

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: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Specijalistički diplomski stručni studij Elektrotehnike

DORIS VICO

Z A V R Š N I R A D

REGULACIJA NAPONA U
ELEKTROENERGETSKOJ MREŽI

Split, 2021.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
SVEUČILIŠNI ODJEL ZA STRUČNE STUDIJE

Specijalistički diplomski stručni studij Elektrotehnike

DORIS VICO

Z A V R Š N I R A D

**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 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 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 prijenosne 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.

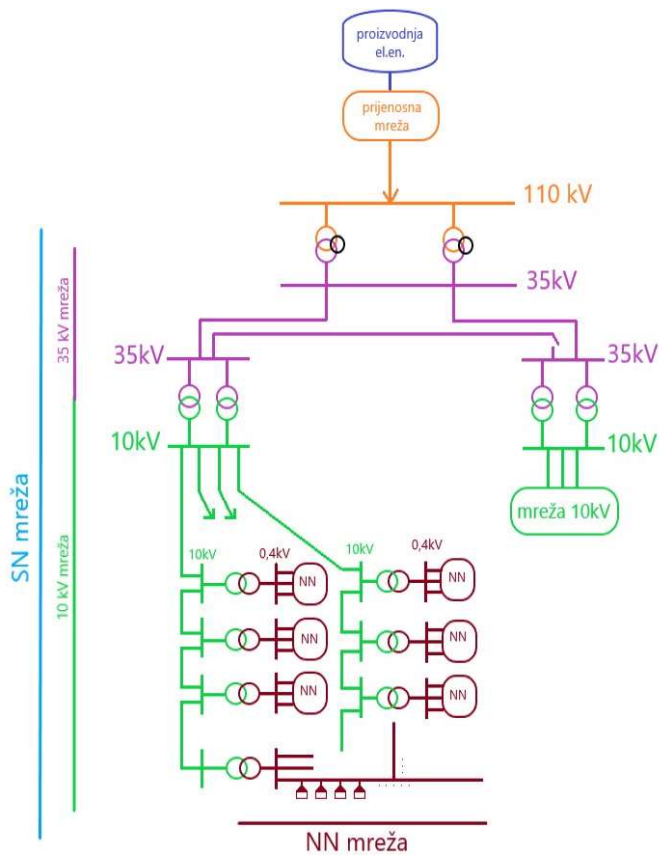
Suradnjom na studiji i stvaranjem cjelokupne slike o poznavanju elektroenergetskog sustava u praksi, prikazat će se kontrola promjene napona koja je važna zbog sigurnosti i kvalitete isporuke električne energije. Komunikacijski sustavi u službi kontrole i regulacije, posebice vršnog opterećenja i gubitaka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

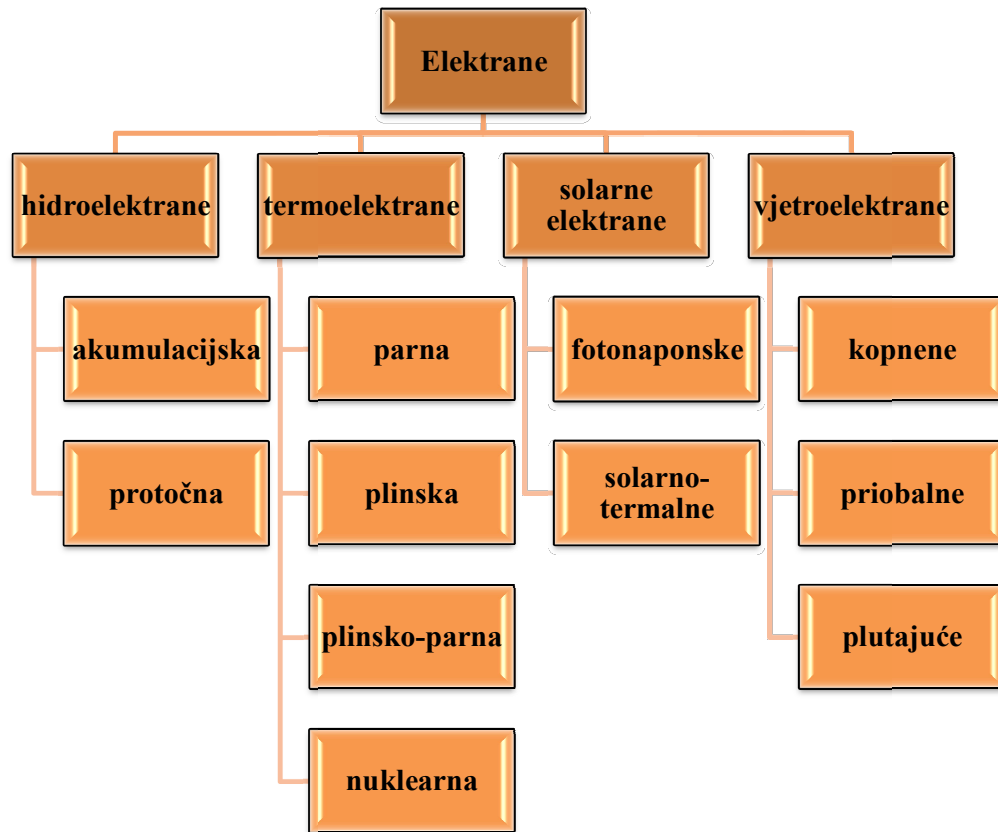


Slika 2.1. Elektroenergetska mreža

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.



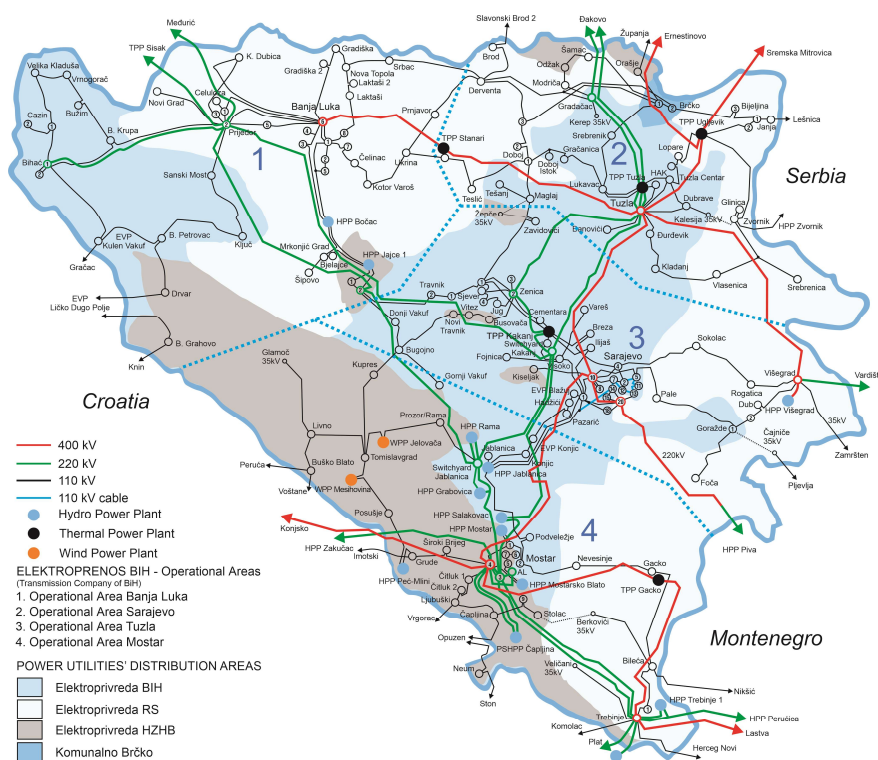
Slika 2.2. Podjela elektrana prema izvoru energije

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 (≥ 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 kabelskih 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 kabelski 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 izbaci (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 [Ω]

l – duljina vodiča [m]

s – presjek vodiča [mm^2]

ρ – specifični otpor materijala [Ωm]

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:

α – 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					
Vrsta vodiča	bakar			aluminij			bakar			aluminij		
Način polaganja												
Presjek vodiča [mm ²]	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/EMS¹ 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.

¹ 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 uključanje 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 UCTE², odnosno današnju ENTSO-E³ 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

² 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.

³ 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 BiH⁴ 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 CHE⁵ 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.

⁴ Nezavisni operator sustava u Bosni i Hercegovini – NOS BiH

⁵ 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

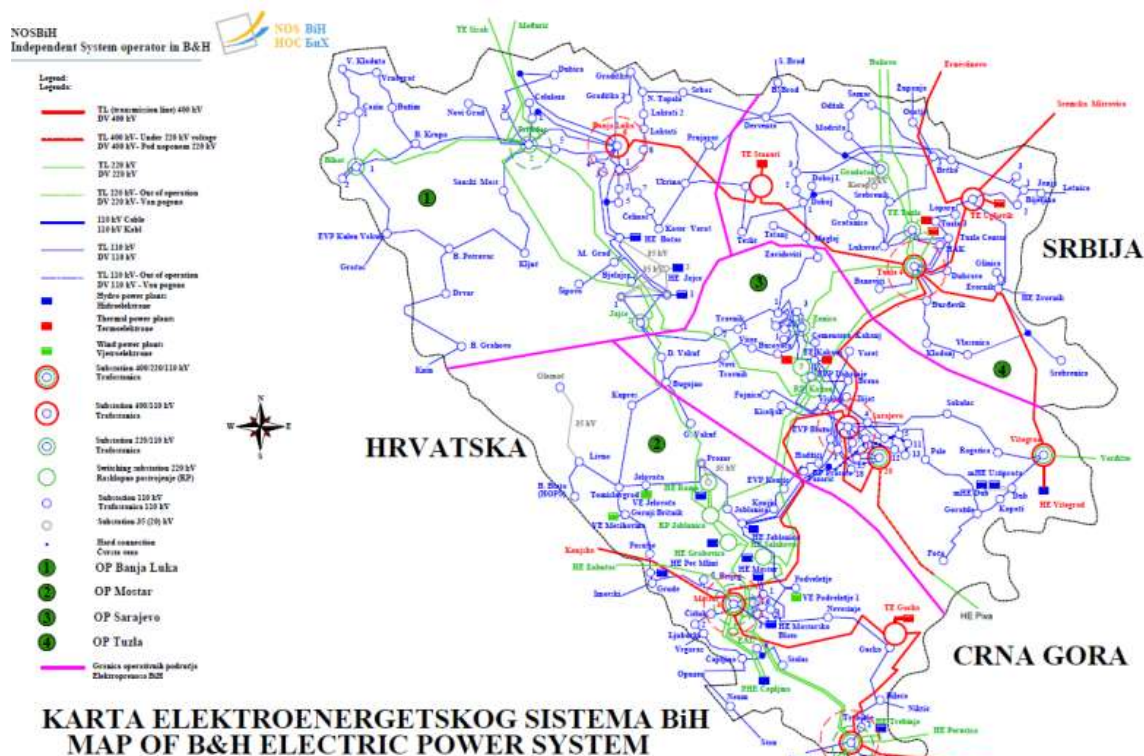
Tablica 4.4. Broj sati rada TS pri naponu većem od dozvoljene vrijednosti u 2019.

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 %	437,64
		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 %	441,66
		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.



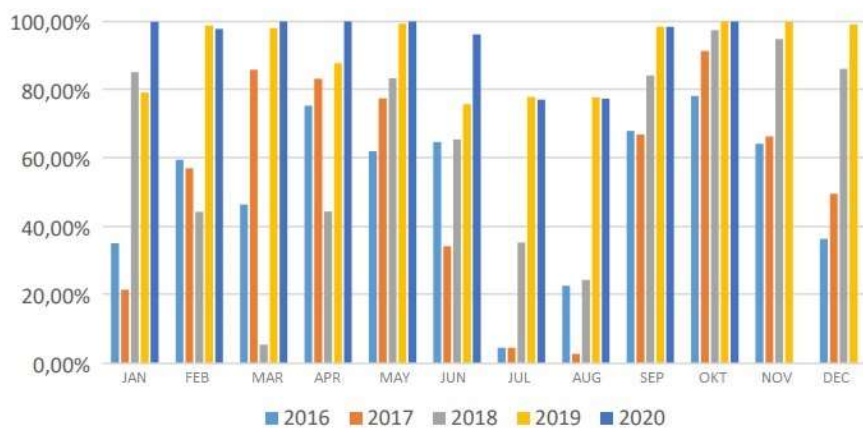
Slika 4.1. Obilježene TS EES-a BiH u kojima je mjereno napon

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.

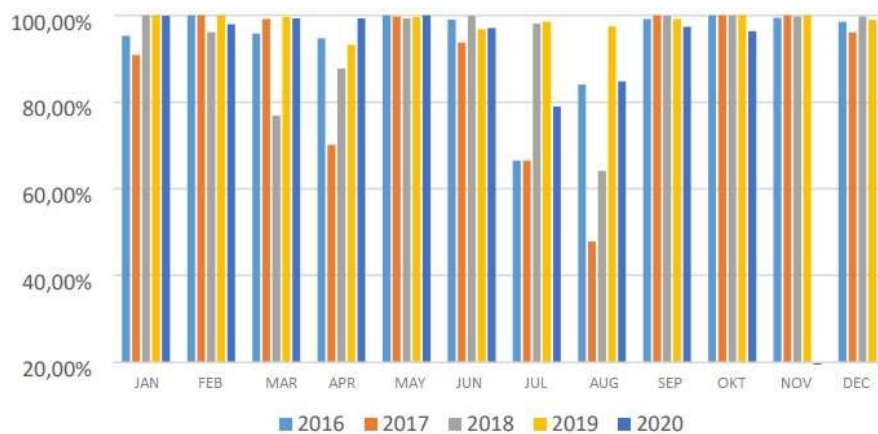
Vidljivo je da je najduži rad ovih TS pri nedozvoljenim naponima bio u proljetnim (travanj i svibanj), te jesenjim (rujan i kolovoz) mjesecima. Sa dijagrama se također može vidjeti konstantan porast postotka rada pri povišenim naponima od 400 kV i 220 kV.



