinu 400 trofazno, odnosno 230 V jednofazno/monofazno.

Osim zračnih vodova za prijenos električne energije sve se više rabe i kablski vodovi koji se ukapaju u zemlju. Na taj se način vodovi štite od vremenskih nepogoda koje mogu oštetiti ili prekinuti električni vod. Srednju naponsku distributivnu mrežu karakteriziraju naponi 35 kV, 20 kV i 10 kV, dok je niskonaponska mreža na naponskoj razini od 0,4 kV.

### 2.4. Potrošači električne energije

Nakon što se električna energija prenese do kućanstva da bi došla do konačnog potrošača, ona mora proći kroz brojilo. Smještena su u priključnom ormariću, a zaposlenici elektroenergetskih kompanija očitavaju ih i na temelju očitavanja dostavljaju kućanstvima izvještaje za potrošenu električnu energiju. Osim kroz brojilo električna energija prolazi i kroz osigurače koji su također smješteni u priključnom ormariću. Osiguračima se štite električni uređaji i njihovi korisnici u slučaju kvarova. U slučaju da osigurač pregori ili izbací (ako je automatski) dogodio se kvar u instalaciji ili u nekom od trošila (kratki spoj).

Potrošače energije moguće je promatrati kao jedan objekt - trošilo koje je priključeno na mrežu te crpi i troši energiju. Također potrošačem se može smatrati dio mreže, niže naponske razine od one promatrane.

Na primjer, kod izrade analize u prijenosnoj mreži distributivni dio mreže može se nadomjestiti ekvivalentnim teretom određene fiksne impedancije te potrošnje jalove i radne snage.

Potrošači električne energije mogu se podijeliti na:

- Male - potrošači koji se napajaju na niskonaponskoj razini, pojedinačno gotovo ne utječu na rad mreže i njezinu kvalitetu i najčešće su to stambeni objekti
- Srednje – napajaju se iz srednje naponske mreže i imaju vlastite trafostanice za trošila unutar sustava
- Velike – napajaju se direktno iz prijenosne mreže kako ne bi narušavali kvalitetu električne energije i stvarali teret srednjoj i nisko naponskoj mreži.

## 2.5. Kvaliteta električne energije

Električna energija kao proizvod treba zadovoljiti specifične kriterije kod isporuke potrošačima. Kupac očekuje kako će u svakom trenutku imati raspoloživu električnu energiju i da će napon biti prilagođen njegovim trošilima po iznosu amplitude, frekvencije, po valnom obliku i simetričnosti. U konačnici važna je i ekonomičnost, te bi stoga isporučena energija trebala biti što povoljnija za kupca.

Korisno je izvršavati analize kvalitete električne energije iz dva razloga:

- 1) da bi se definirali parametri isporuke električne energije prema kupcu
- 2) kako bi se jednostavnije i na vrijeme uočili te ispravili kvarovi i mogući problemi koji rade u negativnu korist kupcu i distributeru

Kako se ne bi došlo do smanjenje kvalitete i nepravilnosti pri radu, potrebno je pratiti parametre o kojima izravno ovisi kvaliteta energije:

- mrežna frekvencija,
- razina napona napajanja,
- promjene napona napajanja,
- brze promjene napajanja/ flickeri,
- propadi napona,

- kratkotrajni prekidi napona,
- duži prekidi napona,
- mrežni prenaponi,
- nesimetrija napona,
- naponi viših harmonika,
- naponi međuharmonika,
- signalni naponi.

Kvaliteta električne energije zapravo najviše ovisi o kvalitetu napona mreže, a to je vidljivo iz parametara koji opisuju naponske poremećaje. Nije nužno mjerenje svih nabrojanih parametara da bi se odredila kvaliteta mreže.

Najvažniji parametri se grupiraju u kategorije prema vrsti poremećaja i to: prema valnom obliku, amplitudi, frekvenciji i simetričnosti napona.

## 2.6. Naponske okolnosti u elektroenergetskoj mreži

Napon prijenosne mreže od 110 kV ne smije prelaziti opseg od  $\pm 10\%$  od nazivnog napona. Čimbenici koji utječu na naponske prilike u mreži su:

- početni iznosi napona na 110 kV mreži
- regulacija napona na transformatorima 110/x, 35/x i 10(20)/0,4
- postrojenja za kompenzaciju jalove energije
- naponski regulatori u NN mreži
- vrsta vodova u mreži: zračni ili kabelski
- $\cos \varphi$ .

Ukoliko se mreža sastoji od većinom induktivnih trošila koriste se kondenzatorske baterije kao uređaj za kompenzaciju jalove energije. Kompenzacija može biti fiksna, varijabilna te regulirana automatski. U slučaju dvosmjernog toka energije u mreži poželjno je koristiti automatsku ili bar varijabilnu regulaciju, jer bi fiksna regulacija mogla prouzrokovati nepravilnosti ukoliko tok energije krene u suprotnom smjeru od predviđenog, za koji je prilagođen kompenzacijski uređaj.

Naponski regulatori u niskonaponskoj mreži koriste se za podizanje napona u mreži na mjestima gdje je to neophodno, odnosno gdje je ekstremno niski napon ili se pojavljuje variranje napona.

## 2.7. Utjecaj vodiča na naponske prilike

Zračni vodovi induktivnog su karaktera, te je iz tog razloga potrebno više jalove energije za prijenos električne energije do mjesta potrošnje, kako bi se nadomjestili padovi napona. Situacija je obratna kod kabela, pa kabele karakterizira kapacitivni karakter što se može odraziti na mrežu prilikom slabog opterećenja na način da će porasti napon mreže.

Na padove napona, osim vrste voda, utječe i presjek voda odnosno kabela. Prema izrazu (2.2) vidljivo je kako se porastom presjeka smanjuje otpor vodiča.

$$R = \frac{l}{s} \cdot \rho \quad (2.2.)$$

Gdje je:

R – električni otpor [ $\Omega$ ]

l – duljina vodiča [m]

s – presjek vodiča [ $\text{mm}^2$ ]

$\rho$  – specifični otpor materijala [ $\Omega\text{m}$ ]

Uz navedene čimbenike pada napona u vodovima i kabelima, temperatura također ima veliki odraz na otpor vodiča. Prema izrazu (2.3) vidljivo je da porastom temperature vodiča raste i otpor. Zračni vodovi imaju veću mogućnost odvođenja temperature zrakom, stoga za isti presjek vodiča, zračni vod može izdržati veće struje od kabela.

$$R(T) = R_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_0) + \beta \cdot (T - T_0)^2 + \gamma \cdot (T - T_0)^3 + \dots] \quad (2.3.)$$

Mjerenjima za različite čiste kovine pokazalo se da u određenom temperaturnom opsegu linearna aproksimacija izraza (2.3) daje približno jednake rezultate, stoga se za izračun otpora koriste samo prva dva člana polinoma kao što slijedi u izrazu (2.4).



$$R(T) = R_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_0)] \quad (2.4.)$$

Gdje je:

$\alpha$  – temperaturni koeficijent

$T_0$  – referentna temperatura (najčešće 20°C)

$R_0$  – električni otpor pri referentnoj temperaturi

Do porasta temperature vodiča dolazi pri prolasku velike struje kroz vodič. Tablica prikazuje dopuštene vrijednosti struje koje neki vodič može sigurno podnijeti ovisno o vrsti vodiča, načinu i mjestu polaganja. Porastu temperature kod kabela pogoduje slabija odvodnja topline zbog same izolacije kabela i zbog toga što je položen u zemlju.

Tablica 2.1. Strujna opterećenja vodova

| Mjesto polaganja                  | zemlja                  |     |     |          |     |     | zrak  |     |     |          |     |     |
|-----------------------------------|-------------------------|-----|-----|----------|-----|-----|-------|-----|-----|----------|-----|-----|
|                                   | bakar                   |     |     | aluminij |     |     | bakar |     |     | aluminij |     |     |
| Vrsta vodiča                      |                         |     |     |          |     |     |       |     |     |          |     |     |
| Način polaganja                   |                         |     |     |          |     |     |       |     |     |          |     |     |
| Presjek vodiča [mm <sup>2</sup> ] | Strujno opterećenje [A] |     |     |          |     |     |       |     |     |          |     |     |
| 25                                | 185                     | 165 | 150 | 140      | 130 | 115 | 175   | 160 | 135 | 130      | 125 | 110 |
| 35                                | 215                     | 200 | 180 | 165      | 155 | 140 | 210   | 190 | 165 | 170      | 150 | 130 |
| 50                                | 250                     | 235 | 215 | 195      | 180 | 165 | 255   | 230 | 200 | 205      | 180 | 155 |
| 70                                | 310                     | 290 | 265 | 240      | 225 | 205 | 320   | 285 | 250 | 255      | 220 | 195 |
| 95                                | 370                     | 345 | 315 | 290      | 270 | 245 | 385   | 345 | 305 | 305      | 270 | 240 |
| 120                               | 420                     | 395 | 360 | 325      | 305 | 280 | 440   | 400 | 350 | 350      | 310 | 275 |
| 150                               | 460                     | 440 | 400 | 360      | 340 | 315 | 500   | 455 | 400 | 390      | 355 | 315 |
| 185                               | 530                     | 500 | 455 | 410      | 385 | 355 | 580   | 525 | 460 | 450      | 410 | 360 |
| 240                               | 610                     | 580 | 525 | 480      | 455 | 415 | 680   | 625 | 550 | 530      | 490 | 425 |
| 300                               | 690                     | 650 | 600 | 545      | 510 | 470 | 780   | 725 | 630 | 415      | 560 | 480 |
| 400                               | 780                     | 750 |     | 625      | 590 |     | 890   | 850 |     | 710      | 665 |     |
| 500                               | 890                     | 840 |     | 700      | 670 |     | 990   | 940 |     | 805      | 750 |     |

### 3. UZROCI NASTANKA POVIŠENIH NAPONA

Pojava visokih napona u čvorištima elektroenergetskog sustava uočljiva je pri eksploataciji sustava tokom čitave godine. Ova pojava se obično događa u noćnim satima i to najčešće u režimima minimalnog opterećenja (dnevni minimum). No povećanje napona iznad dozvoljenih granica ne događa se samo u noćnim satima, tijekom praznika i vikendima, odnosno u režimima smanjenog opterećenja, nego i tijekom cijele godine.

Učestale pojave visokih napona u čvorištima elektroenergetskog sustava najizraženije su tokom trećeg, četvrtog i petog mjeseca. U operativnim sustavima se u sklopu aktivnosti operativnog planiranja i upravljanja u realnom vremenu svakodnevno provode aktivnosti proračuna tokova snaga i naponskih prilika u cilju analize sigurnosti i pružanja. Da bi se ove aktivnosti redovno provodile, svakodnevno se formira model elektroenergetskog sustava (EES). U ovom modelu elektroenergetskog sustava, modelira se na 400, 220 i 110 kV naponskom nivou na bazi planiranog dnevnog rasporeda ili ostvarene proizvodnje i topološke strukture prijenosne mreže. Razmatra se uklopno stanje elektroenergetskog sustava kada su bili povišeni naponi, rezultati proračuna tokova snaga i naponskih prilika.

Visoka proizvodnja reaktivne snage punjenja, relativno niski gubici reaktivne snage u sustavu, te slabo opterećenje sustava aktivnom i reaktivnom snagom uzrokuju pojavu povišenih napona u elektroenergetskom sustavu. Osim proizvodnje kapacitivne snage punjenja dalekovoda elektroenergetskog sustava, elektroenergetski sustav druge države po međunarodnom dalekovodu redovito izvozi reaktivnu snagu što također u dijelu naponskog čvorišta elektroenergetskog sustava uzrokuje povišenje napona iznad dozvoljene vrijednosti.

Usporedbom rezultata proračuna tokova snaga i naponskih prilika sa stvarnim vrijednostima registriranim na SCADA sustavu (snapshot), uočava se relativno dobro podudaranje izračunatih vrijednosti sa stvarnim vrijednostima, a eventualna manja odstupanja posljedica su formiranja modela sa prognoziranim podacima (DACF dokumenti, modeli susjednih sustava) umjesto sa snapshot podacima.

### 3.1. Procedure praćenja i registracije naponsko-reaktivnih prilika

Operator sustava odgovoran je za upravljanje naponom i reaktivnom snagom u prijenosnoj mreži elektroenergetskog sustava i ima obavezu održavanja napona unutar definiranih granica. Vrijednosti napona u čvorištima 400, 220 i 110 kV elektroenergetskog sustava prate se u realnom vremenu na SCADA/EMS<sup>1</sup> sustavu operatora sustava. Osvježavanje veličina ostvaruje se u skladu sa zahtjevima standarda, svakih 4-5 sekundi. Arhiviranje vrijednosti napona se ostvaruje preko baze podataka u samom SCADA/EMS sustavu u definiranim vremenskim intervalima i za definirani vremenski period. Postoji mogućnost arhiviranja satnih vrijednosti napona, petominutnih vrijednosti kao i trenda archive napona (svakih 5 sekundi).

Vrijednosti napona u razmatranim objektima elektroenergetskog sustava prikazuju se u vidu dijagrama i to na dva načina: dijagram satnih vrijednosti napona – prikaz svih satnih vrijednosti u razmatranom periodu sa kojega se mogu uočiti dnevni profili napona i dijagram trajanja napona – sortirane vrijednosti napona od najviše do najniže vrijednosti u razmatranom periodu i prikazuje vremenski period trajanja određene vrijednosti napona, npr. broj sati trajanja napona iznad maksimalno dozvoljene vrijednosti. Na dijagramima se može uočiti prekid krivulje napona koji se dogodio zbog npr. isključenja dalekovoda uslijed previsokih napona, planiranih radova, da su vrijednosti napona u razmatranim čvorištima često iznad propisanih vrijednosti propisanih naročito u proljeće i jesen.

Cilj ovih aktivnosti bio je da se sagleda veličina i trajanje previsokih napona u razmatranom periodu, izvrši identifikacija uzroka pojave previsokih napona, izvrši kritička analiza raspoloživih dispečerskih akcija i efikasnost istih, te predlože dalje aktivnosti u njihovoj sanaciji.

### 3.2. Mjere za sniženje napona u elektroenergetskom sustavu

Ograničene mogućnosti Q/U regulacije unutar EES-a sastoje se od generatora, regulacijskih transformatora, transformatora s mogućnošću promjene prijenosnog omjera u beznaponskom stanju, te kompenzatorski rad.

---

<sup>1</sup> SCADA/EMS – Supervisory Control And Data Acquisition / Energy Management System

U cilju održavanja napona u dozvoljenim granicama u elektroenergetskom sustavu na raspodjelu tokova reaktivnih snaga može se utjecati na sljedeće načine: promjenom proizvodnje/apsorpcije reaktivne snage, promjenom prijenosnog odnosa na transformatorima 400/220 kV i 220/110 kV, promjenom uklopnog stanja – isključenjem dalekovoda 400 kV i 220 kV.

Sinkroni generatori su resurs za proizvodnju reaktivne snage u EES-u te za regulaciju napona i reaktivne snage. Oni se reguliraju posredovanjem sustava uzbude i automatskih regulatora napona. Mogućnost proizvodnje/apsorpcije reaktivne snage sinkronog generatora ovisna je od proizvodnji aktivne snage. Dozvoljeno područje rada sinkronog generatora određeno je njegovim P-Q dijagramom. U minimalnom režimu rada neke od proizvodnih jedinica rada su u kapacitivnom/poduzbuđenom režimu rada. Značajnijim angažiranjem proizvodnih jedinica u kapacitivnom režimu, u skladu sa pogonskim kartama istih, naponi u većini čvorišta 400 kV i 220 kV prijenosne mreže elektroenergetskog sustava se smanjuju ispod gornje granice dozvoljenih napona (u normalnom pogonu 420 kV, 242 kV). Međutim, povećano uključenje proizvodnih jedinica u kapacitivnom režimu rada je većinom upitno zbog neraspoloživosti opreme i uređaja za kontrolu rada generatora u kapacitivnom režimu. U minimalnim režimima rada elektroenergetskog sustava priključen na mrežu manji broj generatorskih jedinica, u odnosu na pogonsko stanje sustava. Zbog navedenog, upravljanje proizvodnjom reaktivne snage u spomenutom režimu je ograničeno.

Promjenom prijenosnog omjera, odnosno promjenom pozicije preklopke transformatora, nastoji se održati željeni napon na niženaponskoj strani transformatora. Ovaj proces se uglavnom odvija automatski ili daljinskom kontrolom na TS 220/110 i 110/x kV. Promjenom prijenosnog odnosa transformatora nastoji se održati vrijednost sekundarnog napona (115 kV).

Smanjenjem primarnog napona na transformatoru povećava se protok reaktivne snage kroz transformator i vrijednost sekundarnog napona. Obrnut proces je kod smanjenja vrijednosti sekundarnog napona. Promjena uklopnog stanja – isključenje dalekovoda 400 kV i 220 kV se preuzima na onima koji značajnije doprinose u reaktivnoj snazi punjenja (produkciji reaktivne snage) uslijed neopterećenosti mreže. Ograničavajuća je jer se prilikom isključenja mora voditi računa da se ne naruši sigurnost elektroenergetskog sustava.

#### 4. POVIŠENI NAPONI U ELEKTROENERGETSKOM SUSTAVU U BOSNI I HERCEGOVINI

Prijenosna mreža Bosne i Hercegovine izvedena je takvom strukturom da su dalekovodi naponskih razina 400 kV i 220 kV uglavnom podopterećeni. Od trenutka puštanja u pogon 400 kV mreže u BiH, javljaju se i problemi sa povišenim naponima. Pojava nedozvoljenih visokih napona nastavila je biti prisutna i nakon listopada 2004. godine, kada je izvršena rekonekcija elektroenergetskog sustava Bosne i Hercegovine (u nastavku EES BiH) u jedinstveni elektroenergetski sustav UCTE<sup>2</sup>, odnosno današnju ENTSO-E<sup>3</sup> sinkronu oblast kontinentalne Europe, posebno u režimima malih opterećenja – u proljeće i jesen te tokom vikenda i noći.

Iznosi nazivnih napona mreža i najviših napona opreme propisane su i definirane u IEC 60038 standardu [1]. U navedenom, nisu specificirane vrijednosti najnižih i najviših napona prijenosnih mreža, odnosno nisu navedene dozvoljene varijacije napona. Pri upravljanju EES-om se uvažavaju naponske granice, odnosno dozvoljene varijacije napona određene u Mrežnom kodeksu [2]. Najviši dopušteni naponi definirani u Mrežnom kodeksu za prijenosnu mrežu 110 kV, 220 kV i 400 kV naponskog nivoa su respektivno 123 kV, 245 kV i 420 kV.

Važno je istaknuti da naponi iznad dozvoljenih vrijednosti, koji traju u kontinuitetu po nekoliko sati, čak i dana, imaju nepovoljan utjecaj na izolaciju opreme, skraćujući njen životni vijek, posebno kada se radi o energetskim transformatorima. U nastavku ovog poglavlja bit će prikazani rezultati mjerenja napona bilježeni u satnim intervalima promatranog razdoblja.

Dugi niz godina se u transformatorskim stanicama 220 kV i 400 kV, u kojima je zabilježen najveći broj sati povišenih napona, prikupljaju podaci o naponima kako bi se izvršile

---

<sup>2</sup> Union for the Coordination of Transmission of Electricity (UCTE) – Sinkroni raster kontinentalnoj Europi je najveći sinkrona električna mreža (za priključne snage) u svijetu. Povezana je kao jednofazna mrežna mreža s frekvencijom od 50 Hz koja opskrbljuje preko 400 milijuna kupaca u 24 zemlje, uključujući veći dio EU.

<sup>3</sup> European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E) – predstavlja 42 operatora prijenosnih sustava električne energije iz 35 zemalja širom Europe, šireći se i izvan granica EU.

analize naponskih prilika i potvrdio kontinuitet pojave nedozvoljenih vrijednosti napona. Poseban naglasak je 400 kV mreža, koja je najčešće opterećena manjom snagom od prirodne, pa 400 kV dalekovodi u EES-u BiH veći dio godine generiraju značajnu količinu reaktivne snage. Također su i 220 kV, te 110 kV dalekovodi većinom opterećeni ispod prirodne snage, što dodatno generira reaktivnu snagu i podiže napon iznad vrijednosti propisanih Mrežnim kodeksom. Iz godine u godinu uočava se sve duže trajanje prekoračenja dozvoljenih naponskih granica, a samim time i veća opasnost proboja izolacije, što može izazvati ispade elemenata sustava te ugroziti stabilnost i napajanje kupaca električnom energijom. Iz tog razloga su se identificirale veličine i dužine trajanja povišenih napona, analizirali uzroci nastanka i proračunali tokovi snaga i punjenja dalekovoda. Dalje, u ulomku će se prikazati mjere koje se poduzimaju i nove predložene mjere za sniženje previsokih napona u prijenosnoj mreži Bosne i Hercegovine.

U cilju održavanja napona u propisanim granicama, a u skladu sa Mrežnim kodeksom, NOS BiH<sup>4</sup> provodi mjere:

- izdavanje naloga elektranama za maksimalno preuzimanje reaktivne snage, odnosno angažiranje proizvodnih jedinica u kapacitivnom području pogonske karte,
- regulira napone promjenom pozicije regulacione preklopke na transformator,
- isključuje prijenosne dalekovode, vodeći računa o sigurnosti sustava, odnosno izbjegavanju jednostranog napajanja pojedinih transformatorskih stanica.

Navedene mjere u velikom broju slučajeva ne omogućavaju svođenje previsokih napona u granice koje su definirane Mrežnim kodeksom. U EES-u BiH ne postoje instalirane visokonaponske prigušnice, koje troše reaktivnu snagu i time direktno doprinose sniženju napona na mjestu priključenja.

Jedina preostala dodatna mjera za sniženje napona, do ugradnje kompenzacijskih uređaja, jeste pogon CHE<sup>5</sup> Čapljina u sinkronom kompenzacijskom potpobuđenom načinu rada. Elektromehaničke i regulacijske karakteristike motor/generator CHE Čapljina omogućavaju kompenzacijski rad (natpobuđeni ili potpobuđeni, +/-160 MVar po agregatu) u sva četiri kvadranta pogonske karte.

---

<sup>4</sup> Nezavisni operator sustava u Bosni i Hercegovini – NOS BiH

<sup>5</sup> CHE – crpna hidroelektrana

Tokom asinkronog zaleta u trajanju do 100 s, potrošnja sa mreže 220 kV iznosi oko 20 MW, dok u stacionarnom kompenzacijskom radu potrošnja iznosi oko 4 MW.

Kako rad u kompenzacijskom načinu rada nije finansijski valoriziran, kao ni pomoćna usluga Q/V regulacije ostalih proizvodnih objekata koji vrše regulaciju napona, tako ni regulacijski resursi CHE Čapljine nisu iskorišteni u regulaciji napona. Zbog tog razloga nije se koristio taj način rada, osim u slučaju kada je vršena resinkronizacija dvije sinkrone zone 2004., na osnovu kojih bi se razgledale mogućnosti CHE Čapljine za regulaciju napona u EES-u BiH. Prema tome, glavni cilj je da na osnovu testiranja pogonskih mogućnosti CHE Čapljine u kompenzacijskom potpobuđenom načinu rada u realnom vremenu, ponudi kako i koliko rad CHE Čapljine u opisanom režimu utječe na poboljšanje naponskih prilika u EES-u, te pokaže značaj drugih proizvodnih resursa na regulaciju naponskih prilika u EES-u BiH.

#### **4.1. Satne vrijednosti napona u elektroenergetskom sustavu BiH**

Vrijednosti napona u značajnijim čvorištima 400 kV i 220 kV elektroenergetskog sustava u Bosni i Hercegovini se uzimaju preko sustava SCADA/EMS preuzimanjem podataka iz daljinskih stanica u sustavu Nezavisnog operatora u BiH. Podaci se bilježe kontinuirano od 2010. tako da se svake godine napravi odgovarajuća arhiva vrijednosti napona, a za 2020. su korištene vrijednosti za period od 01.01. do 11.10. godine (6840 sati), period za koji su podaci bili raspoloživi u trenutku početka pripreme i izrade Studije pri testiranju.

U razmatranom periodu analizirane su satne vrijednosti napona na sabirnicama u transformatorskim stanicama (TS) koje su navedene u Tablici 4.1. U 2020. godini je u TS 400/220/110 kV Mostar 4 zabilježeno najduže trajanje povišenih napona i na 400 kV i na 220 kV naponskom nivou, za razliku od prethodnih godina kada je u TS 400/220/110 kV Trebinje zabilježen najveći broj sati rada pri povišenim naponima na 400 kV naponskom nivou. U Tablicama 4.1.-4.5. prikazan je broj sati rada od 2016. do 2020. postrojenja pri naponima iznad dozvoljenih granica, postotak trajanja, maksimalni naponi [ $U_m$ ] kao i maksimalne vrijednosti izmjerenih napona [ $U_{mm}$ ] u 2016, 2017, 2018, 2019. godini i 9 mjeseci i 11 dana 2020.

Od 2010. registrirano je kontinuirano povećanje dužine trajanja povišenih napona 400 kV i 220 kV naponskog nivoa, a 2019. gledajući podatke na nivou cijele godine, bila je rekordna po dužini trajanja nedozvoljenih napona. Prema podacima za 2020. godinu, po dužini trajanja povišenih napona, rekordne su vrijednosti izmjerenih maksimalnih napona na 400 kV i 220 kV naponske razine, kao i napona na 220 kV strani u transformatorskim stanicama u kojima to nije primarni napon. Zbog dugog trajanja nedozvoljenih napona na primarnoj strani 400 kV i na 220 kV naponskom nivou se događa dug period trajanja povišenih napona, posebno u TS Trebinje i TS Mostar 4, koje su pod povišenim naponom tijekom godine radile 62%, odnosno 91% vremena.

Razmatrane TS naponskog nivoa 110 kV tijekom 2020. su radile mali broj sati pod nedozvoljeno visokim naponima, jer su naponi uspješno regulirani pomoću promjene pozicije preklopke transformatora pod opterećenjem, tako da su maksimalno izmjereni naponi bili nešto viši od dozvoljene granične vrijednosti napona određene Mrežnim kodeksom, koja iznosi 123 kV.

Tablica 4.1. Broj sati rada TS pri naponu većem od dozvoljene vrijednosti u 2016.

| 2016.       | TS           | Naponska razina [kV] | $U_m$ [kV] | Broj sati kada je $U > U_m$ | Broj sati kada je $U > U_m$ [%] | $U_{mm}$ [kV] |
|-------------|--------------|----------------------|------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------|
|             | Banja Luka 6 | 400                  | 420        | 1838                        | 21 %                            | 431,53        |
| 110         |              | 123                  | 0          | 0 %                         | 122,56                          |               |
| Tuzla 4     | 400          | 420                  | 4591       | 52 %                        | 435,23                          |               |
|             | 220          | 245                  | 550        | 6 %                         | 248,53                          |               |
|             | 110          | 123                  | 0          | 0%                          | 119,37                          |               |
| Prijedor 2  | 220          | 245                  | 2268       | 26 %                        | 252,21                          |               |
|             | 110          | 123                  | 27         | 0 %                         | 123,72                          |               |
| Mostar 4    | 400          | 420                  | 7838       | 89 %                        | 446,43                          |               |
|             | 220          | 245                  | 3249       | 37 %                        | 255,57                          |               |
|             | 110          | 123                  | 30         | 0 %                         | 124,28                          |               |
| Sarajevo 10 | 400          | 420                  | 5675       | 65 %                        | 436,36                          |               |
|             | 110          | 123                  | 79         | 1 %                         | 124,32                          |               |
| Trebinje    | 400          | 420                  | 8293       | 94 %                        | 451,41                          |               |
|             | 220          | 245                  | 3276       | 37 %                        | 254,44                          |               |
|             | 110          | 123                  | 3          | 0 %                         | 123,44                          |               |



Tablica 4.2. Broj sati rada TS pri naponu većem od dozvoljene vrijednosti u 2017.

| 2017.       | TS           | Naponska razina [kV] | $U_m$ [kV] | Broj sati kada je $U > U_m$ | Broj sati kada je $U > U_m$ [%] | $U_{mm}$ [kV] |
|-------------|--------------|----------------------|------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------|
|             | Banja Luka 6 | 400                  | 420        | 2070                        | 24 %                            | 430,95        |
| 110         |              | 123                  | 0          | 0 %                         | 122,89                          |               |
| Tuzla 4     | 400          | 420                  | 5838       | 67 %                        | 437,3                           |               |
|             | 220          | 245                  | 780        | 9 %                         | 250,82                          |               |
|             | 110          | 123                  | 0          | 0 %                         | 121,5                           |               |
| Prijedor 2  | 220          | 245                  | 1993       | 23 %                        | 252,85                          |               |
|             | 110          | 123                  | 0          | 0 %                         | 122,55                          |               |
| Mostar 4    | 400          | 420                  | 7663       | 88 %                        | 441,6                           |               |
|             | 220          | 245                  | 2804       | 32 %                        | 253,28                          |               |
|             | 110          | 123                  | 179        | 2 %                         | 125,39                          |               |
| Sarajevo 10 | 400          | 420                  | 5893       | 67 %                        | 438,19                          |               |
|             | 110          | 123                  | 293        | 3 %                         | 125,96                          |               |
| Trebinje    | 400          | 420                  | 7865       | 90 %                        | 444,67                          |               |
|             | 220          | 245                  | 3237       | 37 %                        | 255,05                          |               |
|             | 110          | 123                  | 0          | 0 %                         | 122,45                          |               |

Tablica 4.3. Broj sati rada TS pri naponu većem od dozvoljene vrijednosti u 2018.

| 2018.       | TS           | Naponska razina [kV] | $U_m$ [kV] | Broj sati kada je $U > U_m$ | Broj sati kada je $U > U_m$ [%] | $U_{mm}$ [kV] |
|-------------|--------------|----------------------|------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------|
|             | Banja Luka 6 | 400                  | 420        | 2259                        | 26 %                            | 433,49        |
| 110         |              | 123                  | 3          | 0 %                         | 123,28                          |               |
| Tuzla 4     | 400          | 420                  | 5899       | 67 %                        | 437,06                          |               |
|             | 220          | 245                  | 654        | 7 %                         | 250,66                          |               |
|             | 110          | 123                  | 0          | 0 %                         | 121,35                          |               |
| Prijedor 2  | 220          | 245                  | 2021       | 23 %                        | 253,92                          |               |
|             | 110          | 123                  | 2          | 0 %                         | 123,52                          |               |
| Mostar 4    | 400          | 420                  | 7343       | 84 %                        | 441,06                          |               |
|             | 220          | 245                  | 4132       | 47 %                        | 253,19                          |               |
|             | 110          | 123                  | 7          | 0 %                         | 123,7                           |               |
| Sarajevo 10 | 400          | 420                  | 7001       | 80 %                        | 439,79                          |               |
|             | 110          | 123                  | 419        | 5 %                         | 125,43                          |               |
| Trebinje    | 400          | 420                  | 8012       | 92 %                        | 440,42                          |               |
|             | 220          | 245                  | 4150       | 47 %                        | 253,33                          |               |
|             | 110          | 123                  | 0          | 0 %                         | 121,87                          |               |

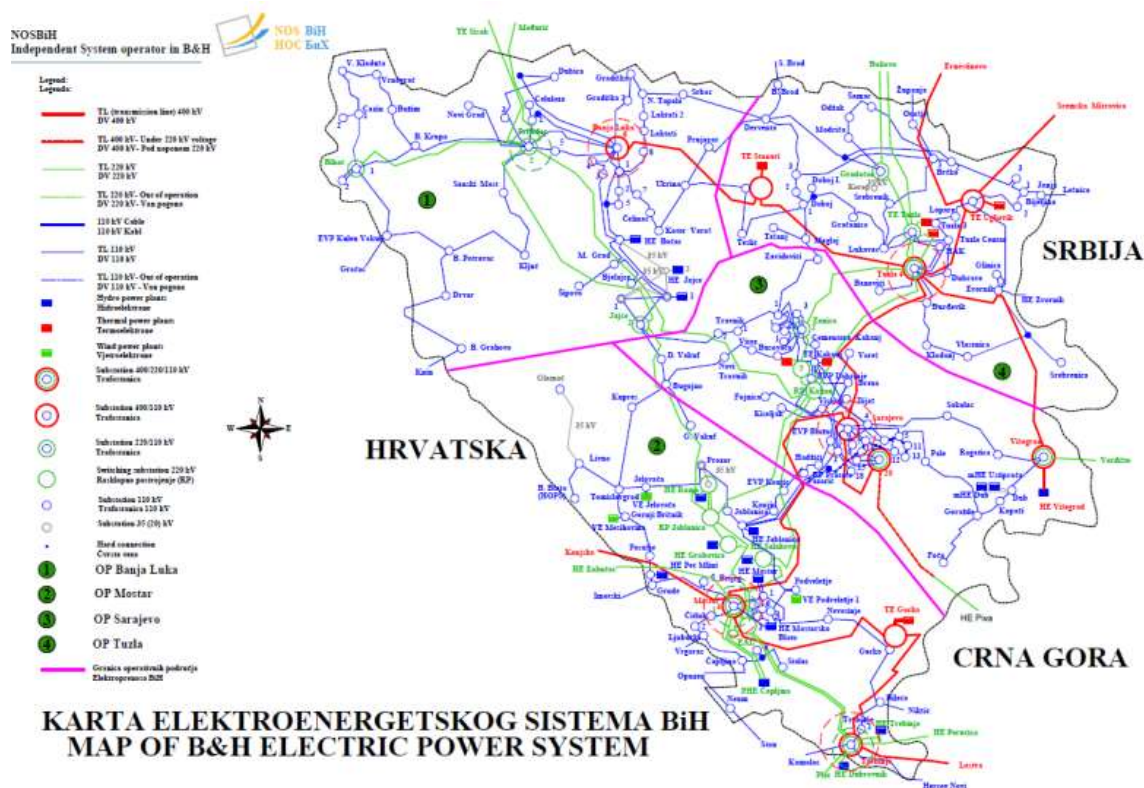
Tablica 4.4. Broj sati rada TS pri naponu većem od dozvoljene vrijednosti u 2019.

| 2019.       | TS           | Naponska razina [kV] | $U_m$ [kV] | Broj sati kada je $U > U_m$ | Broj sati kada je $U > U_m$ [%] | $U_{mm}$ [kV] |
|-------------|--------------|----------------------|------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------|
|             | Banja Luka 6 |                      | 400        | 420                         | 3477                            | 40 %          |
| 110         |              |                      | 123        | 71                          | 1 %                             | 124,95        |
| Tuzla 4     |              | 400                  | 420        | 7763                        | 89 %                            | 443,89        |
|             |              | 220                  | 245        | 2054                        | 24 %                            | 254,44        |
|             |              | 110                  | 123        | 0                           | 0 %                             | 122,78        |
| Prijedor 2  |              | 220                  | 245        | 4647                        | 53 %                            | 258,46        |
|             |              | 110                  | 123        | 77                          | 1 %                             | 124,79        |
| Mostar 4    |              | 400                  | 420        | 8629                        | 99 %                            | 450,19        |
|             |              | 220                  | 245        | 7368                        | 84 %                            | 259,65        |
|             |              | 110                  | 123        | 93                          | 1 %                             | 124,89        |
| Sarajevo 10 |              | 400                  | 420        | 8114                        | 93 %                            | 446,42        |
|             |              | 110                  | 123        | 1596                        | 18 %                            | 127,37        |
| Trebinje    |              | 400                  | 420        | 8648                        | 99 %                            | 453,56        |
|             |              | 220                  | 245        | 6486                        | 74 %                            | 260,9         |
|             |              | 110                  | 123        | 0                           | 0 %                             | 122,75        |

Tablica 4.5. Broj sati rada TS pri naponu većem od dozvoljene vrijednosti u periodu od 1.1.2020. do 11.10.2020.

| 1.1.2020. - 11.10.2020. | TS           | Naponska razina [kV] | $U_m$ [kV] | Broj sati kada je $U > U_m$ | Broj sati kada je $U > U_m$ [%] | $U_{mm}$ [kV] |
|-------------------------|--------------|----------------------|------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------|
|                         | Banja Luka 6 |                      | 400        | 420                         | 2706                            | 40 %          |
| 110                     |              |                      | 123        | 73                          | 1 %                             | 125,83        |
| Tuzla 4                 |              | 400                  | 420        | 6474                        | 95 %                            | 449,13        |
|                         |              | 220                  | 245        | 2638                        | 39 %                            | 267,71        |
|                         |              | 110                  | 123        | 14                          | 0 %                             | 124,74        |
| Prijedor 2              |              | 220                  | 245        | 3501                        | 51 %                            | 261,86        |
|                         |              | 110                  | 123        | 46                          | 1 %                             | 125,46        |
| Mostar 4                |              | 400                  | 420        | 6669                        | 98 %                            | 454,79        |
|                         |              | 220                  | 245        | 6235                        | 91 %                            | 264,16        |
|                         |              | 110                  | 123        | 94                          | 1 %                             | 125,67        |
| Sarajevo 10             |              | 400                  | 420        | 6268                        | 92 %                            | 451,82        |
|                         |              | 110                  | 123        | 474                         | 7 %                             | 128,71        |
| Trebinje                |              | 400                  | 420        | 6368                        | 94 %                            | 449,31        |
|                         |              | 220                  | 245        | 4236                        | 62 %                            | 259,08        |
|                         |              | 110                  | 123        | 20                          | 0 %                             | 124,05        |

Na Slici 4.1. je prikazana karta elektroenergetskog sustava Bosne i Hercegovine, na kojoj su označene transformatorske stanice, u kojima je mjereno 400, 220 i 110 kV napon tijekom 2020.