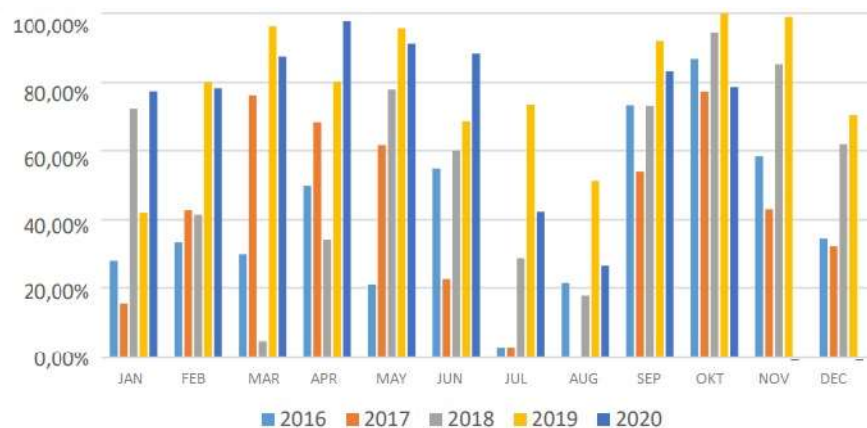
Slika 4.2. Mjesečni rad TS Mostar 4 (400 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 godina



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



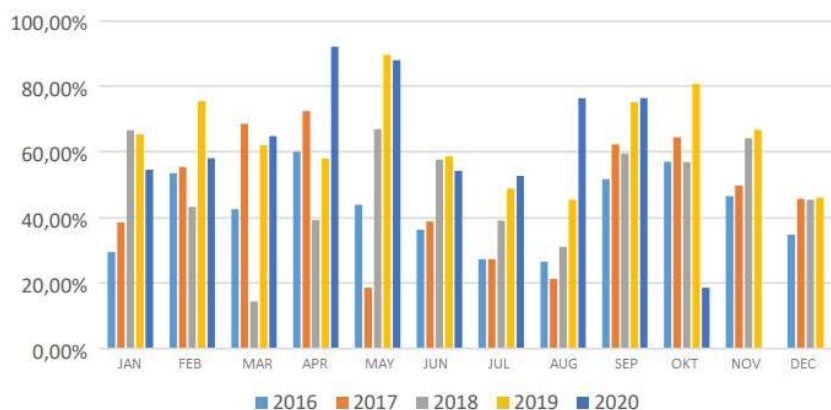
Slika 4.4. Mjesečni rad TS Trebinje (400 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 godina



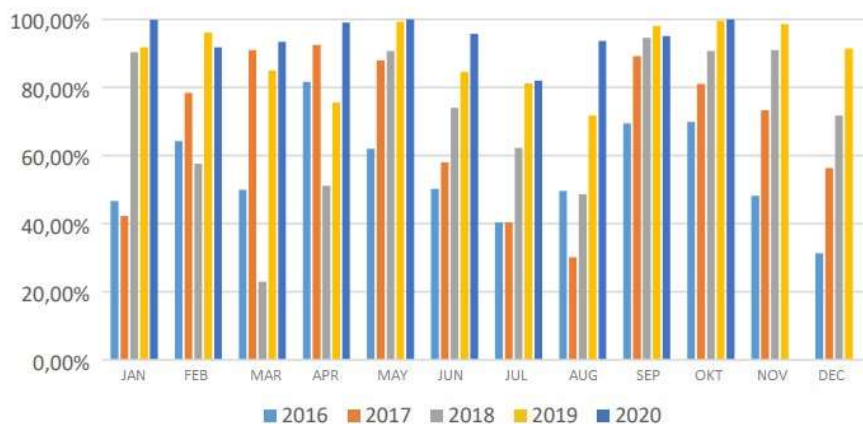
Slika 4.5. Mjesečni rad TS Trebinje (220 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 godina



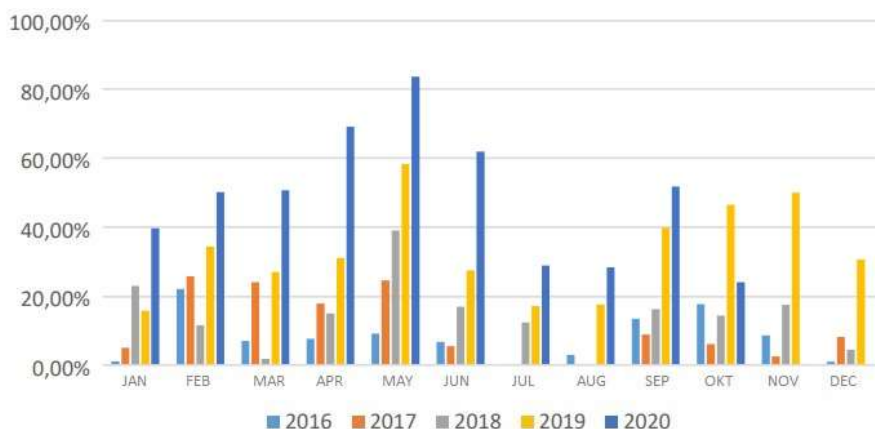
Slika 4.6. Mjesečni rad TS Sarajevo 10 (400 kV) pri povišenim naponima tijekom 5 godina



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.

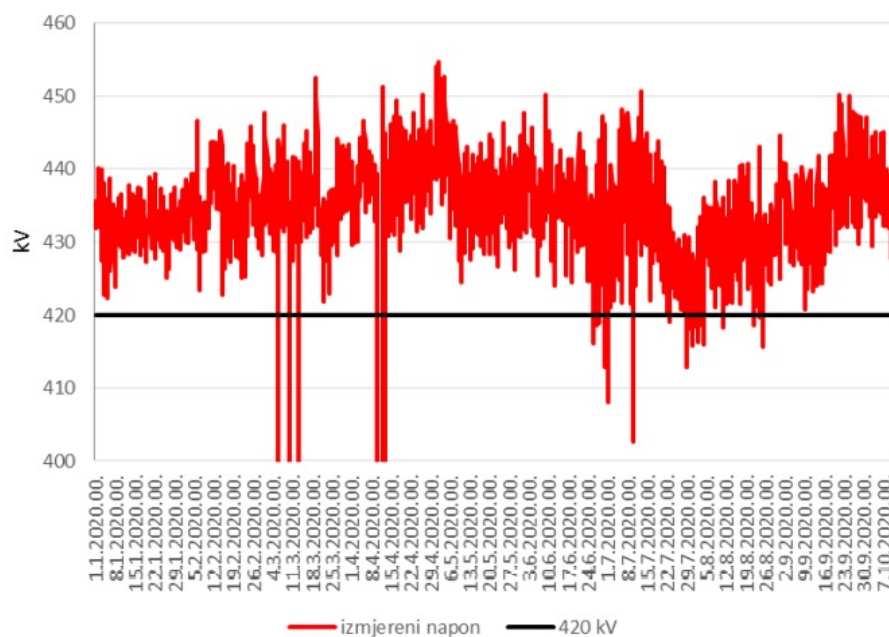
4.1.1. TS 400/220/110 kV Mostar 4

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.

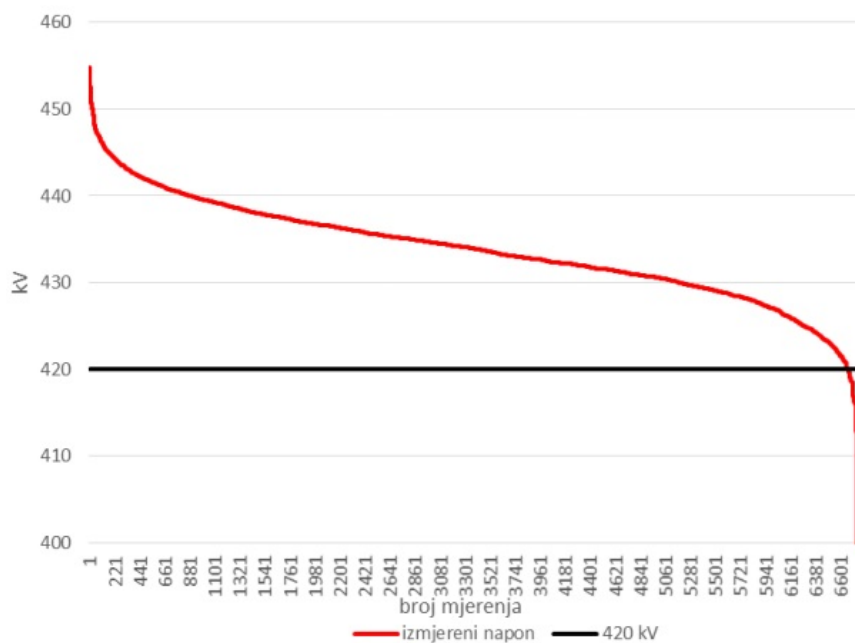
U TS Mostar 4 je u vrijeme prvomajskih praznika (subota 02.05.2020. u 07:00 sati) zabilježena rekordna vrijednost 400 kV napona, u iznosu od 454,79 kV, što predstavlja najvišu povijesnu vrijednost nedozvoljenog napona i ukupno najduže vrijeme trajanja nedozvoljenih povišenih napona – od 6669 sati. To 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-2⁶. 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.

⁶ 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.

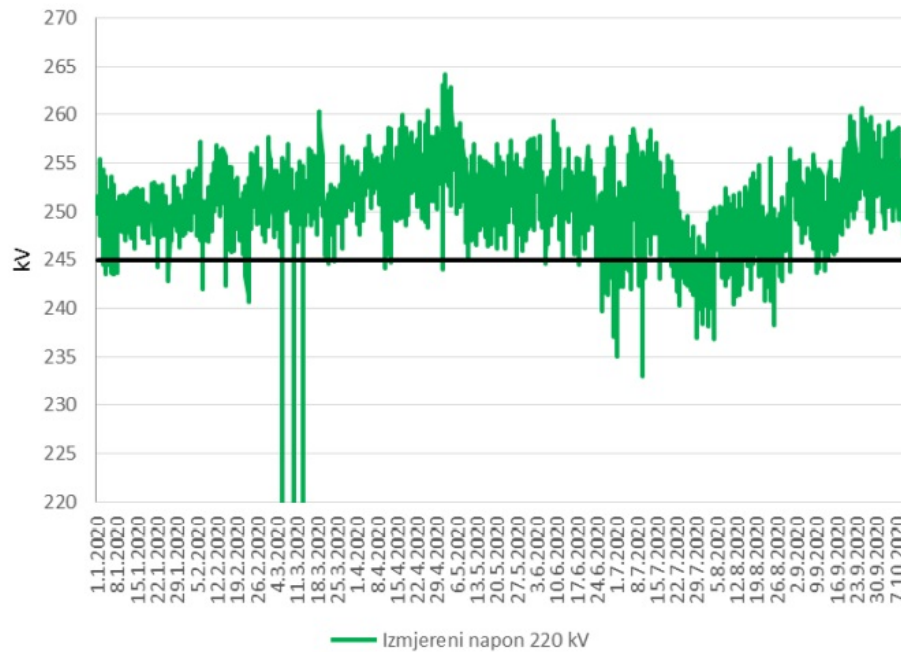


Slika 4.10. Dijagram promjene napona u TS Mostar 4 (400 kV) tijekom 2020.

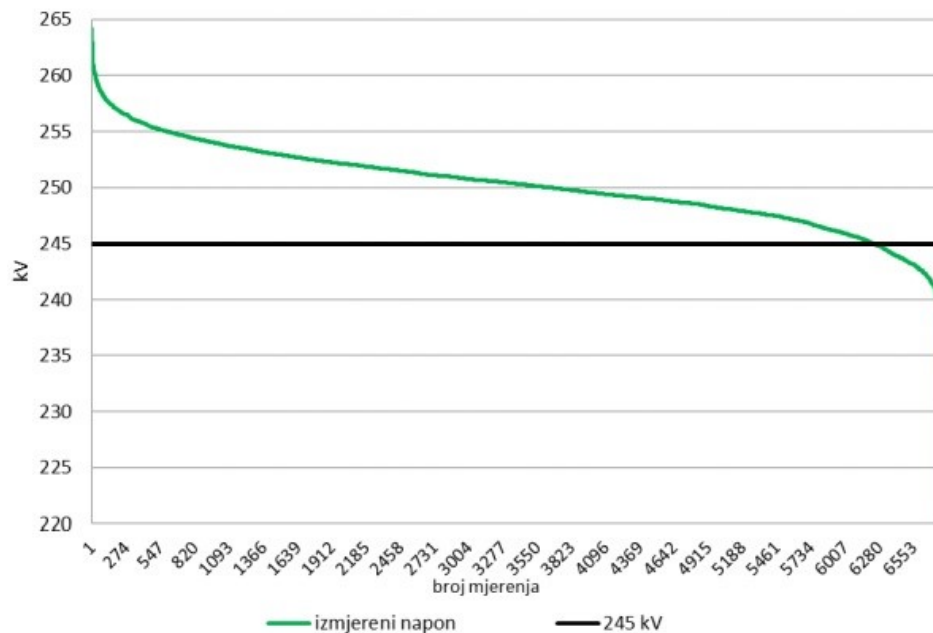


Slika 4.11. Dijagram trajanja napona u TS Mostar 4 (400 kV) tijekom 2020.

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.

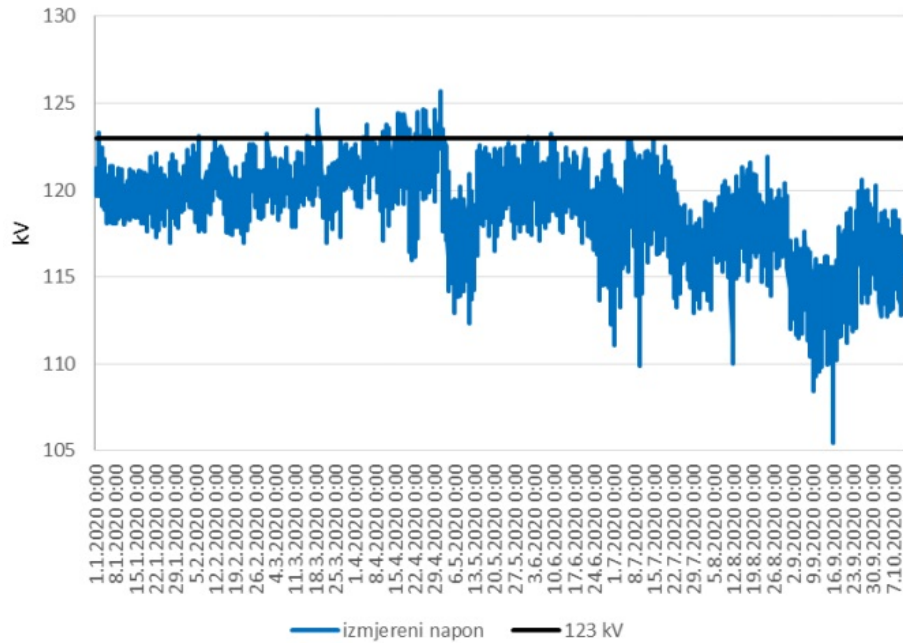


Slika 4.12. Dijagram promjene napona u TS Mostar 4 (220 kV) tijekom 2020.

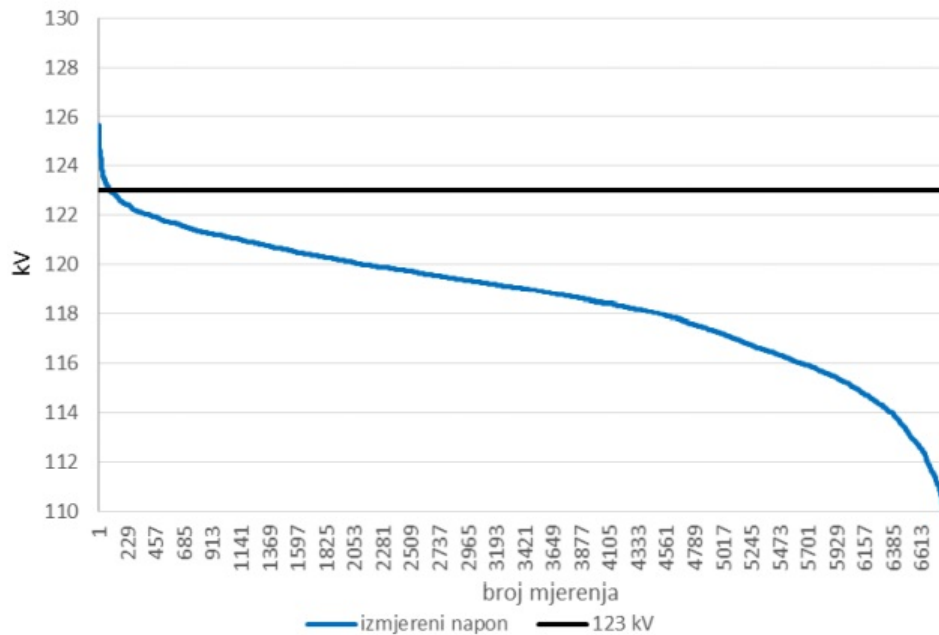


Slika 4.13. Dijagram trajanja napona u TS Mostar 4 (220 kV) tijekom 2020.

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.

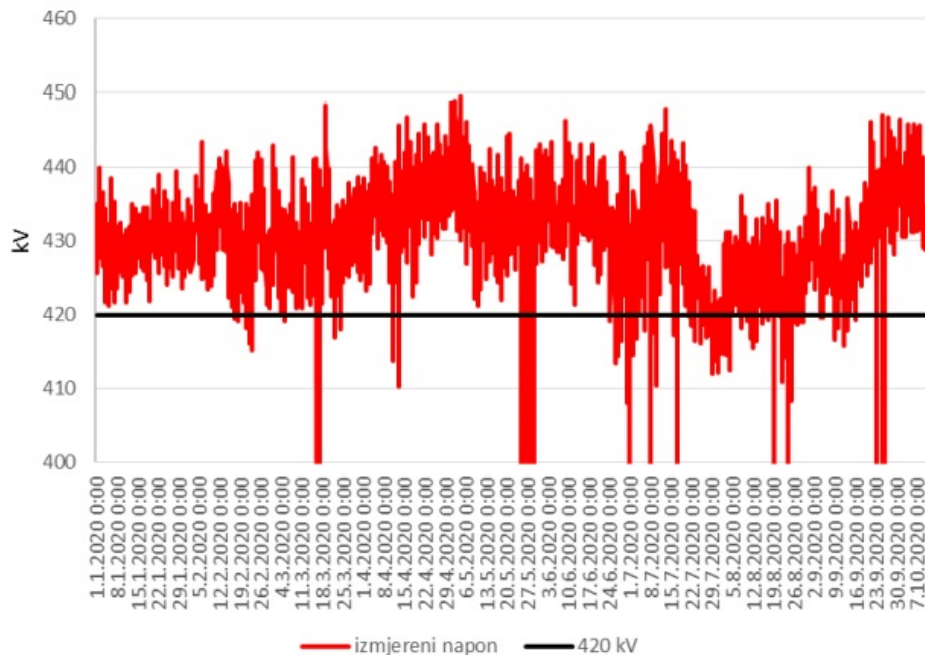


Slika 4.15. Dijagram trajanja napona u TS Mostar 4 (110 kV) tijekom 2020.

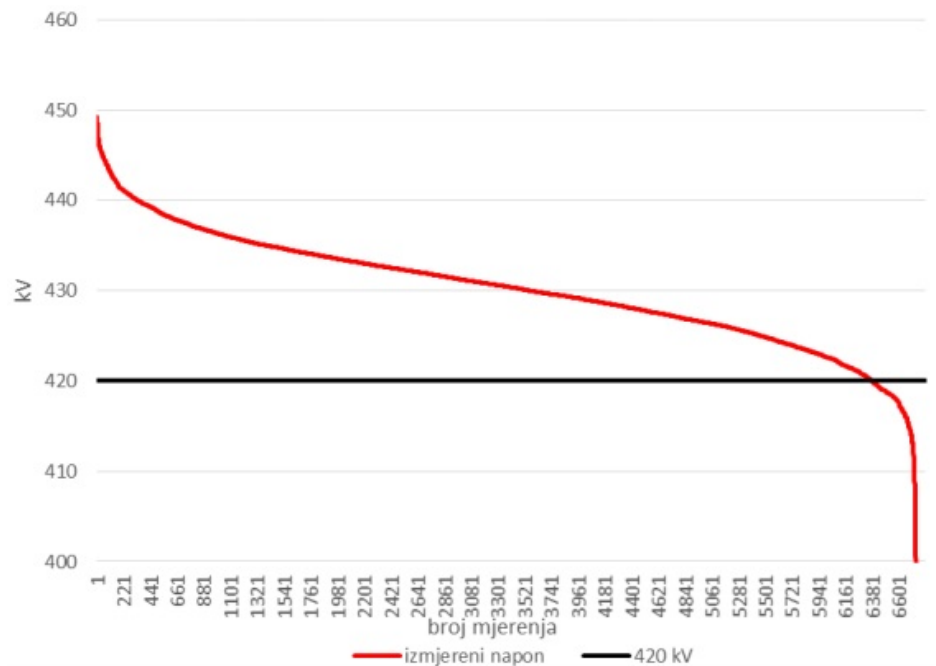
Potrebno je napomenuti da veći dio ovoga perioda u Mostaru 4 nije bilo transformacije 220/110 kV jer su oba transformatora bila u trajnom kvaru. Na slikama 4.14. i 4.15. su prikazane promjene i trajanja 110 kV napona u TS Mostar 4.

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.

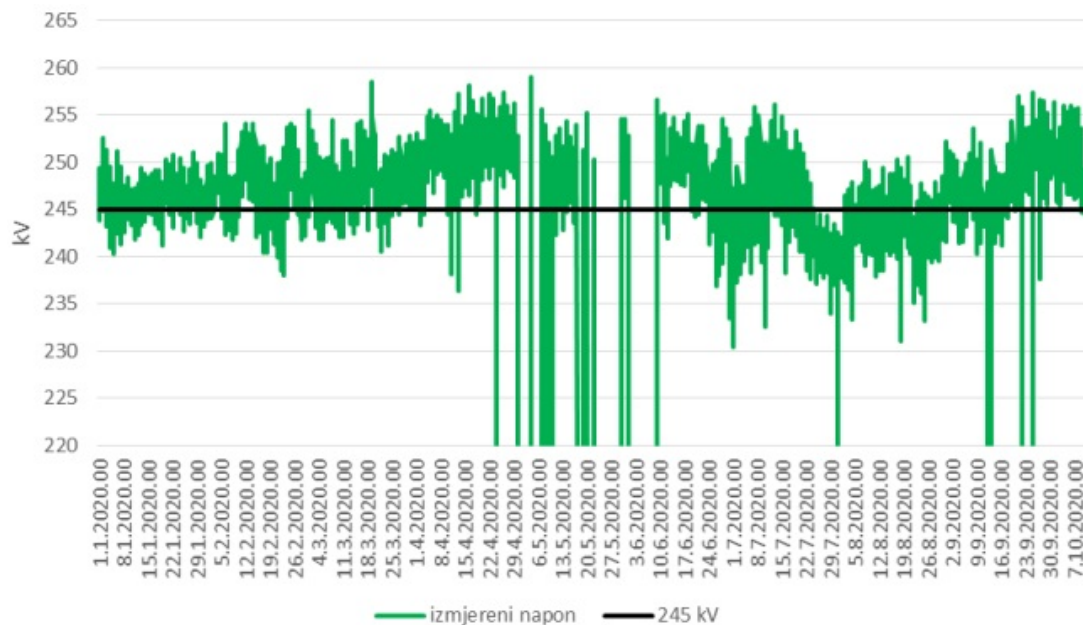


Slika4.16. Dijagram promjene napona u TS Trebinje (400 kV) tijekom 2020.

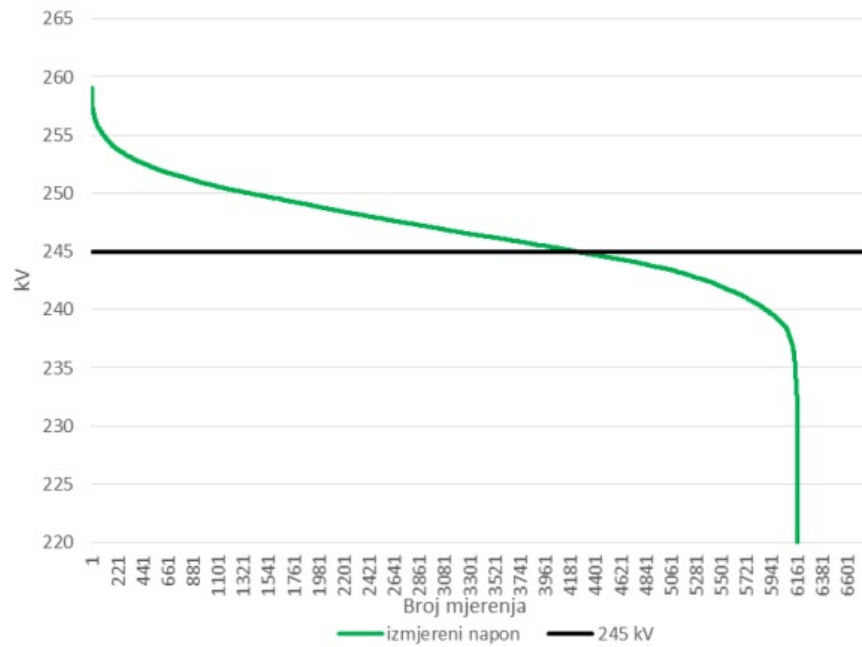


Slika 4.17. Dijagram trajanja napona u TS Trebinje (400 kV) tijekom 2020.

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.

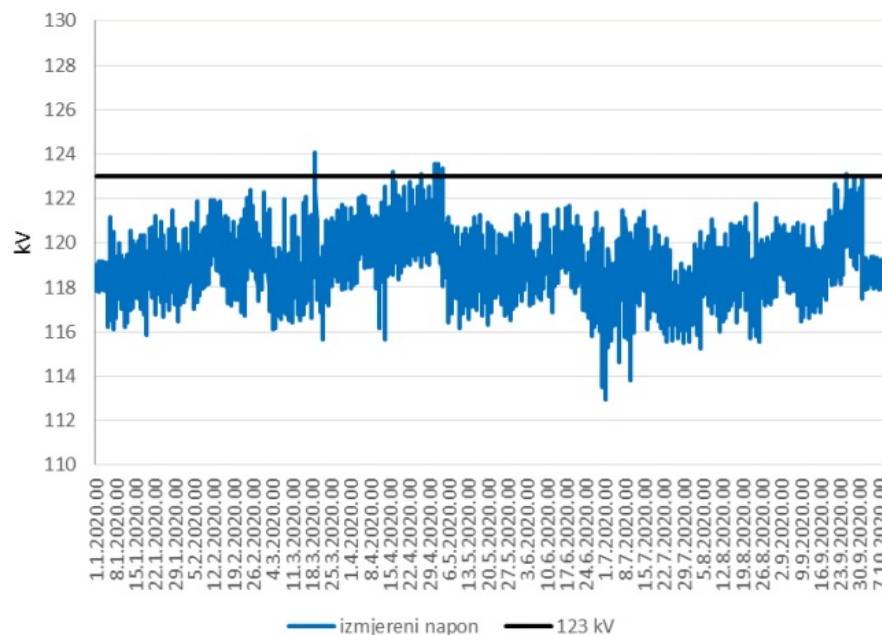


Slika 4.18. Dijagram promjene napona u TS Trebinje (220 kV) tijekom 2020.