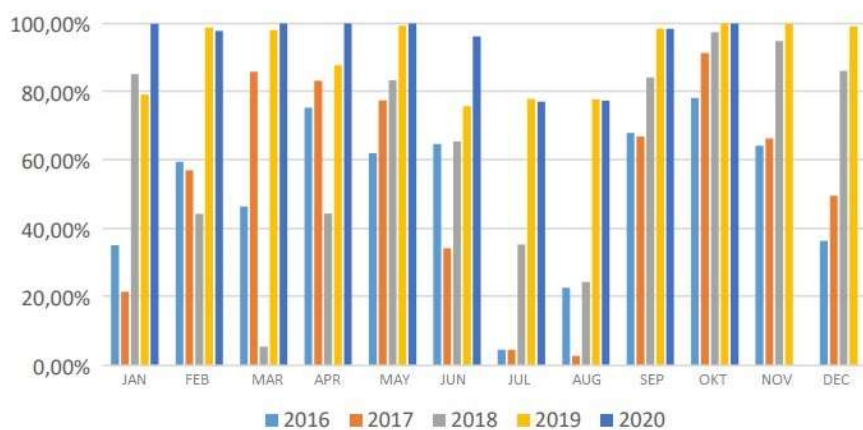
Slika 4.1. Obilježene TS EES-a BiH u kojima je mjereno napon

U nastavku na su detaljno prikazani dijagrami sa mjesečnim postotkom rada karakterističnih transformatorskih stanica u BiH 400 kV i 220 kV naponske razine pri povišenim naponima u razdoblju od 2016. godine do listopada 2020. (Slika 4.2. do 4.9.), te analize naponskih prilika tokom 9 mjeseci i 11 dana 2020. u svim čvorištima prikazanim u Tablici 4.1. do 4.5. i na Slici 4.1.

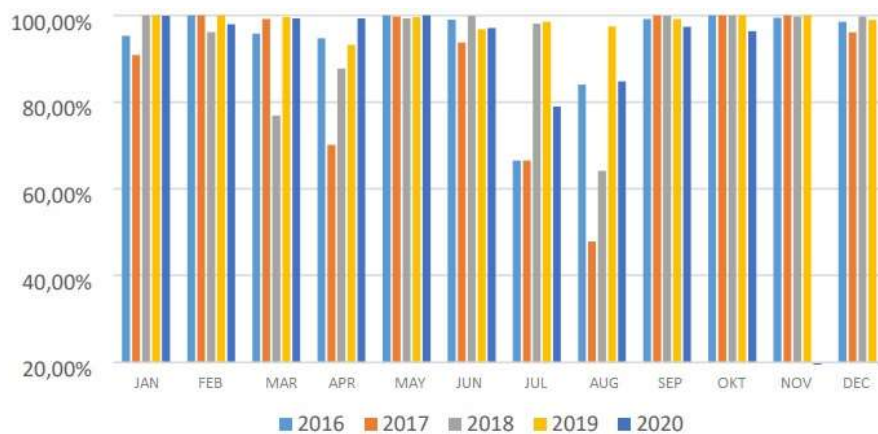
Vidljivo je da je najduži rad ovih TS pri nedozvoljenim naponima bio u proljetnim (travanj i svibanj), te jesenjim (rujan i kolovoz) mjesecima. Sa dijagrama se također može vidjeti konstantan porast postotka rada pri povišenim naponima od 400 kV i 220 kV.



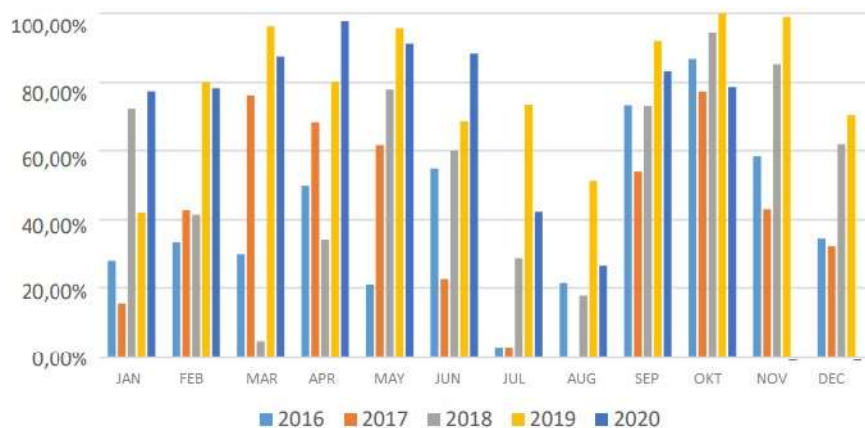
Slika 4.2. Mjesečni rad TS Mostar 4 (400 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 godina



Slika 4.3. Mjesečni rad TS Mostar 4 (220 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 godina



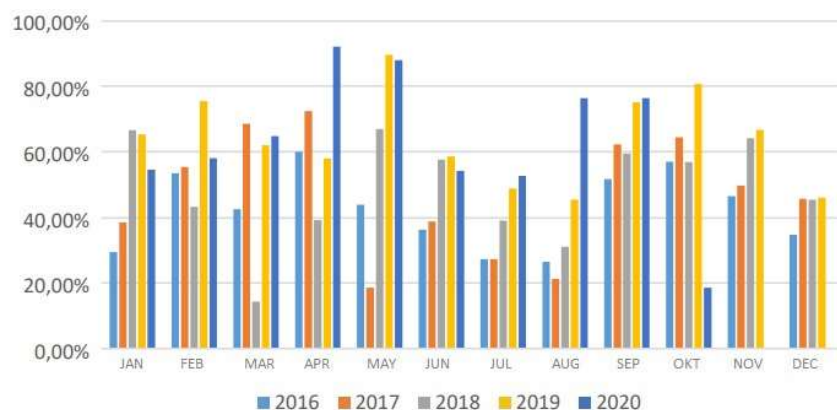
Slika 4.4. Mjesečni rad TS Trebinje (400 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 godina



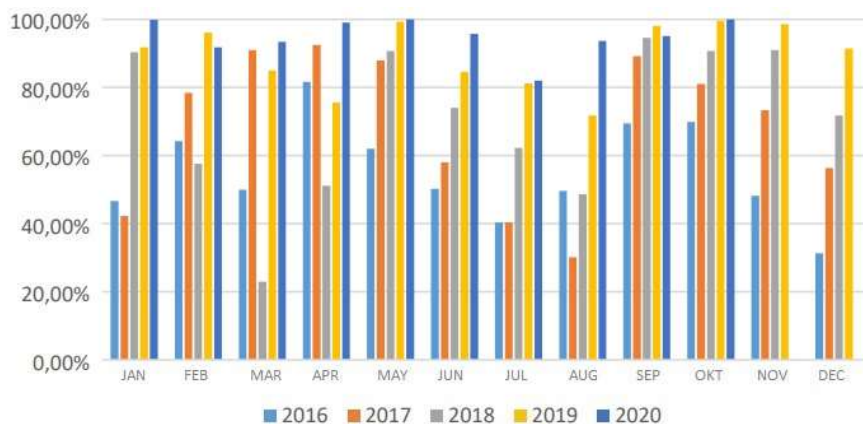
Slika 4.5. Mjesečni rad TS Trebinje (220 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 godina



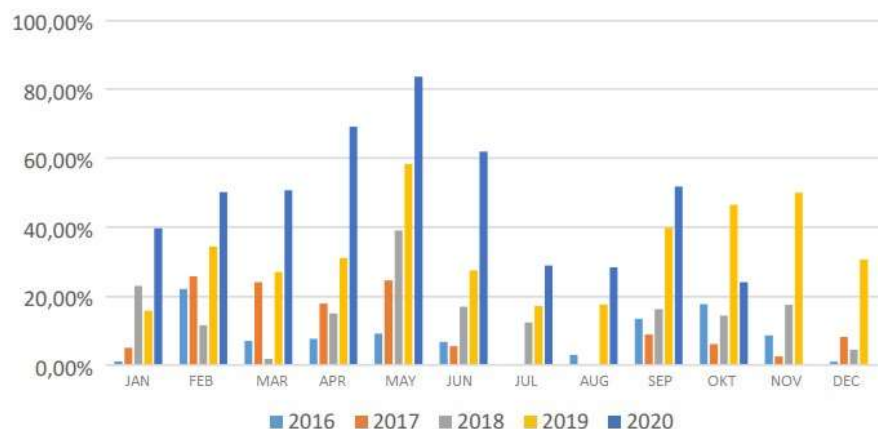
Slika 4.6. Mjesečni rad TS Sarajevo 10 (400 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 godina



Slika 4.7. Mjesečni rad TS Banja Luka 6 (400 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 godina



Slika 4.8. Mjesečni rad TS Tuzla 4 (400 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 godina



Slika 4.9. Mjesečni rad TS Tuzla 4 (220 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 godina

Izmjerene satne vrijednosti napona su prikazane dijagramima promjena i dijagramima trajanja napona. Za svaku TS su prikazane godišnje vrijednosti napona na pojedinim sabirnicama prema vremenskom slijedu, te godišnje krivulje trajanja napona koje prikazuju slijed pojave pojedinih vrijednosti napona od najviših iznosa do najmanjih. Iz prvog niza slika moguće je uočiti ovisnost visokih napona u promatranim mjesecima, dok je iz drugog niza slika moguće uočiti broj sati u godini dana kad su naponi bili viši od dozvoljenih maksimalnih vrijednosti.

#### 4.1.1. TS 400/220/110 kV Mostar 4

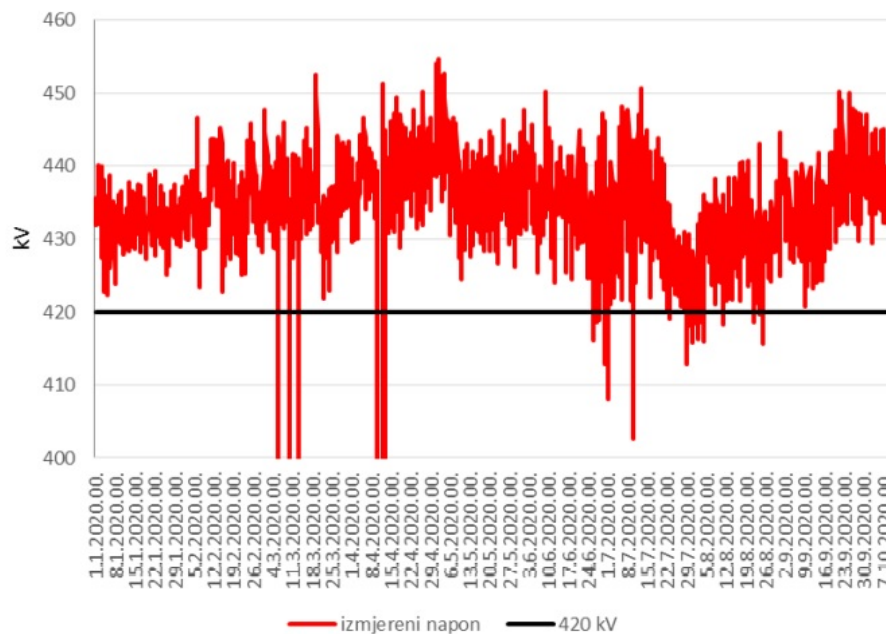
Dijagram promjene 400 kV napona tokom 9 mjeseci i 11 dana 2020. godine u TS Mostar 4 prikazan je na Slici 4.10. i predstavlja sve satne vrijednosti u razmatranom periodu i mogu se uočiti dnevni profili napona i periodi u kojima su naponi bili povišeni. Na Slici 4.11. su dijagrami trajanja 400 kV napona tokom 9 mjeseci i 11 dana 2020. godine, koji predstavljaju satne vrijednosti napona, poredane od najviše do najniže vrijednosti u razmatranom periodu i prikazuju period trajanja određene vrijednosti napona, npr. broj sati trajanja napona iznad maksimalno dozvoljene vrijednosti.

U TS Mostar 4 je u vrijeme prvomajskih praznika (subota 02.05.2020. u 07:00 sati) zabilježena rekordna vrijednost 400 kV napona, u iznosu od 454,79 kV, što predstavlja najvišu povijesnu vrijednost nedozvoljenog napona i ukupno najduže vrijeme trajanja nedozvoljenih povišenih napona – od 6669 sati. To ukupno čini 98% za promatrani vremenski horizont. Jedan od glavnih razloga ovako velikog broja sati rada sa vrijednostima napona iznad dozvoljenih je smanjena potrošnja u cjelokupnom ENTSO-e sustavu, u Bosni i Hercegovini, kao i u susjednim zemljama, što je posljedica pandemije virusa SARS-CoV-2<sup>6</sup>. Također, i dalje se osjećaju posljedice izlaska sa mreže najvećeg potrošača aktivne i reaktivne snage u BiH - Aluminijska d.d. Mostar (polovicom 2019.).

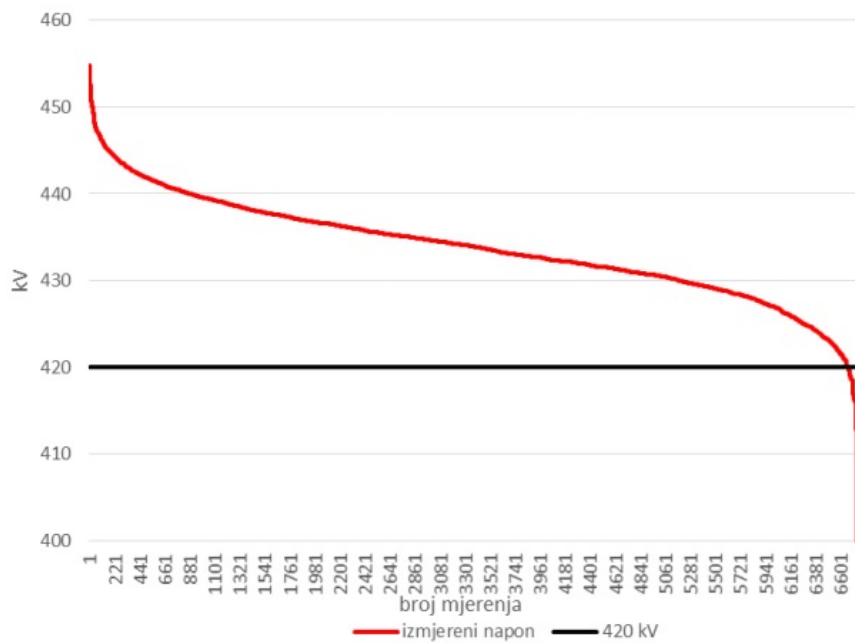
Smanjenjem potrošnje podopterećeni dalekovodi su generirali reaktivnu snagu i uzrokovali povećanje napona u cijeloj regiji jugoistočne Europe. Na taj način se u prijenosnu mrežu BiH dodatno „uvezla“ reaktivna snaga sa međunarodnih dalekovoda, a najviše preko DV 400 kV Mostar 4 - Konjsko, preko kojeg se redovno injektira reaktivna snaga iz Hrvatske u TS Mostar 4, u iznosu od 80 do 100 MVar.

---

<sup>6</sup> COVID-19 pandemija je u tijeku globalna pandemija od koronavirusa bolesti 2019 (COVID-19), uzrokovane teške akutnog respiratornog sindroma koronavirusa 2 (SARS-COV-2). Virus je prvi put identificiran u prosincu 2019. u Wuhan, Kina. Potvrđeno je više od 159 milijuna slučajeva, s više od 3,31 milijuna smrtnih slučajeva, što ga čini jednom od najsmrtonosnijih pandemija u povijesti.



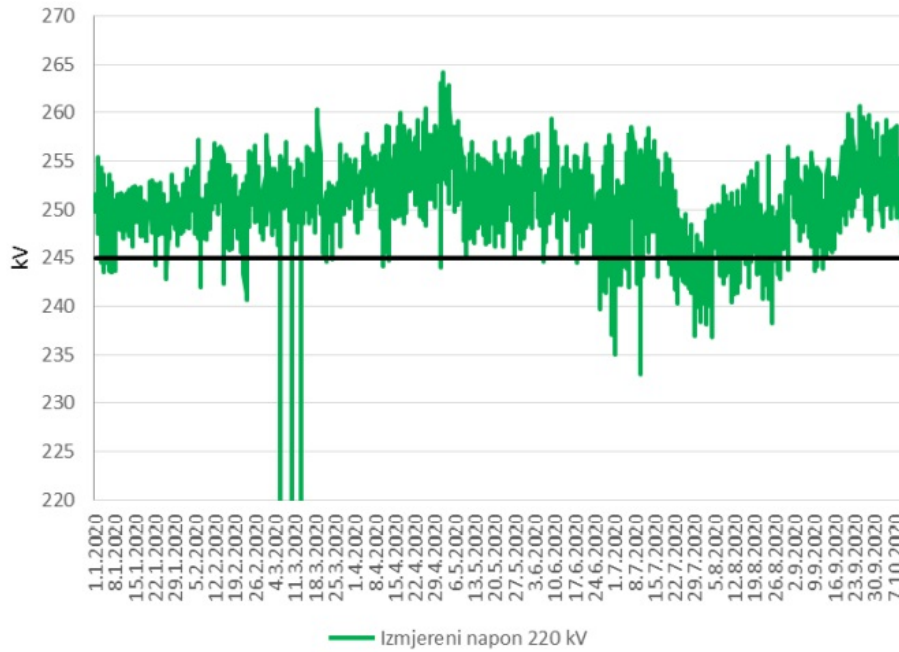
Slika 4.10. Dijagram promjene napona u TS Mostar 4 (400 kV) tijekom 2020.



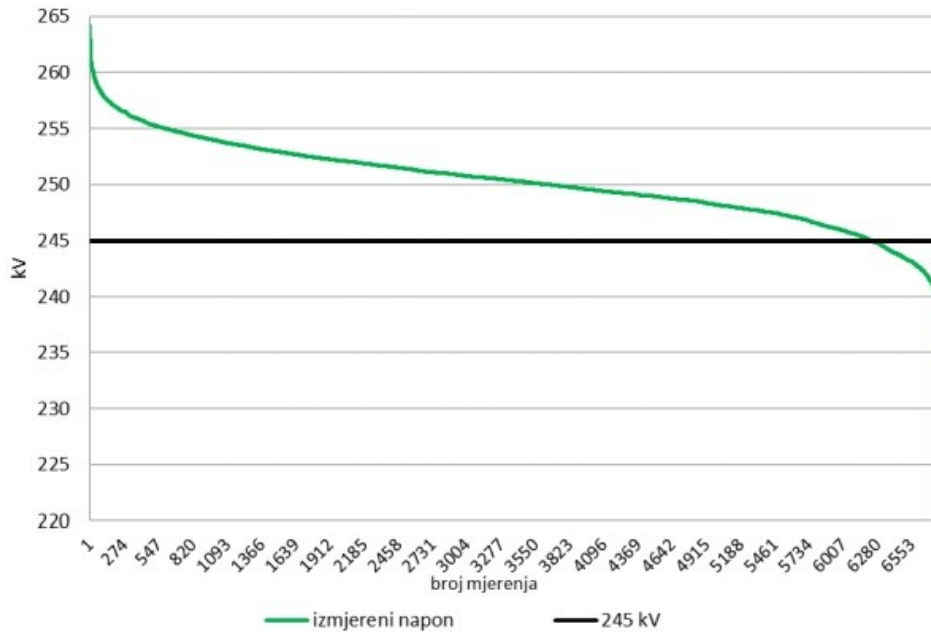
Slika 4.11. Dijagram trajanja napona u TS Mostar 4 (400 kV) tijekom 2020.



Najviši 220 kV naponi, kao i vrijeme trajanja tih napona su prikazani na Slikama 4.12. i 4.13. Maksimalni izmjereni napon je zabilježen u vrijeme prvomajskih praznika (u isto vrijeme kao i na 400 kV sabirnicama) 02.05.2020. u 07:00 h, u iznosu od 264,16 kV i također predstavlja povijesni maksimum.

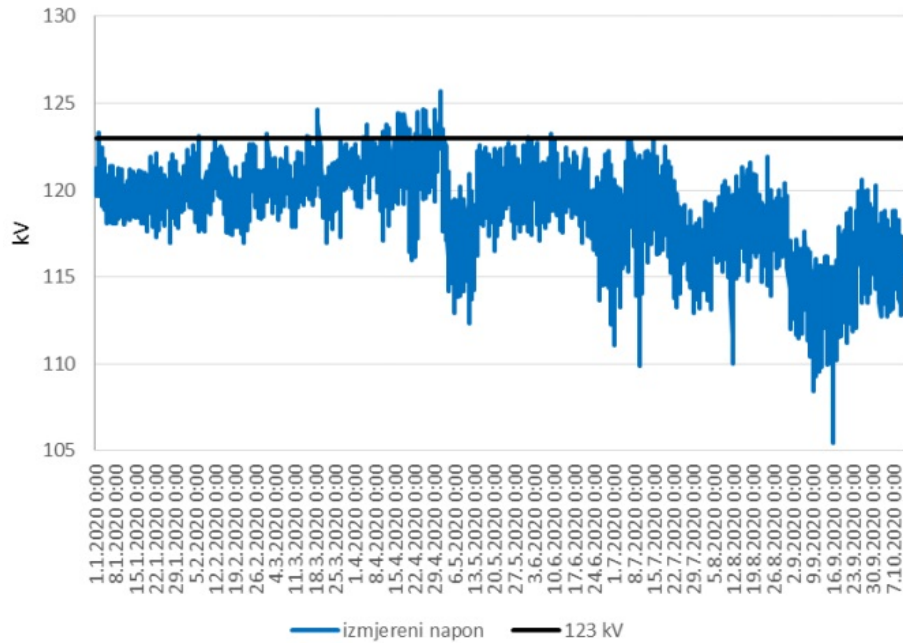


Slika 4.12. Dijagram promjene napona u TS Mostar 4 (220 kV) tijekom 2020.

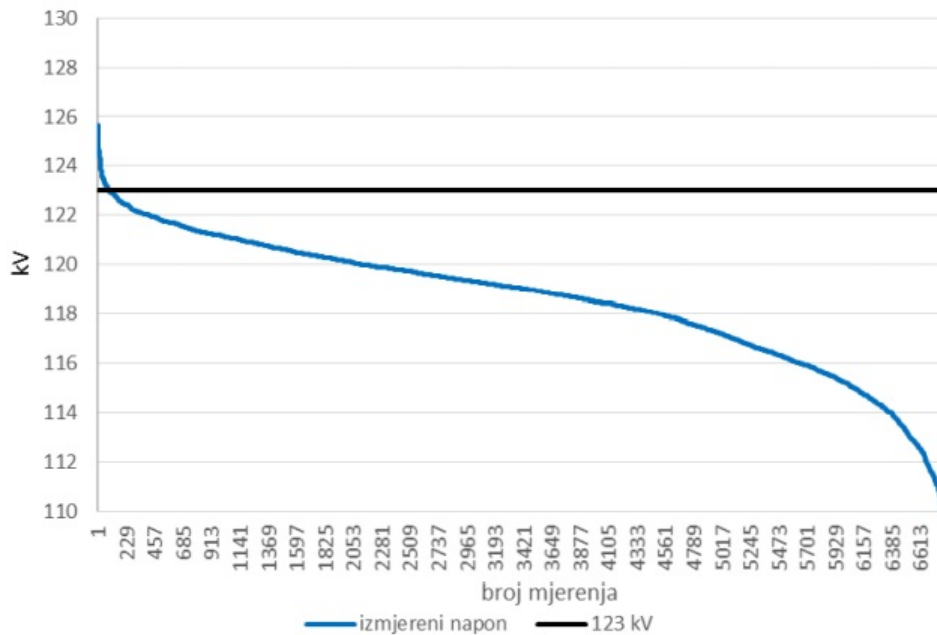


Slika 4.13. Dijagram trajanja napona u TS Mostar 4 (220 kV) tijekom 2020.

Unutar promatrane TS Mostar 4 naponi na 110kV sabirnicama uglavnom su se kretali unutar dozvoljenih vrijednosti, izuzev 94 sata, ostvarenih u drugoj polovini travnja i početkom svibnja, kada je napon bio viši od dozvoljenog. Maksimalni zabilježeni napon je bio 02.05.2020. u 05:00 h i iznosio je 125,67 kV.



Slika 4.14. Dijagram promjene napona u TS Mostar 4 (220 kV) tijekom 2020.

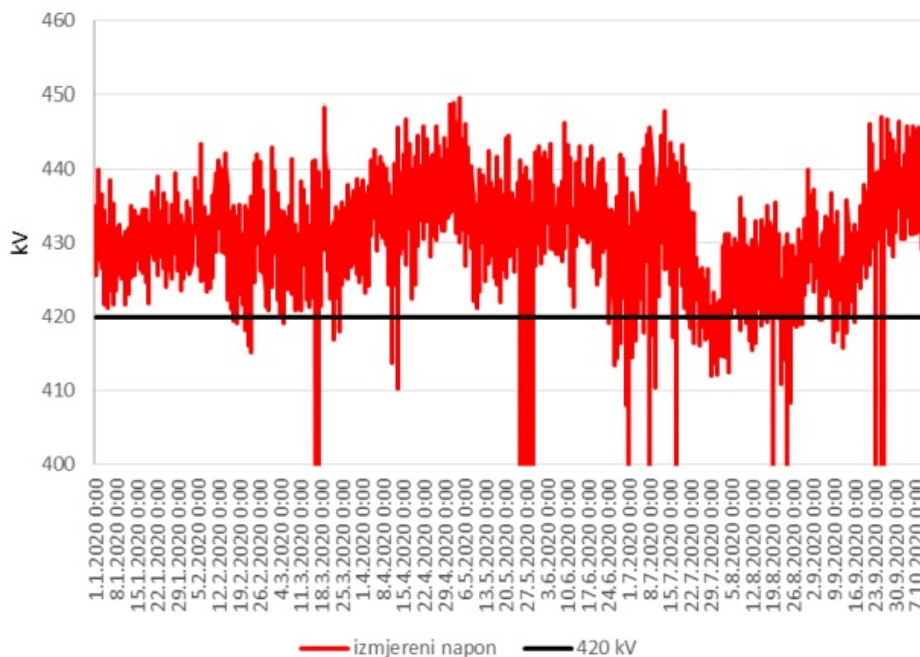


Slika 4.15. Dijagram trajanja napona u TS Mostar 4 (110 kV) tijekom 2020.

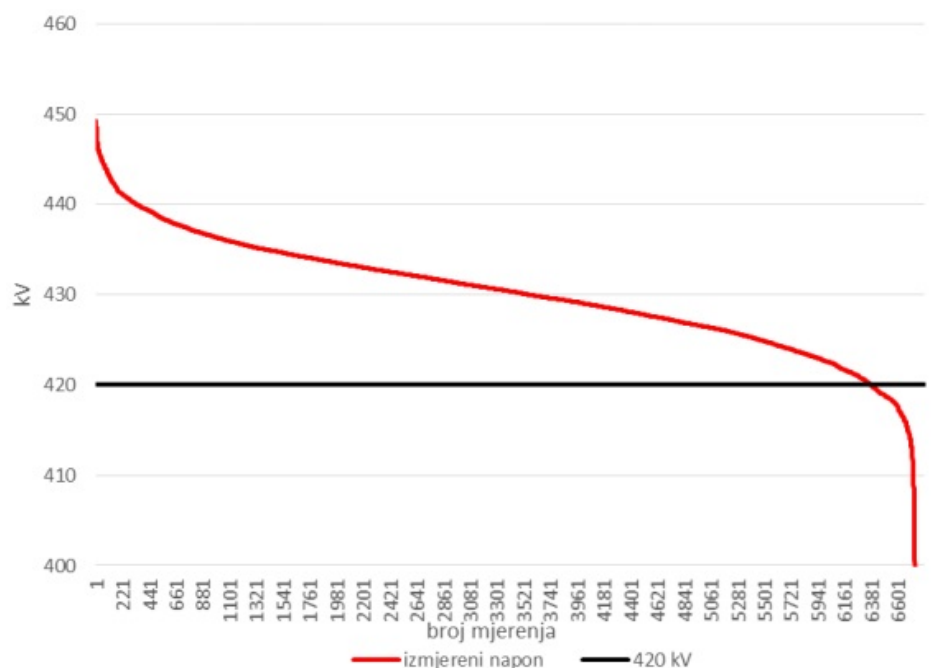
Potrebno je napomenuti da veći dio ovoga perioda u Mostaru 4 nije bilo transformacije 220/110 kV jer su oba transformatora bila u trajnom kvaru. Na slikama 4.14. i 4.15. su prikazane promjene i trajanja 110 kV napona u TS Mostar 4.

#### 4.1.2. TS 400/220/110kV Trebinje

Tijekom prethodnih godina u TS Trebinje su zabilježene slične naponske prilike kao u TS Mostaru 4 i obje TS su, promatrajući ostatak EES-a BiH, najviše sati radile pri naponima iznad dozvoljenih graničnih vrijednosti na 400 kV i 220 kV naponskom nivou. U ovoj transformatorskoj stanici na 400 kV sabirnicama napon je prelazio maksimalnu dozvoljenu vrijednost 6380 sati (94% promatranog vremena), a maksimalna vrijednost od 449,31 kV je zabilježena 05.05.2020. u 05:00 sati, što se vidi na Slikama 4.16. i 4.17.

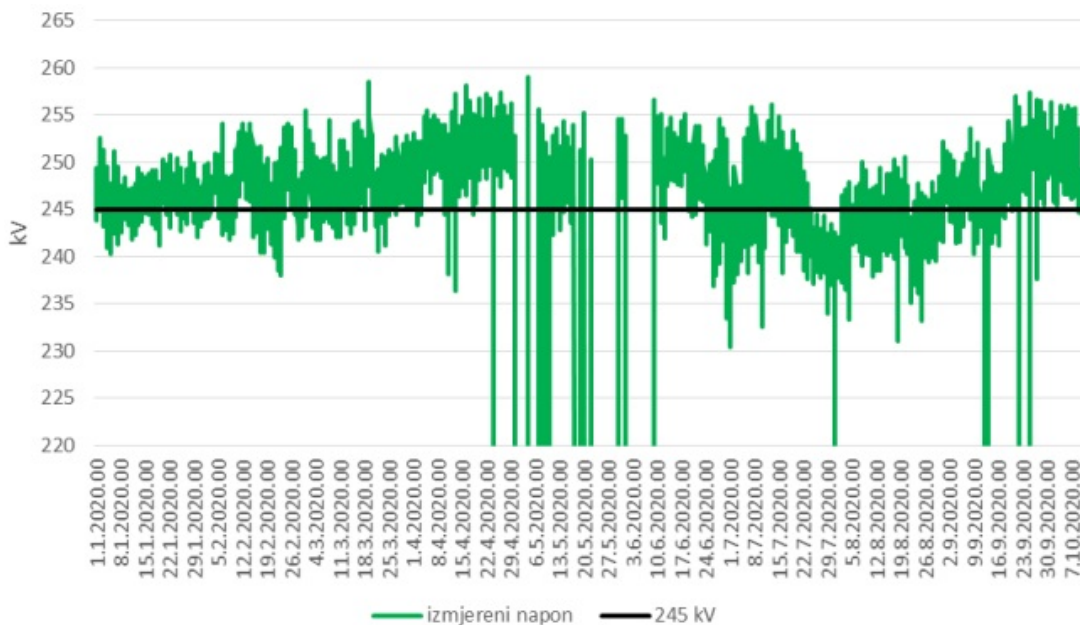


Slika4.16. Dijagram promjene napona u TS Trebinje (400 kV) tijekom 2020.

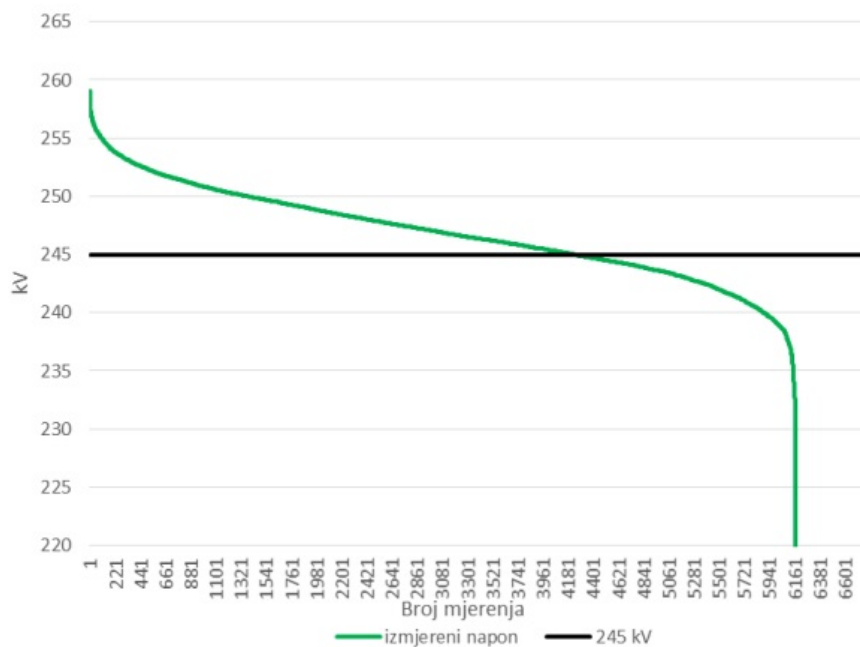


Slika 4.17. Dijagram trajanja napona u TS Trebinje (400 kV) tijekom 2020.