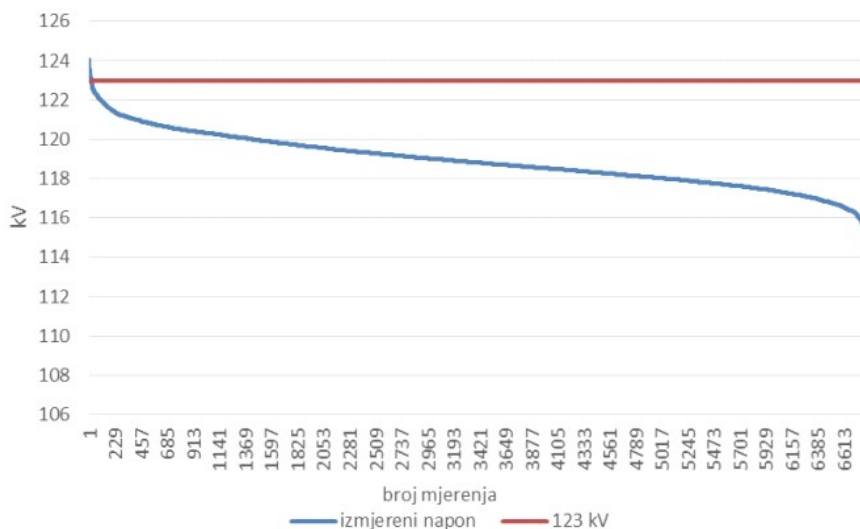


Slika 4.19. Dijagram trajanja napona u TS Trebinje (220 kV) tijekom 2020.

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 mjerenom 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.



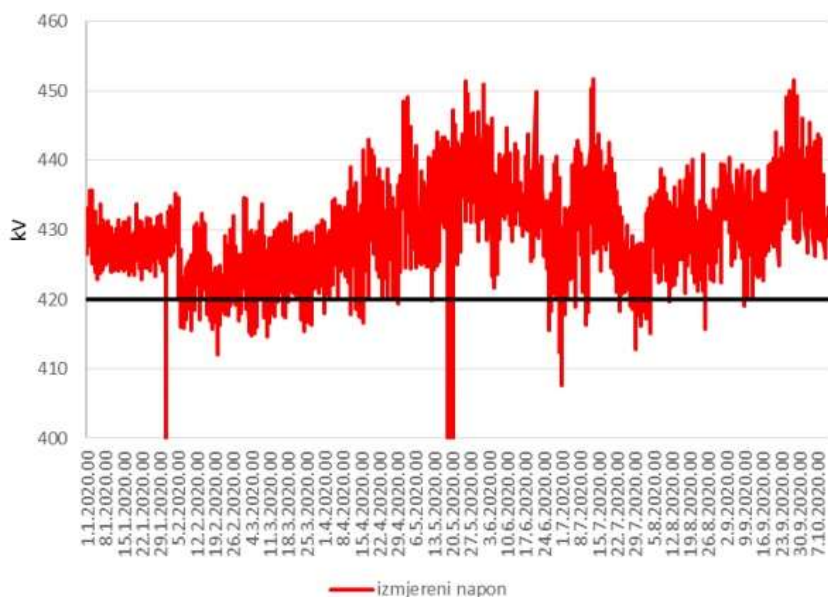
Slika 4.20. Dijagram promjene napona u TS Trebinje (110 kV) tijekom 2020.



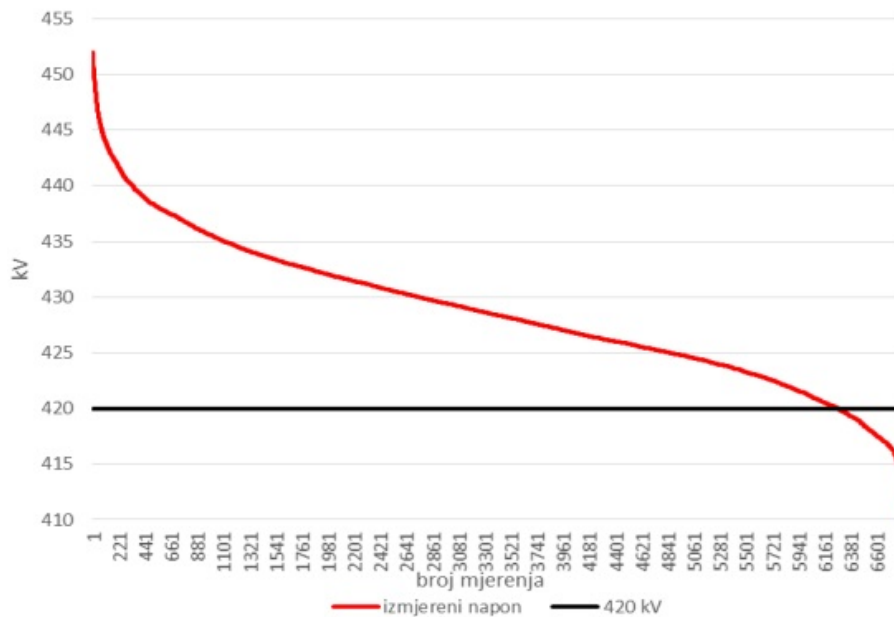
Slika 4.21. Dijagram trajanja napona u TS Trebinje (110 kV) tijekom 2020.

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.

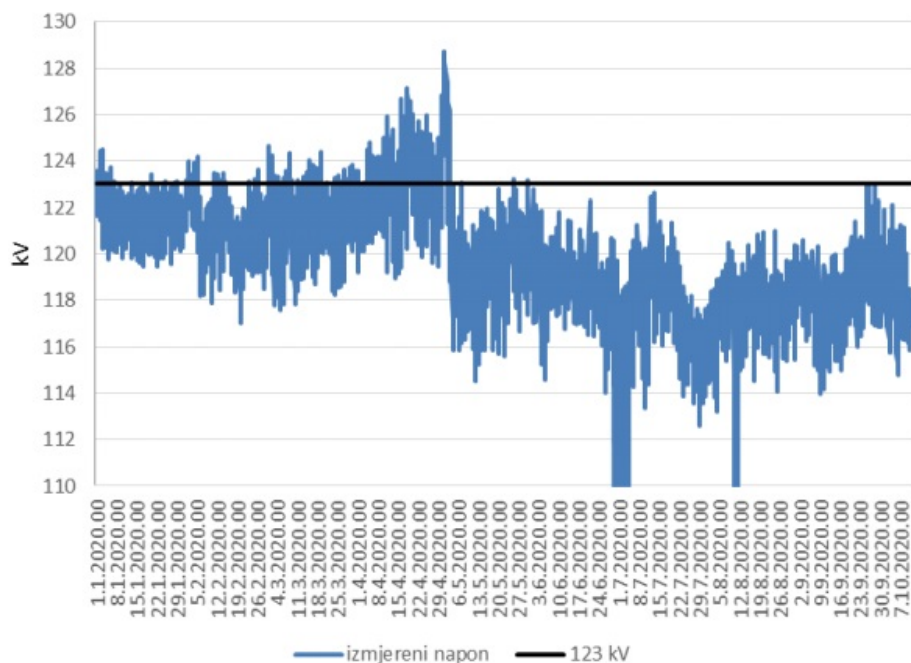


Slika 4.22. Dijagram promjene napona u TS Sarajevo 10 (400 kV) tijekom 2020.

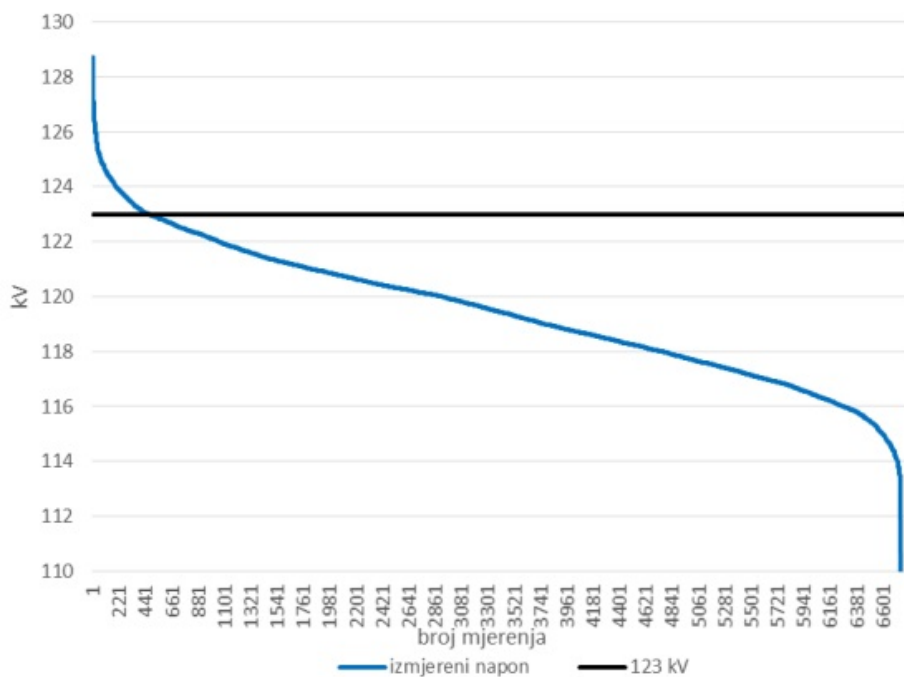


Slika 4.23. Dijagram trajanja napona u TS Sarajevo 10 (400 kV) tijekom 2020.

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.



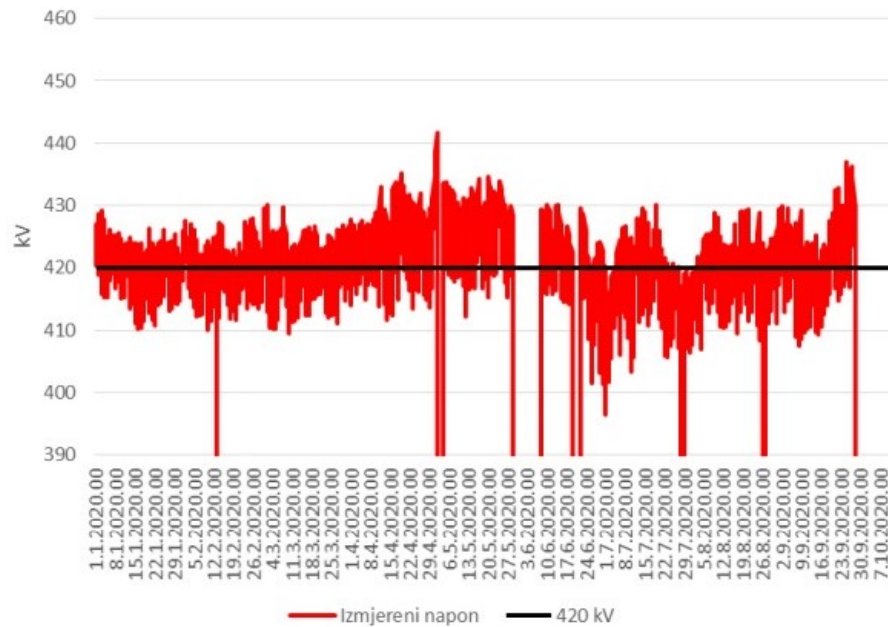
Slika 4.24. Dijagram promjene napona u TS Sarajevo 10 (110 kV) tijekom 2020.



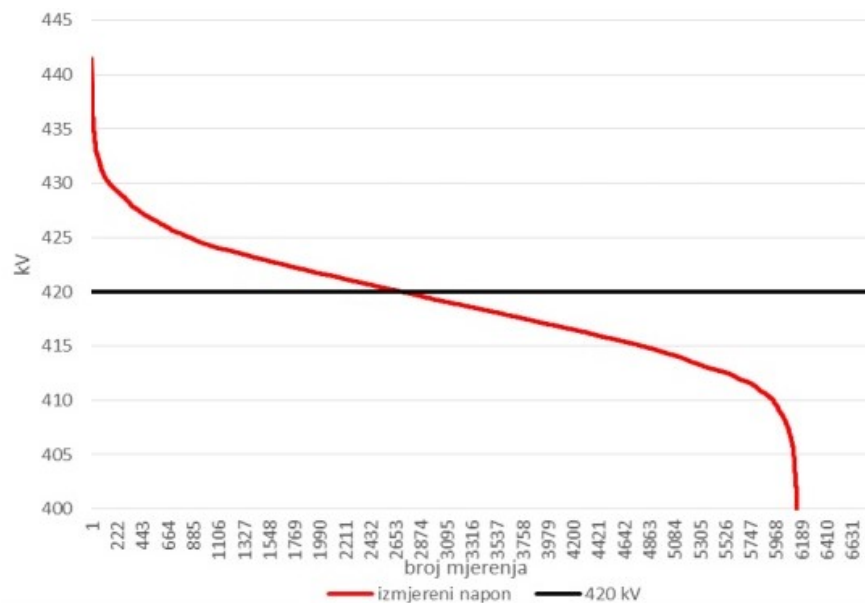
Slika 4.25. Dijagram trajanja napona u TS Sarajevo 10 (400 kV) tijekom 2020.

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.

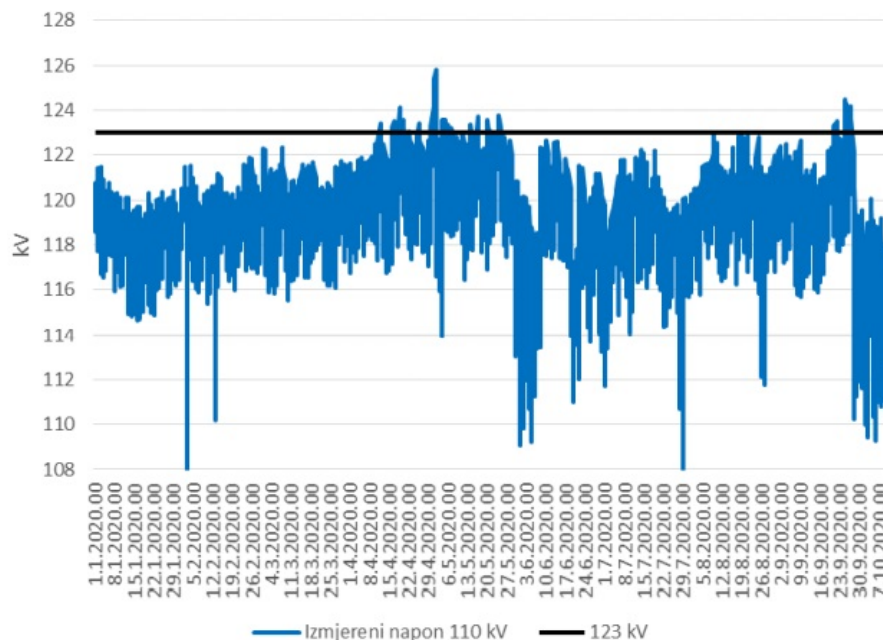


Slika 4.26. Dijagram promjene napona u TS Banja Luka 6 (400 kV) tijekom 2020.

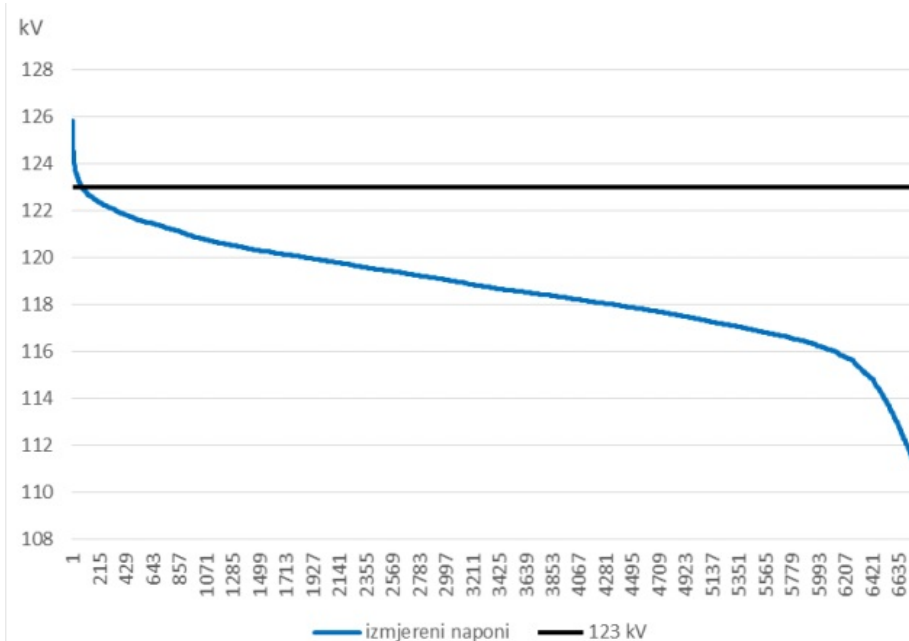


Slika 4.27. Dijagram trajanja napona u TS Banja Luka 6 (400 kV) tijekom 2020.

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.



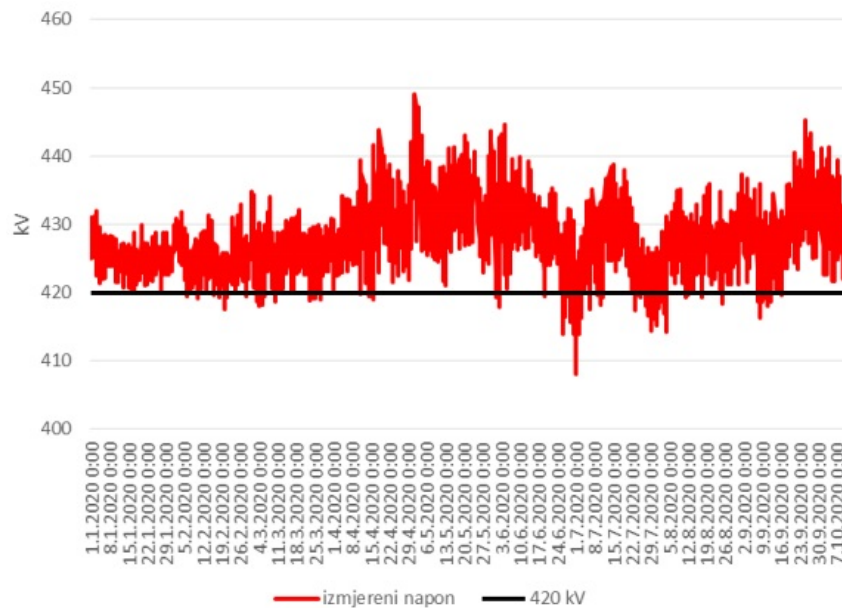
Slika 4.28. Dijagram promjene napona u TS Banja Luka 6 (110 kV) tijekom 2020.



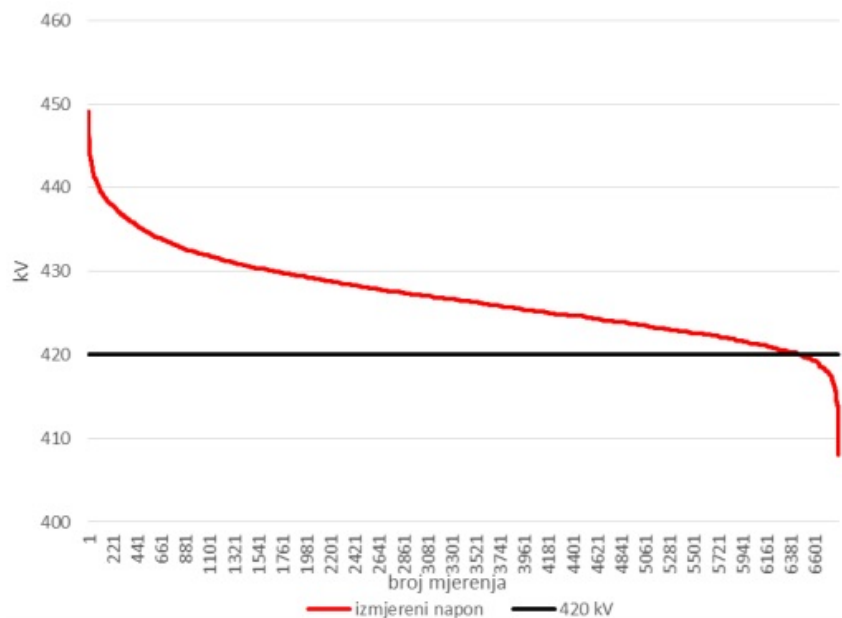
Slika 4.29. Dijagram trajanja napona u TS Banja Luka 6 (110 kV) tijekom 2020.

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.

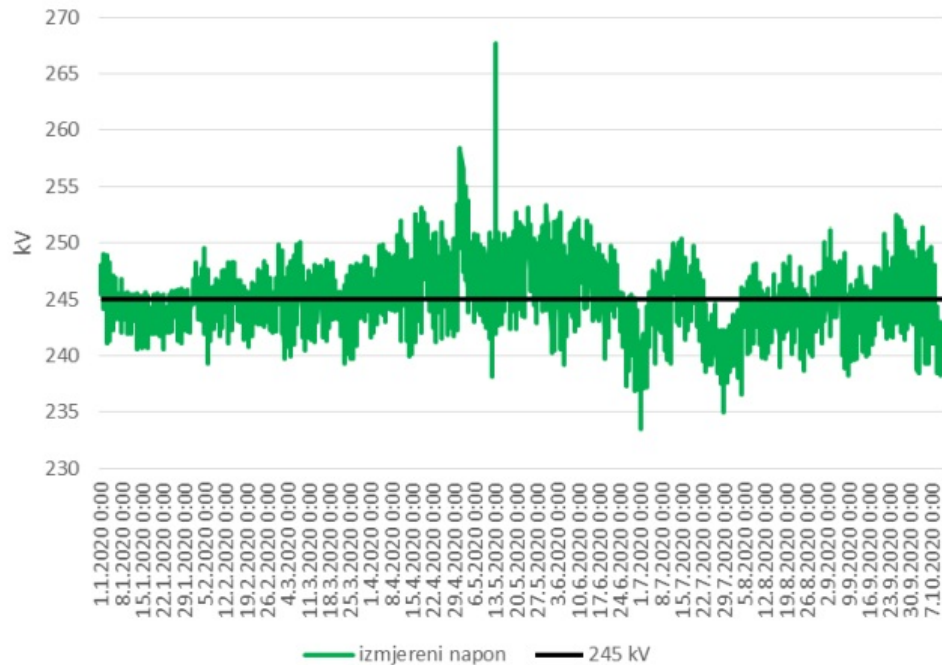


Slika 4.30. Dijagram promjene napona u TS Tuzla 4 (400 kV) tijekom 2020.

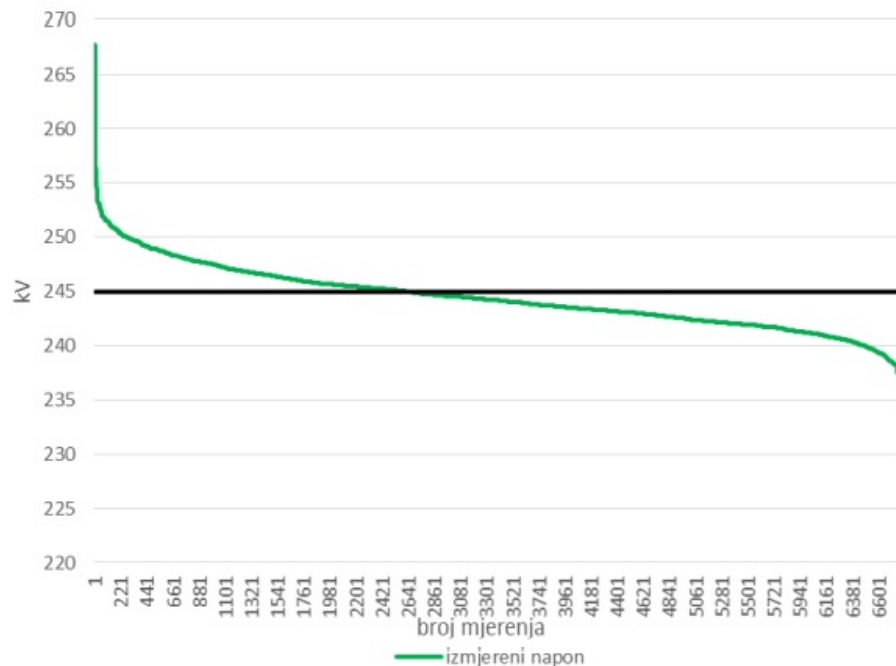


Slika 4.31. Dijagram trajanja napona u TS Tuzla 4 (400 kV) tijekom 2020.

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.

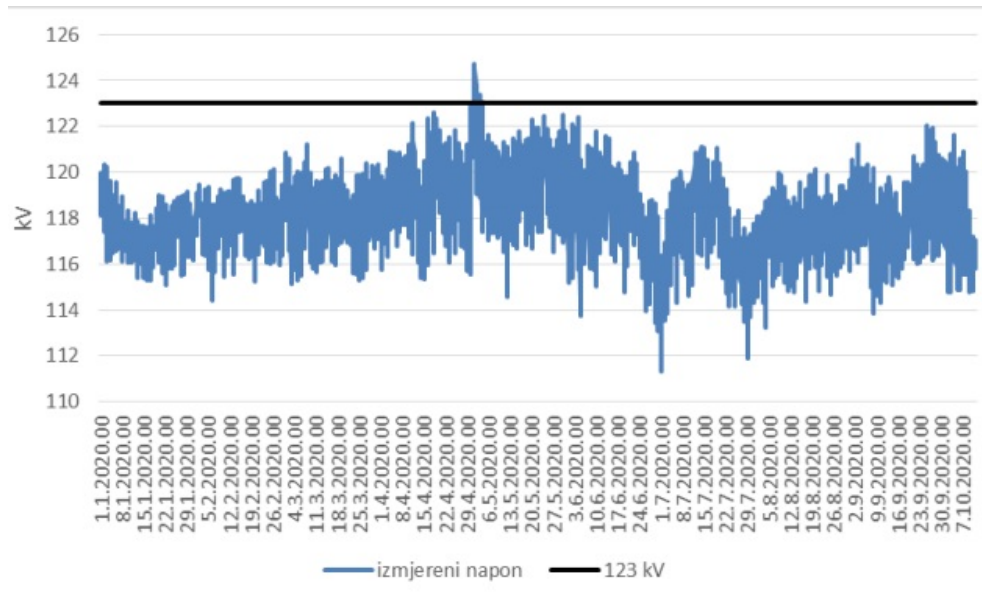


Slika 4.32. Dijagram promjene napona u TS Tuzla 4 (220 kV) tijekom 2020.

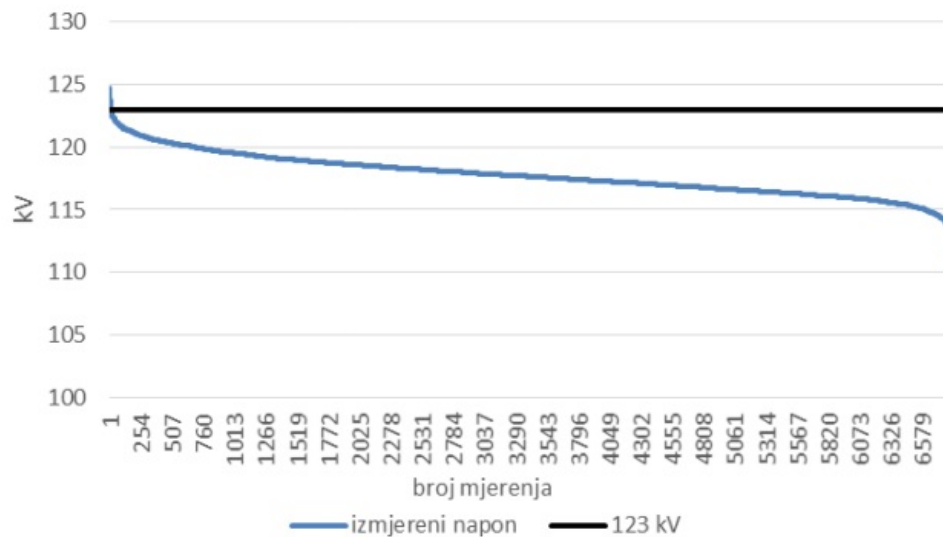


Slika 4.33. Dijagram trajanja napona u TS Tuzla 4 (220 kV) tijekom 2020.