Na 220 kV sabirnicama maksimalni napon je iznosio 259,08 kV istoga dana 05.05.2020. u 5:00 sati, a TS Trebinje je 4256 sati radila sa nedozvoljeno visokim naponima, odnosno 62% vremena u ovoj godini, što je pokazano na slikama 4.18. i 4.19.

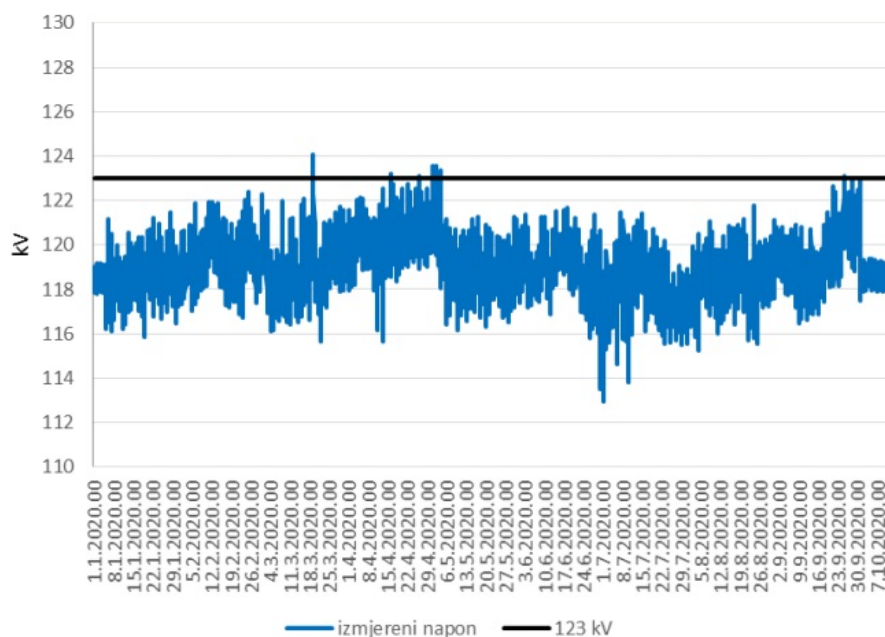


Slika 4.18. Dijagram promjene napona u TS Trebinje (220 kV) tijekom 2020.

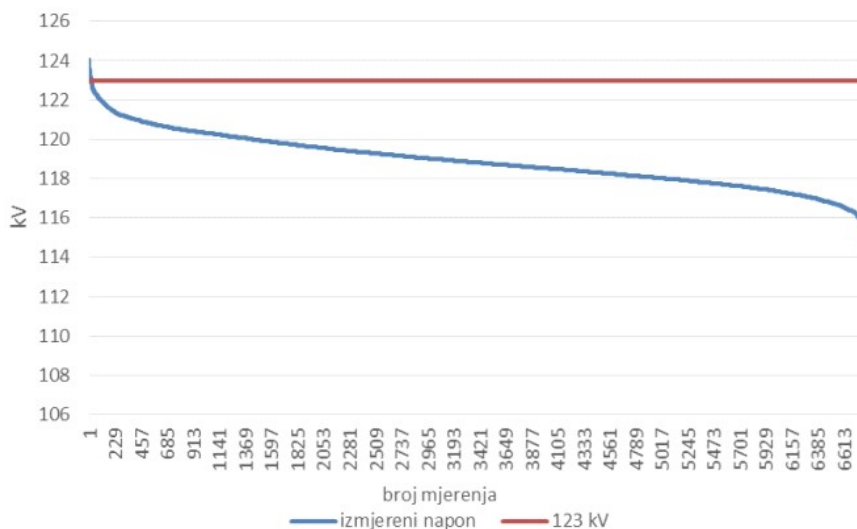


Slika 4.19. Dijagram trajanja napona u TS Trebinje (220 kV) tijekom 2020.

Na sabirnicama 110 kV najviši zabilježen napon je iznosio 124,05 kV, a izmjeren je 20.03.2020. u 04:00 sata, što je prikazano na Slici 4.20. U mjenom periodu zabilježeno je 20 sati rada TS Trebinje 220kV iznad dozvoljenih granica, što se može pripisati uspješnoj regulaciji transformatora 220/110 kV, a prikazano je na Slici 4.21.



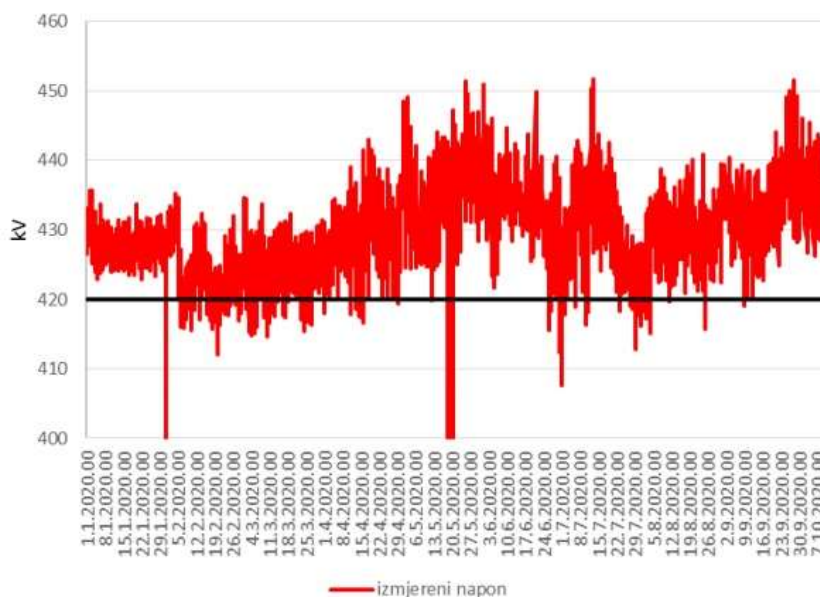
Slika 4.20. Dijagram promjene napona u TS Trebinje (110 kV) tijekom 2020.



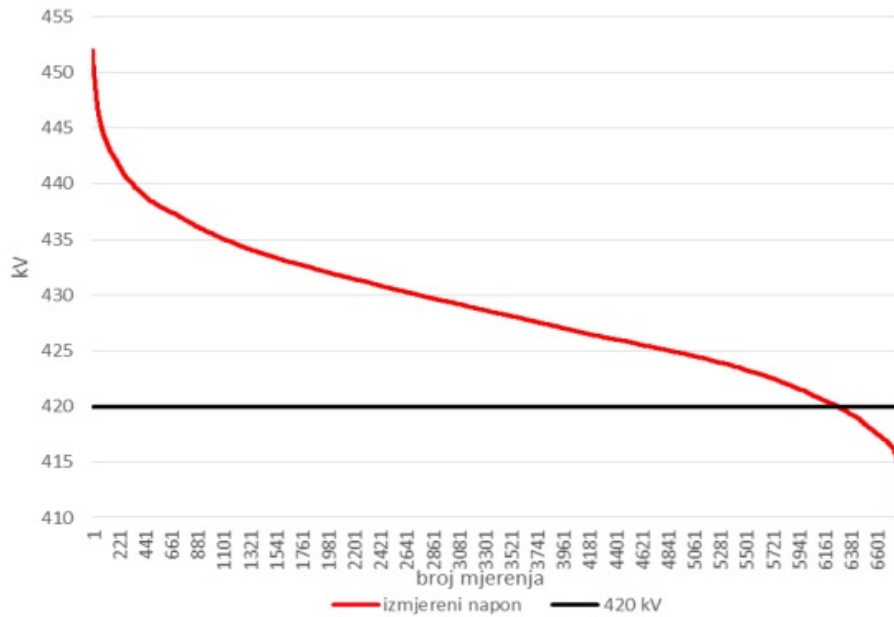
Slika 4.21. Dijagram trajanja napona u TS Trebinje (110 kV) tijekom 2020.

#### 4.1.3. TS 400/110 kV Sarajevo 10

Maksimalna izmjerena vrijednost napona u transformatorskoj stanici Sarajevo 10 bila je 451,82 kV, i zabilježena je u ponedjeljak, 13.07.2020. u 07:00 h. Ukupno trajanje povišenih napona na 400 kV naponskom nivou iznosilo je 6268 sati, što je 92% promatranog vremena. Dijagrami promjene i trajanja 400 kV napona u TS Sarajevo tijekom 2020. su prikazani na Slikama 4.22. i 4.23.

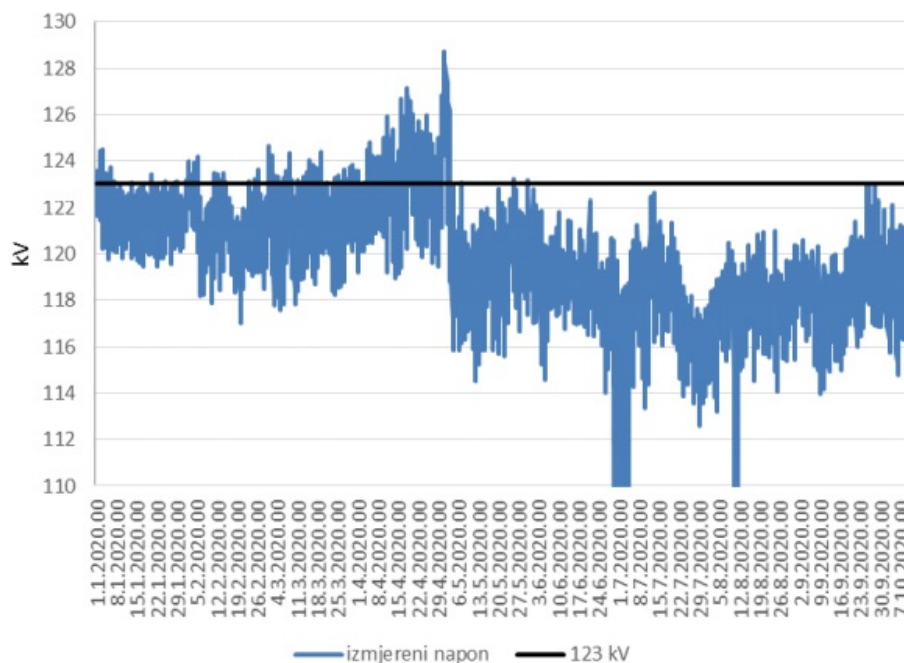


Slika 4.22. Dijagram promjene napona u TS Sarajevo 10 (400 kV) tijekom 2020.

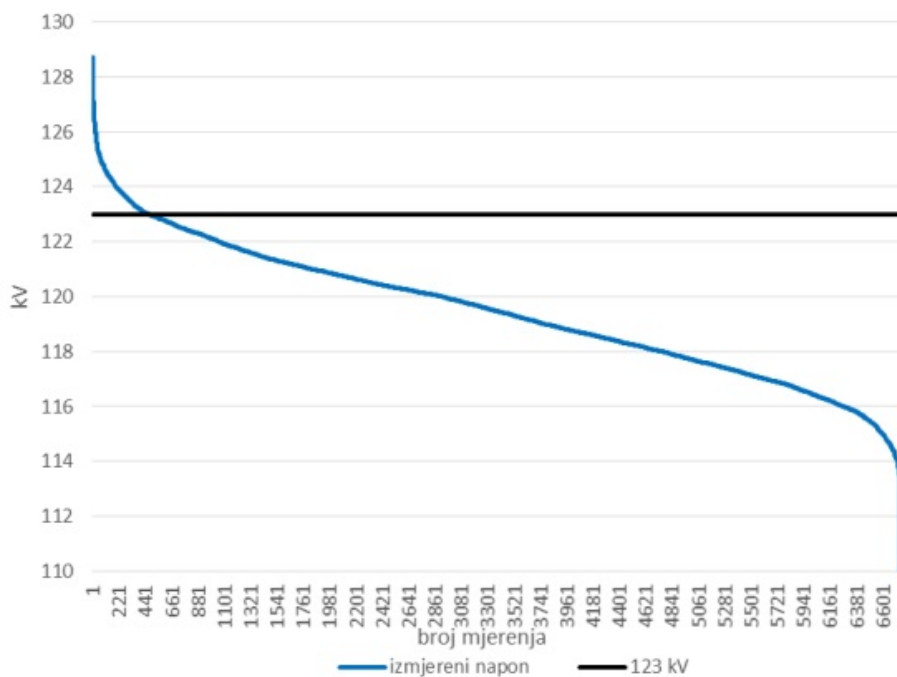


Slika 4.23. Dijagram trajanja napona u TS Sarajevo 10 (400 kV) tijekom 2020.

Najviši zabilježeni napon na 110 kV sabirnicama je 128,71 kV, a izmjeren 02.05.2020. u 07:00 h. Na 110 kV sabirnicama su zabilježena 474 sata prekoračenja dozvoljenih vrijednosti napona i to je 7% za mjerenih 9 mjeseci i 11 dana 2020., što ujedno predstavlja najduže vrijeme trajanja nedozvoljenih napona na 110 kV naponskom nivou, od svih promatranih transformatorskih stanica. Na slikama 4.24. i 4.25. su dijagrami promjene i trajanja 110 kV napona.



Slika 4.24. Dijagram promjene napona u TS Sarajevo 10 (110 kV) tijekom 2020.

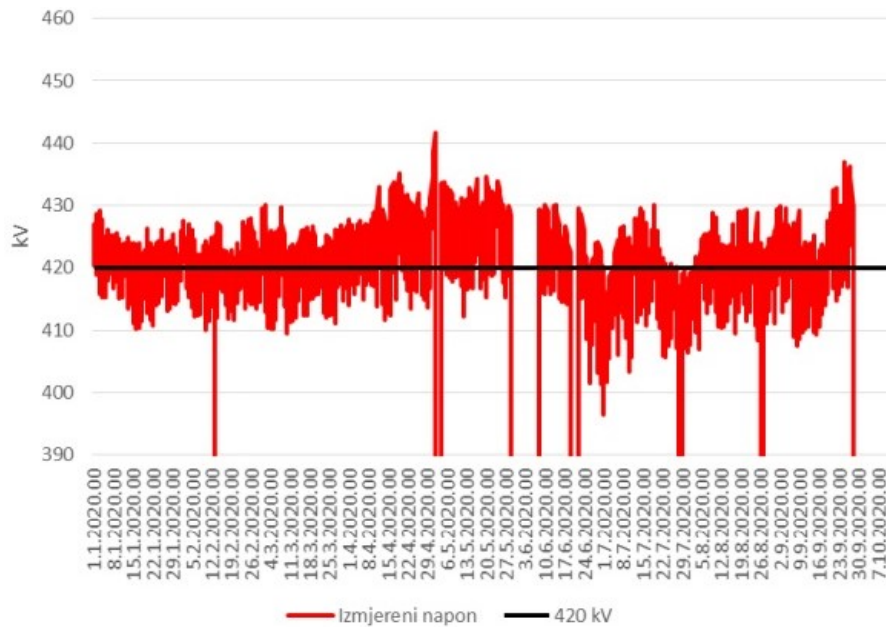


Slika 4.25. Dijagram trajanja napona u TS Sarajevo 10 (400 kV) tijekom 2020.

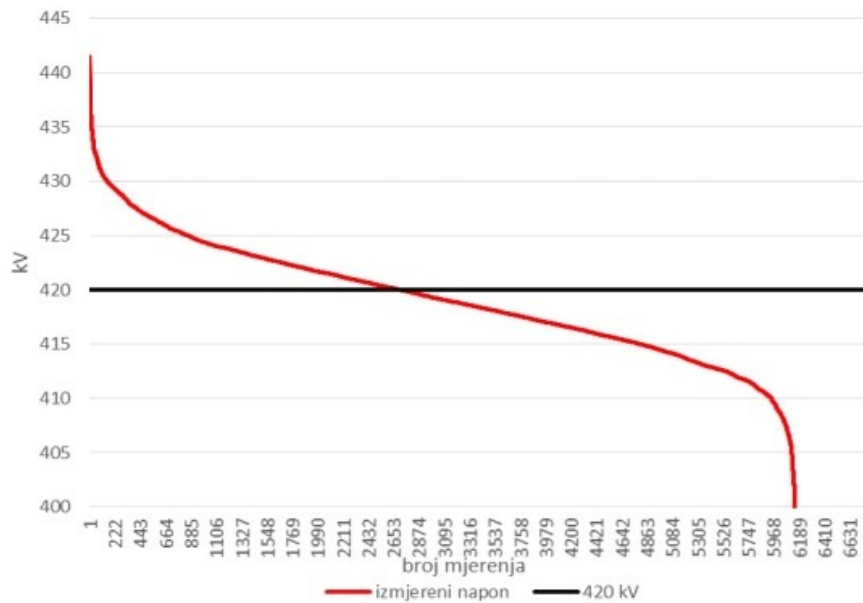


#### 4.1.4. TS 400/110 kV Banja Luka 6

Najviši nedozvoljeni napon promatranog perioda 2020. u TS Banja Luka 6, iznosio je 441,66 kV (Slika 4.26.) , a zabilježen u subotu, 2.5.2020. u 07:00 h. Vidljivi su i prekidi napona koji su se dogodili zbog beznaponskog stanja sabirnica, tj. isključenja 400 kV dalekovoda Banja Luka – Stanari.

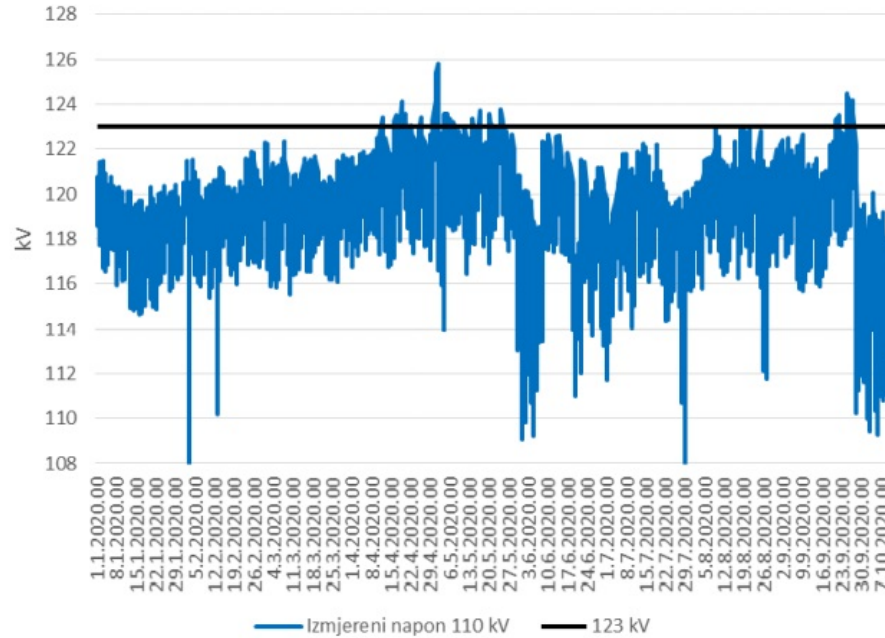


Slika 4.26. Dijagram promjene napona u TS Banja Luka 6 (400 kV) tijekom 2020.

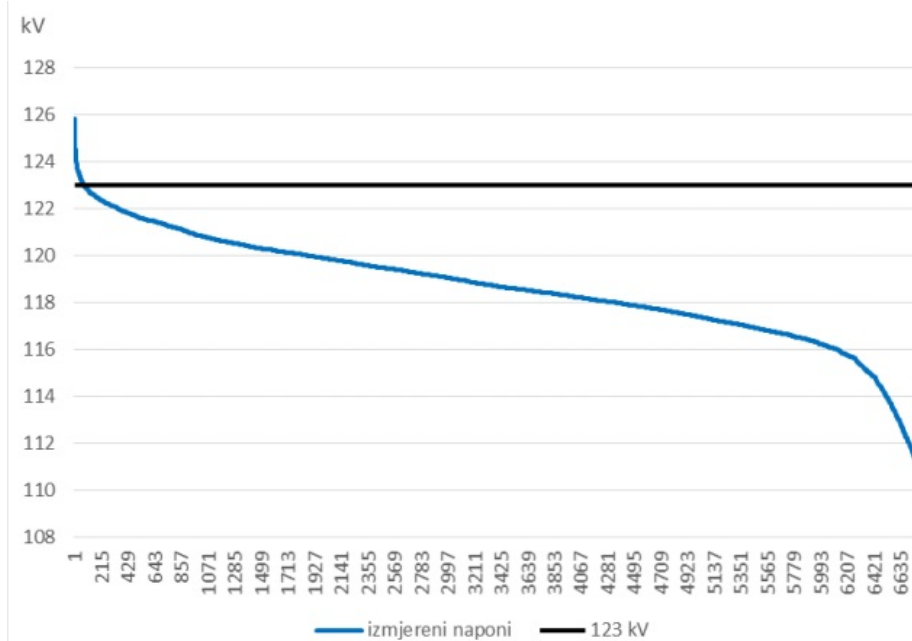


Slika 4.27. Dijagram trajanja napona u TS Banja Luka 6 (400 kV) tijekom 2020.

Na sabirnicama 110 kV maksimalni napon je iznosio 125,83 kV, a izmjeren je u subotu 2.5.2020. u 07:00 h. Zabilježeno je ukupno 73 sata rada ove TS pri nedozvoljenim naponima, što se može vidjeti na Slikama 4.28. i 4.29.



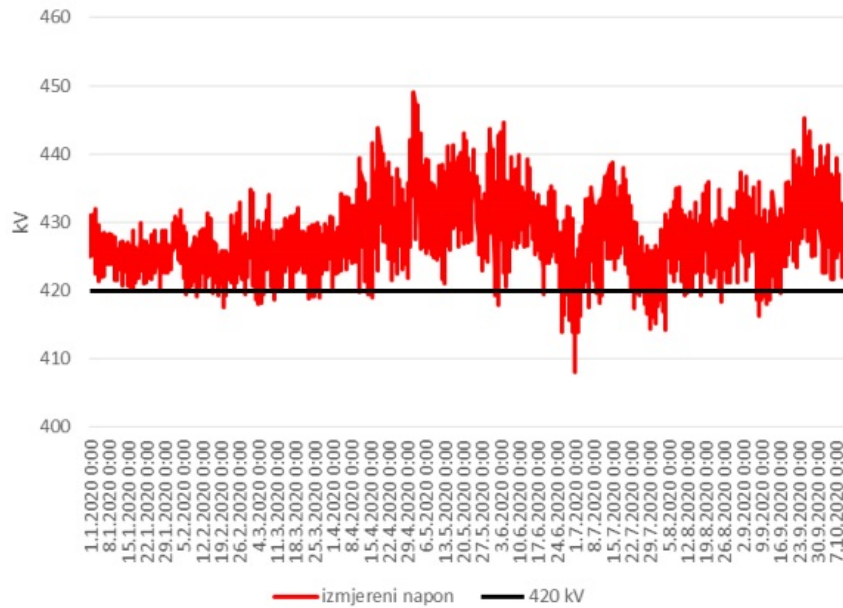
Slika 4.28. Dijagram promjene napona u TS Banja Luka 6 (110 kV) tijekom 2020.



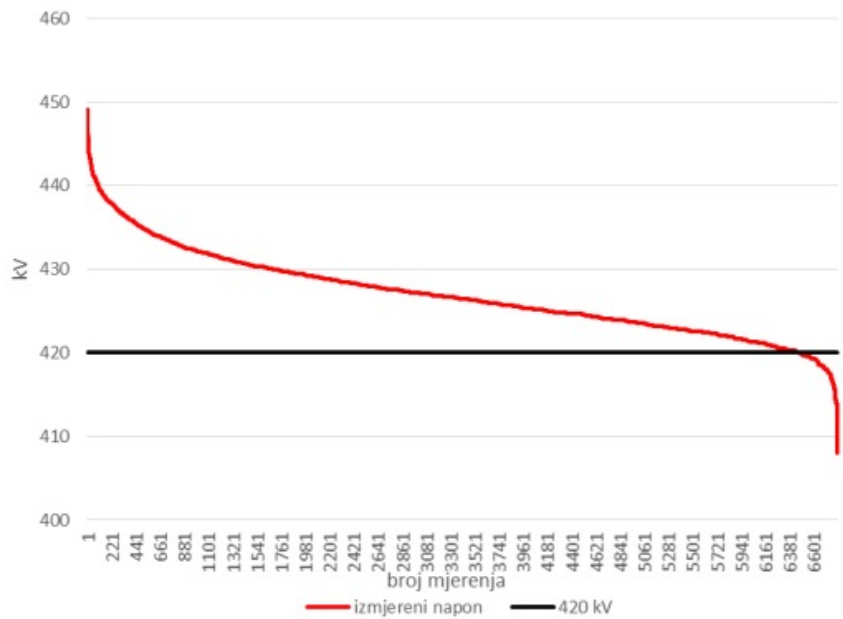
Slika 4.29. Dijagram trajanja napona u TS Banja Luka 6 (110 kV) tijekom 2020.

#### 4.1.5. TS 400/220/110 kV Tuzla 4

Na Slici 4.30. prikazani su podaci o naponima bilježenim do 11. dana četvrtog kvartala 2020. godine. Maksimalno izmjereni napon na sabirnicama 400 kV u Tuzli 4 iznosio je 449,13 kV i kao u većini TS zabilježen je 2.5.2020, u 08:00 h. Na Slici 4.31. vidljivo je da je trajanje povišenog napona iznosilo 6474 sata, što predstavlja 95% analiziranog vremena.

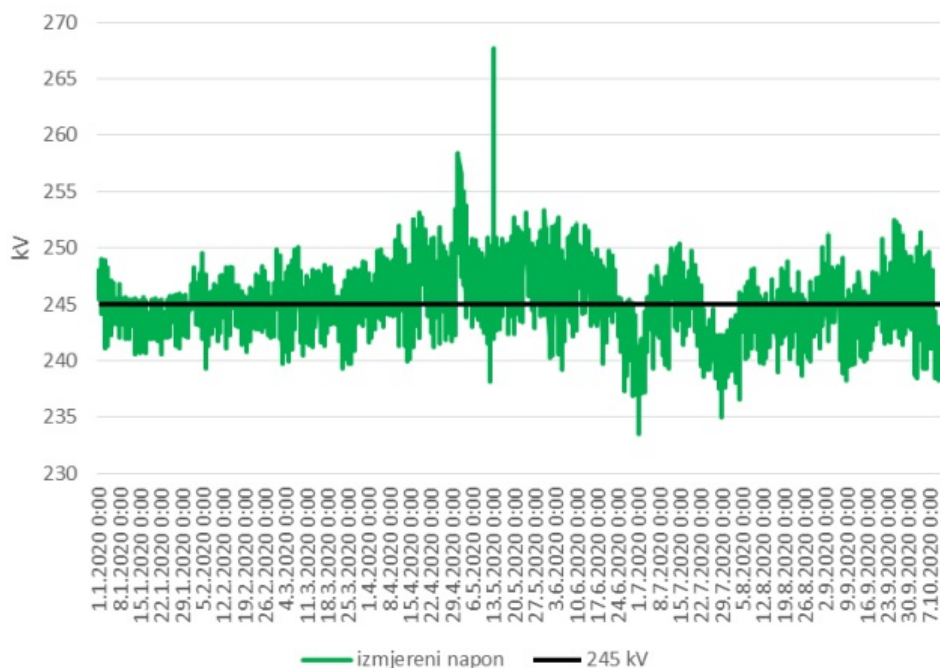


Slika 4.30. Dijagram promjene napona u TS Tuzla 4 (400 kV) tijekom 2020.

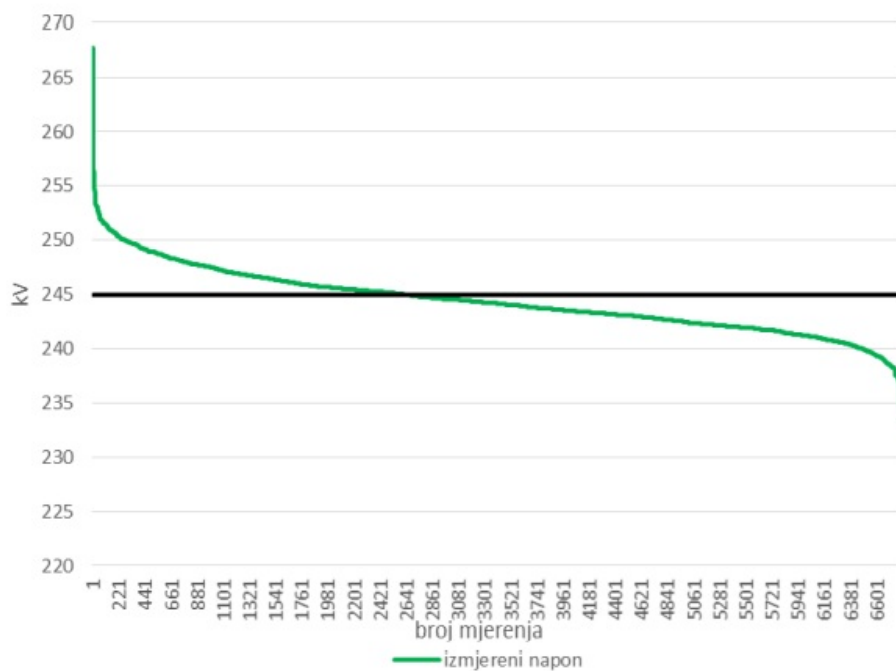


Slika 4.31. Dijagram trajanja napona u TS Tuzla 4 (400 kV) tijekom 2020.

Maksimalni izmjereni napon na 220 kV sabirnicama je bio 267,71 kV i zabilježen je 13.5.2020. u 13:00 h. U ovoj TS maksimalnu dozvoljenu vrijednost od 245 kV napon je prelazio 2638 sati, što je pokazano na Slikama 4.32. i 4.33.

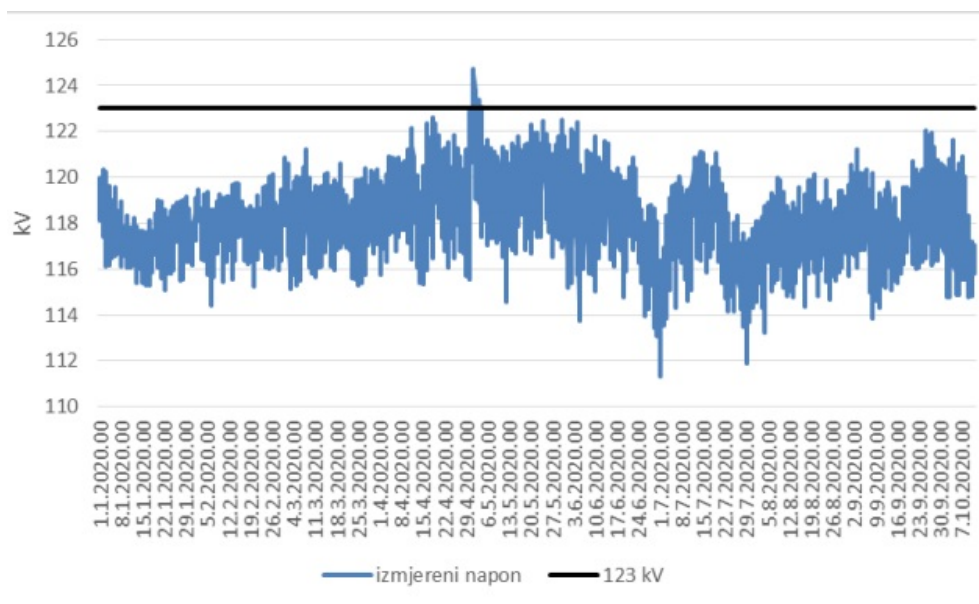


Slika 4.32. Dijagram promjene napona u TS Tuzla 4 (220 kV) tijekom 2020.

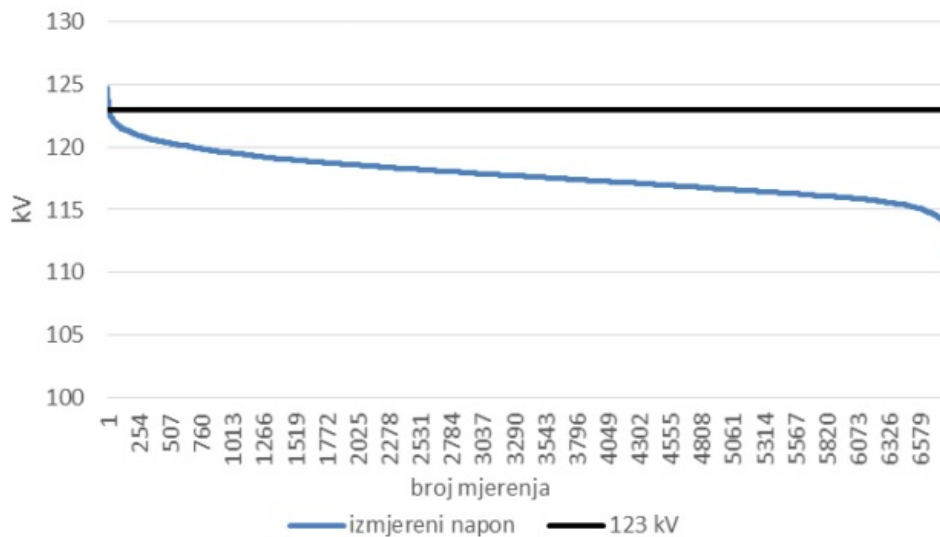


Slika 4.33. Dijagram trajanja napona u TS Tuzla 4 (220 kV) tijekom 2020.

Na sabirnicama 110 kV nisu zabilježena značajnija prekoračenja naponske granice (14 sati), a maksimalni zabilježeni napon je bio 124,74 kV dana 2.5.2020. u 07:00 h, što se može vidjeti na dijagramima Slika 4.34. i 4.35. Povoljnije naponske prilike u mreži naponskog nivoa od 110 kV zasigurno je posljedica kvalitetnog prilagođenja prijenosnog omjera i djelovanja regulacijskih transformatora 220/110 kV u promatranoj TS.