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.



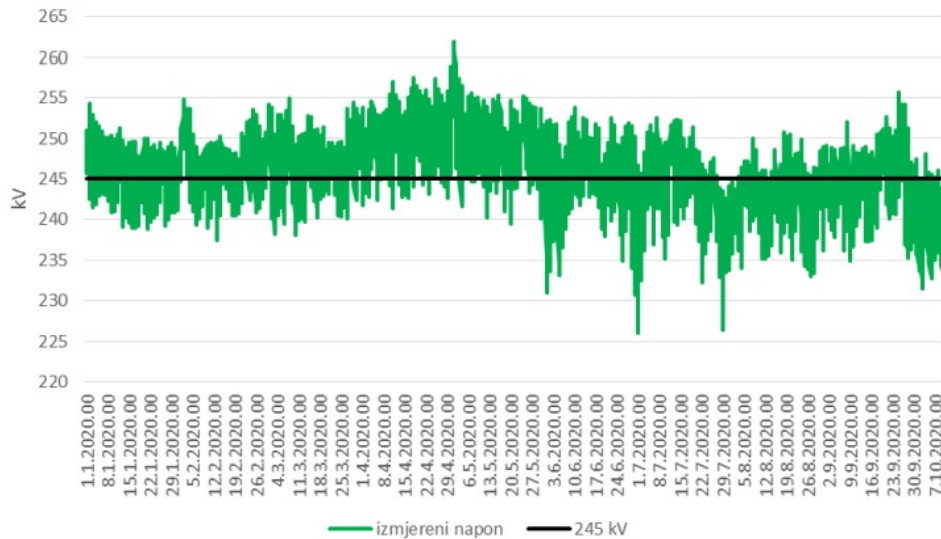
Slika 4.34. Dijagram promjene napona u TS Tuzla 4 (110 kV) tijekom 2020.



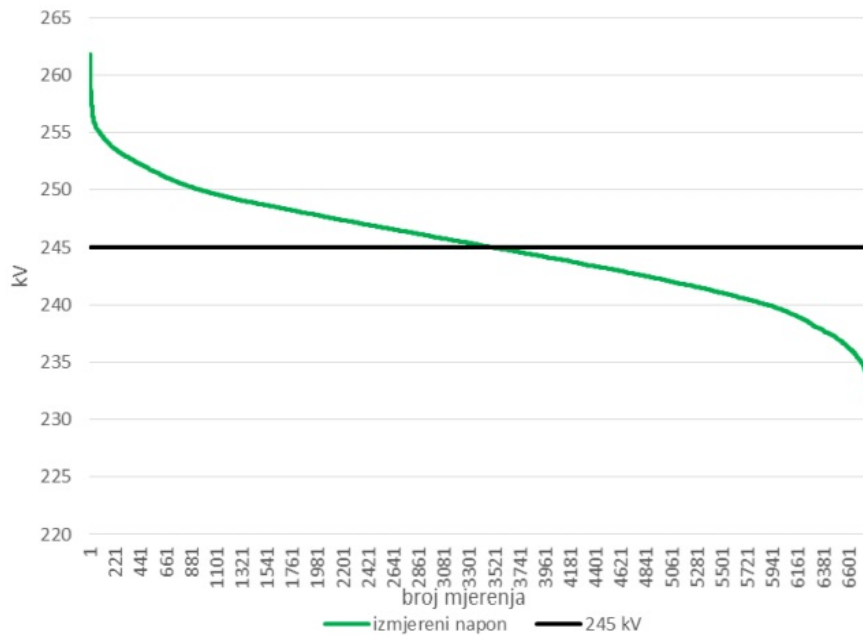
Slika 4.35. Dijagram trajanja napona u TS Tuzla 4 (110 kV) tijekom 2020.

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.



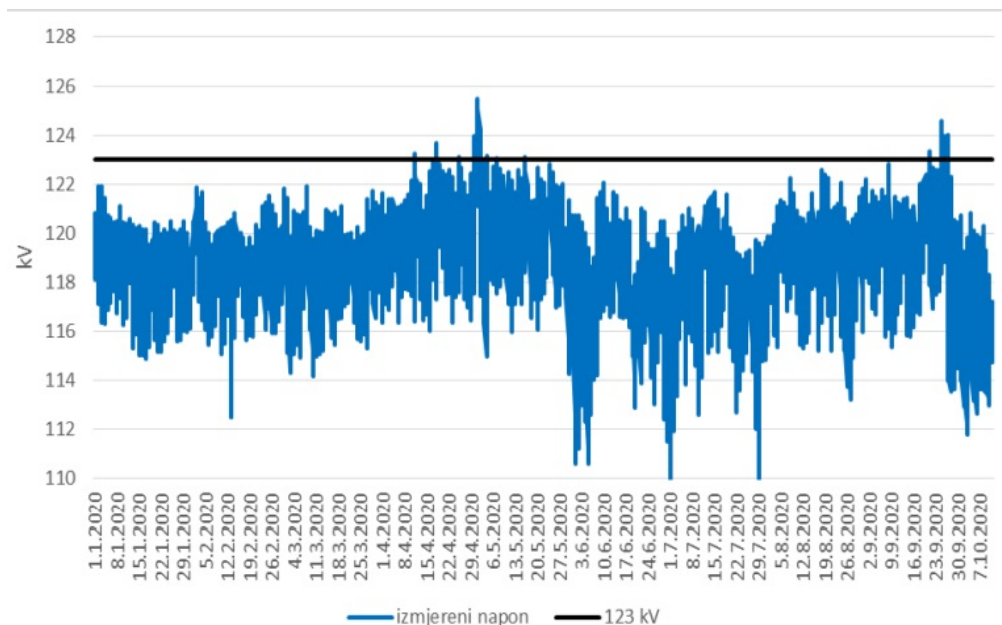
Slika 4.36. Dijagram promjene napona u TS Prijedor 2 (220 kV) tijekom 2020.



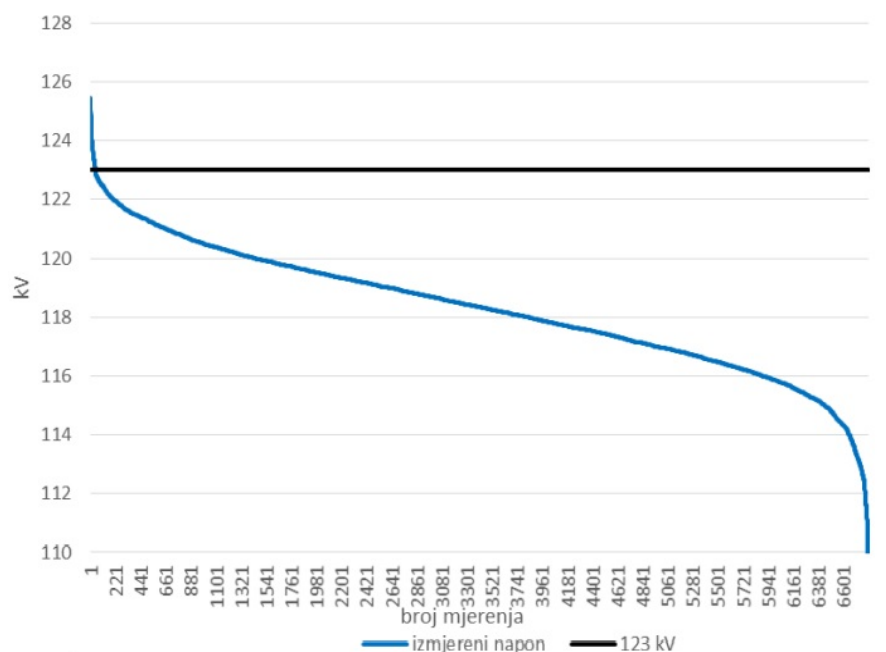
Slika 4.37. Dijagram trajanja napona u TS Prijedor 2 (220 kV) tijekom 2020.

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 Čapljina 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 Čapljina 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 $245 \pm 12 \times 1,25\% / 15,75$ kV imaju snagu od 240 MVA, sprege Ynd5. Neutralna 220 kV strana transformatora je direktno uzemljena. CHE Čapljina 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 2×70 MVar do 2×160 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 2×160 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.

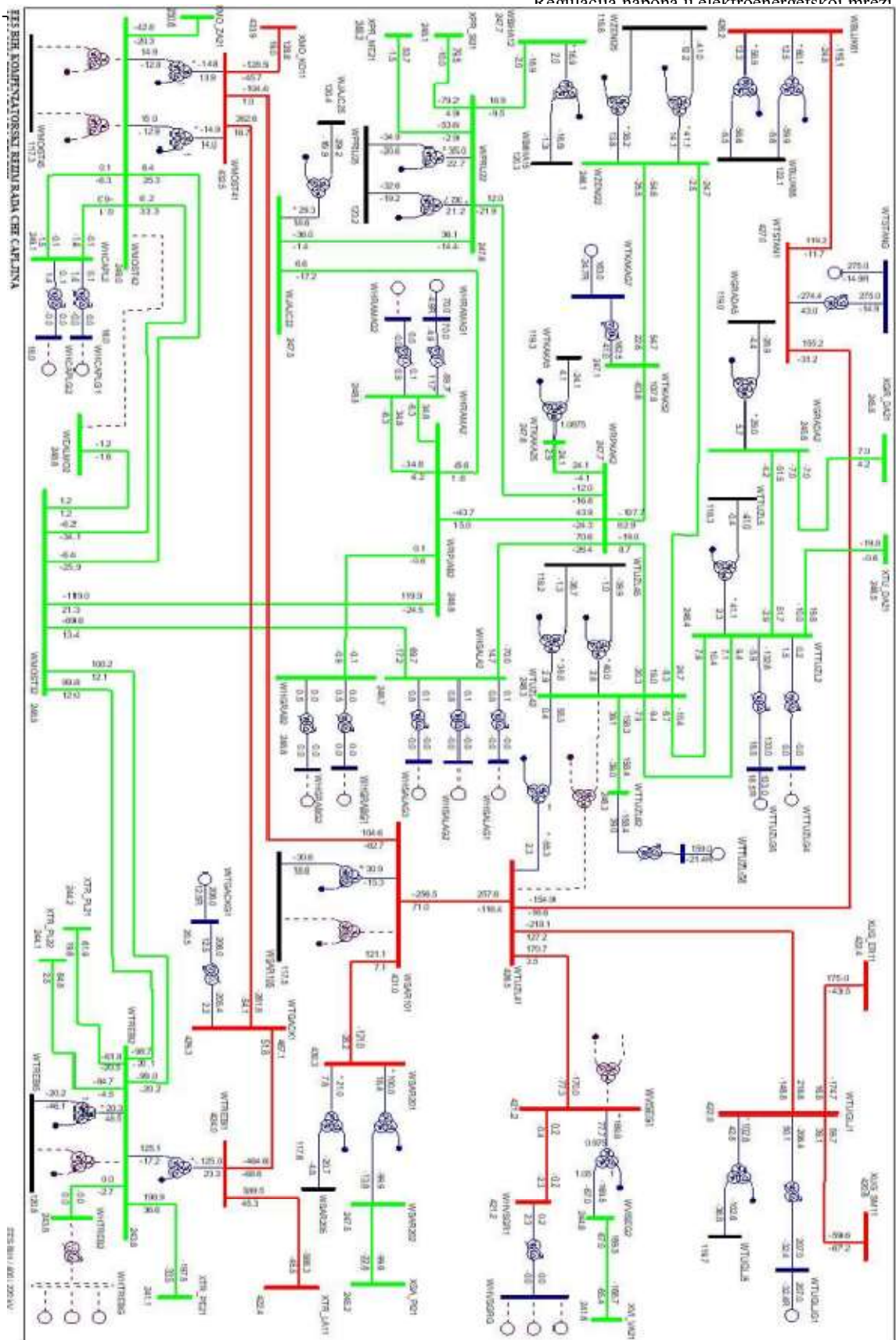
Tablica 5.1 Bilanca snaga elektroenergetskog sustava BiH

EES BIH, KOMPENZATORSKI REZIM RADA CHE CAPLJINA 17.11.2020. PRVI SAT RADA EES BIH						AREA TOTALS IN MW/MVAR						NET INTERCHANGE	
FROM -----AT AREA BUSES-----						TO						TO TIE TO TIES	
X-- AREA	GENE- RATION	FROM IND GENERATN	TO IND MOTORS	TO LOAD	TO BUS SHUNT	GENE DEVICES	BUS	TO LINE SHUNT	FROM CHARGING	TO LOSSES		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.