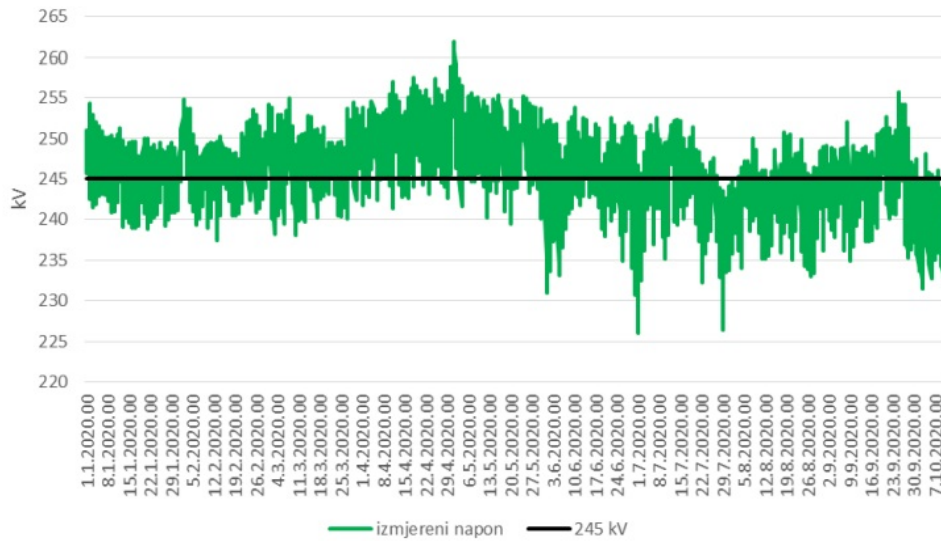
Slika 4.34. Dijagram promjene napona u TS Tuzla 4 (110 kV) tijekom 2020.



Slika 4.35. Dijagram trajanja napona u TS Tuzla 4 (110 kV) tijekom 2020.

#### 4.1.6. TS 220/110 kV Prijedor 2

Visoki 220 kV naponi, kao i vrijeme njihovog trajanja zabilježeni su i u TS Prijedor 2. Maksimalni 220 kV napon zabilježen je u subotu 2.5.2020. u 07:00 h, a iznosio je 261,86 kV. Naponi su dozvoljene vrijednosti prelazili ukupno 3501 sat, što je 51% promatranog vremena, a prikazano je na Slikama 4.36. i 4.37.



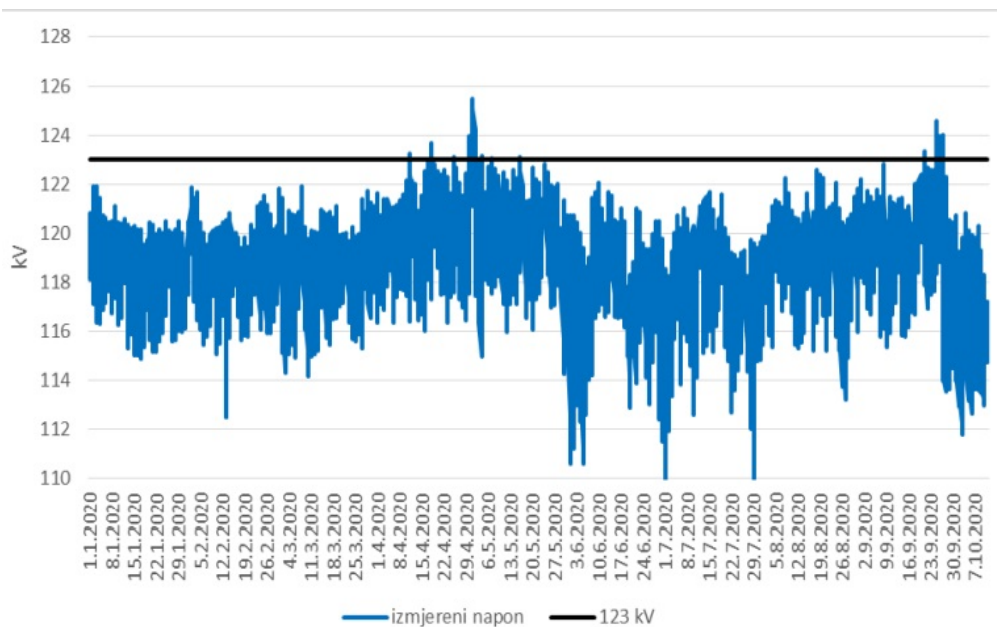
Slika 4.36. Dijagram promjene napona u TS Prijedor 2 (220 kV) tijekom 2020.



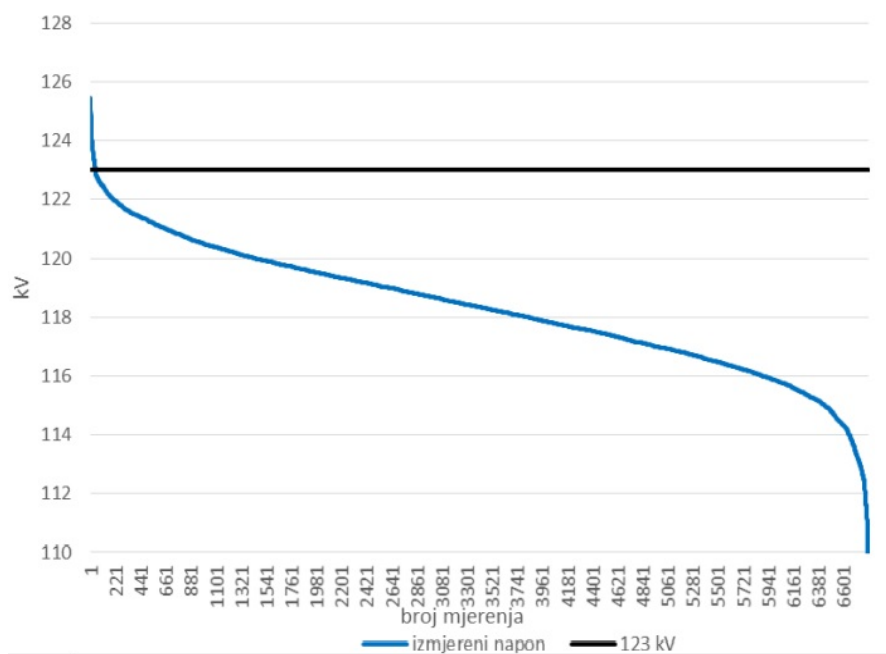
Slika 4.37. Dijagram trajanja napona u TS Prijedor 2 (220 kV) tijekom 2020.

Visoki naponi su uzrokovani su dugim neopterećenim prijenosnim vodovima, zbog kojih je značajna pojava reaktivne snage. Ova TS je povezana sa dva dalekovoda na EES Hrvatske iz koje se, do ugradnje kompenzacijskih uređaja u njihovom EES-u, izvozila reaktivna električna energija.

Za TS Prijedor 2 se može zaključiti da su zbog povišenih napona sabirnice 220 kV ugrožene, dok se 110 kV naponi održavaju djelovanjem regulacionih transformatora 220/110 kV u dozvoljenim granicama. Maksimalno zabilježeni napon na 110 kV nivou je iznosio 125,46 kV u subotu 2.5.2020., u 7 sati, a vrijeme trajanja nedozvoljenih napona je bilo 46 sati, što je prikazano na slikama 4.38. i 4.39.



Slika 4.38. Dijagram promjene napona u TS Prijedor 2 (110 kV) tijekom 2020.



Slika 4.39. Dijagram trajanja napona u TS Prijedor 2 (110 kV) tijekom 2020.

Na osnovu prikazanih dijagrama možemo zaključiti da su pojavom povišenih napona najviše ugrožene 400 kV sabirnice u TS Mostar 4, zatim slijede 400 kV sabirnice TS Tuzla 4 i TS Trebinje. Također i na 220 kV sabirnicama najviše rada pri nedozvoljenim naponima je zabilježeno u TS Mostar 4, a zatim u TS Trebinje.

Promatrajući pojedinačne naponske nivoe moguće je primijetiti da su najugroženija čvorišta 400 kV mreže, zatim slijede čvorišta 220 kV mreže, dok su čvorišta 110 kV mreže neugrožena ili blago ugrožena. To upućuje na osnovni uzrok problema, odnosno slabo opterećene 400 kV vodove koji generiraju visoke iznose reaktivne snage te na povoljno djelovanje transformatora 400/220 kV, 400/110 kV i 220/110 kV, na 110 kV naponsku razinu bez obzira radi li se o regulacijskim transformatorima ili transformatorima s mogućnošću promjene prijenosnog omjera u beznaponskom stanju koji sprječavaju širenje naponskog poremećaja u mrežu nižih naponskih razina.

U EES-u BiH samo četiri elektrane su priključene na naponsku razinu 400 kV (TE Ugljevik, TE Gacko, TE Stanari i HE Višegrad), tako da su mogućnosti za angažiranje proizvodnih jedinica u svrhu regulacije napona i reaktivne snage na ovom naponskom nivou veoma ograničene.



## 5. SINKRONI KOMPENZATORSKI POBUĐENI RAD CRPNE HIDROELEKTRANE ČAPLJINA

Crpna hidroelektrana Čapljinina instalirane je snage od 2x240 MVA, nominalne aktivne snage generatora i raspoložive snage na pragu elektrane 2x220 MW, sa faktorom snage  $\cos \varphi = 0,85$ g/095p. U elektrani su ugrađeni sinkroni hidrogeneratori s direktnim vodenim hlađenjem statorskog namota.

CHE Čapljinina je projektirana i predviđena za sljedeće režime rada:

1. u suhom ljetnom i jesenjem razdoblju (cca 225 dana u godini) za rad u noćnim satima (23:00-05:00) u pumpnom pogonu, a tokom dana kao elektrana vršne snage i energije u trajanju od 5-6 sati;
2. u zimskom i proljetnom periodu (cca 140 dana/god.) uz dovoljne dotoke u gornji bazen za generatorski rad u trajanju od 12-14 sati dnevno;
3. prema potrebama elektroenergetskog sustava za kompenzacijski rad, pri čemu može biti u natpobudi ili potpobudi  $\pm 150 \div 160$  MVar po agregatu.

Između sinkronih motor-generatora i blok transformatora 245 $\pm$ 15%/15,75 kV, 240 MVA (sprega transformatora Ynd5), smještenih u proširenju prilaznog tunela, postavljene su oklopljene jednofazne sabirnice dužine 110 m. Izvodi visokog napona izvedeni su uljnim jednožilnim kabelima 220 kV, položenim na policama u pristupnom tunelu do vanjskog razvodnog postrojenja 220 kV.

Vanjsko razvodno postrojenje (RP) 220 kV izgrađeno je uz pristupni tunel za strojarnicu, a u njemu je i transformator 220/36,75 kV, 40 MVA s razvodnim postrojenjem 35 kV za napajanje vlastite potrošnje.

Blok transformatori 245/15,75 kV prijenosnog odnosa 245 $\pm$ 12x1,25%/15,75 kV imaju snagu od 240 MVA, sprege Ynd5. Neutralna 220 kV strana transformatora je direktno uzemljena. CHE Čapljinina je, na naponskom nivou 220 kV, povezana na TS 400/220/110 kV Mostar 4 preko dva 220kV dalekovoda.

U generatorskom načinu rada pri nazivnoj snazi, CHE Čapljina može davati oko 120 MVar induktivne i reaktivne kapacitivne snage uz nazivni napon generatora. U pumpnom načinu rada agregat može davati i primati oko 70 MVar reaktivne snage pri nazivnoj radnoj snazi. Za niže nivoe radne snage mogućnost proizvodnje reaktivne snage se povećava u oba smjera (induktivni i kapacitivni), do iznosa od oko 160 MVar po generatoru u potpobuđenom i natpobuđenom režimu pri nultoj proizvodnji radne snage (kompenzatorski rad).

Prema tome, ukupna mogućnost proizvodnje reaktivne snage u oba generatora CHE Čapljina pri nazivnom naponu na stezaljkama generatora kreće se unutar raspona  $2 \times 70$  MVar do  $2 \times 160$  MVar, u potpobuđenom i natpobuđenom režimu rada. Elektromehaničke i regulacijske karakteristike generatora-motora elektrane omogućavaju i čisto kompenzatorski (natpobuđeni ili potpobuđeni rad) u sva četiri kvadranta pogonske karte.

### **5.1. Rad CHE Čapljina u kompenzatorskom režimu**

Izvršeno je testiranje rada crpne hidroelektrane Čapljina u realnom vremenu i zabilježeni utjecaji drugih proizvodnih objekata i elemenata mreže, kako bi se na osnovu ostvarenih mjerenja uradile analize utjecaja kompenzacijskog potpobuđenog režima rada CHE Čapljina na naponske prilike u elektroenergetskom sustavu Bosne i Hercegovine, u cilju moguće valorizacije pružanja pomoćne usluge.

Testiranje je vođeno iz dispečerskog centra NOSBiH-a uz prethodno dogovorene manipulacije objektima i elementima mreže sa Hrvatskim operatorom prijenosnog sustava (HOPS), Elektroprivredom Hrvatske zajednice Herceg Bosne (EP HZ HB), Elektroprivredom Republike Srpske (ERS) i Elektroprijenosom BiH.

Budući da je problem visokih napona u EES-u BiH najizraženiji tokom noći, kako bi dobili što realniju sliku, testiranje rada CHE Čapljina izvođeno je u noćnim satima, od 01:00 do 05:00 h. Prvobitno je bilo predviđeno da se održe dva testa u dva dana tako da bi prvi dan radio generator G2, a naredni dan dva generatora u kompenzatorskom potpobuđenom režimu rada (preuzimanje reaktivne snage u iznosu od  $2 \times 160$  MVar) minimalno 4 sata. Međutim, zbog kvara na automatici generatora G1, nije bilo mogućnosti da se izvede testiranje oba stroja u kompenzatorskom režimu rada.

Iz tog razloga, obavljeno je testiranje samo jednog agregata:

rad sa jednim strojem u kompenzatorskom potpobuđenom režimu rada (preuzimanje reaktivne snage u iznosu od 160 MVar), u periodu od 4 sata (od 01:00 do 05:00h), 17.11.2020.

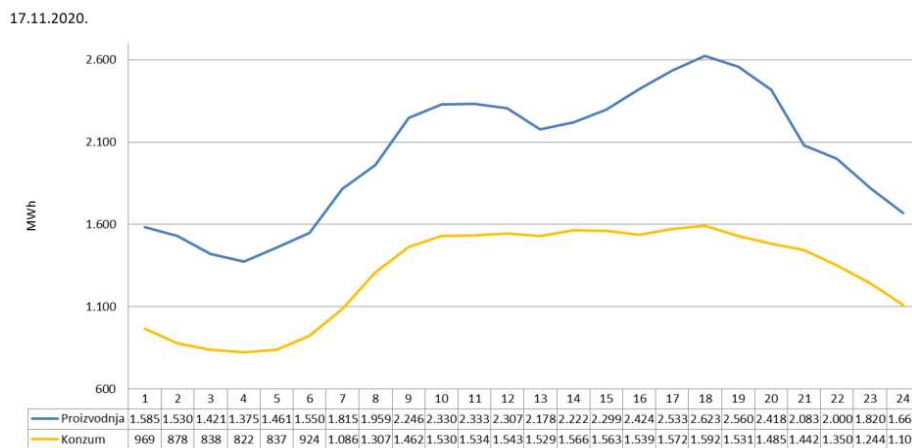
- Ulaskom generatora G2 CHE Čapljina u maksimalni kompenzatorski režim rada, TE Gacko prilagođava rad i tako je radila sa  $\cos\varphi=1$ , odnosno proizvodnja tj. potrošnja reaktivne snage na mjestu priključenja na prijenosnu mrežu iznosila je nula,  $Q = 0$ .
- Nakon jednog sata kompenzatorskog načina rada CHE Čapljina, TE Gacko je prešla u maksimalni potpobuđeni rad generatora preuzimajući cca 70 MVar reaktivne snage iz prijenosne mreže.
- Početkom trećeg sata testa isključen je međunarodni dalekovod 400 kV Mostar 4 – Konjsko.
- Nakon isteka četvrtog sata provođenja testa elektrana Čapljina izlazi iz kompenzatorskog režima rada.

## 5.2. Uvjeti za održavanje testa

Uklopno stanje u elektroenergetskom sustavu BiH napravljeno je tako da su u pogonu bili svi elementi mreže koje NOS BiH isključuje u cilju snižavanja napona u EES-a BiH. Zbog praćenja utjecaja rada ostalih generatora priključenih na EES BiH, odnosno zbog neposredne blizine CHE Čapljina, prilagođen je rad TE Gacko, tako da radi sa  $\cos\varphi=1$ , odnosno, proizvodnja reaktivne snage na generatoru je bila nula ( $Q = 0$ ). Dnevni dijagram potrošnje i proizvodnje u BiH sa srednjim satnim vrijednostima za dan 17.11.2020., kada je vršeno testiranje prikazan je na Slici 5.1.

Test 1 je održan 17.11.2020. u periodu od 01:00 do 05:00 h i to na sljedeći način:

- Test 1a. – 01:00 h, ulazak CHE Čapljina u kompenzatorski potpobuđeni režim rada
- Test 1b. – 02:00 h, ulazak TE Gacko u maksimalni potpobuđeni režim rada
- Test 1c. – 03:00 h, isključenje DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko
- Test 1d. – 05:00 h, izlazak CHE Čapljina i TE Gacko iz potpobuđenog režima rada.



Slika 5.1. Dnevni dijagram proizvodnje i potrošnje u BiH za 17.11.2020. godine

### 5.3. Stanje u elektroenergetskom sustavu prije početka testa

Detaljan opis pogonskog stanja elektroenergetskom sustavu BiH za prvi sat rada (period od 00:00 do 01:00 h), neposredno pred provođenje testa kompenzatorskog rada CHE Čapljina, urađen je na bazi proračuna tokova snaga i naponskih prilika u EES-u BiH. Proračuni omogućavaju prezentaciju relevantnih podataka: bilance aktivnih i reaktivnih snaga, tokove snaga po međunarodnim dalekovodima, opterećenja elemenata sustava, napone čvorišta. U tom smislu formiran je širi model koji uključuje elektroenergetski sustav Bosne i Hercegovine te elektroenergetske sustave susjednih zemalja: Hrvatske, Srbije i Crne Gore.

Što se tiče EES-a BiH, koristi se kompletan model na naponskim nivoima 400 kV, 220 kV i 110 kV. Uklopno stanje, proizvodnja i potrošnja oblikovani su u skladu sa dnevnim izvještajem *Službe za upravljanje sistemom u realnom vremenu*, za prvi sat rada 17.11.2020. Sustavom SCADA osigurani su podaci modela EES-a Hrvatske i Srbije za razmatrani period rada, na naponskim nivoima 400 kV, 220 kV i 110 kV, sa točnim podacima o uklopnom stanju, proizvodnji, potrošnji i naponima čvorišta, a operator prijenosnog sustava Crne gore (CGES) je poslao relevantne podatke o razmjeni po međunarodnim dalekovodima i naponima čvorišta. Uklopno stanje, tokovi snaga i naponske prilike na 400 i 220 kV prijenosnoj mreži EES-a BiH prikazani su u nastavku na Slici 5.2. i 5.3.

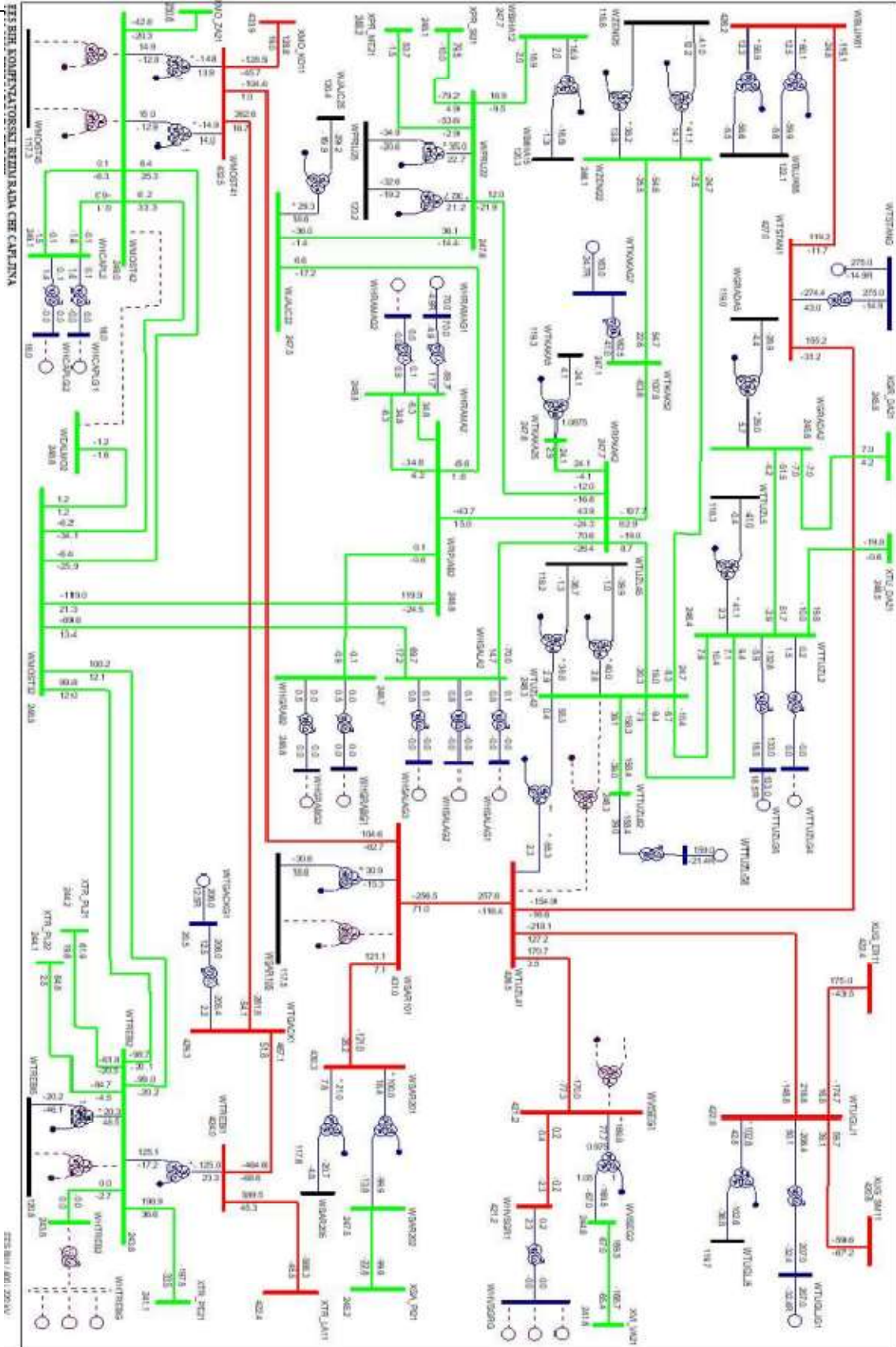
Tablica 5.1 Bilanca snaga elektroenergetskog sustava BiH

| EES BIH, KOMPENZATORSKI REZIM RADA CHE CAPLJINA<br>17.11.2020. PRVI SAT RADA EES BIH |            |                         |               |         |              | AREA TOTALS<br>IN MW/MVAR |               |               |           |                              |                 |
|--|------------|-------------------------|---------------|---------|--------------|---------------------------|---------------|---------------|-----------|------------------------------|-----------------|
| FROM -----AT AREA BUSES-----   |            |                         |               |         |              | TO                        |               |               |           |                              |                 |
| X-- AREA   | --X RATION | GENE- FROM IND GENERATN | TO IND MOTORS | TO LOAD | TO BUS SHUNT | GNE BUS DEVICES           | TO LINE SHUNT | FROM CHARGING | TO LOSSES | NET INTERCHANGE TO TIE LINES | TO TIES + LOADS |
| 13   | 1591.0     | 0.0                     | 0.0           | 969.0   | 0.0          | 0.0                       | 14.5          | 0.0           | 29.3      | 578.2                        | 578.2           |
| BA   | -6.4       | 0.0                     | 0.0           | 210.2   | 0.0          | 0.0                       | 145.1         | 964.6         | 321.1     | 281.9                        | 281.9           |
| COLUMN   | 1591.0     | 0.0                     | 0.0           | 969.0   | 0.0          | 0.0                       | 14.5          | 0.0           | 29.3      | 578.2                        | 578.2           |
| TOTALS   | -6.4       | 0.0                     | 0.0           | 210.2   | 0.0          | 0.0                       | 145.1         | 964.6         | 321.1     | 281.9                        | 281.9           |

Proizvodnja je prikazana na pragu elektrana, tj. na mreži prijenosa.

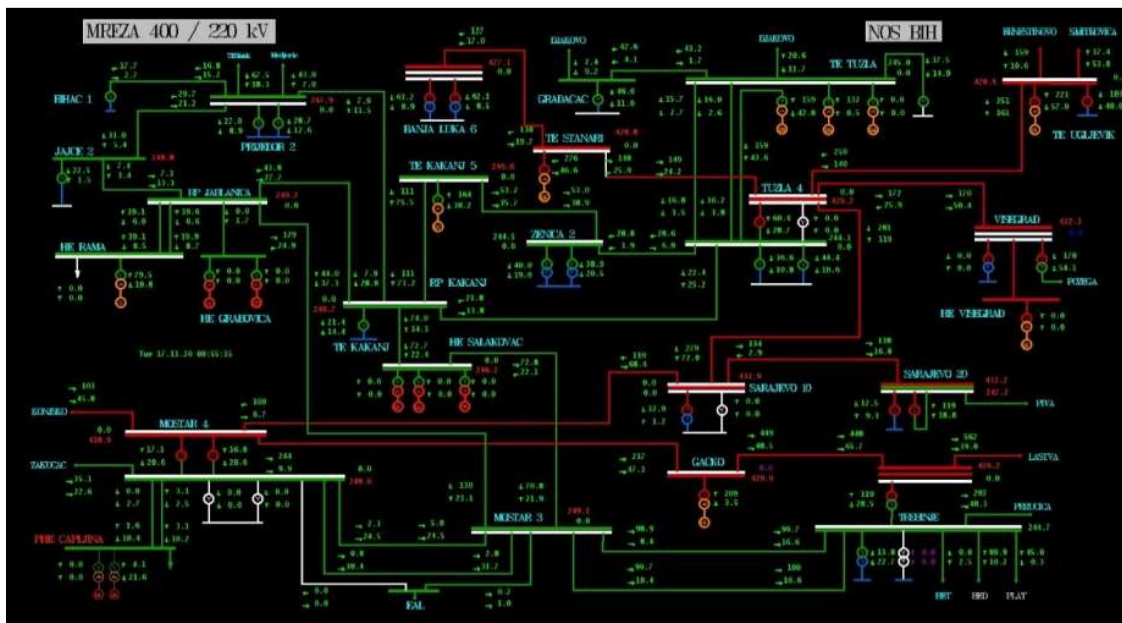
Tablica 5.2. Tokovi po međunarodnim dalekovodima EES BiH

| PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E |           |           |      |   |        |          |           |      |        | MON, DEC 21 2020 15:17 |       |
|---|-----------|-----------|------|---|--------|----------|-----------|------|--------|------------------------|-------|
| EES BIH, KOMPENZATORSKI REZIM RADA CHE CAPLJINA |           |           |      |   |        |          |           |      |        | AREA TIE LINE          |       |
| 17.11.2020. PRVI SAT RADA EES BIH               |           |           |      |   |        |          |           |      |        | INTERCHANGE            |       |
| TO AREA 138 BA - HR                             |           |           |      |   |        |          |           |      |        |                        |       |
| X----   | FROM AREA | BUS       | ---- | X | X----- | TO AREA  | BUS       | ---- | X      |                        |       |
| BUS#  | X-- NAME  | --X BASKV |      |   | BUS#   | X-- NAME | --X BASKV | CKT  | MW     | MVAR                   |       |
| 130130  | WTUGLJ1   | 400.00    |      |   | 13102  | XUG_ER11 | 400.00*   | 1    | -174.8 | 40.6                   |       |
| 130205  | WPRIJ22   | 220.00    |      |   | 13202  | XPR_ME21 | 220.00*   | 1    | -53.7  | 1.6                    |       |
| 130205  | WPRIJ22   | 220.00    |      |   | 13203  | XPR_SI21 | 220.00*   | 1    | -79.5  | 10.0                   |       |
| 130215  | WTREBI2   | 220.00    |      |   | 13205  | XTR_PL21 | 220.00*   | 1    | -61.9  | -19.7                  |       |
| 131000  | WBBROD5   | 110.00    |      |   | 13504  | XBR_SL51 | 110.00*   | 1    | -15.4  | 1.6                    |       |
| 131345  | WTREBI5   | 110.00    |      |   | 13511  | XTR_KO51 | 110.00*   | 1    | -37.5  | 24.0                   |       |
| 133205  | WGRADA2   | 220.00    |      |   | 13201  | XGR_DA21 | 220.00*   | 1    | -7.0   | -4.3                   |       |
| 133240  | WTTUZL2   | 220.00    |      |   | 13207  | XTU_DA21 | 220.00*   | 1    | 19.8   | 0.5                    |       |
| 134185  | WKVAKU5   | 110.00    |      |   | 13507  | XKV_GR51 | 110.00*   | 1    | -13.8  | 16.9                   |       |
| 137100  | WMOST41   | 400.00    |      |   | 13101  | XMO_KO11 | 400.00*   | 1    | -128.6 | -19.3                  |       |
| 137225  | WMOST42   | 220.00    |      |   | 13204  | XMO_ZA21 | 220.00*   | 1    | -43.0  | -13.1                  |       |
| 138015  | WCAPLJ5   | 110.00    |      |   | 13505  | XCA_OP51 | 110.00*   | 1    | -12.5  | -2.0                   |       |
| 138035  | WGRAHO5   | 110.00    |      |   | 13503  | XGR_KN51 | 110.00*   | 1    | 6.4    | 4.9                    |       |
| 138040  | WGRUDE5   | 110.00    |      |   | 13506  | XGR_IM51 | 110.00*   | 2    | -11.7  | 2.4                    |       |
| 138090  | WLIVNO5   | 110.00*   |      |   | 13520  | XBB_LI51 | 110.00    | 1    | -14.6  | -1.2                   |       |
| 138100  | WLJUBU5   | 110.00    |      |   | 13512  | XVR_LJ51 | 110.00*   | 1    | -8.0   | -1.0                   |       |
| 138140  | WNEUM 5   | 110.00    |      |   | 13508  | XNE_OP51 | 110.00*   | 1    | 21.0   | 3.7                    |       |
| 138140  | WNEUM 5   | 110.00    |      |   | 13509  | XNE_ST51 | 110.00*   | 1    | -22.2  | -3.9                   |       |
| 138155  | WORASJ5   | 110.00    |      |   | 13510  | XOR_ZU51 | 110.00*   | 1    | -26.1  | -2.6                   |       |
| TOTAL FROM AREA 13 TO AREA 138                  |           |           |      |   |        |          |           |      |        | -663.2                 | 39.0  |
| TO AREA 1338 BA - ME                            |           |           |      |   |        |          |           |      |        |                        |       |
| X----   | FROM AREA | BUS       | ---- | X | X----- | TO AREA  | BUS       | ---- | X      |                        |       |
| BUS#  | X-- NAME  | --X BASKV |      |   | BUS#   | X-- NAME | --X BASKV | CKT  | MW     | MVAR                   |       |
| 130120  | WTREBI1   | 400.00    |      |   | 13110  | XTR_LA11 | 400.00*   | 1    | 588.3  | 45.5                   |       |
| 130210  | WSAR202   | 220.00    |      |   | 13221  | XSA_PI21 | 220.00*   | 1    | 99.5   | 22.7                   |       |
| 130215  | WTREBI2   | 220.00    |      |   | 13222  | XTR_PE21 | 220.00*   | 1    | 197.8  | 33.5                   |       |
| 131005  | WBILEC5   | 110.00    |      |   | 13521  | XBI_NI51 | 110.00*   | 1    | 45.8   | 6.5                    |       |
| 131345  | WTREBI5   | 110.00    |      |   | 13522  | XTR_HN51 | 110.00*   | 1    | 16.5   | 4.1                    |       |
| TOTAL FROM AREA 13 TO AREA 1338                 |           |           |      |   |        |          |           |      |        | 947.8                  | 112.3 |
| TO AREA 1346 BA - RS                            |           |           |      |   |        |          |           |      |        |                        |       |
| X----   | FROM AREA | BUS       | ---- | X | X----- | TO AREA  | BUS       | ---- | X      |                        |       |
| BUS#  | X-- NAME  | --X BASKV |      |   | BUS#   | X-- NAME | --X BASKV | CKT  | MW     | MVAR                   |       |
| 130130  | WTUGLJ1   | 400.00    |      |   | 13131  | XUG_SM11 | 400.00*   | 1    | 59.7   | 64.1                   |       |
| 130220  | WVISEG2   | 220.00    |      |   | 13231  | XVI_VA21 | 220.00*   | 1    | 168.7  | 65.0                   |       |
| 131025  | WBJEL45   | 110.00    |      |   | 13531  | XBI_LE51 | 110.00*   | 1    | 31.1   | 5.5                    |       |
| 131380  | WZVORN5   | 110.00    |      |   | 13533  | XZV_BI51 | 110.00*   | 1    | 34.2   | -4.1                   |       |
| TOTAL FROM AREA 13 TO AREA 1346                 |           |           |      |   |        |          |           |      |        | 293.6                  | 130.6 |
| TOTAL FROM AREA 13 BA                           |           |           |      |   |        |          |           |      |        | 578.2                  | 281.9 |



Slika 5.2. Uklopno stanje, tokovi snaga i naponske prilike u EES-u BiH, 17.11.2020. za prvi sat rada sustava, od 00:00 do 01:00 h

Izračunate vrijednosti tokova snaga po međunarodnim dalekovodima odgovaraju stvarnim tokovima, a izračunate vrijednosti napona u čvorištima sustava su skoro identične vrijednostima napona u podacima sa SCADA sistema NOS BiH-a, što potvrđuje validnost modela i rezultata proračuna.



Slika 5.3. Uklopno stanje, tokovi snaga i naponske prilike u EES-u BiH, 17.11.2020. u 00:55 h, neposredno prije početka testa (preuzeto sa SCADA/EMS sustava NOSBiH-a)

#### 5.4. Topologija prijenosne mreže u BiH

Zbog trajnog kvara od ranije su izvan pogona:

- TR 3 220/110 kV i TR 4 220/110 kV u TS Mostar 4;
- TR 3 220/110 kV u TS Trebinje i TR 400/110 kV u TS Višegrad.

U rezervi su:

- TR 2 400/110 kV u TS Sarajevo 10
- TR 2 400/220 kV u TS Tuzla 4 su u rezervi.

Dalekovod 220 kV Mostar 4 – EAL isključen zbog prestanka rada Aluminija d.d. Mostar.

Prije početka testa, odnosno u prvom satu, tok aktivne snage na kablu MONITA između Crne Gore (MNE) i Italije (IT) je imao smjer MNE→IT u iznosu od cca 400 MW. U skladu sa dnevnim izvještajem Službe za upravljanje sustavom u realnom vremenu, za 17.11.2020., prvi sat rada EES-a BiH tj. u periodu od 00:00 do 01:00 h, na 400 i 220 kV mreži u pogonu su bili proizvodni objekti prikazani u Tablicama 5.3. i 5.4.