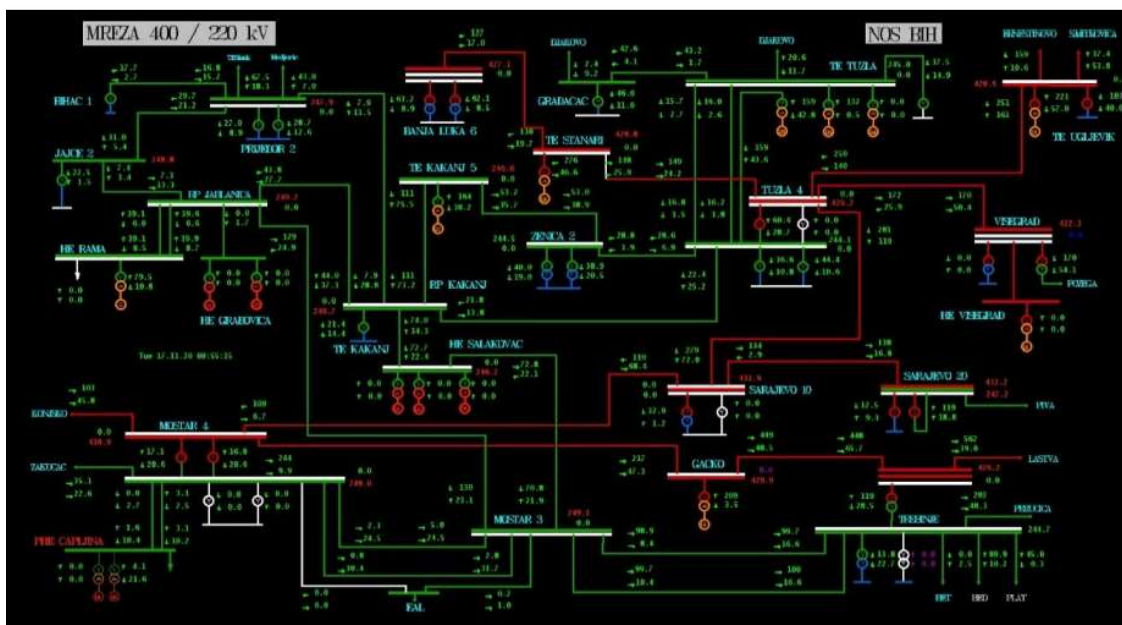
Tablica 5.2. Tokovi po međunarodnim dalekovodima EES BiH

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 termoelekttranama, 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

OBJEKT TS 400/x kV	NAPON [kV] 00:54 h	OBJEKT TS 220/x kV	NAPON [kV] 00:54 h
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

Međunarodni DV 400 kV	Q [MVar] 00:54 h	Međunarodni DV 220 kV	Q [MVar] 00:54 h
Mostar 4 – Konjsko	-47.12	Mostar 4 – Zakučac	-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

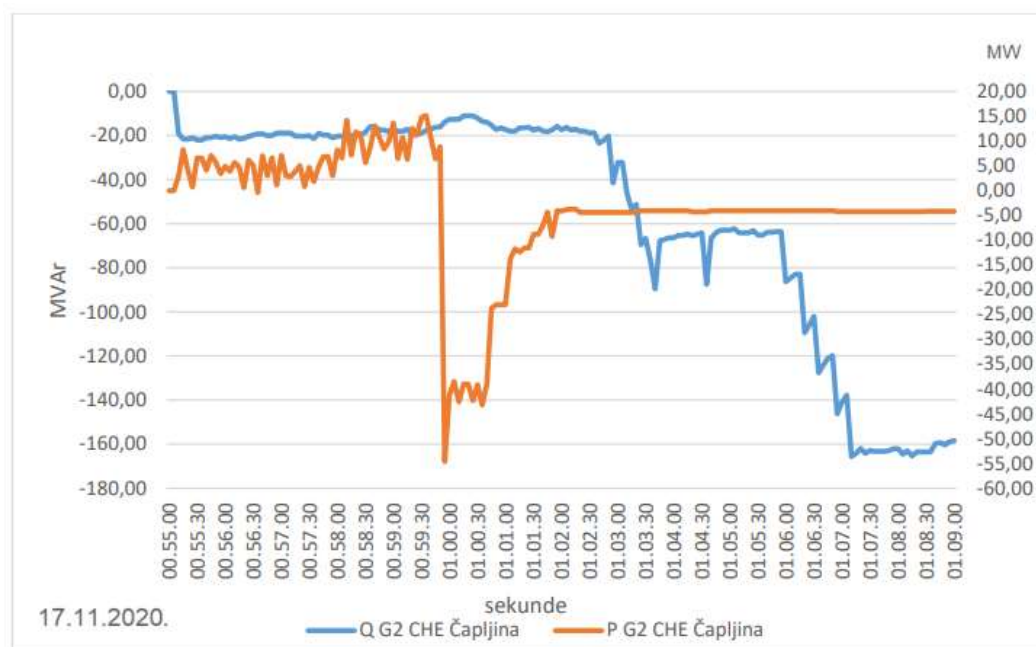
NOS	HOPS	-51.69
NOS	CGES	106.72
NOS	EMS	97.22
	Σ	152.25

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 TS 400/x kV	NAPON [kV] 00:54 h	NAPON [kV] 01:09 h	ΔU [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 TS 220/x kV	NAPON [kV] 00:54 h	NAPON [kV] 01:09 h	ΔU [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] 00:54 h	Q [MVar] 01:09 h	ΔQ [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] 00:54 h	Q [MVar] 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

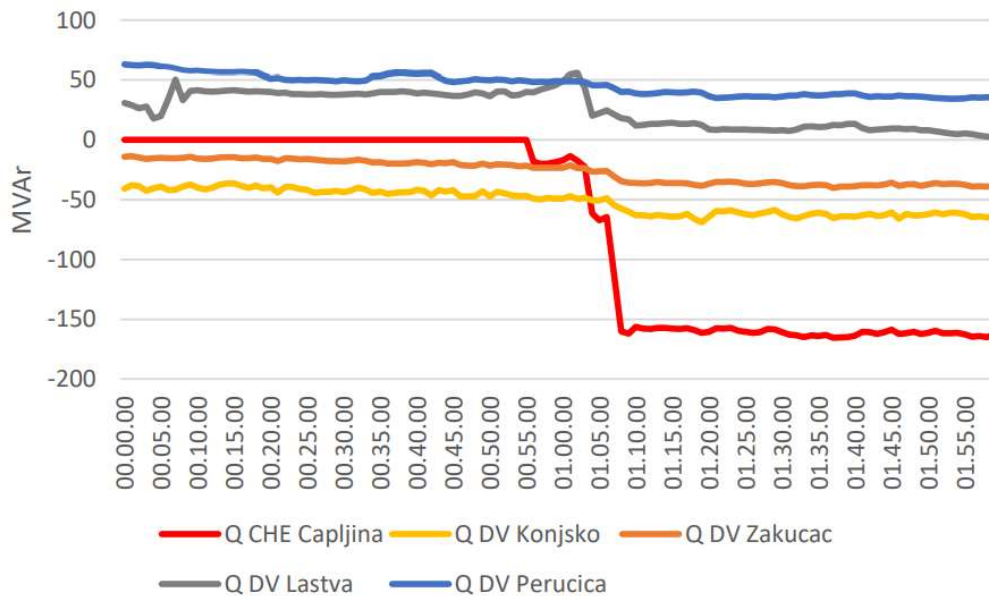
NOS	HOPS	-89.93
NOS	CGES	72.49
NOS	EMS	92.6
	Σ	75.16

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

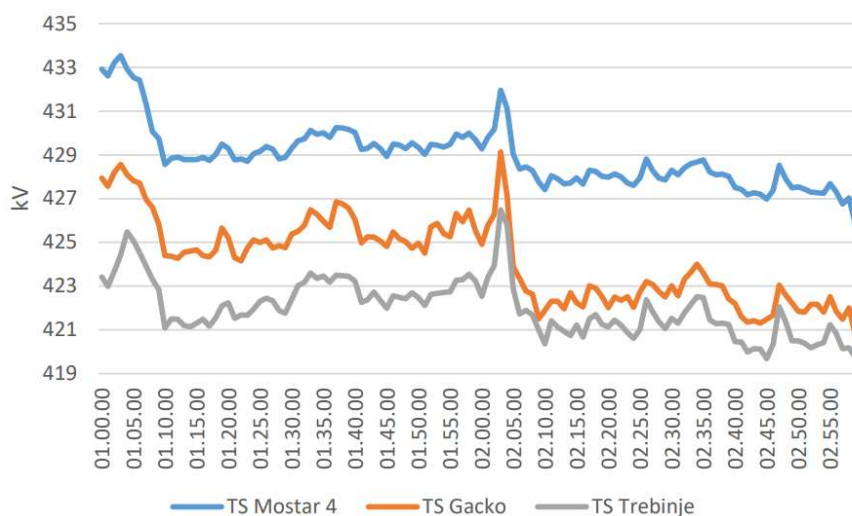
OBJEKT TS 400/x kV	NAPON [kV] 01:09 h	NAPON [kV] 02:09 h	ΔU [kV]
Mostar 4	429.75	427.76	-1.99
Gacko	425.82	421.5	-4.32
Trebinje	422.84	420.99	-1.85
Sarajevo 10	429.41	428.73	-0.68
Sarajevo 20	430.65	430.4	-0.25
Tuzla 4	429.2*	429.2*	*
Stanari	428.13	428.23	0.1
Banja Luka 6	426.84	426.88	0.04
Ugljevik	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 TS 220/x kV	NAPON [kV] 01:09 h	NAPON [kV] 02:09 h	ΔU [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] 01:09 h	Q [MVar] 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] 01:09 h	Q [MVar] 02:09 h	ΔQ [MVar]	
			U EES BiH	IZ EES BiH
Mostar 4 – Zakućac	-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.

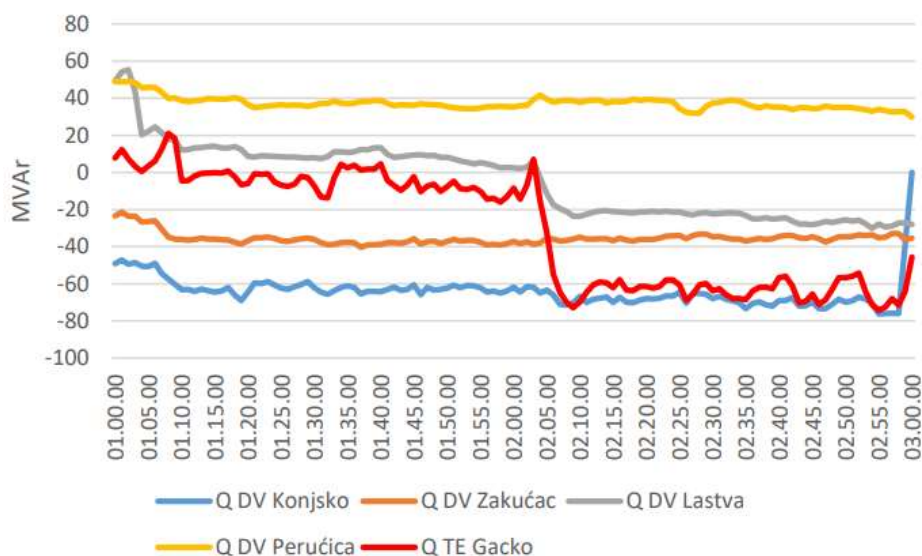
Tablica 5.17. Bilanca razmjene reaktivne snage nakon ulaska TE Gacko u kompenzatorski rad

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 („preljevavanja“) 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.

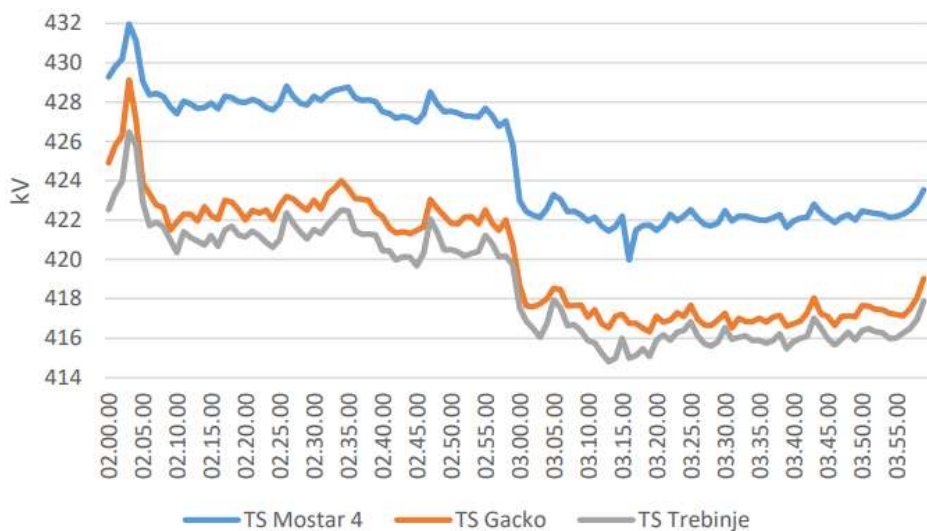
Tablica 5.18. Naponi u čvorištima prije i nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 - Konjsko

OBJEKT TS 400/x kV	NAPON [kV] 02:09 h	NAPON [kV] 03:03 h	ΔU [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

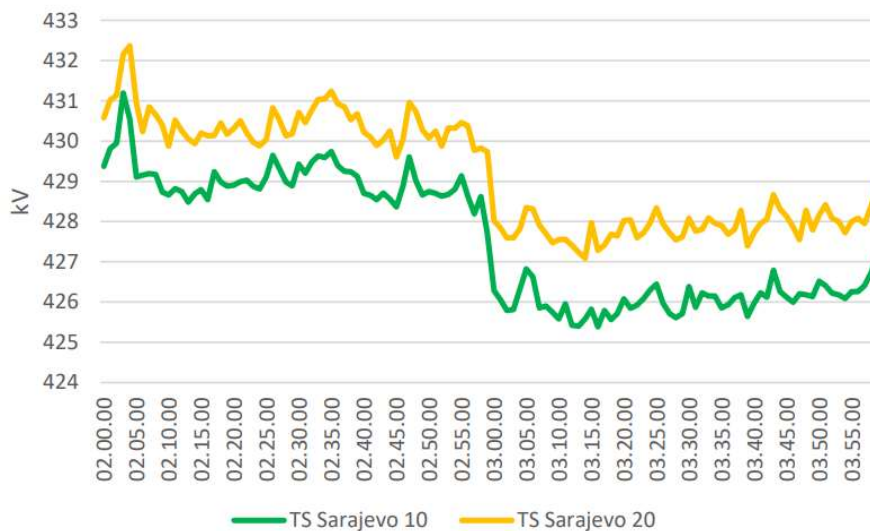
OBJEKT TS 220/x kV	NAPON [kV] 02:09 h	NAPON [kV] 03:03 h	ΔU [kV]
Mostar 4	245.47	243.09	-2.38
Mostar 3	243.66	242.05	-1.61
Trebinje	241.23	238.08	-3.15
RP Kakanj	246.97	245.77	-1.2
Prijedor 2	247.39	247.02	-0.37
Jajce 2	248.59	247.55	-1.04

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.