Tablica 5.3. Proizvodni objekti na 400 kV mreži

| Elektrana   | P    | Q      |
|-------------|------|--------|
|             | [MW] | [MVar] |
| TE Gacko    | 206  | -2     |
| TE Ugljevik | 207  | -52    |
| TE Stanari  | 275  | -42    |

Tablica 5.4. Proizvodni objekti na 220 kV mreži

| Elektrana    | P    | Q      |
|--------------|------|--------|
|              | [MW] | [MVar] |
| TE Tuzla G5  | 133  | 5      |
| TE Tuzla G6  | 159  | -40    |
| TE Kakanj G7 | 163  | -36    |
| HE Rama      | 70   | -11    |

Srednja satna proizvodnja na pragu elektrana, tj. na mreži prijenosa prikazana je u tablicama. Sve proizvodne jedinice, osim G5 u TE Tuzli, preuzimaju reaktivnu snagu sa mreže prijenosa, te tako pridonose poboljšanju naponskih prilika i utječu na smanjenje povišenih napona u prijenosnoj mreži elektroenergetskog sustava Bosne i Hercegovine. Dio reaktivne snage koji se preuzima sa prijenosne mreže koristi se na magnetiziranje blok transformatora, dio za rad vlastite potrošnje u termoelektranama, a dio preuzimaju proizvodne jedinice za omogućenu pobudu u kapacitivnom/potpobuđenom načinu rada.

Prema planu provođenja testa u periodu rada sustava (01:00 – 02:00 h) bio je predviđen rad TE Gacko sa  $\cos\varphi = 1$ , odnosno nultom proizvodnjom reaktivne snage na generatoru ( $Q=0$  MVar). Tijekom provođenja testa, TE je radila u režimu u kojem ne preuzima reaktivnu snagu sa mreže prijenosa (0 MVar).



Na Slici 5.4. po tokovima snaga se vidi priprema CHE Čapljina za kompenzatorski potpobuđeni režim u 00:55 h, pa je u cilju konkretnih usporedbi vrijednosti napona tijekom provedena testa prezentirana vrijednost napona u relevantnim čvorištima EES-a BiH u vremenu 00:54 h (srednje minutne vrijednosti) neposredno prije početka priprema za test. Vrijednosti napona u 400 kV i 220 kV relevantnim čvorištima sustava prije početka testa 1a prikazani su u Tablici 5.5.

Tablica 5.5. Naponske prilike u 400 kV i 220 kV mreži

| <b>OBJEKT<br/>TS 400/x kV</b> | <b>NAPON [kV]<br/>00:54 h</b> | <b>OBJEKT<br/>TS 220/x kV</b> | <b>NAPON [kV]<br/>00:54 h</b> |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Mostar 4                      | 434.65                        | Mostar 4                      | 251.32                        |
| Gacko                         | 429.71                        | Mostar 3                      | 249.11                        |
| Trebinje                      | 426.28                        | Trebinje                      | 244.84                        |
| Sarajevo 10                   | 431.73                        | RP Kakanj                     | 246.97                        |
| Sarajevo 20                   | 432.65                        | Prijedor 2                    | 247.74                        |
| Tuzla 4                       | 429.03                        | Jajce 2                       | 248.66                        |
| Stanari                       | 428.72                        |                               |                               |
| Banja Luka 6                  | 427.21                        |                               |                               |
| Ugljevik                      | 423.15                        |                               |                               |
| Višegrad                      | 422.61                        |                               |                               |

Tokovi reaktivnih snaga (srednje minutne vrijednosti) po međunarodnim dalekovodima 400 kV i 220 kV naponskog nivoa EES-a BiH, prije početka testa 1a, u vremenu 00:54 h, prikazani su u Tablici 5.6.

Tablica 5.6. Tokovi na dalekovodima 400 kV i 220 kV

| <b>Međunarodni DV 400 kV</b> | <b>Q [MVar]<br/>00:54 h</b> | <b>Međunarodni DV 220 kV</b> | <b>Q [MVar]<br/>00:54 h</b> |
|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Mostar 4 – Konjsko           | -47.12                      | Mostar 4 – Zakućac           | -22.13                      |
| Ugljevik – Ernestinovo       | 10.53                       | Prijedor 2 – Međurić         | 7.48                        |
| Ugljevik – S. Mitrovica      | 53.56                       | Prijedor 2 – Sisak           | 19.08                       |
| Trebinje - Lastva            | 37.72                       | Gradačac – Đakovo            | -9.36                       |
| -                            | -                           | TE Tuzla – Đakovo            | -11.71                      |
| -                            | -                           | Trebinje – Plat              | 1.54                        |
| -                            | -                           | Trebinje – Perućica          | 49.73                       |
| -                            | -                           | Sarajevo 20 – Piva           | 19.27                       |
| -                            | -                           | Višegrad - Vardište          | 43.66                       |

Napomena: Oznaka ”-” znači da reaktivna snaga ulazi u čvor (npr. čvor Mostar 4 prima reaktivnu snagu u iznosu od 22,13 MVar iz čvora Zakućac). Na bazi tokova reaktivne snage po međunarodnim vodovima, prikazanim u Tablici 5.6. napravljena je bilanca (Tablica 5.7.) razmjene reaktivne snage na prijenosnoj mreži 400 kV i 220 kV naponskog nivoa EES-a BiH sa susjednim sustavima Hrvatske, Srbije i Crne Gore.

Tablica 5.7. Bilanca razmjene reaktivne snage

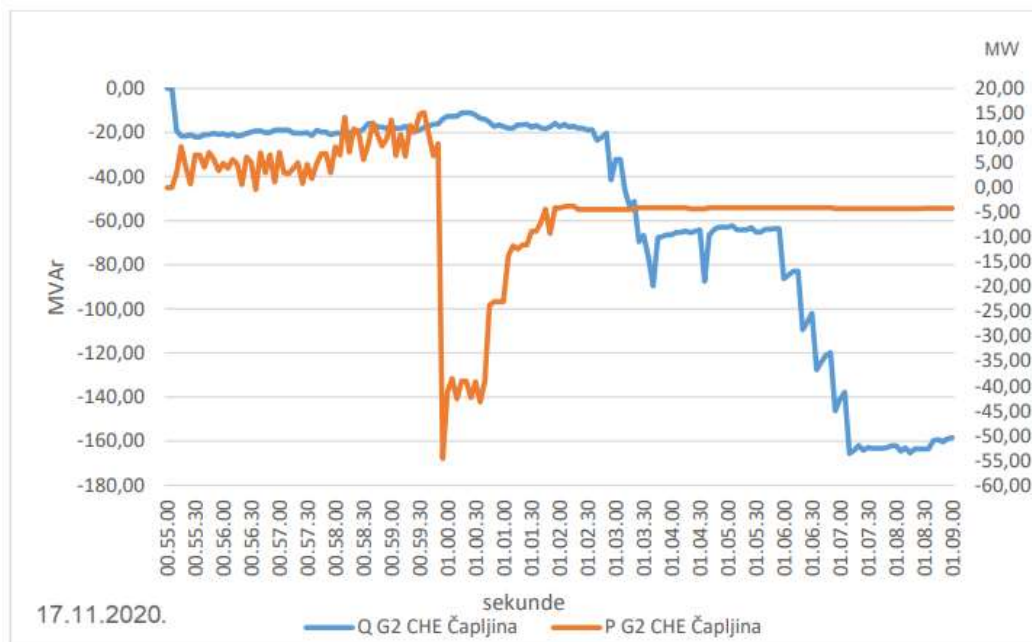
|     |          |        |
|-----|----------|--------|
| NOS | HOPS     | -51.69 |
| NOS | CGES     | 106.72 |
| NOS | EMS      | 97.22  |
|     | $\Sigma$ | 152.25 |

U elektroenergetskom sustavu Bosne i Hercegovine u vremenu 00:54 h prije početka testa 1a izvozi, odnosno injektira reaktivnu snagu u susjedne sustave u ukupnom iznosu od 152,25 MVar, pri čemu se iz EES-a Hrvatske injektira reaktivna snaga u iznosu od 51,69 MVar, a iz EES-a BiH u EES Crne Gore se injektira reaktivna snaga u iznosu od 106,72 MVar. U EES Srbije iz EES-a BiH se injektira reaktivna snaga u iznosu od 97,22 MVar.

#### 5.4.1. Test 1a. – Rad CHE Čapljina u kompenzatorskom potpobuđenom režimu rada

Kompenzatorski potpobuđeni način rada CHE Čapljina je počeo u 01:00 h, dok je maksimalno preuzimanje reaktivne snage iz EES-a, u iznosu od 160 MVar, dostignuto u 01:08 h. Tijekom asinkronog zaleta u trajanju od 100 sekundi (s) potrošnja CHE Čapljine iznosila je cca 20 MW, dok je u stacionarnom stanju potrošnja aktivne snage iznosila cca 4 MW (prosječna potrošnja aktivne snage pri zaletu u vremenu od 00:59:55 h do 1:01:55 h, iznosila je 24,58 MW).

Na Slici 5.4. su pokazane vrijednosti aktivne i reaktivne snage svakih 5 sekundi preuzete sa visokonaponske 220 kV strane blok transformatora generatora G2, za period njegovog ulaska u pogon i prelaska u kompenzatorski režim rada od 00:55 h do 1:09 h. Podaci su preuzeti sa SCADA sustava NOS BiH.



Slika 5.4. Aktivna i reaktivna 5-sekundna snaga pri ulasku CHE Čapljine u kompenzatorski potpobuđeni način rada

Preuzimanjem 160 MVAR reaktivne snage iz mreže, očekivano, smanjenje napona se najviše odrazilo na transformatorske stanice koje su bliže CHE Čapljini. U Tablici 5.8. i 5.9. prikazane su naponske prilike u relevantnim čvorištima 400 kV i 220 kV mreže, u 00:54 h, prije ulaska te u 01:09 h, nakon ulaska CHE Čapljine u kompenzatorski potpobuđeni način rada.

Tablica 5.8. Naponi u 400 kV čvorištima prije i nakon ulaska CHE Čapljina

| OBJEKT<br>TS 400/x kV | NAPON [kV]<br>00:54 h | NAPON [kV]<br>01:09 h | $\Delta U$<br>[kV] |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| Mostar 4              | 434.65                | 429.75                | -4.9               |
| Gacko                 | 429.71                | 425.82                | -3.89              |
| Trebinje              | 426.28                | 422.84                | -3.44              |
| Sarajevo 10           | 431.73                | 429.41                | -2.32              |
| Sarajevo 20           | 432.65                | 430.65                | -2                 |
| Tuzla 4               | 429.03                | 429.2*                | *                  |
| Stanari               | 428.72                | 428.13                | -0.59              |
| Banja Luka 6          | 427.21                | 426.84                | -0.37              |
| Ugljevik              | 423.15                | 422.68                | -0.47              |
| Višegrad              | 422.61                | 422.19                | -0.42              |

\*nema promjena mjerenih vrijednosti („zaleđena mjerenja“)

Tablica 5.9. Naponi u 220 kV čvorištima prije i nakon ulaska CHE Čapljina

| OBJEKT<br>TS 220/x kV | NAPON [kV]<br>00:54 h | NAPON [kV]<br>01:09 h | $\Delta U$<br>[kV] |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| Mostar 4              | 251.31                | 246.09                | -5.22              |
| Mostar 3              | 249.11                | 244.91                | -4.2               |
| Trebinje              | 244.84                | 242.01                | -2.83              |
| RP Kakanj             | 246.97                | 246.97                | *                  |
| Prijedor 2            | 247.74                | 247.2                 | -0.54              |
| Jajce 2               | 249.96                | 248.83                | -1.13              |

\*nema promjena mjerenih vrijednosti („zaleđena mjerenja“)

Ulaskom CHE Čapljina u kompenzatorski potpobuđeni režim rada i preuzimanjem cca 160 MVar od 01:09 h, došlo je i do smanjenja napona u južnom, a neznatno i u centralnom dijelu EES-a BiH (400 kV transformatorske stanice), dok u ostalom dijelu sustava nije zabilježeno značajnije smanjenje naponskih prilika. Do najvećeg smanjenja napona očekivano je došlo u najbližim transformatorskim stanicama kao što su TS Mostar 4 (smanjenje od 4,9 kV), TS Gacko (smanjenje od 3,89 kV) i TS Trebinje (smanjenje od 3,44 kV).

Pored ove tri transformatorske stanice, značajnije sniženje 400 kV napona je izmjereno u TS Sarajevo 10 (sniženje od cca 2,32 kV) i TS Sarajevo 20 (sniženje od 2 kV).

Tokovi reaktivnih snaga (srednje minutne vrijednosti) po međunarodnim DV 400 i 220 kV naponskog nivoa EES-a BiH, u vremenu 01:09 h, nakon ulaska CHE Čapljine u kompenzatorski potpobuđeni režim rada prikazani su u Tablicama 5.10. i 5.11. Preuzimanje reaktivne snage CHE Čapljina u navedenom vremenu, sa mreže prijenosa, na pragu elektrane, iznosilo je 161,87 MVar.

Tablica 5.10. Tokovi Q na dalekovodima 400 kV nakon ulaska CHE Čapljina u kompenzatorski rad

| Međunarodni DV 400 kV   | Q [MVar]<br>00:54 h | Q [MVar]<br>01:09 h | $\Delta Q$ [MVar] |            |
|-------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|------------|
|                         |                     |                     | U EES BiH         | IZ EES BiH |
| Mostar 4 – Konjsko      | -47.12              | -60.15              | 13.03             |            |
| Ugljevik – Ernestinovo  | 10.53               | 4.82                |                   | -5.71      |
| Ugljevik – S. Mitrovica | 53.56               | 51.26               |                   | -2.3       |
| Trebinje - Lastva       | 37.72               | 17.23               |                   | -20.49     |

Tablica 5.11. Tokovi Q na dalekovodima 400 kV nakon ulaska CHE Čapljina u kompenzatorski rad

| Međunarodni DV 220 kV | Q [MVar]<br>00:54 h | Q [MVar]<br>01:09 h | ΔQ [MVar] |            |
|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------|------------|
|                       |                     |                     | U EES BiH | IZ EES BiH |
| Mostar 4 – Zakučac    | -22.16              | -35.93              | 13.08     |            |
| Prijedor 2 – Međurić  | 7.48                | 5.18                |           | -2.3       |
| Prijedor 2 – Sisak    | 19.08               | 16.92               |           | -2.16      |
| Gradačac – Đakovo     | -9.36               | -9.46               | 0.1       |            |
| TE Tuzla – Đakovo     | -11.71              | -11.71              | 0         |            |
| Trebinje – Plat       | 1.54                | 0.4                 |           | -1.14      |
| Trebinje – Perućica   | 49.73               | 40.26               |           | -9.47      |
| Sarajevo 20 – Piva    | 19.27               | 15                  |           | -4.27      |
| Višegrad - Vardište   | 43.66               | 41.34               |           | -2.32      |

Na bazi tokova reaktivne snage po međunarodnim dalekovodima, prikazanim u prethodnim tablicama, napravljena je bilanca razmjene reaktivne snage na prijenosnoj mreži 400 i 220 kV naponskog nivoa EES-a BiH sa susjednim sustavima Hrvatske, Srbije i Crne Gore.

Tablica 5.12. Bilanca razmjene reaktivne snage nakon ulaska CHE Čapljina u kompenzatorski rad

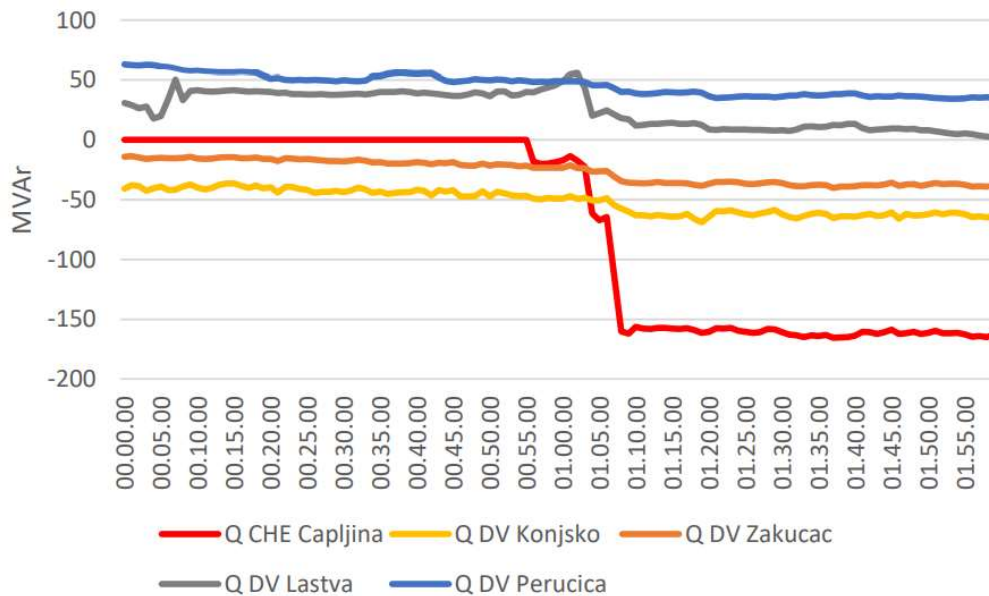
|     |      |        |
|-----|------|--------|
| NOS | HOPS | -89.93 |
| NOS | CGES | 72.49  |
| NOS | EMS  | 92.6   |
|     | Σ    | 75.16  |

U 01:09 h nakon ulaska CHE Čapljine u kompenzatorski potpobuđeni režim rada, EES BiH izvozi, odnosno injektira reaktivnu snagu u susjedne sisteme u ukupnom iznosu od 75,16 MVar pri čemu se iz EES-a Hrvatske injektira reaktivna snaga u iznosu od 89,93 MVar, dok se iz EES-a BiH u EES Crne Gore injektira reaktivna snaga u iznosu od 72,49 MVar. U EES Srbije se iz BiH injektira reaktivna snaga u iznosu od 92,66 MVar.

U ovom slučaju dolazi do povećanog injektiranja reaktivne snage iz EES-a Hrvatske u EES BiH za 38,24 MVar, te smanjenog injektiranja iz EES-a BiH u EES Crne Gore, za 34,23 MVar. Smanjeno je i injektiranje reaktivne snage u EES Srbije, za 4,62 MVar, a ukupan eksport reaktivne snage iz EES-a BiH u susjedne sistema smanjen je za 77,09 MVar.

Iz analize tokova reaktivnih snaga po međunarodnim dalekovodima može se zaključiti da nakon ulaska CHE Čapljina u kompenzatorski potpobuđeni režim rada i smanjena vrijednosti napona u čvorištima EES-a BiH dolazi do dodatnog povećanja tokova reaktivne snage („prelijevanja“) iz sustava sa višim naponom (EES Hrvatske) u sustav sa nižim naponom (EES BiH). Također se uočava, da smanjenjem vrijednosti napona u čvorištima EES-a BiH dolazi i do smanjenja izvoza reaktivne snage u sustave sa nižim vrijednostima napona – ESS Crne Gore i ESS Srbije.

Na Slici 5.5. može se vidjeti promjena srednje minutne reaktivne snage na međunarodnim dalekovodima EES-a BiH prije i nakon ulaska CHE Čapljine u kompenzatorski potpobuđeni režim rada.



Slika 5.5. Promjena reaktivne snage na međunarodnim DV nakon ulaska CHE Čapljina

#### 5.4.2. Test 1b. – Rad CHE Čapljina u kompenzatorskom potpobuđenom režimu rada i maksimalni potpobuđeni režim rada TE Gacko

Osim crpne hidroelektrane Čapljina, u EES-u BiH kod smanjenja napona može pomoći TE Gacko, koja je priključena na 400 kV napon. Rad termoelektrane u potpobuđenom režimu rada znatno utječe na sniženje napona u elektroenergetskom sustavu, što i dokazano testom. Ulazak TE Gacko u maksimalno potpobuđeni način rada zabilježen je u 02:09 h. u tom trenutku ukupno preuzimanje reaktivne snage ove elektrane sa prijenosne mreže iznosilo je 72,86 MVar.

Pored rada CHE Čapljina u kompenzatorskom potpobuđenom režimu u vremenu od 01:00 do 02:00 h, ulazak TE Gacko u potpobuđeni režim rada dodatno je doprinio poboljšanju naponskih prilika u EES-u BiH. U Tablicama 5.13. i 5.14. su prikazane naponske prilike u relevantnim čvorištima 400 kV, odnosno 220 kV mreže u 01:09 h prije ulaska, te u 02:09 h nakon ulaska TE Gacko u kapacitivni/potpobuđeni režim rada.

Tablica 5.13. Naponi u 400 kV čvorištima prije i nakon ulaska TE Gacko

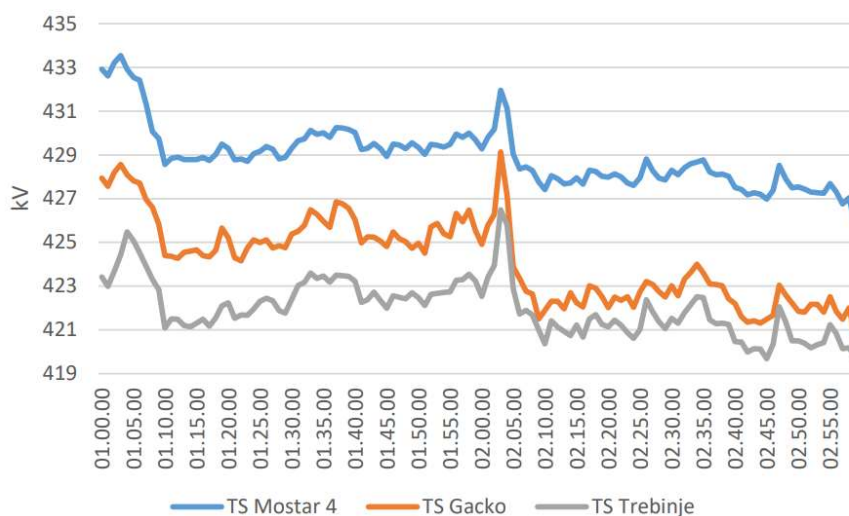
| OBJEKT<br>TS 400/x kV | NAPON [kV]<br>01:09 h | NAPON [kV]<br>02:09 h | $\Delta U$<br>[kV] |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| Mostar 4              | 429.75                | 427.76                | -1.99              |
| Gacko                 | 425.82                | 421.5                 | -4.32              |
| Trebinje              | 422.84                | 420.99                | -1.85              |
| Sarajevo 10           | 429.41                | 428.73                | -0.68              |
| Sarajevo 20           | 430.65                | 430.4                 | -0.25              |
| Tuzla 4               | 429.2*                | 429.2*                | *                  |
| Stanari               | 428.13                | 428.23                | 0.1                |
| Banja Luka 6          | 426.84                | 426.88                | 0.04               |
| Ugljevik              | 422.68                | 422.36                | -0.32              |
| Višegrad              | 422.19                | 421.45                | -0.74              |

Tablica 5.14. Naponi u 220 kV čvorištima prije i nakon ulaska TE Gacko

| OBJEKT<br>TS 220/x kV | NAPON [kV]<br>01:09 h | NAPON [kV]<br>02:09 h | $\Delta U$<br>[kV] |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| Mostar 4              | 246.09                | 245.47                | -0.62              |
| Mostar 3              | 244.91                | 243.66                | -1.25              |
| Trebinje              | 242.01                | 241.23                | -0.78              |
| RP Kakanj             | 246.97                | 246.97                | *                  |
| Prijedor 2            | 247.2                 | 247.39                | 0.19               |
| Jajce 2               | 248.83                | 248.59                | -0.24              |

Ulaskom CHE Čapljina u kompenzatorski potpobuđeni režim rada (od 01:00 sat) i TE Gacko u potpobuđeni režim rada (od 02:00 sata) do najznačajnije promjene napona dolazi u čvorištima 400 kV napona TS Mostar 4, TS Gacko i TS Trebinje.

Poredbom napona u 01:09 h i 02:09 h pokazalo se da je promjene napona u TS Mostar 4 iznosila 1.99 kV, u TS Gacko 4.32 kV, a u TS Trebinje 1.85 kV. Na slici 4.10 prikazane su srednje minutne promjene napona u 400 kV čvorištima TS Mostar 4, TS Gacko i TS Trebinje u periodu od 01:00 do 02:55 h, prije i nakon ulaska TE Gacko u kapacitivni/potpobuđeni režim rada.



Slika 5.6. Naponi u TS Mostar 4, TS Gacko i TS Trebinje prije i nakon ulaska TE Gacko

Tokovi reaktivnih snaga (srednje minutne vrijednosti) po međunarodnim dalekovodima 400 kV i 220 kV naponske razine, u vremenu od 01:09 h nakon ulaska CHE Čapljine u kompenzatorski potpobuđeni režim rada do 02:09 h, nakon ulaska TE Gacko u kapacitivni/potpobuđeni režim rada prikazani su u Tablicama 5.15 i odnosno 4.14. Preuzimanje reaktivne snage TE Gacko sa mreže prijenosa (na pragu elektrane) u navedenom vremenu je iznosilo 72,86 MVar.



Tablica 5.15. Tokovi na dalekovodima 400 kV nakon ulaska TE Gacko u kompenzatorski rad

| Međunarodni DV 400 kV   | Q [MVar]<br>01:09 h | Q [MVar]<br>02:09 h | ΔQ [MVar] |            |
|-------------------------|---------------------|---------------------|-----------|------------|
|                         |                     |                     | U EES BiH | IZ EES BiH |
| Mostar 4 – Konjsko      | -60.15              | -70.25              | 10.1      |            |
| Ugljevik – Ernestinovo  | 4.82                | 16.3                |           | 11.48      |
| Ugljevik – S. Mitrovica | 51.26               | 47.77               |           | -3.49      |
| Trebinje - Lastva       | 17.23               | -23.5               | -40.73    |            |

Tablica 5.16. Tokovi na dalekovodima 220 kV nakon ulaska TE Gacko u kompenzatorski rad

| Međunarodni DV 220 kV | Q [MVar]<br>01:09 h | Q [MVar]<br>02:09 h | ΔQ [MVar] |            |
|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------|------------|
|                       |                     |                     | U EES BiH | IZ EES BiH |
| Mostar 4 – Zakučac    | -35.93              | -0.05               | 13.08     |            |
| Prijedor 2 – Međurić  | 5.18                | 5.68                |           | 0.5        |
| Prijedor 2 – Sisak    | 16.92               | 16.97               |           | 0.05       |
| Gradačac – Đakovo     | -9.46               | -14.38              | 4.92      |            |
| TE Tuzla – Đakovo     | -11.71              | -11.71              | 0         |            |
| Trebinje – Plat       | 0.4                 | 8.27                |           | 7.87       |
| Trebinje – Perućica   | 40.26               | 38.73               |           | -1.53      |
| Sarajevo 20 – Piva    | 15                  | 8.85                |           | -6.15      |
| Višegrad - Vardište   | 41.34               | 34.58               |           | -6.76      |

Na bazi tokova reaktivne snage po međunarodnim dalekovodima prikazanim prethodnim tablicama, napravljena je bilanca razmjene reaktivne snage na prijenosnoj mreži 400 i 220 kV naponskog nivoa EES-a BiH sa susjednim sistemima Hrvatske, Srbije i Crne Gore.

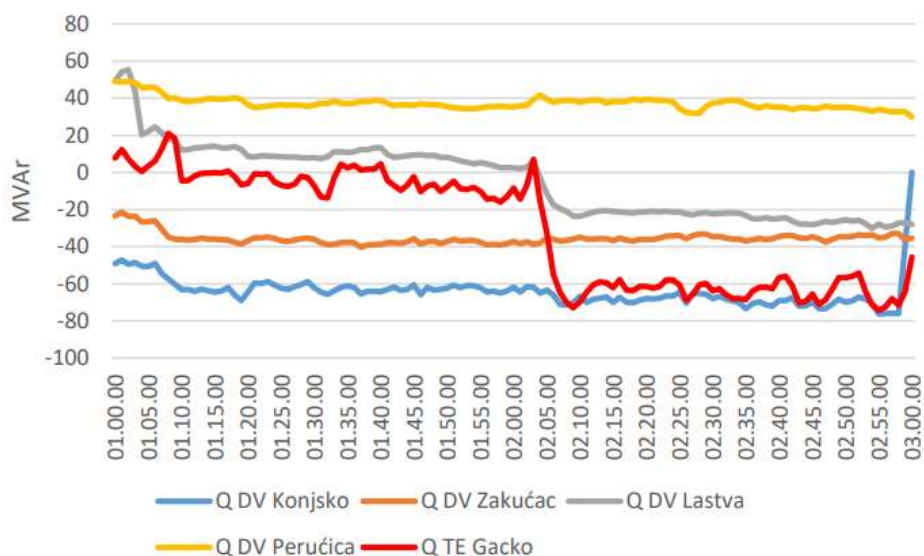
Tablica 5.17. Bilanca razmjene reaktivne snage nakon ulaska TE Gacko u kompenzatorski rad

|     |      |       |
|-----|------|-------|
| NOS | HOPS | -85   |
| NOS | CGES | 24.08 |
| NOS | EMS  | 82.35 |
|     | Σ    | 21.43 |

U vremenu od 02:09 h, nakon ulaska CHE Čapljina u kompenzatorski potpobuđeni režim rada i ulaska TE Gacko u kapacitivni/potpobuđeni režim rad, EES BiH izvozi, odnosno injektira reaktivnu snagu u susjedne sisteme u ukupnom iznosu od 21,43 MVar, pri čemu se iz EES-a Hrvatske injektira reaktivna snaga u iznosu od 85 MVar, a iz EES-a BiH u EES Crne Gore se reaktivna snaga injektira u iznosu od 24,09 MVar. Iz EES-a BiH se u EES Srbije injektira reaktivna snaga u iznosu od 82,35 MVar.

U ovom slučaju dolazi do blagog smanjenja injektiranja reaktivne snage iz EES-a Hrvatske u EES BiH, za 4,93 MVar i smanjenog injektiranja iz EES-a BiH u EES Crne Gore, za 48,41 MVar. Smanjeno je i injektiranje reaktivne snage u EES Srbije, za 10,25 MVar, a ukupni izvoz reaktivne snage iz EES-a BiH u susjedne sustave smanjen je za 53,73 MVar.

Iz analize tokova reaktivnih snaga po međunarodnim vodovima, i u ovom slučaju, može se zaključiti da nakon ulaska CHE Čapljine u kompenzatorski potpobuđeni režim rada, te ulaska TE Gacko u kapacitivni/potpobuđeni režim rada i smanjenja vrijednosti napona u čvorištima EES-a BiH, dolazi do dodatnog povećanja tokova reaktivne snage („prelijevanja“) iz sustava sa višim naponom (EES Hrvatske) u sustav sa nižim naponom (EES BiH). Također, smanjenjem vrijednosti napona u čvorištima EES-a BiH dolazi i do smanjenja izvoza reaktivne snage u susjedne sustave sa nižim vrijednostima napona – ESS Crne Gore i ESS Srbije.



Slika 5.7. Promjena reaktivne snage nakon ulaska TE Gacko

Na Slici 5.7. je uočljiva promjena srednje minutne reaktivne snage na međunarodnim dalekovodima EES-a BiH, prije i nakon ulaska TE Gacko u kapacitivni/potpobuđeni režim rada.

#### 5.4.3. Test 1c. – Rad CHE Čapljina u kompenzatorskom potpobuđenom režimu rada, maksimalni potpobuđeni režim rada TE Gacko i isključenje DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko

Isključenje podopterećenih dalekovoda, vodeći računa o kriteriju sigurnosti N-1, jedna je od najčešćih mjera koje DC NOSBiH-a koristi u cilju snižavanja napona u EES-u BiH. Isključenje dalekovoda 400 kV Mostar 4 – Konjsko, odnosno smanjenje primanja reaktivne snage iz EES-a Hrvatske dovelo bi do dodatnog sniženja napona u EES-u BiH.

Pored rada CHE Čapljine u kompenzatorskom potpobuđenom režimu rada (od 01:00), ulaska TE Gacko u potpobuđeni režim rada (od 02:00) i isključenje DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko (od 03:00) doprinijelo je dodatnom poboljšanju naponskih prilika u EES-u BiH. U Tablicama 4.15. i 4.16. prikazane su naponske prilike u relevantnim čvorištima 400 kV, odnosno 220 kV mreže u 02:09 h, prije isključenja i 03:03 h, nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko.

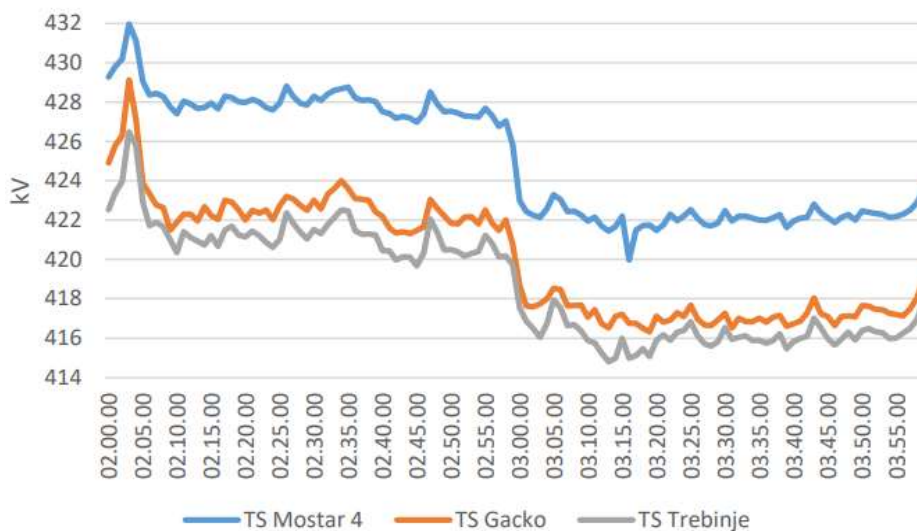
Tablica 5.18. Naponi u čvorištima prije i nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 - Konjsko

| OBJEKT<br>TS 400/x kV | NAPON [kV]<br>02:09 h | NAPON [kV]<br>03:03 h | $\Delta U$<br>[kV] |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| Mostar 4              | 427.76                | 422.14                | -5.62              |
| Gacko                 | 421.5                 | 417.74                | -3.76              |
| Trebinje              | 420.99                | 416.05                | -4.94              |
| Sarajevo 10           | 428.73                | 425.81                | -2.92              |
| Sarajevo 20           | 430.4                 | 427.6                 | -2.8               |
| Tuzla 4               | 429.2*                | 427.19                | *                  |
| Stanari               | 428.23                | 427.15                | -1.08              |
| Banja Luka 6          | 426.88                | 425.92                | -0.96              |
| Ugljevik              | 422.36                | 421.66                | -0.7               |
| Višegrad              | 421.45                | 421.19                | -0.26              |

Tablica 5.19. Naponi u čvorištima prije i nakon isključenja DV 220 kV Mostar 4 - Konjsko

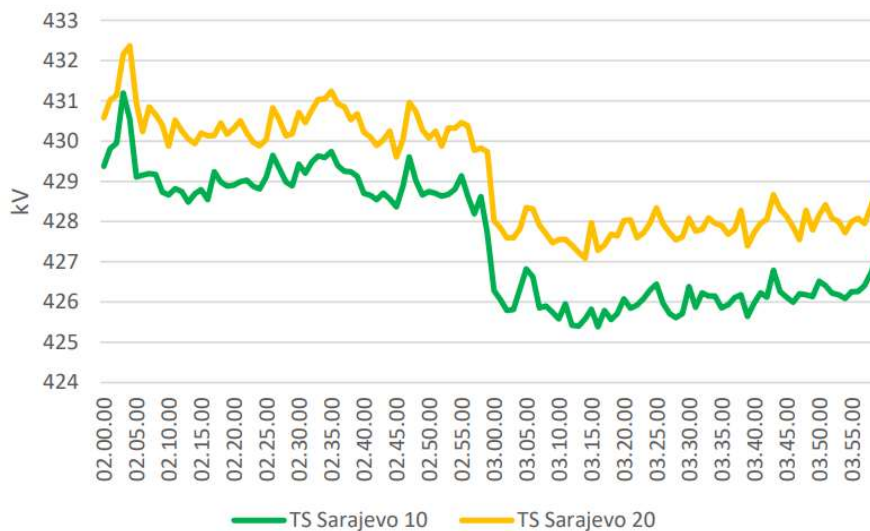
| OBJEKT<br>TS 220/x kV | NAPON [kV]<br>02:09 h | NAPON [kV]<br>03:03 h | $\Delta U$<br>[kV] |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| Mostar 4              | 245.47                | 243.09                | -2.38              |
| Mostar 3              | 243.66                | 242.05                | -1.61              |
| Trebinje              | 241.23                | 238.08                | -3.15              |
| RP Kakanj             | 246.97                | 245.77                | -1.2               |
| Prijedor 2            | 247.39                | 247.02                | -0.37              |
| Jajce 2               | 248.59                | 247.55                | -1.04              |

Isključenje slabo opterećenog dalekovoda 400 kV Mostar 4 – Konjsko dovelo je do snižavanja napona u TS Mostar 4 za 5,62 kV, u TS Gacko za 3,76 kV, dok je u TS Trebinje zabilježen niži napon za 4,94 kV, što se i vidi na Slici 5.8.



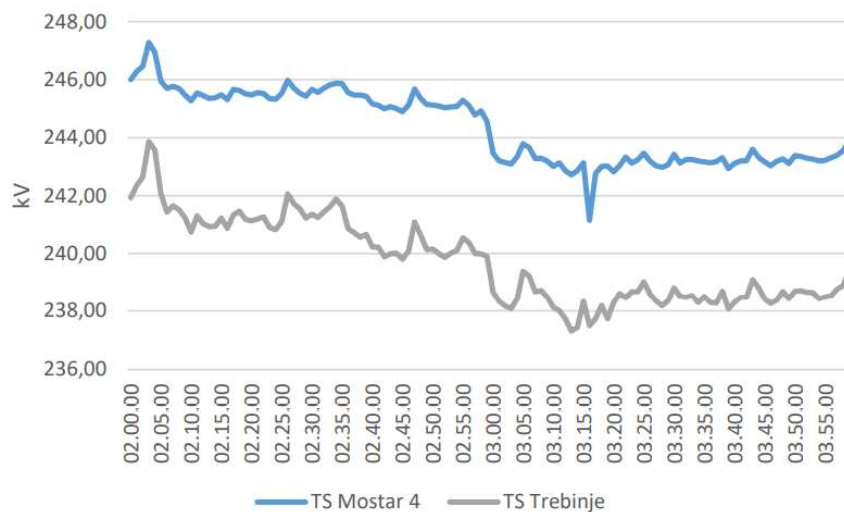
Slika 5.8. Naponi u TS Mostar 4, TS Gacko i TS Trebinje prije i nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko

Pored snižavanja napona u navedenim trafostanicama, isključenje navedenog dalekovoda se odrazilo i na napone u TS Sarajevo 10 gdje je zabilježeno snižavanje napona za 2,92 kV; u TS Sarajevo 20 gdje zabilježeno snižavanje napona za 2,8 kV (Slika 5.9.).



Slika 5.9. Naponi u TS Sarajevo 10 i TS Sarajevo 20 prije i nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko

Osim značajnih promjena napona u 400 kV mreži, zabilježeno je i snižavanje napona u 220 kV mreži. U TS Mostar 4 napon je snižen za 2,38 kV, a u TS Trebinje za 3,15 kV, što je prikazano na Slici 5.10.



Slika 5.10. Naponi u TS Mostar 4, TS Mostar 3 i TS Trebinje prije i nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko

U Tablicama 5.20. i 5.21. prikazane su naponske prilike u relevantnim čvorištima 400 i 220 kV prijenosne mreže u 00:54 h, neposredno prije početka testa i 03:03 h nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko, kada CHE Čapljina u kompenzatorskom potpobuđenom režimu rada sa prijenosne mreže (na pragu elektrane) preuzima 130,35 MVar, a TE Gacko radi u kapacitivnom režimu rada te sa prijenosne mreže preuzima 53,04 MVar.

Tablica 5.20. Naponi u 400 kV čvorištima nakon isključenja DV 400 kV Mostar – Konjsko

| OBJEKT<br>TS 400/x kV | NAPON [kV]<br>00:54 h | NAPON [kV]<br>03:03 h | $\Delta U$<br>[kV] |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| Mostar 4              | 434.65                | 422.14                | -12.51             |
| Gacko                 | 429.71                | 417.74                | -11.97             |
| Trebinje              | 426.28                | 416.05                | -10.23             |
| Sarajevo 10           | 431.73                | 425.81                | -5.92              |
| Sarajevo 20           | 432.65                | 427.6                 | -5.05              |
| Tuzla 4               | 429.03                | 427.19*               | *                  |
| Stanari               | 428.72                | 427.15                | -1.57              |
| Banja Luka 6          | 427.21                | 425.92                | -1.29              |
| Ugljevik              | 423.15                | 421.66                | -1.49              |
| Višegrad              | 422.61                | 421.19                | -1.42              |

Tablica 5.21. Naponi u 220 kV čvorištima nakon isključenja DV 400 kV Mostar – Konjsko

| OBJEKT<br>TS 220/x kV | NAPON [kV]<br>00:54 h | NAPON [kV]<br>03:03 h | $\Delta U$<br>[kV] |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| Mostar 4              | 251.31                | 243.09                | -8.22              |
| Mostar 3              | 249.11                | 242.05                | -7.06              |
| Trebinje              | 244.84                | 238.08                | -6.76              |
| RP Kakanj             | 246.97                | 245.77                | -1.2               |
| Prijedor 2            | 247.74                | 247.02                | -0.72              |
| Jajce 2               | 249.96                | 247.55                | -2.41              |

U ovakvim pogonskim uvjetima rada elektroenergetskog sustava BiH izmjereno je najveće snižavanje - razlika napona u odnosu na naponske prilike neposredno prije početka testa. U TS Mostar 4 zabilježeno je snižavanje napona za 12,51 kV, u TS Gacko za 10,97 kV, u TS Trebinje za 10,23 kV, u TS Sarajevo 10 za 5,92 kV, dok je u TS Sarajevo 20 napon snižen za 5,05 kV.

Ovo se odrazilo i na sniženje napona u 220 kV mreži pa su u TS Mostar 4 zabilježeni niži naponi za 8,22 kV, u TS Mostar 3 za 7,06 kV i u TS Trebinje za 6,76 kV.

Tokovi reaktivnih snaga (srednje minutne vrijednosti) po međunarodnim dalekovodima 400 i 220 kV naponskog nivoa EES-a BiH, u 02:09 h nakon ulaska TE Gacko u kapacitivni/potpobuđeni režim rada i 03:03 h nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko, prikazani su u Tablicama 5.22. i 5.23.

Tablica 5.22. Tokovi na dalekovodima 400 kV nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 - Konjsko

| Međunarodni DV 400 kV   | Q [MVar] | Q [MVar] | ΔQ [MVar] |            |
|-------------------------|----------|----------|-----------|------------|
|                         | 02:09 h  | 03:03 h  | U EES BiH | IZ EES BiH |
| Mostar 4 – Konjsko      | -70.25   | 0        | -70.25    |            |
| Ugljevik – Ernestinovo  | 16.3     | 16.33    |           | 0.03       |
| Ugljevik – S. Mitrovica | 47.77    | 41       |           | -6.77      |
| Trebinje - Lastva       | -23.5    | -25.49   | 1.99      |            |

Tablica 5.23. Tokovi na dalekovodima 220 kV nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 - Konjsko

| Međunarodni DV 220 kV | Q [MVar] | Q [MVar] | ΔQ [MVar] |            |
|-----------------------|----------|----------|-----------|------------|
|                       | 02:09 h  | 03:03 h  | U EES BiH | IZ EES BiH |
| Mostar 4 – Zakučac    | -35.88   | -34.17   | -1.71     |            |
| Prijedor 2 – Međurić  | 5.68     | 4.34     |           | -1.34      |
| Prijedor 2 – Sisak    | 16.97    | 14.81    |           | -2.16      |
| Gradačac – Đakovo     | -14.38   | -14.21   | -0.17     |            |
| TE Tuzla – Đakovo     | -11.71   | -16.28   | 4.57      |            |
| Trebinje – Plat       | 8.27     | 17.5     |           | 9.23       |
| Trebinje – Perućica   | 38.73    | 28.18    |           | -10.55     |
| Sarajevo 20 – Piva    | 8.85     | 3.8      |           | -5.05      |
| Višegrad - Vardište   | 34.58    | 29.88    |           | -4.7       |

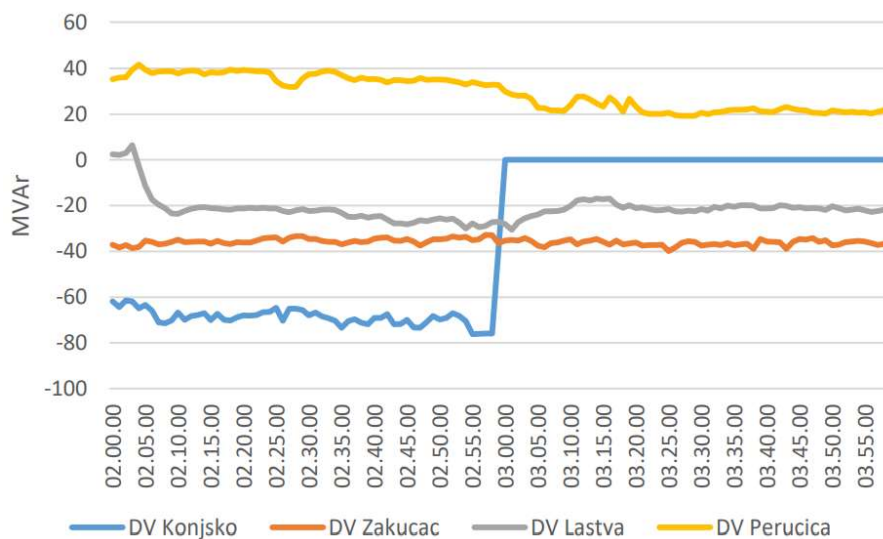
Na osnovu izmjerenih tokova reaktivne snage po međunarodnim vodovima, prikazanim u Tablicama 5.22 i 5.23, napravljena je bilanca razmjene reaktivne snage na prijenosnoj mreži 400 i 220 kV naponskog nivoa EES-a BiH sa susjednim sustavima Hrvatske, Srbije i Crne Gore.

Tablica 5.24. Bilanca razmjene reaktivne snage nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 - Konjsko

|     |          |        |
|-----|----------|--------|
| NOS | HOPS     | -11.68 |
| NOS | CGES     | 6.49   |
| NOS | EMS      | 70.88  |
|     | $\Sigma$ | 65.69  |

U 03:03 h nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko EES BiH izvozi, odnosno injektira reaktivnu snagu u susjedne sustave u ukupnom iznosu od 65,69 MVar, pri čemu se iz EES-a Hrvatske injektira reaktivna snaga u iznosu od 11,68 MVar, dok se iz EES-a BiH u EES Crne Gore injektira reaktivna snaga u iznosu od 6,49 MVar. Istovremeno se iz EES-a BiH u EES Srbije injektira reaktivna snaga u iznosu od 70,68 MVar. U ovom slučaju dolazi do značajnog smanjenja injektiranja reaktivne snage iz EES-a Hrvatske u EES BiH – za 73,32 MVar i smanjenog injektiranja iz EES-a BiH u EES Crne Gore, za 17,59 MVar.

Također je smanjeno i injektiranje reaktivne snage u EES Srbije, za 11,47 MVar. Na Slici 5.11 može se vidjeti promjena srednje minutne reaktivne snage na međunarodnim dalekovodima EES-a BiH u periodu od 02:00 do 03:55 h prije i nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko.



5.11. Promjena reaktivne snage na međunarodnim DV nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko



#### 5.4.4. Test 1d. – izlazak CHE Čapljina i TE Gacko iz potpobuđenog režima rada

Prema programskom zadatku predviđeno trajanje testa je 4 sata, odnosno izlazak CHE Čapljina iz kompenzatorskog potpobuđenog režima rada u 05:00 i TE Gacko iz kapacitivnog/potpobuđenog režima rada.

U Tablicama 4.21. i 4.22. prikazane su naponske prilike na relevantnim čvorištima 400 kV, odnosno 220 kV mreže u 05:01 h u uvjetima rada elektroenergetskog sustava BiH kada je isključen DV 400 kV Mostar 4 –Konjsko, CHE Čapljina u kompenzatorskom potpobuđenom režimu rada sa mreže prijenosa preuzima 171,77 MVar, dok TE Gacko u kapacitivnom režimu rada, preuzima 68,30 MVar, te u 05:16 h, nakon prestanka rada CHE Čapljina u kompenzatorskom režimu rada i preuzimanja reaktivne snage TE Gacko u iznosu od 17 MVar, koja se uglavnom „potroši“ za magnetiziranje blok transformatora.

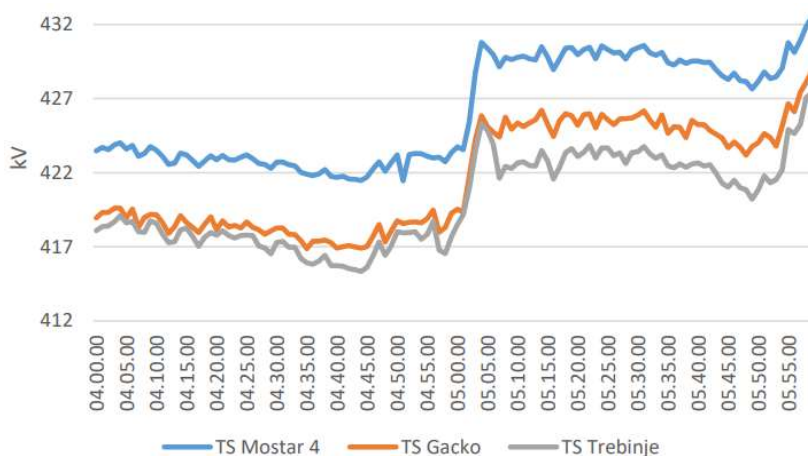
Tablica 5.25 Naponi u 400 kV čvorištima nakon izlaska HE i TE iz potpobuđenog režima

| OBJEKT<br>TS 400/x kV | NAPON [kV]<br>05:01 h | NAPON [kV]<br>05:16 h | $\Delta U$<br>[kV] |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| Mostar 4              | 423.54                | 428.94                | 5.4                |
| Gacko                 | 419.33                | 424.44                | 5.11               |
| Trebinje              | 419.17                | 421.57                | 2.4                |
| Sarajevo 10           | 427.35                | 429.13                | 1.78               |
| Sarajevo 20           | 428.88                | 429.61                | 0.73               |
| Tuzla 4               | 427.19                | 427.19                | *                  |
| Stanari               | 427.84                | 427.93                | 0.09               |
| Banja Luka 6          | 426.31                | 425.91                | -0.34              |
| Ugljevik              | 422.65                | 421.8                 | -0.85              |
| Višegrad              | 422.21                | 421.17                | -1.04              |

Tablica 5.26. Naponi u 220 kV čvorištima nakon izlaska HE i TE iz potpobuđenog režima

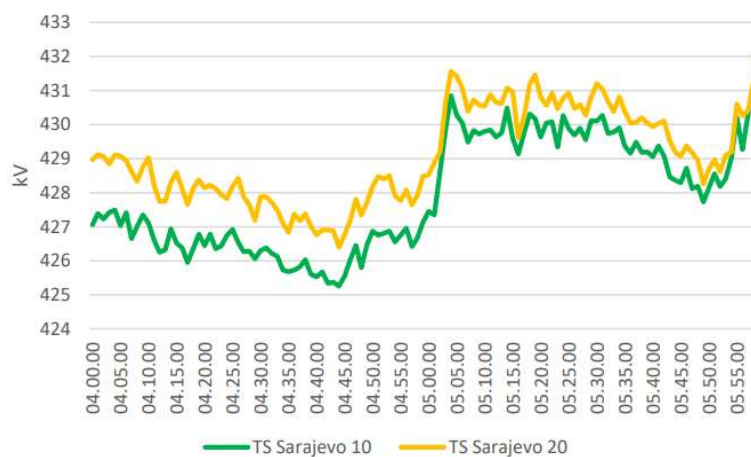
| OBJEKT<br>TS 220/x kV | NAPON [kV]<br>00:54 h | NAPON [kV]<br>03:03 h | $\Delta U$<br>[kV] |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| Mostar 4              | 243.46                | 248.28                | 4.82               |
| Mostar 3              | 241.28                | 246.94                | 5.66               |
| Trebinje              | 240.48                | 241.87                | 1.39               |
| RP Kakanj             | 245.77                | 247.06                | 1.29               |
| Prijedor 2            | 246.95                | 246.95                | 0                  |
| Jajce 2               | 247.92                | 248.73                | 0.81               |

Nakon izlaska iz kompenzatorskog potpobuđenog režima rada CHE Čapljina i kapacitivnog režima rada TE Gacko najveća promjena napona desila u TS Mostar 4 (povećanje napona za 5,4 kV), TS Gacko (povećanje napona za 5,11 kV) i TS Trebinje (povećanje napona za 2,4 kV), što je prikazano na Slici 5.12.



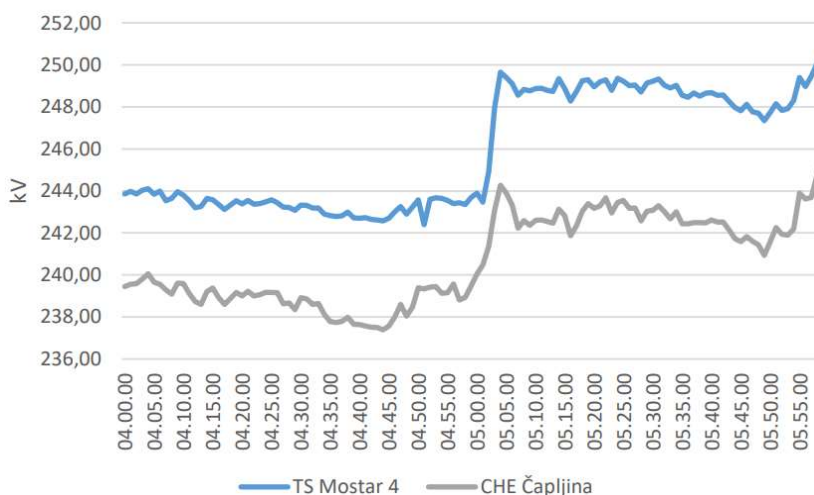
Slika 5.12. Naponi u TS Mostar 4, TS Gacko i TS Trebinje nakon izlaska CHE Čapljine

Osim navedenih trafostanica, najveće promjene u porastu napona su zabilježene u TS Sarajevo 10 (povećanje od 1,78 kV) i TS Sarajevo 20 (povećanje od 0,73 kV), što je prikazano na Slici 5.13.



Slika 5.13. Naponi u TS Sarajevo 10 i TS Sarajevo 20 nakon izlaska CHE Čapljine

Nakon izlaska iz kompenzatorskog potpobuđenog režima rada CHE Čapljine i kapacitivnog režima rada TE Gacko najveća promjena u 220 kV mreži se dogodila u TS Mostar 3 (povećanje od 5,66 kV), TS Mostar 4 (povećanje od 4,82 kV) i u TS Trebinje (povećanje od 1,39 kV), vidljivo na Slici 5.14.



Slika 5.14. Naponi u TS Mostar 4 i TS Trebinje nakon izlaska CHE Čapljina

Tokovi reaktivnih snaga (srednje minutne vrijednosti) po međunarodnim DV 400 i 220 kV naponskog nivoa EES-a BiH u 05:01 h prije i u 05:16 h nakon izlaska iz kompenzatorskog potpobuđenog režima rada CHE Čapljine i kapacitivnog režima rada TE Gacko, prikazani su u Tablicama 5.27 i 5.28.

Tablica 5.27. Tokovi Q na DV 400 kV nakon izlaska CHE Čapljina

| Međunarodni DV 400 kV   | Q [MVar] | Q [MVar] | ΔQ [MVar] |            |
|-------------------------|----------|----------|-----------|------------|
|                         | 05:01 h  | 05:16 h  | U EES BiH | IZ EES BiH |
| Mostar 4 – Konjsko      | 0        | 0        | 0         |            |
| Ugljevik – Ernestinovo  | 9.83     | 29.12    |           | 19.29      |
| Ugljevik – S. Mitrovica | 35.28    | 38.45    |           | 3.17       |
| Trebinje - Lastva       | -27.08   | 20.38    |           | 47.46      |

Tablica 5.28. Tokovi Q na DV 220 kV nakon izlaska CHE Čapljina

| Međunarodni DV 220 kV | Q [MVar]<br>05:01 h | Q [MVar]<br>05:16 h | ΔQ [MVar] |            |
|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------|------------|
|                       |                     |                     | U EES BiH | IZ EES BiH |
| Mostar 4 – Zakučac    | -36.23              | -1.48               | -34.75    |            |
| Prijedor 2 – Međurić  | 2.57                | 11.36               |           | 8.79       |
| Prijedor 2 – Sisak    | 11.87               | 22.05               |           | 10.18      |
| Gradačac – Đakovo     | -15.29              | -13.2               | -2.09     |            |
| TE Tuzla – Đakovo     | -16.28              | -16.28              | 0         |            |
| Trebinje – Plat       | 14.68               | 11.69               |           | -2.99      |
| Trebinje – Perućica   | 26.2                | 48.07               |           | 21.87      |
| Sarajevo 20 – Piva    | 3.3                 | 8.67                |           | 5.37       |
| Višegrad - Vardište   | 29.79               | 27.5                |           | -2.29      |

Na bazi tokova reaktivne snage po međunarodnim vodovima, prikazanim u prethodnim tablicama (5.27 i 5.28.) izrađena je bilanca izmjene reaktivne snage prijenosne mreže 400 kV i 220 kV naponskog nivoa EES-a BiH sa susjednim sistemima Hrvatske, Srbije i Crne Gore.

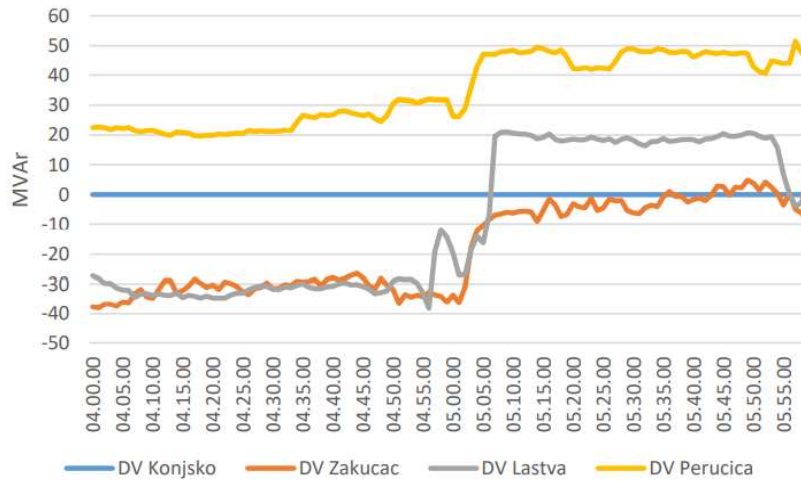
Tablica 5.29. Bilanca razmjene reaktivne snage nakon izlaska CHE Čapljina

|     |      |        |
|-----|------|--------|
| NOS | HOPS | 43.26  |
| NOS | CGES | 77.12  |
| NOS | EMS  | 65.95  |
|     | Σ    | 186.33 |

U 05:16 h, nakon izlaska iz kompenzatorskog potpobuđenog režima rada CHE Čapljina i kapacitivnog režima rada TE Gacko, EES BiH izvozi, odnosno, injektira u susjedne sustave reaktivnu snagu u ukupnom iznosu od 186,33 MVar, pri čemu se u EES Hrvatske injektira 43,26 MVar, dok se iz EES-a BiH u EES Crne Gore injektira reaktivna snaga u iznosu od 77,12 MVar. Iz EES-a BiH se istovremeno u EES Srbije injektira reaktivna snaga u iznosu od 65,95 MVar.

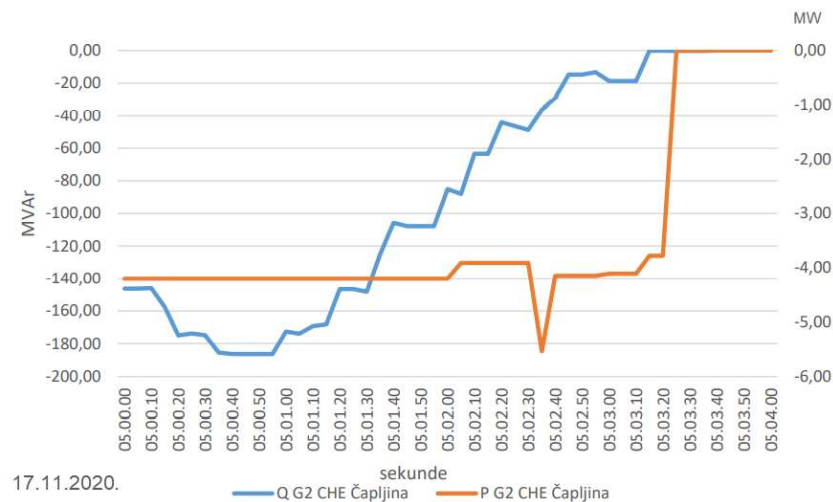
U ovom slučaju, u odnosu na tokove reaktivne snage u 05:01 h dolazi do promjena iznosa i smjera injektiranja reaktivne snage iz EES-a Hrvatske u EES BiH, pri čemu se iz EES-a BiH injektira reaktivna snaga u EES Hrvatske.

Povećava se injektiranje iz EES-a BiH u EES Crne Gore za 74,7 MVar. Malo je povećano i injektiranje reaktivne snage u EES Srbije, za 0,88 MVar, a ukupan izvoz reaktivne snage iz EES-a BiH u susjedne sustave povećan je za 147,69 MVar. Promjena srednje minutne reaktivne snage na međunarodnim dalekovodima EES-a BiH nakon izlaska iz kompenzatorskog potpobuđenog režima rada CHE Čapljina i kapacitivnog režima rada TE Gacko može se vidjeti na Slici 5.15.



Slika 5.15. Promjena reaktivne snage na vezama DV nakon izlaska CHE Čapljina

Vrijednosti aktivne i reaktivne snage svakih 5 sekundi preuzete sa visokonaponske 220 kV strane blok transformatora generatora G2 za period izlaska iz pogona CHE Čapljina, od 5:00 h do 5:04 h prikazane su na Slici 5.16.



Slika 5.16. Aktivna i reaktivna 5-sekundna snaga pri izlasku CHE Čapljina iz pogona

#### 5.4.5. Usporedba izmjerenih podataka sa sustava SCADA i uređaja MAVOWATT

U razvodno postrojenje CHE Čapljina postavljen je mjerni uređaj MAVOWATT 70 (PX5) koji se koristi za snimanje mjernih veličina, kako u normalnom pogonskom stanju tako i za registraciju promjena mjernih veličina prouzrokovanih bilo kakvim događajem na visokonaponskoj (VN) strani transformatora.

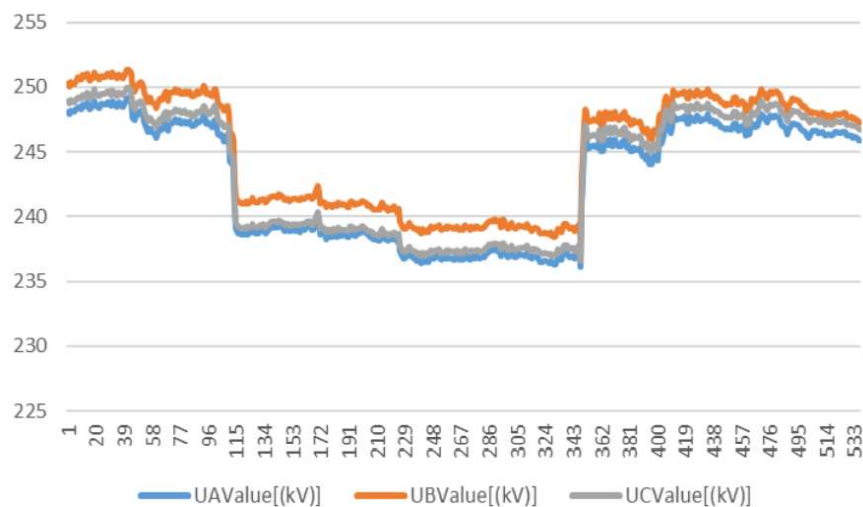
Mjerenja su izvedena u RP 220 kV CHE Čapljina preko kojeg je CHE povezana na prienosnu mrežu BiH preko dva 220 kV dalekovoda u TS 400/220/110 kV Mostar 4. Blok transformatori 245/15,75 kV prienosnog odnosa  $245 \pm 12 \times 1,25\% / 15,75$  kV imaju snagu 240 MVA i spregu Ynd5. Neutralna 220 kV strana transformatora je direktno uzemljena. Naponi su mjereni na sabirnicama 220 kV, a struja na primarnoj strani blok transformatora generatora G2 245/15,75 kV.

Mjerenje je obavljeno u periodu od 00:00 h do 06:00 h ujutro, 17.11.2020. Na osnovu istovremenih vrijednosti napona i struje, izmjerene su ili izračunate, te zabilježene sljedeće vrijednosti.

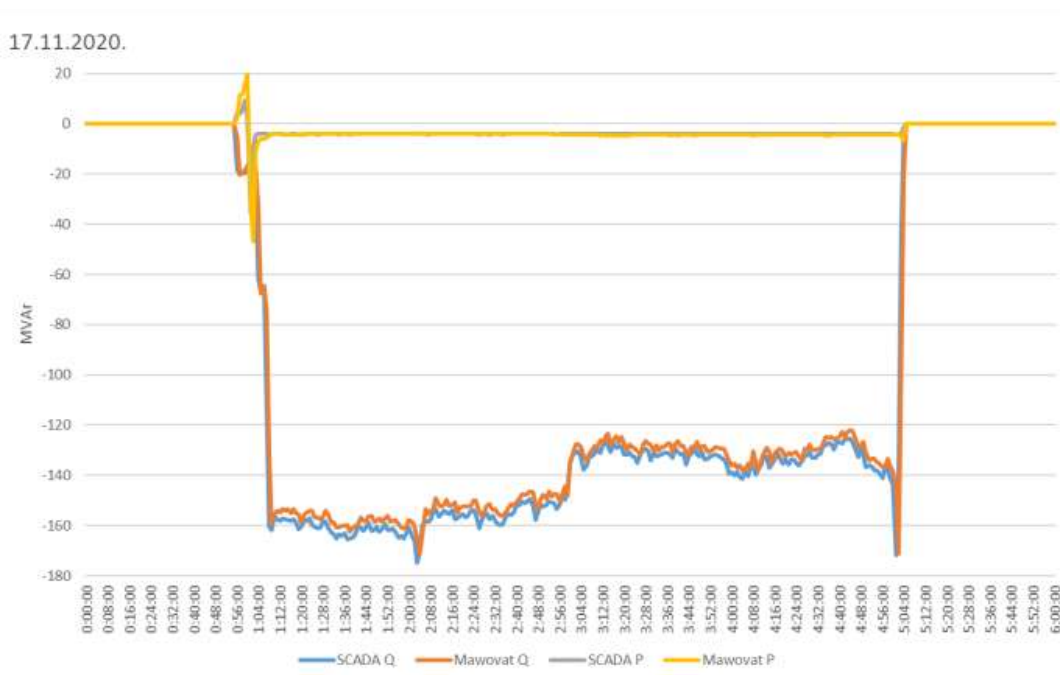
- napon: jednominutne prosječne vrijednosti, najniže i najviše efektivne vrijednosti za svaki interval od jedne minute
- struja: jednominutne prosječne vrijednosti, najniže i najviše efektivne vrijednosti za svaki interval od jedne minute
- aktivna i reaktivna snaga: jednominutne prosječne vrijednosti, najniže i najviše vrijednosti za svaki interval od jedne minute

Na osnovu snimljenih uzoraka napona i struje, mjerni uređaj proračunava aktivnu i reaktivnu snagu. Na Slici 5.17. pokazani su linijski naponi sve tri faze na primarnoj strani blok transformatora generatora G2 u CHE Čapljina izmjereni uređajem MAVOWATT.

Kako bi se potvrdila ispravnost podataka koji su uzimani preko sistema SCADA sa vrijednostima izmjerenim uređajem MAVOWATT, na Slici 5.18. su prikazani dijagrami izmjerenih vrijednosti srednje minutne aktivne i reaktivne snage sa sistema SCADA i uređaja MAVOWATT. Očito je dobro slaganje izmjerenih podataka sa greškom manjom od 2%, što potvrđuje da su podaci sa sistema SCADA u potpunosti vjerodostojni.



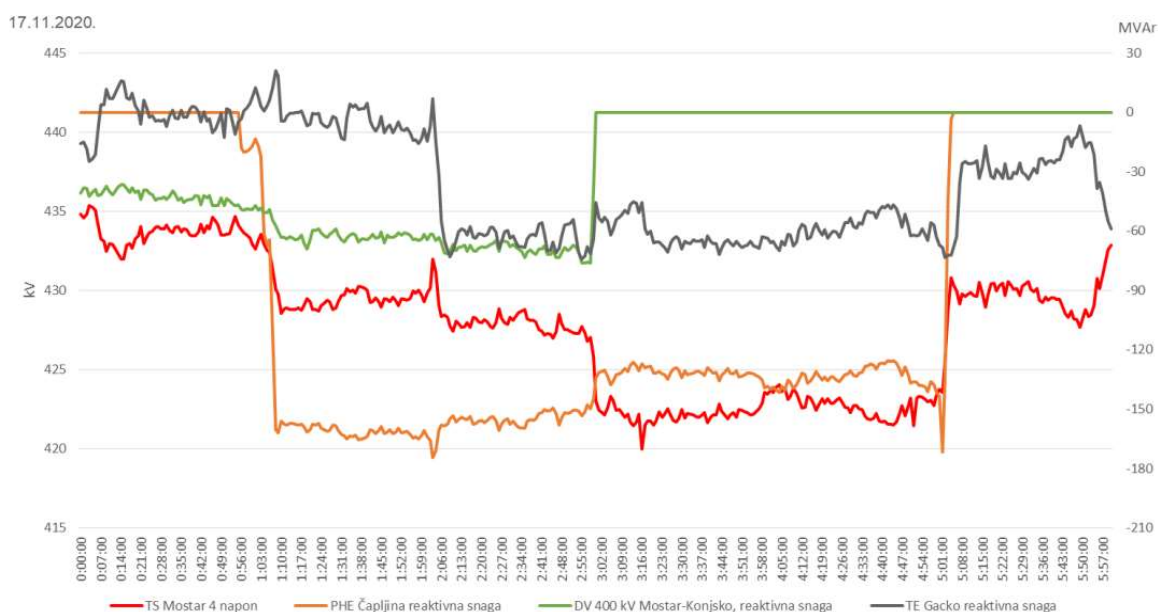
Slika 5.17. Izmjereni linijski naponi tri faze na primarnoj strani blok transformatora G2 u CHE Čapljina



Slika 5.18. Izmjereni P i Q sa uređaja MAVOWATT i sustava SCADA na 220 kV blok transformatoru G2 u CHE Čapljina

### 5.4.6. Ukupni rezultati mjerenja i proračuna

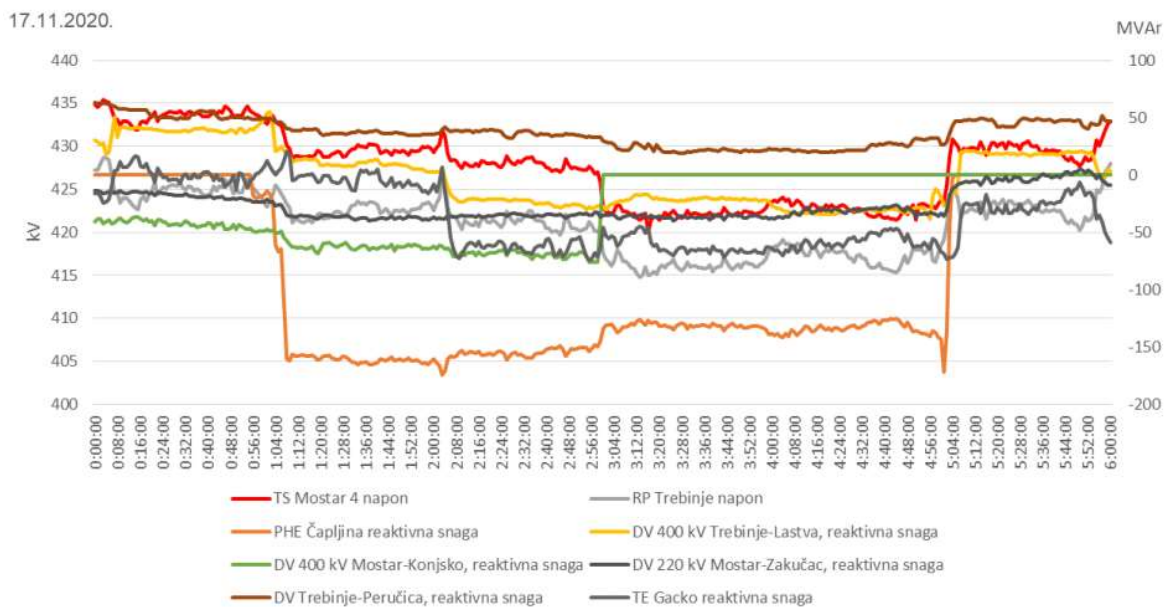
Dijagrami promjene srednjih minutnih vrijednosti 400 kV napona u TS Mostar 4 uz usporedbu promjene srednje minutne reaktivne snage u CHE Čapljina, TE Gacko i na DV Mostar 4 – Konjsko prikazani su na Slici 5.19., pri čemu je preuzimanje reaktivne snage sa predznakom minus. Svi podaci o srednjim minutnim vrijednostima napona i reaktivne snage iz čvorišta 400 kV i 220 kV elektroenergetskog sistema u BiH uzeti su preko sustava SCADA u DC NOSBiH-a.



Slika 5.19. Promjena 400 kV napona u TS Mostar

Kompletan ciklus kompenzatorskog rada CHE Čapljine, naponi 400 kV u TS Mostar 4 i TS Trebinje, promjene srednje minutne reaktivne snage TE Gacko i na DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko, DV 400 kV Trebinje – Lastva, DV 220 kV Mostar 4 – Zakućac, DV 220 kV Trebinje – HE Perućica, od 00:00 do 06:00h, prikazani su na Slici 5.20.





Slika 5.20. Promjena 400 kV napona u TS Mostar u ovisnost od rada CHE Čapljina, TE Gacko i isključenja DV 400 kV Mostar 4-Konjsko

#### 5.4.7. Zaključci mjerenja

U prijenosnoj mreži Bosne i Hercegovina registrirane su visoke vrijednosti i dužine trajanja povišenih napona, kako na naponskom nivou 400 kV (od 2706 sati do 6669 sati za 9 mjeseci i 11 dana), tako i na naponskom nivou 220 kV (od 2638 sati do 6235 sati mjenog perioda). Svako povećanje napona iznad dozvoljenih granica narušava kvalitetu električne energije i ubrzava starenje izolacije opreme.

Dijagram napona za 2020. godinu pokazuje da je smanjenje potrošnje izazvano izlaskom iz pogona potrošača Aluminij d.d. Mostar i pandemijom virusa SARS-CoV-2, te tako uzrokovano dodatno povećanje napona iznad dozvoljenih granica (400 kV → max. 454,79 kV; 200 kV → max. 267,71 kV).

Slabu opterećenost dalekovoda u EES-u pokazuju rezultati proračuna tokova snaga i naponskih prilika, za prvi sat rada 17.11.2020. Povišeni naponi u čvorištima sustava BiH, veći od dozvoljenih vrijednosti 420 kV, 245 kV, 123 kV, posljedica su velikih iznosa kapacitivne snage punjenja prijenosne mreže. Injektiranje reaktivne snage u susjedne elektroenergetske sustave iznose 281,9 MVar.

Značajnije smanjenje napona u bližim transformatorskim stanicama uzrokuje rad CHE Čapljina u kompenzatorskom potpobuđenom načinu rada uz preuzimanje sa prijenosne mreže 161,87 MVar. Na 400 kV naponskom nivou u TS Mostar 4 dolazi do smanjenja napona za 4,9 kV, u TS Gacko za 3,9 kV, a u TS Trebinje za 3,44 kV. U udaljenijim transformatorskim stanicama TS Sarajevo 10 i TS Sarajevo 20 ovo smanjenje napona je pri tom manje i iznosi 2,32 kV, odnosno 2 kV. Na prijenosnoj mreži 220 kV u TS Mostar 4 smanjenje napona iznosi 5,22 kV, u TS Mostar 3 4,2 kV, a u TS Trebinje 2,83 kV.

Rad CHE Čapljine u kompenzatorskom potpobuđenom režimu, te ulazak TE Gacko u potpobuđeni režim rada, uz preuzimanje 72,86 MVar sa mreže prijenosa uzrokuju dodatno sniženje napona u čvorištima dijela EES-a BiH bliže lokaciji priključka CHE Čapljine i TE Gacko. Na 400 kV mreži u TS Mostar 4 zabilježeno je smanjenje napona za 1,99 kV, u TS Gacko 4,32 kV, a u TS Trebinje 1,85 kV. Na 220 kV prijenosnoj mreži u TS Mostar 4 zabilježeno je smanjenje napona za 0,62 kV, u TS Mostar 3 1,25 kV i TS Trebinje 0,78 kV.

U uvjetima rada EES BiH kada CHE Čapljina radi u kompenzatorskom potpobuđenom režimu i TE Gacko radi u kapacitivnom režimu preuzimanjem reaktivne snage sa mreže prijenosa, isključenje DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko, preko koga se injektira 70,25 MVar u EES BiH uzrokuju dodatno smanjenje napona u nekim od čvorišta EES-a BiH. Na 400 kV naponskom nivou, u bližim transformatorskim stanicama dolazi do smanjenja napona: u TS Mostar 4 za 4,9 kV, u TS Gacko za 3,9 kV, a u TS Trebinje za 3,44 kV. U udaljenijim transformatorskim stanicama ovo smanjenje napona je manje i iznosilo je: 2,92 kV u TS Sarajevo10, 2,8 kV u TS Sarajevo 20, 1,08 kV u TS Stanari, 0,96 kV u TS Banja Luka 6, 0,7 kV u TS Ugljevik. Na prijenosnoj mreži 220 kV smanjenje napona je iznosilo: 2,38 kV u TS Mostar 4, 1,61 kV u TS Mostar 3, 3,15 kV u TS Trebinje, 1,2 kV u RP Kakanj, te 1,04 kV u TS Jajce 2.

Kada je isključen DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko, a CHE Čapljina i TE Gacko rade u potpobuđenom režimu rada preuzimanjem reaktivne snage sa mreže prijenosa, ukupno smanjenje napona u odnosu na naponske prilike neposredno prije početka testa u čvorištima EES BiH na 400 kV naponskom nivou iznosilo je: 12,51 kV u TS Mostar 4, 11,97 kV u TS Gacko, 10,23 kV u TS Trebinje, 5,92 kV u TS Sarajevo 10, 5,05 kV u TS Sarajevo 20, 1,57 kV u TS Stanari, 1,29 kV u TS Banja Luka, 1,49 kV u TS Ugljevik i 1,42 kV u TS Višegrad.

Na prijenosnoj mreži 220 kV ukupno smanjenje napona iznosilo je: 8,22 kV u TS Mostar 4, 7,06 kV u TS Mostar 3, 6,76 kV u TS Trebinje, 1,2 kV u RP Kakanj, a 2,41 kV u TS Jajce.

Potpobuđeni režim rada generatora TE Gacko priključenih na prijenosnu mrežu ima značajan utjecaj na regulaciju naponskim prilika, te svi generatori kroz pružanje pomoćne usluge Q/V regulacije, koja prema postojećim tržišnim pravilima, procedurama i metodologijama nije financijski opravdana, znatno doprinose da naponske prilike u EES-u BiH budu bolje.

Kompenzatorski režim rada CHE Čapljine ima utjecaj na smanjenje napona u dijelu EES-a BiH, a na to ukazuju izmjerene veličine napona tijekom provođenja testa. Osjetno je u južnom i nešto manje u središnjem dijelu EES-a BiH, dok u sjevernom dijelu EES-a kompenzatorski režim rada nema većeg utjecaja na naponske prilike. To potvrđuje činjenicu da je problematika naponskih prilika i Q/V regulacije lokalnog karaktera, odnosno, da za dobru sistemsku Q/V regulaciju resursi Q/V regulacije trebaju biti pravilno raspoređeni u cijelom sustavu.

Može se opravdano pretpostaviti, na osnovu dijagrama i analiza za karakteristične transformatorske stanice naponskog nivoa 400 i 220 kV u sustavu, da će u predstojećim godinama neminovno doći do daljnjeg rasta nedozvoljenih napona. Stoga je potrebno žurno preuzeti sve raspoložive mjere kako bi se povišeni naponi sveli na vrijednosti definirane Mrežnim kodeksom.

Vrijednosti napona i dužine trajanja rada transformatorskih stanica, pri nedozvoljenim naponima u 400 kV i 220 kV mreži koje su zabilježene, jesu rekordne, te zahtijevaju hitno rješavanje problema. Ugradnja odgovarajućih kompenzatorskih uređaja, priključenih na 400 kV ili 220 kV mrežu, nameće se kao trajno rješenje. Međutim, kako njihova ugradnja zahtijeva prilično dug period (3-4 godine) neophodno je osigurati uvjete za korištenje sada dostupnih resursa za regulaciju napona. Najbrže i najjednostavnije rješenje, do realizacije navedenih mjera, jeste angažiranje CHE Čapljine uz prethodno izrađenu metodologiju valorizacije troškova kompenzatorskog rada, kao i valorizaciju Q/V regulacije napona koja bi bila stimulativna za dodatno uključanje proizvodnih objekata u potpobudnom režimu rada. Time bi se omogućila veća apsorpcija reaktivne snage iz prijenosne mreže i djelomično ublažavanje naponskih prilika.

Analiza i mjerenja u realnom vremenu, te činjenica da u noćnim režimima rada EES-a BiH najčešće nema dovoljno resursa (proizvodnih jedinica) za potporu Q/V regulacije dokazuju da se adekvatna regulacija naponskih prilika može očekivati tek nakon ugradnje kompenzatorskih uređaja kako u EES BiH, tako i u elektroenergetske sustave susjednih operatora.

## 6. ZAKLJUČAK

Pojava visokih napona u čvorištima elektroenergetskog sustava koja je uočljiva je pri eksploataciji sustava. Operator sustava upravlja naponom i reaktivnom snagom u prijenosnoj mreži elektroenergetskog sustava, te ima obavezu održavanja napona unutar definiranih granica. Kompenzatorski režim rada ima utjecaj na smanjenje napona u dijelovima elektroenergetskog sustava, kao i isključenje dalekovoda u prijenosnoj mreži.

Prijenosna mreža Bosne i Hercegovine koja ima strukturu podopterećenih dalekovoda, iznad dozvoljenih vrijednosti imaju nepovoljan utjecaj na izolaciju opreme, skraćujući njen životni vijek, posebno kada se radi o energetskim transformatorima. Isključenje podopterećenih dalekovoda jedna je od najčešćih mjera koje DC NOSBiH-a koristi u cilju snižavanja napona. Isključenje dalekovoda, odnosno smanjenje primanja reaktivne snage iz susjednog elektroenergetskog sustava, dovelo bi do dodatnog sniženja napona.

U pogonskim uvjetima rada elektroenergetskog sustava sa isključenim podopterećenim dalekovodom, uz kompenzatorski rad pojedinih elektrana, znatno se doprinosi poboljšanju naponskih prilika u elektroenergetskom sustavu.

Analiza rada CHE Čapljina u regulaciji naponskih prilika, koja ima značajan utjecaj u elektroenergetskoj mreži, praktično je prikazala poboljšanje naponskog stanja u elektroenergetskom sustavu Bosne i Hercegovine. Mjerenja tijekom provođenja testa u realnom vremenu jasno su ukazala na bolje naponske prilike u dijelovima elektroenergetskog sustava.

Zabilježene rekordne vrijednosti napona i dužine trajanja rada transformatorskih stanica pri nedozvoljenim naponima u 400 kV i 220 kV mreži, zahtijevaju rješavanje problema i pronalazak trajnog rješenja. Adekvatna regulacija naponskih prilika može se očekivati tek nakon ugradnje kompenzatorskih uređaja u elektroenergetskom sustavu.

## LITERATURA

- [1] IEC 60038, "IEC standard voltages", edition 6.2, 2002-2007.
- [2] NOSBiH, "Mrežni kodeks", Sarajevo, januar, 2019.
- [3] NOSBiH, elaborat "Identifikacija nedozvoljenih napona na prijenosnoj mreži BiH", Sarajevo, 2010.
- [4] Požar E. i H. „Tehno-ekonomski aspekti regulacije napona kao pomoćne (sistemske) usluge – identifikacija i sanacija nedozvoljenih napona na prijenosnoj mreži BiH“, Zagreb, svibanj 2012.
- [5] Brošura „30 godina CHE Čapljina“, JP EP HZHB, 2009.
- [6] „Nacrt plana razvoja prijenosne mreže za period 2011. – 2020.“, Elektroprijenos BiH, studeni 2010.
- [7] Rusanov N., Vučina S., Stojsavljević M., Nemeć D. „Asinkroni start agregata CHE Čapljina u stvarnim uvjetima elektroenergetskih sustava Bosne i Hercegovine i Hrvatske“, časopis Energija br. 52, 2003.
- [8] Ožegović M. i K. „Električne energetske mreže IV“, Split, 1999.
- [9] Goić R., Jakus D., Penović I. „Distribucija električne energije“, Split, 2008.
- [10] Žerjav M. „Modeliranje prijenosnog elektroenergetskog sustava u programskom paketu Neplan“, Varaždin, rujan 2020.
- [11] [https://en.wikipedia.org/wiki/COVID-19\\_pandemic](https://en.wikipedia.org/wiki/COVID-19_pandemic) [11.05.2021.]
- [12] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dne\\_mre%C5%BEe](https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dne_mre%C5%BEe) [09.10.2020.]
- [13] PSS/E, PSS/E (Power System Simulator Siemens Energy, Inc, Power Technologies International).

**POPIS SLIKA**

|  |    |
|--|----|
| Slika 2.1. Elektroenergetska mreža.....  | 4  |
| Slika 2.2. Podjela elektrana prema izvoru energije .....                             | 5  |
| Slika 2.3. Elektrane i elektroprijenos u Bosni i Hercegovini .....                   | 6  |
| Slika 4.1. Obilježene TS EES-a BiH u kojima je mjeran napon .....                    | 21 |
| Slika 4.2. Mjesečni rad TS Mostar 4 (400 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 godina | 22 |
| Slika 4.3. Mjesečni rad TS Mostar 4 (220 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 godina | 22 |
| Slika 4.4. Mjesečni rad TS Trebinje (400 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 godina | 22 |
| Slika 4.5. Mjesečni rad TS Trebinje (220 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 godina | 23 |
| Slika 4.6. Mjesečni rad TS Sarajevo 10 (400 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 god | 23 |
| Slika 4.7. Mjesečni rad TS Banja Luka 6(400 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 god | 23 |
| Slika 4.8. Mjesečni rad TS Tuzla 4 (400 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 godina  | 24 |
| Slika 4.9. Mjesečni rad TS Tuzla 4 (220 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 godina  | 24 |
| Slika 4.10. Dijagram promjene napona u TS Mostar 4 (400 kV) tijekom 2020. ....       | 26 |
| Slika 4.11. Dijagram trajanja napona u TS Mostar 4 (400 kV) tijekom 2020. ....       | 26 |
| Slika 4.12. Dijagram promjene napona u TS Mostar 4 (220 kV) tijekom 2020. ....       | 27 |
| Slika 4.13. Dijagram trajanja napona u TS Mostar 4 (220 kV) tijekom 2020. ....       | 27 |
| Slika 4.14. Dijagram promjene napona u TS Mostar 4 (220 kV) tijekom 2020. ....       | 28 |
| Slika 4.15. Dijagram trajanja napona u TS Mostar 4 (110 kV) tijekom 2020. ....       | 28 |
| Slika 4.16. Dijagram promjene napona u TS Trebinje (400 kV) tijekom 2020. ....       | 29 |
| Slika 4.17. Dijagram trajanja napona u TS Trebinje (400 kV) tijekom 2020. ....       | 30 |
| Slika 4.18. Dijagram promjene napona u TS Trebinje (220 kV) tijekom 2020. ....       | 30 |
| Slika 4.19. Dijagram trajanja napona u TS Trebinje (220 kV) tijekom 2020. ....       | 31 |
| Slika 4.20. Dijagram promjene napona u TS Trebinje (110 kV) tijekom 2020. ....       | 31 |
| Slika 4.21. Dijagram trajanja napona u TS Trebinje (110 kV) tijekom 2020. ....       | 32 |
| Slika 4.22. Dijagram promjene napona u TS Sarajevo 10 (400 kV) tijekom 2020. ....    | 32 |
| Slika 4.23. Dijagram trajanja napona u TS Sarajevo 10 (400 kV) tijekom 2020. ....    | 33 |
| Slika 4.24. Dijagram promjene napona u TS Sarajevo 10 (110 kV) tijekom 2020. ....    | 34 |
| Slika 4.25. Dijagram trajanja napona u TS Sarajevo 10 (400 kV) tijekom 2020. ....    | 34 |
| Slika 4.26. Dijagram promjene napona u TS Banja Luka 6 (400 kV) tijekom 2020. ....   | 35 |
| Slika 4.27. Dijagram trajanja napona u TS Banja Luka 6 (400 kV) tijekom 2020. ....   | 35 |
| Slika 4.28. Dijagram promjene napona u TS Banja Luka 6 (110 kV) tijekom 2020. ....   | 36 |
| Slika 4.29. Dijagram trajanja napona u TS Banja Luka 6 (110 kV) tijekom 2020. ....   | 36 |
| Slika 4.30. Dijagram promjene napona u TS Tuzla 4 (400 kV) tijekom 2020. ....        | 37 |
| Slika 4.31. Dijagram trajanja napona u TS Tuzla 4 (400 kV) tijekom 2020. ....        | 37 |
| Slika 4.32. Dijagram promjene napona u TS Tuzla 4 (220 kV) tijekom 2020. ....        | 38 |
| Slika 4.33. Dijagram trajanja napona u TS Tuzla 4 (220 kV) tijekom 2020. ....        | 38 |
| Slika 4.34. Dijagram promjene napona u TS Tuzla 4 (110 kV) tijekom 2020. ....        | 39 |
| Slika 4.35. Dijagram trajanja napona u TS Tuzla 4 (110 kV) tijekom 2020. ....        | 39 |
| Slika 4.36. Dijagram promjene napona u TS Prijedor 2 (220 kV) tijekom 2020. ....     | 40 |

|  |    |
|--|----|
| Slika 4.37. Dijagram trajanja napona u TS Prijedor 2 (220 kV) tijekom 2020.....  | 40 |
| Slika 4.38. Dijagram promjene napona u TS Prijedor 2 (110 kV) tijekom 2020.....  | 41 |
| Slika 4.39. Dijagram trajanja napona u TS Prijedor 2 (110 kV) tijekom 2020.....  | 42 |
| Slika 5.1. Dnevni dijagram proizvodnje i potrošnje u BiH za 17.11.2020. godine.....  | 46 |
| Slika 5.2. Uklopno stanje, tokovi snaga i naponske prilike u EES-u BiH, 17.11.2020. za prvi sat rada sustava, od 00:00 do 01:00 h .....                                  | 48 |
| Slika 5.3. Uklopno stanje, tokovi snaga i naponske prilike u EES-u BiH, 17.11.2020. u 00:55 h, neposredno prije početka testa (preuzeto sa SCADA/EMS sustava NOSBiH-a).. | 49 |
| Slika 5.4. Aktivna i reaktivna 5-sekundna snaga pri ulasku CHE Čapljine u kompenzatorski potpobuđeni način rada.....   | 53 |
| Slika 5.5. Promjena reaktivne snage na međunarodnim DV nakon ulaska CHE Čapljina..   | 56 |
| Slika 5.6. Naponi u TS Mostar 4, TS Gacko i TS Trebinje prije i nakon ulaska TE Gacko  | 58 |
| Slika 5.7. Promjena reaktivne snage nakon ulaska TE Gacko .....  | 60 |
| Slika 5.8. Naponi u TS Mostar 4, TS Gacko i TS Trebinje prije i nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko .....   | 62 |
| Slika 5.9. Naponi u TS Sarajevo 10 i TS Sarajevo 20 prije i nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko.....  | 63 |
| Slika 5.10. Naponi u TS Mostar 4, TS Mostar 3 i TS Trebinje prije i nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko .....   | 63 |
| 5.11. Promjena reaktivne snage na međunarodnim DV nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko.....  | 66 |
| Slika 5.12. Naponi u TS Mostar 4, TS Gacko i TS Trebinje nakon izlaska CHE Čapljine.   | 68 |
| Slika 5.13. Naponi u TS Sarajevo 10 i TS Sarajevo 20 nakon izlaska CHE Čapljine .....  | 68 |
| Slika 5.14. Naponi u TS Mostar 4 i TS Trebinje nakon izlaska CHE Čapljina .....  | 69 |
| Slika 5.15. Promjena reaktivne snage na vezama DV nakon izlaska CHE Čapljina.....  | 71 |
| Slika 5.16. Aktivna i reaktivna 5-sekundna snaga pri izlasku CHE Čapljina iz pogona.....   | 71 |
| Slika 5.17. Izmjereni linijski naponi tri faze na primarnoj strani blok transformatora G2 u CHE Čapljina.....  | 73 |
| Slika 5.18. Izmjereni P i Q sa uređaja MAVOWATT i sustava SCADA na 220 kV blok transformatoru G2 u CHE Čapljina .....  | 73 |
| Slika 5.19. Promjena 400 kV napona u TS Mostar .....   | 74 |
| Slika 5.20. Promjena 400 kV napona u TS Mostar u ovisnost od rada CHE Čapljina, TE Gacko i isključenja DV 400 kV Mostar 4-Konjsko.....                                   | 75 |



**POPIS TABLICA**

|  |    |
|--|----|
| Tablica 2.1. Strujna opterećenja vodova .....  | 11 |
| Tablica 4.1. Broj sati rada TS pri naponu većem od dozvoljene vrijednosti u 2016.....                                  | 18 |
| Tablica 4.2. Broj sati rada TS pri naponu većem od dozvoljene vrijednosti u 2017.....                                  | 19 |
| Tablica 4.3. Broj sati rada TS pri naponu većem od dozvoljene vrijednosti u 2018.....                                  | 19 |
| Tablica 4.4. Broj sati rada TS pri naponu većem od dozvoljene vrijednosti u 2019.....                                  | 20 |
| Tablica 4.5. Broj sati rada TS pri naponu većem od dozvoljene vrijednosti u periodu od<br>1.1.2020. do 11.10.2020..... | 20 |
| Tablica 5.1 Bilanca snaga elektroenergetskog sustava BiH.....  | 47 |
| Tablica 5.2. Tokovi po međunarodnim dalekovodima EES BiH.....  | 47 |
| Tablica 5.3. Proizvodni objekti na 400 kV mreži.....   | 50 |
| Tablica 5.4. Proizvodni objekti na 220 kV mreži.....   | 50 |
| Tablica 5.5. Naponske prilike u 400 kV i 220 kV mreži .....  | 51 |
| Tablica 5.6. Tokovi na dalekovodima 400 kV i 220 kV .....  | 51 |
| Tablica 5.7. Bilanca razmjene reaktivne snage .....  | 52 |
| Tablica 5.8. Naponi u 400 kV čvorištima prije i nakon ulaska CHE Čapljina .....  | 53 |
| Tablica 5.9. Naponi u 220 kV čvorištima prije i nakon ulaska CHE Čapljina .....  | 54 |
| Tablica 5.10. Tokovi Q na dalekovodima 400 kV nakon ulaska CHE Čapljina u<br>kompenzatorski rad.....                   | 54 |
| Tablica 5.11. Tokovi Q na dalekovodima 400 kV nakon ulaska CHE Čapljina u<br>kompenzatorski rad.....                   | 55 |
| Tablica 5.12. Bilanca razmjene reaktivne snage nakon ulaska CHE Čapljina u<br>kompenzatorski rad.....                  | 55 |
| Tablica 5.13. Naponi u 400 kV čvorištima prije i nakon ulaska TE Gacko .....   | 57 |
| Tablica 5.14. Naponi u 220 kV čvorištima prije i nakon ulaska TE Gacko .....   | 57 |
| Tablica 5.15. Tokovi na dalekovodima 400 kV nakon ulaska TE Gacko u kompenzatorski<br>rad .....                        | 59 |
| Tablica 5.16. Tokovi na dalekovodima 220 kV nakon ulaska TE Gacko u kompenzatorski<br>rad .....                        | 59 |
| Tablica 5.17. Bilanca razmjene reaktivne snage nakon ulaska TE Gacko u kompenzatorski<br>rad .....                     | 59 |
| Tablica 5.18. Naponi u čvorištima prije i nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 - Konjsko<br>.....                      | 61 |
| Tablica 5.19. Naponi u čvorištima prije i nakon isključenja DV 220 kV Mostar 4 - Konjsko<br>.....                      | 62 |
| Tablica 5.20. Naponi u 400 kV čvorištima nakon isključenja DV 400 kV Mostar – Konjsko<br>.....                         | 64 |
| Tablica 5.21. Naponi u 220 kV čvorištima nakon isključenja DV 400 kV Mostar – Konjsko<br>.....                         | 64 |

---

|  |    |
|--|----|
| Tablica 5.22. Tokovi na dalekovodima 400 kV nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 -<br>Konjsko .....    | 65 |
| Tablica 5.23. Tokovi na dalekovodima 220 kV nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 -<br>Konjsko .....    | 65 |
| Tablica 5.24. Bilanca razmjene reaktivne snage nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 -<br>Konjsko ..... | 66 |
| Tablica 5.25. Naponi u 400 kV čvorištima nakon izlaska HE i TE iz potpobuđenog režima<br>.....         | 67 |
| Tablica 5.26. Naponi u 220 kV čvorištima nakon izlaska HE i TE iz potpobuđenog režima<br>.....         | 67 |
| Tablica 5.27. Tokovi Q na DV 400 kV nakon izlaska CHE Čapljina .....                                   | 69 |
| Tablica 5.28. Tokovi Q na DV 220 kV nakon izlaska CHE Čapljina .....                                   | 70 |
| Tablica 5.29. Bilanca razmjene reaktivne snage nakon izlaska CHE Čapljina.....                         | 70 |

## **PRILOZI**

Prilog 1 – Analize reaktivnih snaga na 400 kV međunarodnim dalekovodima

Prilog 2 – Analize reaktivnih snaga na 220 kV međunarodnim dalekovodima

Prilog 3 – Opterećenje elemenata EES-a BiH

Prilog 4 – Bilanca snaga EES-a BiH po elementima i naponskim nivoima

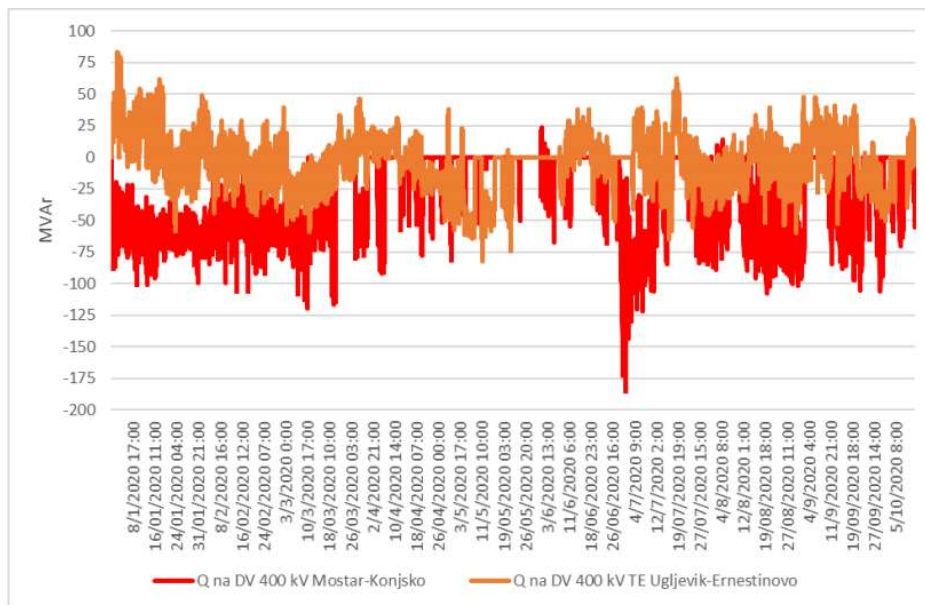
Prilog 5 – Pregled napona EES-a BiH

Prilog 6 – Bilanca snaga i pregled napona EES-a Hrvatske

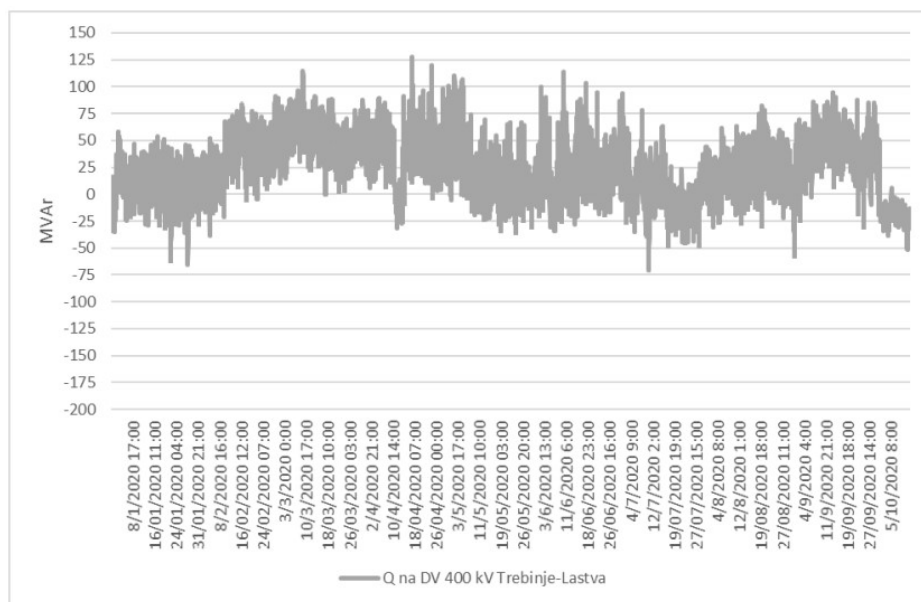
Prilog 7 – Bilanca snaga i pregled napona EES-a Srbije

## Prilog 1

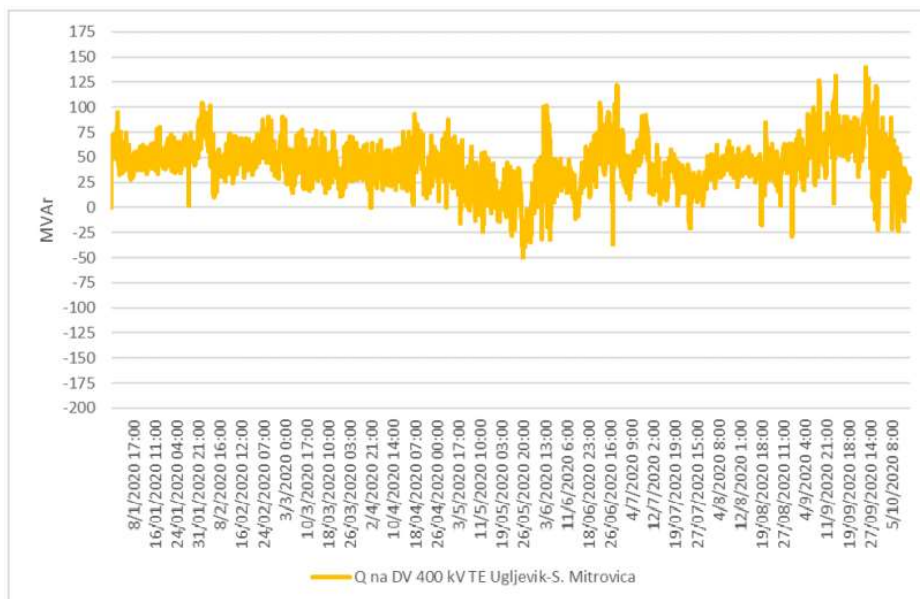
## Analize reaktivnih snaga na 400 kV međunarodnim dalekovodima



Slika 1. Srednja satna reaktivna snaga na međunarodnom DV 400 kV sa Hrvatskom



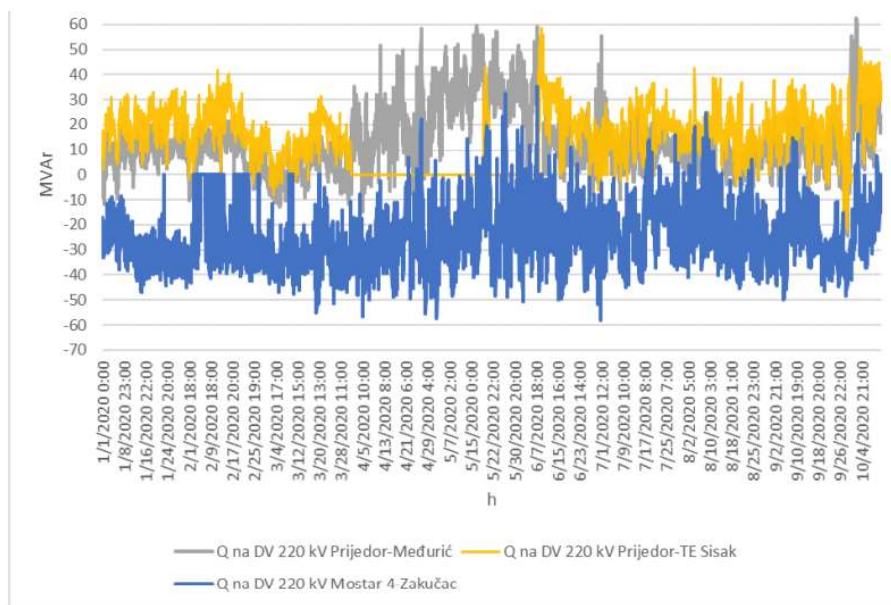
Slika 2. Srednja satna reaktivna snaga na međunarodnom DV 400 kV sa Crnom Gorom



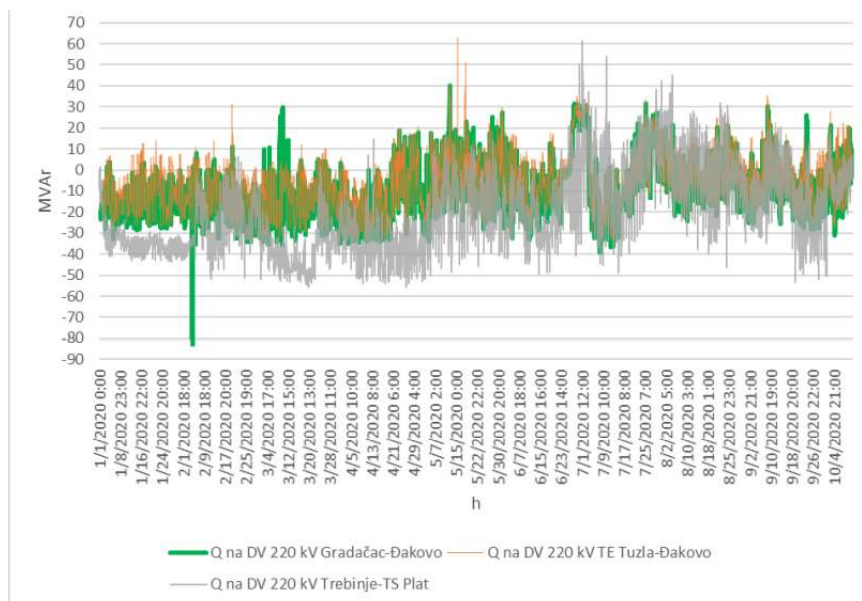
Slika 3. Srednja satna reaktivna snaga na međunarodnom DV 400 kV sa Srbijom

## Prilog 2

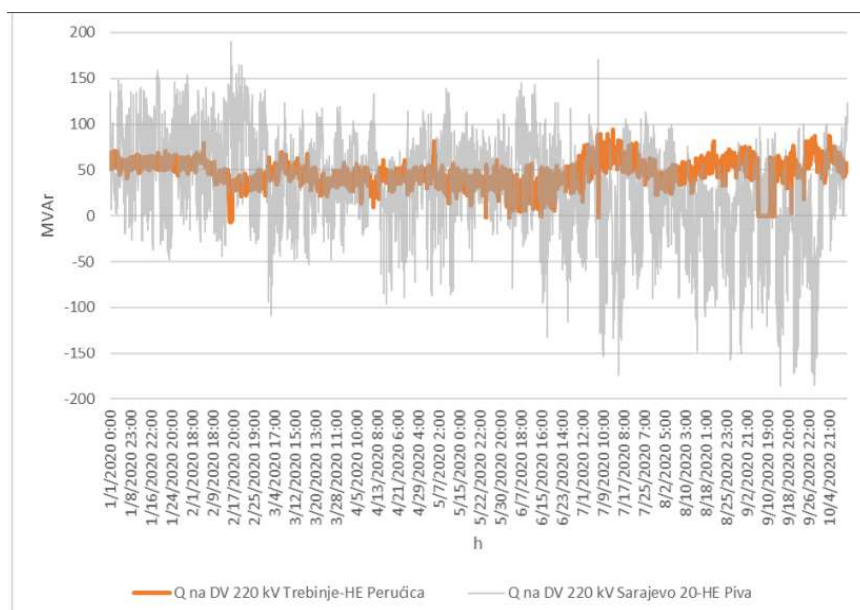
## Analize reaktivnih snaga na 220 kV međunarodnim dalekovodima



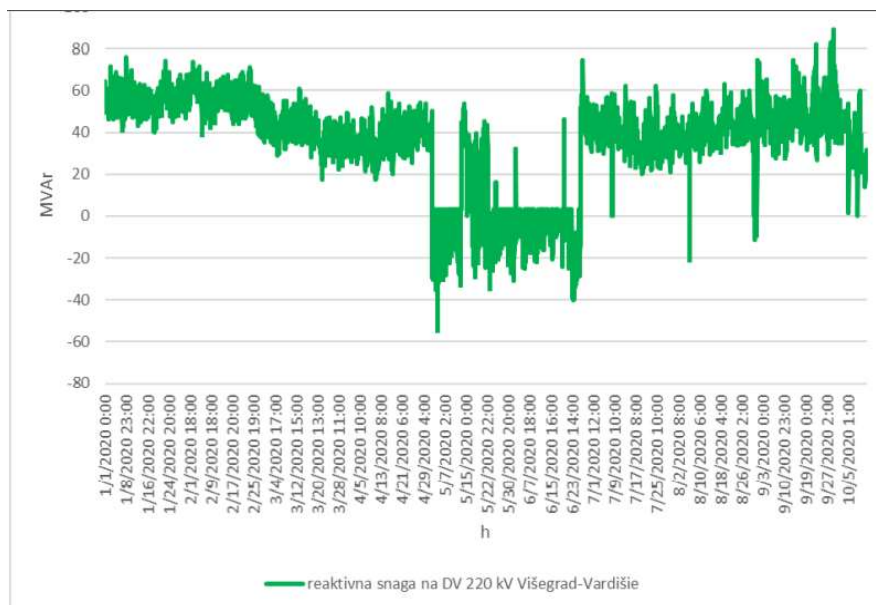
## Srednja satna reaktivna snaga na međunarodnom DV 220 kV sa Hrvatskom



## Srednja satna reaktivna snaga na međunarodnom DV 220 kV sa Hrvatskom



Srednja satna reaktivna snaga na međunarodnom DV 220 kV sa Crnom Gorom



Srednja satna reaktivna snaga na međunarodnom DV 220 kV sa Srbijom

## Prilog 3

## Opterećenje elemenata EES-a BiH

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS (R)E MON, DEC 21 2020 15:20  
 EES BIH, KOMPENZATORSKI REZIM RADA CHE CAPLJINA  
 17.11.2020. PRVI SAT RADA EES BIH

OUTPUT FOR AREA 13 [BA ]  
 SUBSYSTEM LOADING CHECK (INCLUDED: LINES; BREAKERS AND SWITCHES; TRANSFORMERS) (EXCLUDED: NONE)  
 LOADINGS ABOVE 15.0 % OF RATING SET A (MVA FOR TRANSFORMERS, CURRENT FOR NON-TRANSFORMER BRANCHES):

| X----- FROM BUS -----X X----- TO BUS -----X |                         |        |                         |      |         |        |         |
|---|-------------------------|--------|-------------------------|------|---------|--------|---------|
| BUS#  | X-- NAME --X BASKV AREA | BUS#   | X-- NAME --X BASKV AREA | CKT  | LOADING | RATING | PERCENT |
| 13110                                       | XTR LA11 400.00* 1338   | 130120 | WTREBI1 400.00          | 13 1 | 558.7   | 1330.0 | 42.0    |
| 130100                                      | WBLUK61 400.00*         | 13     | 3WNDTR WND 1            | 13 1 | 61.5    | 300.0  | 20.5    |
| 130100                                      | WBLUK61 400.00*         | 13     | 3WNDTR WND 1            | 13 2 | 60.3    | 300.0  | 20.1    |
| 130110                                      | WSAR201 400.00*         | 13     | 3WNDTR WND 1            | 13 1 | 101.7   | 400.0  | 25.4    |
| 130115                                      | WTGACK1 400.00          | 13     | 130120 WTREBI1 400.00*  | 13 1 | 443.0   | 1330.0 | 33.3    |
| 130115                                      | WTGACK1 400.00          | 13     | 132031 WTGACKG1 20.000* | 13 1 | 206.4   | 450.0  | 45.9    |
| 130115                                      | WTGACK1 400.00*         | 13     | 137100 WMOST41 400.00   | 13 1 | 249.0   | 1330.0 | 18.7    |
| 130120                                      | WTREBI1 400.00*         | 13     | 3WNDTR WND 1            | 13 1 | 127.1   | 400.0  | 31.8    |
| 130125                                      | WTSTAN1 400.00*         | 13     | 132081 WTSTANG 20.000   | 13 1 | 276.9   | 370.0  | 74.8    |
| 130130                                      | WTUGLJ1 400.00*         | 13     | 132041 WTUGLJG1 20.000  | 13 1 | 215.9   | 400.0  | 54.0    |

OUTPUT FOR AREA 13 [BA ]  
 SUBSYSTEM LOADING CHECK (INCLUDED: LINES; BREAKERS AND SWITCHES; TRANSFORMERS) (EXCLUDED: NONE)  
 LOADINGS ABOVE 30.0 % OF RATING SET A (MVA FOR TRANSFORMERS, CURRENT FOR NON-TRANSFORMER BRANCHES):

| X----- FROM BUS -----X X----- TO BUS -----X |                         |        |                         |      |         |        |         |
|---|-------------------------|--------|-------------------------|------|---------|--------|---------|
| BUS#  | X-- NAME --X BASKV AREA | BUS#   | X-- NAME --X BASKV AREA | CKT  | LOADING | RATING | PERCENT |
| 13222                                       | XTR PE21 220.00* 1338   | 130215 | WTREBI2 220.00          | 13 1 | 183.0   | 301.0  | 60.8    |
| 13231                                       | XVI VA21 220.00*        | 1346   | 130220 WWISEG2 220.00   | 13 1 | 164.6   | 301.0  | 54.7    |
| 130215                                      | WTREBI2 220.00*         | 13     | 137220 WMOST32 220.00   | 13 1 | 91.2    | 301.0  | 30.3    |
| 130215                                      | WTREBI2 220.00*         | 13     | 137220 WMOST32 220.00   | 13 2 | 90.9    | 301.0  | 30.2    |
| 130215                                      | WTREBI2 220.00*         | 13     | 3WNDTR WND 2            | 13 1 | 126.3   | 400.0  | 31.6    |
| 130215                                      | WTREBI2 220.00*         | 13     | 3WNDTR WND 1            | 13 2 | 52.6    | 150.0  | 35.0    |
| 130220                                      | WWISEG2 220.00*         | 13     | 3WNDTR WND 2            | 13 2 | 182.1   | 400.0  | 45.5    |
| 133220                                      | WRPJAB2 220.00*         | 13     | 137220 WMOST32 220.00   | 13 1 | 108.2   | 301.0  | 35.9    |
| 133225                                      | WRPKAK2 220.00          | 13     | 133230 WTKAK52 220.00*  | 13 1 | 111.4   | 301.0  | 37.0    |
| 133230                                      | WTKAK52 220.00*         | 13     | 135037 WTKAKAG7 15.750  | 13 1 | 167.5   | 250.0  | 67.0    |
| 133240                                      | WTTUZL2 220.00          | 13     | 135045 WTTUZLG5 15.750* | 13 1 | 134.1   | 240.0  | 55.9    |
| 133245                                      | WTTUZL6 220.00*         | 13     | 133250 WTTUZL42 220.00  | 13 1 | 145.7   | 365.5  | 39.9    |
| 133245                                      | WTTUZL6 220.00*         | 13     | 135046 WTTUZLG6 15.750  | 13 1 | 163.0   | 240.0  | 67.9    |
| 137210                                      | WHRAMA2 220.00*         | 13     | 139061 WHRAMAG1 15.650  | 13 1 | 70.7    | 90.0   | 78.6    |

OUTPUT FOR AREA 13 [BA ]  
 SUBSYSTEM LOADING CHECK (INCLUDED: LINES; BREAKERS AND SWITCHES; TRANSFORMERS) (EXCLUDED: NONE)  
 LOADINGS ABOVE 30.0 % OF RATING SET A (MVA FOR TRANSFORMERS, CURRENT FOR NON-TRANSFORMER BRANCHES):

| X----- FROM BUS -----X X----- TO BUS -----X |                         |      |                         |      |         |        |         |
|---|-------------------------|------|-------------------------|------|---------|--------|---------|
| BUS#  | X-- NAME --X BASKV AREA | BUS# | X-- NAME --X BASKV AREA | CKT  | LOADING | RATING | PERCENT |
| 13511                                       | XTR KO51 110.00*        | 138  | 131345 WTREBI5 110.00   | 13 1 | 40.8    | 122.0  | 33.5    |
| 13521                                       | XBI NI51 110.00*        | 1338 | 131005 WBILEC5 110.00   | 13 1 | 43.2    | 122.0  | 35.4    |
| 131010                                      | WBJEL15 110.00*         | 13   | 131015 WBJEL25 110.00   | 13 1 | 47.5    | 122.0  | 38.9    |
| 131015                                      | WBJEL25 110.00*         | 13   | 131355 WTUGLJ5 110.00   | 13 1 | 48.2    | 122.0  | 39.5    |
| 131040                                      | WBLUK15 110.00*         | 13   | 131065 WBLUK65 110.00   | 13 1 | 42.4    | 122.0  | 34.7    |
| 131040                                      | WBLUK15 110.00*         | 13   | 131065 WBLUK65 110.00   | 13 2 | 38.0    | 122.0  | 31.2    |
| 131340                                      | WTREBI5 110.00*         | 13   | 131345 WTREBI5 110.00   | 13 1 | 39.0    | 122.0  | 32.0    |
| 131345                                      | WTREBI5 110.00*         | 13   | 3WNDTR WND 2            | 13 2 | 50.3    | 150.0  | 33.5    |
| 131355                                      | WTUGLJ5 110.00          | 13   | 131380 WZVORN5 110.00*  | 13 1 | 43.1    | 122.0  | 35.3    |
| 131355                                      | WTUGLJ5 110.00*         | 13   | 3WNDTR WND 2            | 13 1 | 108.6   | 300.0  | 36.2    |
| 134075                                      | WDOBRI5 110.00*         | 13   | 134330 WTKAKA5 110.00   | 13 1 | 47.1    | 122.0  | 38.6    |
| 134075                                      | WDOBRI5 110.00          | 13   | 134385 WVISOK5 110.00*  | 13 1 | 47.1    | 111.0  | 42.4    |
| 134130                                      | WHJABL5 110.00          | 13   | 135011 WHJABLG1 6.3000* | 13 1 | 22.7    | 36.0   | 63.2    |
| 134130                                      | WHJABL5 110.00          | 13   | 135012 WHJABLG2 6.3000* | 13 2 | 22.7    | 36.0   | 63.2    |
| 134195                                      | WLUKA15 110.00          | 13   | 136196 WLUKALD2 35.000* | 13 2 | 8.9     | 20.0   | 44.7    |
| 134330                                      | WTKAKA5 110.00          | 13   | 135035 WTKAKAG5 13.800* | 13 1 | 82.5    | 147.5  | 55.9    |
| 134330                                      | WTKAKA5 110.00          | 13   | 135036 WTKAKAG6 13.800* | 13 1 | 79.3    | 137.5  | 57.6    |
| 138040                                      | WGRUDE5 110.00          | 13   | 138060 WHMLIN5 110.00*  | 13 1 | 21.0    | 68.6   | 30.6    |
| 138060                                      | WHMLIN5 110.00          | 13   | 138160 WPOSUS5 110.00*  | 13 1 | 21.1    | 68.6   | 30.8    |
| 138065                                      | WHMOST5 110.00          | 13   | 139051 WHMOSTG1 10.500* | 13 1 | 13.5    | 30.0   | 44.9    |
| 138186                                      | WGBRIS5 110.00*         | 13   | 139103 WWMESIG 20.000   | 13 1 | 14.4    | 40.0   | 35.9    |
| 138186                                      | WGBRIS5 110.00*         | 13   | 139103 WWMESIG 20.000   | 13 2 | 14.4    | 40.0   | 35.9    |
| 138187                                      | WJELOV5 110.00*         | 13   | 139902 WWJELOG 33.000   | 13 1 | 21.4    | 40.0   | 53.5    |



## Prilog 4

## Bilanca snaga EES-a BiH po elementima i naponskim nivoima

|                           |        | X----- | ACTUAL | -----X | X-----      | NOMINAL | -----X   |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|-------------|---------|----------|
|                           |        |        | MW     |        | MVAR        | MW      | MVAR     |
| FROM GENERATION           |        |        | 1591.0 |        | -6.4        | 1591.0  | -6.4     |
| FROM INDUCTION GENERATORS |        |        | 0.0    |        | 0.0         | 0.0     | 0.0      |
| TO CONSTANT POWER LOAD    |        |        | 969.0  |        | 210.2       | 969.0   | 210.2    |
| TO CONSTANT CURRENT       |        |        | 0.0    |        | 0.0         | 0.0     | 0.0      |
| TO CONSTANT ADMITTANCE    |        |        | 0.0    |        | 0.0         | 0.0     | 0.0      |
| TO INDUCTION MOTORS       |        |        | 0.0    |        | 0.0         | 0.0     | 0.0      |
| TO BUS SHUNT              |        |        | 0.0    |        | 0.0         | 0.0     | 0.0      |
| TO FACTS DEVICE SHUNT     |        |        | 0.0    |        | 0.0         | 0.0     | 0.0      |
| TO GNE BUS DEVICES        |        |        | 0.0    |        | 0.0         | 0.0     | 0.0      |
| TO LINE SHUNT             |        |        | 14.5   |        | 145.1       | 12.3    | 123.4    |
| FROM LINE CHARGING        |        |        | 0.0    |        | 964.6       | 0.0     | 819.7    |
| VOLTAGE                   | X----- | LOSSES | -----X | X--    | LINE SHUNTS | --X     | CHARGING |
| LEVEL BRANCHES            |        | MW     | MVAR   |        | MW          | MVAR    | MVAR     |
| 400.0                     | 14     | 8.13   | 82.21  |        | 0.0         | 0.0     | 526.4    |
| 220.0                     | 45     | 8.27   | 61.15  |        | 0.8         | 9.7     | 269.2    |
| 110.0                     | 260    | 10.21  | 50.80  |        | 2.2         | 21.9    | 168.8    |
| 42.0                      | 9      | 0.00   | 0.00   |        | 0.2         | 1.6     | 0.0      |
| 35.0                      | 150    | 0.06   | 0.93   |        | 3.6         | 35.6    | 0.2      |
| 33.0                      | 1      | 0.04   | 1.08   |        | 0.0         | 0.1     | 0.0      |
| 30.0                      | 2      | 0.00   | 0.00   |        | 0.1         | 0.1     | 0.0      |
| 20.0                      | 51     | 1.01   | 54.96  |        | 1.9         | 16.8    | 0.0      |
| 15.8                      | 5      | 0.99   | 41.17  |        | 0.9         | 9.2     | 0.0      |
| 15.7                      | 2      | 0.00   | 0.00   |        | 0.3         | 2.9     | 0.0      |
| 15.6                      | 2      | 0.16   | 5.87   |        | 0.2         | 1.8     | 0.0      |
| 14.4                      | 1      | 0.19   | 7.66   |        | 0.0         | 0.0     | 0.0      |
| 13.8                      | 5      | 0.14   | 10.23  |        | 0.4         | 4.8     | 0.0      |
| 10.5                      | 14     | 0.05   | 1.73   |        | 0.5         | 3.9     | 0.0      |
| 10.0                      | 155    | 0.00   | 0.00   |        | 3.3         | 34.4    | 0.0      |
| 6.3                       | 9      | 0.08   | 3.25   |        | 0.2         | 1.5     | 0.0      |
| 6.0                       | 4      | 0.00   | 0.00   |        | 0.1         | 0.7     | 0.0      |
| TOTAL                     | 729    | 29.32  | 321.06 |        | 14.5        | 145.1   | 964.6    |

## Prilog 5

## Pregled napona EES-a BiH

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E MON, DEC 21 2020 15:39  
 EES BIH, KOMPENZATORSKI REZIM RADA CHE CAPLJINA  
 17.11.2020. PRVI SAT RADA EES BIH

## BUSES WITH VOLTAGE GREATER THAN 1.0500:

| BUS#   | X-- | NAME    | --X | BASKV  | AREA | V(PU)  | V(KV)  | BUS#   | X-- | NAME    | --X | BASKV  | AREA | V(PU)  | V(KV)  |
|--------|-----|---------|-----|--------|------|--------|--------|--------|-----|---------|-----|--------|------|--------|--------|
| 130100 |     | WBLUK61 |     | 400.00 | 13   | 1.0657 | 426.30 | 130105 |     | WHVSGR1 |     | 400.00 | 13   | 1.0528 | 421.14 |
| 130110 |     | WSAR201 |     | 400.00 | 13   | 1.0756 | 430.25 | 130115 |     | WTGACK1 |     | 400.00 | 13   | 1.0733 | 429.31 |
| 130120 |     | WTREB11 |     | 400.00 | 13   | 1.0600 | 424.02 | 130125 |     | WTSTAN1 |     | 400.00 | 13   | 1.0678 | 427.13 |
| 130130 |     | WTUGLJ1 |     | 400.00 | 13   | 1.0562 | 422.50 | 130135 |     | WVISEG1 |     | 400.00 | 13   | 1.0528 | 421.14 |
| 133105 |     | WSAR101 |     | 400.00 | 13   | 1.0772 | 430.90 | 133120 |     | WTUZL41 |     | 400.00 | 13   | 1.0659 | 426.36 |
| 137100 |     | WMOST41 |     | 400.00 | 13   | 1.0812 | 432.49 |        |     |         |     |        |      |        |        |

## BUSES WITH VOLTAGE GREATER THAN 1.1000:

| BUS#   | X-- | NAME     | --X | BASKV  | AREA | V(PU)  | V(KV)  | BUS#   | X-- | NAME     | --X | BASKV  | AREA | V(PU)  | V(KV)  |
|--------|-----|----------|-----|--------|------|--------|--------|--------|-----|----------|-----|--------|------|--------|--------|
| 13206  |     | XTR_PL22 |     | 220.00 | 13   | 1.1094 | 244.06 | 130200 |     | WHTREB2  |     | 220.00 | 13   | 1.1081 | 243.79 |
| 130205 |     | WPRIJ22  |     | 220.00 | 13   | 1.1255 | 247.61 | 130210 |     | WSAR202  |     | 220.00 | 13   | 1.1247 | 247.42 |
| 130215 |     | WTREB12  |     | 220.00 | 13   | 1.1080 | 243.75 | 130220 |     | WVISEG2  |     | 220.00 | 13   | 1.1126 | 244.77 |
| 133200 |     | WBIHA12  |     | 220.00 | 13   | 1.1258 | 247.67 | 133205 |     | WGRADA2  |     | 220.00 | 13   | 1.1159 | 245.51 |
| 133210 |     | WHGRAB2  |     | 220.00 | 13   | 1.1309 | 248.79 | 133215 |     | WHSALA2  |     | 220.00 | 13   | 1.1305 | 248.70 |
| 133220 |     | WRPJAB2  |     | 220.00 | 13   | 1.1309 | 248.80 | 133225 |     | WRPKAK2  |     | 220.00 | 13   | 1.1256 | 247.63 |
| 133230 |     | WTKAK25  |     | 220.00 | 13   | 1.1232 | 247.11 | 133235 |     | WTKAKA25 |     | 220.00 | 13   | 1.1255 | 247.62 |
| 133240 |     | WTUZL2   |     | 220.00 | 13   | 1.1198 | 246.35 | 133245 |     | WTUZL62  |     | 220.00 | 13   | 1.1191 | 246.20 |
| 133250 |     | WTUZL42  |     | 220.00 | 13   | 1.1194 | 246.27 | 133255 |     | WZENI22  |     | 220.00 | 13   | 1.1186 | 246.10 |
| 137200 |     | WEALMO2  |     | 220.00 | 13   | 1.1309 | 248.79 | 137205 |     | WHCAPL2  |     | 220.00 | 13   | 1.1321 | 249.06 |
| 137210 |     | WHRAMA2  |     | 220.00 | 13   | 1.1310 | 248.83 | 137215 |     | WJAJC22  |     | 220.00 | 13   | 1.1251 | 247.53 |
| 137220 |     | WMOST32  |     | 220.00 | 13   | 1.1309 | 248.80 | 137225 |     | WMOST42  |     | 220.00 | 13   | 1.1316 | 248.95 |
| 139955 |     | HPLAT 22 |     | 220.00 | 13   | 1.1096 | 244.12 |        |     |          |     |        |      |        |        |

## BUSES WITH VOLTAGE GREATER THAN 1.1000:

| BUS#   | X-- | NAME    | --X | BASKV  | AREA | V(PU)  | V(KV)  | BUS#   | X-- | NAME    | --X | BASKV  | AREA | V(PU)  | V(KV)  |
|--------|-----|---------|-----|--------|------|--------|--------|--------|-----|---------|-----|--------|------|--------|--------|
| 131050 |     | WBLUK35 |     | 110.00 | 13   | 1.1028 | 121.30 | 131055 |     | WBLUK45 |     | 110.00 | 13   | 1.1061 | 121.67 |
| 131065 |     | WBLUK65 |     | 110.00 | 13   | 1.1099 | 122.09 | 131100 |     | WCELUL5 |     | 110.00 | 13   | 1.1197 | 123.17 |
| 131130 |     | WDBUC5  |     | 110.00 | 13   | 1.1132 | 122.45 | 131160 |     | WGRDS25 |     | 110.00 | 13   | 1.1010 | 121.11 |
| 131225 |     | WNGRAD5 |     | 110.00 | 13   | 1.1180 | 122.98 | 131240 |     | WPRIJ15 |     | 110.00 | 13   | 1.1197 | 123.17 |
| 131245 |     | WPRIJ25 |     | 110.00 | 13   | 1.1202 | 123.23 | 131250 |     | WPRIJ35 |     | 110.00 | 13   | 1.1181 | 122.99 |
| 131255 |     | WPRIJ55 |     | 110.00 | 13   | 1.1147 | 122.62 | 131265 |     | WPRIJ55 |     | 110.00 | 13   | 1.1182 | 123.00 |
| 131385 |     | WKTDUB5 |     | 110.00 | 13   | 1.1130 | 122.43 | 134175 |     | WKLJUC5 |     | 110.00 | 13   | 1.1038 | 121.42 |
| 134310 |     | WSMOST5 |     | 110.00 | 13   | 1.1122 | 122.34 |        |     |         |     |        |      |        |        |

## Prilog 6

## Bilanca snaga i pregled napona EES-a Hrvatske

```

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E      TUE, DEC 22 2020  9:45
CREATED BY NETVISION RAW CONVERTER FROM FILES: NDC 2020-11-1      AREA TOTALS
, BEGIN BUS DATA      IN MW/MVAR

      FROM -----AT AREA BUSES-----
      GENE- FROM IND TO IND TO      TO      TO      FROM      TO      NET INTERCHANGE
X-- AREA --X RATION GENERATN MOTORS LOAD SHUNT BUS GNE BUS TO LINE FROM TO TO TIE TO TIES
      SHUNT DEVICES SHUNT CHARGING LOSSES LINES + LOADS

      8      1394.2      0.0      0.0      1418.5      0.0      0.0      2.5      0.0      21.3      -48.2      -48.2
HRVATSKA      -374.8      0.0      0.0      -154.0      319.8      0.0      0.0      1006.5      128.1      337.7      337.7

COLUMN      1394.2      0.0      0.0      1418.5      0.0      0.0      2.5      0.0      21.3      -48.2      -48.2
TOTALS      -374.8      0.0      0.0      -154.0      319.8      0.0      0.0      1006.5      128.1      337.7      337.7

```

```

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E      TUE, DEC 22 2020  9:48
CREATED BY NETVISION RAW CONVERTER FROM FILES: NDC_2020-11-1
, BEGIN BUS DATA

```

BUSES WITH VOLTAGE GREATER THAN 1.0500:

| BUS#  | X-- | NAME    | --X | BASKV  | AREA | V (PU) | V (KV) | BUS#  | X-- | NAME    | --X | BASKV  | AREA | V (PU) | V (KV) |
|-------|-----|---------|-----|--------|------|--------|--------|-------|-----|---------|-----|--------|------|--------|--------|
| 60032 |     | HERNES1 |     | 400.00 | 8    | 1.0563 | 422.53 | 60049 |     | HKONJS1 |     | 400.00 | 8    | 1.0892 | 435.69 |
| 60066 |     | HMELIN1 |     | 400.00 | 8    | 1.0520 | 420.78 | 60129 |     | HTUMBR1 |     | 400.00 | 8    | 1.0559 | 422.36 |
| 60132 |     | HVELEB1 |     | 400.00 | 8    | 1.0776 | 431.03 | 60150 |     | HZERJA1 |     | 400.00 | 8    | 1.0654 | 426.18 |

BUSES WITH VOLTAGE GREATER THAN 1.1000:

BUSES WITH VOLTAGE GREATER THAN 1.1000:

| BUS#  | X-- | NAME    | --X | BASKV  | AREA | V (PU) | V (KV) | BUS#  | X-- | NAME    | --X | BASKV  | AREA | V (PU) | V (KV) |
|-------|-----|---------|-----|--------|------|--------|--------|-------|-----|---------|-----|--------|------|--------|--------|
| 60002 |     | HBILIC2 |     | 220.00 | 8    | 1.1505 | 253.11 | 60008 |     | HBRINJ2 |     | 220.00 | 8    | 1.1210 | 246.61 |
| 60015 |     | HDAKOV2 |     | 220.00 | 8    | 1.1135 | 244.96 | 60050 |     | HKONJS2 |     | 220.00 | 8    | 1.1481 | 252.58 |
| 60064 |     | HMEDUR2 |     | 220.00 | 8    | 1.1330 | 249.25 | 60071 |     | HMRACL2 |     | 220.00 | 8    | 1.1248 | 247.45 |
| 60082 |     | HORLOV2 |     | 220.00 | 8    | 1.1486 | 252.69 | 60109 |     | HSENJ 2 |     | 220.00 | 8    | 1.1149 | 245.27 |
| 60145 |     | HZAKUC2 |     | 220.00 | 8    | 1.1507 | 253.15 | 60151 |     | HZERJA2 |     | 220.00 | 8    | 1.1262 | 247.76 |
| 60158 |     | HTEPLO2 |     | 220.00 | 8    | 1.1003 | 242.06 | 60170 |     | HTESIS2 |     | 220.00 | 8    | 1.1286 | 248.30 |
| 60199 |     | HPLAT 2 |     | 220.00 | 8    | 1.1096 | 244.12 | 60214 |     | HVEPAD2 |     | 220.00 | 8    | 1.1379 | 250.33 |

## Prilog 7

## Bilanca snaga i pregled napona EES-a Srbije

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E TUE, DEC 22 2020 10:05

|     |        | AREA TOTALS<br>IN MW/MVAR    |                   |               |             |             |                |             |          |        |              | NET INTERCHANGE |              |                |              |
|-----|--------|------------------------------|-------------------|---------------|-------------|-------------|----------------|-------------|----------|--------|--------------|-----------------|--------------|----------------|--------------|
|     |        | FROM -----AT AREA BUSES----- |                   |               |             | TO          |                | TO LINE     |          | FROM   |              | TO              |              | TO TIE TO TIES |              |
| X-- | AREA   | --X<br>RATIO                 | GENE-<br>GENERATN | IND<br>MOTORS | IND<br>LOAD | TO<br>SHUNT | BUS<br>DEVICES | TO<br>SHUNT | CHARGING | LOSSES | TO<br>LOSSES | TO<br>LOSSES    | TO<br>LOSSES | TO<br>LOSSES   | TO<br>LOSSES |
|     | 46     |                              | 4534.7            | 0.0           | 0.0         | 4761.2      | 0.0            | 0.0         | 6.6      | 0.0    | 96.6         | -329.7          | -329.7       |                |              |
|     | RS     |                              | -264.6            | 0.0           | 0.0         | 933.2       | 0.0            | 0.0         | 21.9     | 1480.1 | 717.5        | -457.1          | -457.1       |                |              |
|     | COLUMN |                              | 4534.7            | 0.0           | 0.0         | 4761.2      | 0.0            | 0.0         | 6.6      | 0.0    | 96.6         | -329.7          | -329.7       |                |              |
|     | TOTALS |                              | -264.6            | 0.0           | 0.0         | 933.2       | 0.0            | 0.0         | 21.9     | 1480.1 | 717.5        | -457.1          | -457.1       |                |              |

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS(R)E TUE, DEC 22 2020 10:08  
BUSES WITH VOLTAGE GREATER THAN 1.0500:

| BUS#   | X-- | NAME     | --X | BASKV  | AREA | V(PU)  | V(KV)  | BUS#   | X-- | NAME     | --X | BASKV  | AREA | V(PU)  | V(KV)  |
|--------|-----|----------|-----|--------|------|--------|--------|--------|-----|----------|-----|--------|------|--------|--------|
| 460022 |     | JVRAN411 |     | 400.00 | 46   | 1.0553 | 422.11 | 460102 |     | JSOMB31  |     | 400.00 | 46   | 1.0510 | 420.40 |
| 460111 |     | JSMIT212 |     | 400.00 | 46   | 1.0517 | 420.70 | 460112 |     | JSMIT211 |     | 400.00 | 46   | 1.0517 | 420.70 |

BUSES WITH VOLTAGE GREATER THAN 1.1000:

| BUS#     | X-- | NAME | --X | BASKV | AREA | V(PU) | V(KV) | BUS# | X-- | NAME | --X | BASKV | AREA | V(PU) | V(KV) |
|----------|-----|------|-----|-------|------|-------|-------|------|-----|------|-----|-------|------|-------|-------|
| * NONE * |     |      |     |       |      |       |       |      |     |      |     |       |      |       |       |