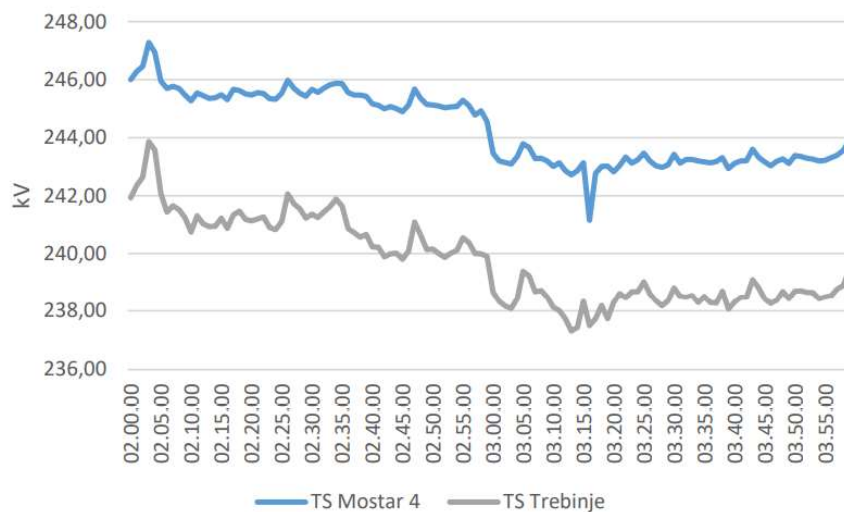
Slika 5.8. Naponi u TS Mostar 4, TS Gacko i TS Trebinje prije i nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko

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 TS 400/x kV	NAPON [kV] 00:54 h	NAPON [kV] 03:03 h	ΔU [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 TS 220/x kV	NAPON [kV] 00:54 h	NAPON [kV] 03:03 h	ΔU [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] 02:09 h	Q [MVar] 03:03 h	ΔQ [MVar]	
			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] 02:09 h	Q [MVar] 03:03 h	ΔQ [MVar]	
			U EES BiH	IZ EES BiH
Mostar 4 – Zakućac	-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

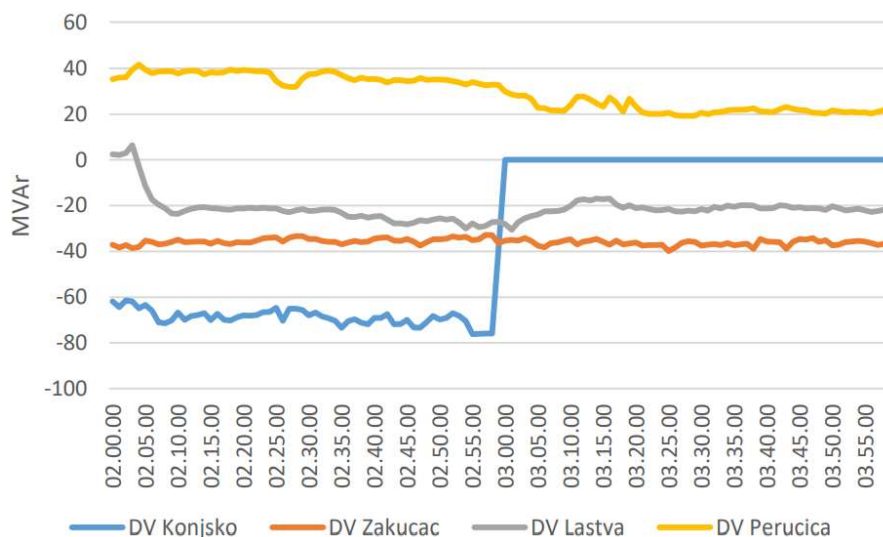
Na osnovu izmjerenih tokova reaktivne snage po međunarodnim vodovima, prikazanim u Tablicama 5.22 i 5.23, napravljena je bilanca razmjene reaktivne snage na prijenosnoj mreži 400 i 220 kV naponskog nivoa EES-a BiH sa susjednim sustavima Hrvatske, Srbije i Crne Gore.

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
	Σ	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.

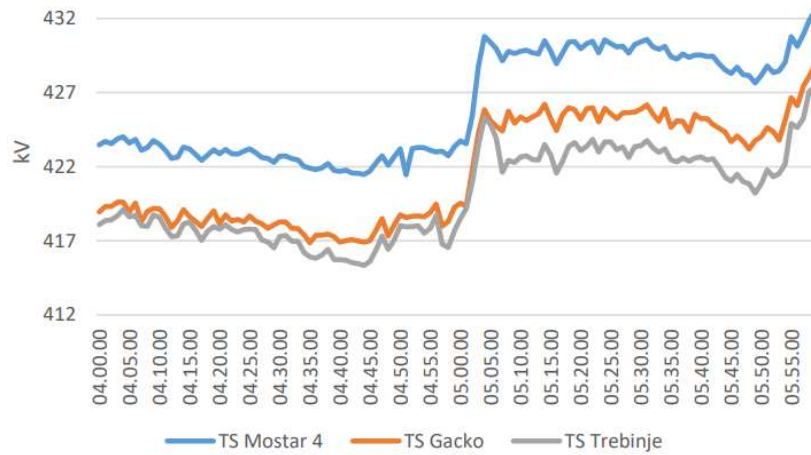
Tablica 5.25 Naponi u 400 kV čvorištima nakon izlaska HE i TE iz potpobuđenog režima

OBJEKT TS 400/x kV	NAPON [kV] 05:01 h	NAPON [kV] 05:16 h	ΔU [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

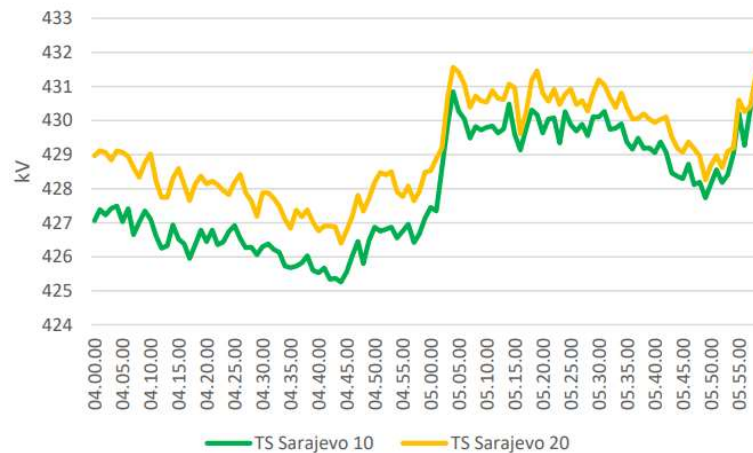
OBJEKT TS 220/x kV	NAPON [kV] 00:54 h	NAPON [kV] 03:03 h	ΔU [kV]
Mostar 4	243.46	248.28	4.82
Mostar 3	241.28	246.94	5.66
Trebinje	240.48	241.87	1.39
RP Kakanj	245.77	247.06	1.29
Prijedor 2	246.95	246.95	0
Jajce 2	247.92	248.73	0.81

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.



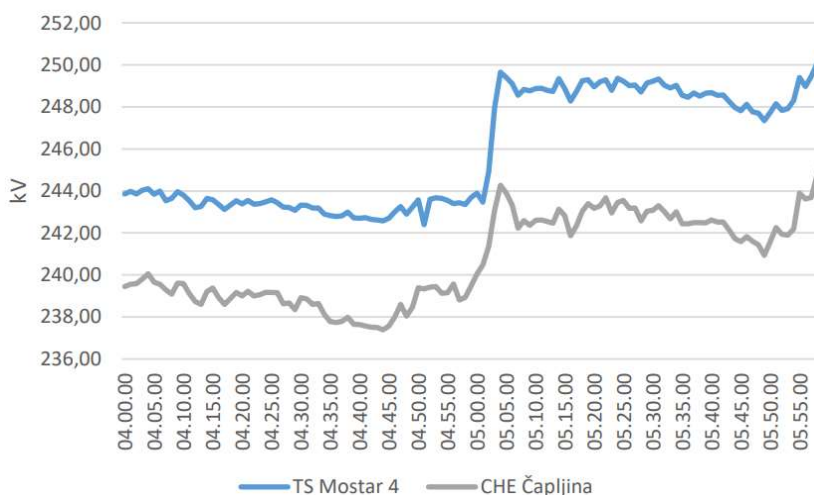
Slika 5.12. Naponi u TS Mostar 4, TS Gacko i TS Trebinje nakon izlaska CHE Čapljine

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] 05:01 h	Q [MVar] 05:16 h	ΔQ [MVar]	
			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] 05:01 h	Q [MVar] 05:16 h	ΔQ [MVar]	
			U EES BiH	IZ EES BiH
Mostar 4 – Zakućac	-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.

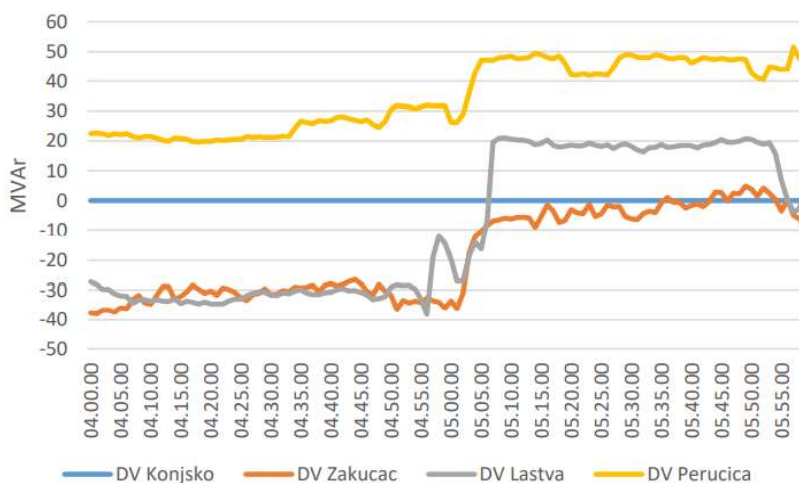
Tablica 5.29. Bilanca razmjene reaktivne snage nakon izlaska CHE Čapljina

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.

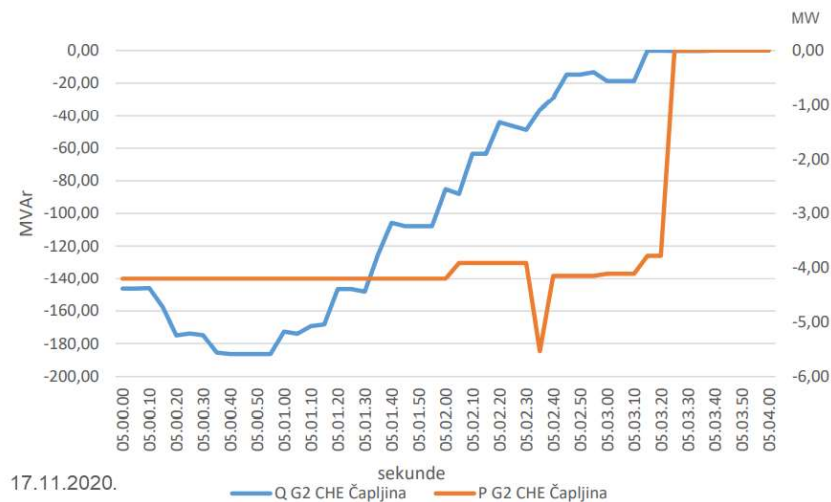
U ovom slučaju, u odnosu na tokove reaktivne snage u 05:01 h dolazi do promjena iznosa i smjera injektiranja reaktivne snage iz EES-a Hrvatske u EES BiH, pri čemu se iz EES-a BiH injektira reaktivna snaga u EES Hrvatske.

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.

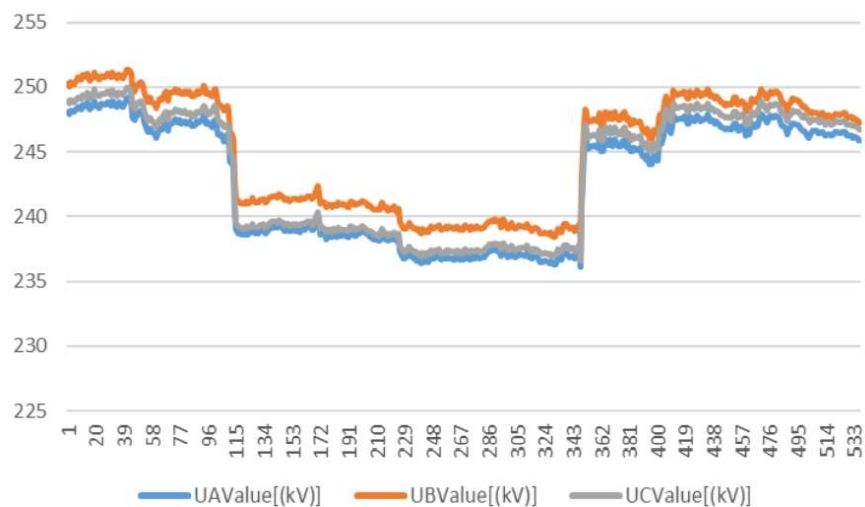
Mjerenja su izvedena u RP 220 kV CHE Čapljina preko kojeg je CHE povezana na prijenosnu mrežu BiH preko dva 220 kV dalekovoda u TS 400/220/110 kV Mostar 4. Blok transformatori 245/15,75 kV prijenosnog odnosa $245 \pm 12 \times 1,25\% / 15,75$ kV imaju snagu 240 MVA i spregu Ynd5. Neutralna 220 kV strana 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.

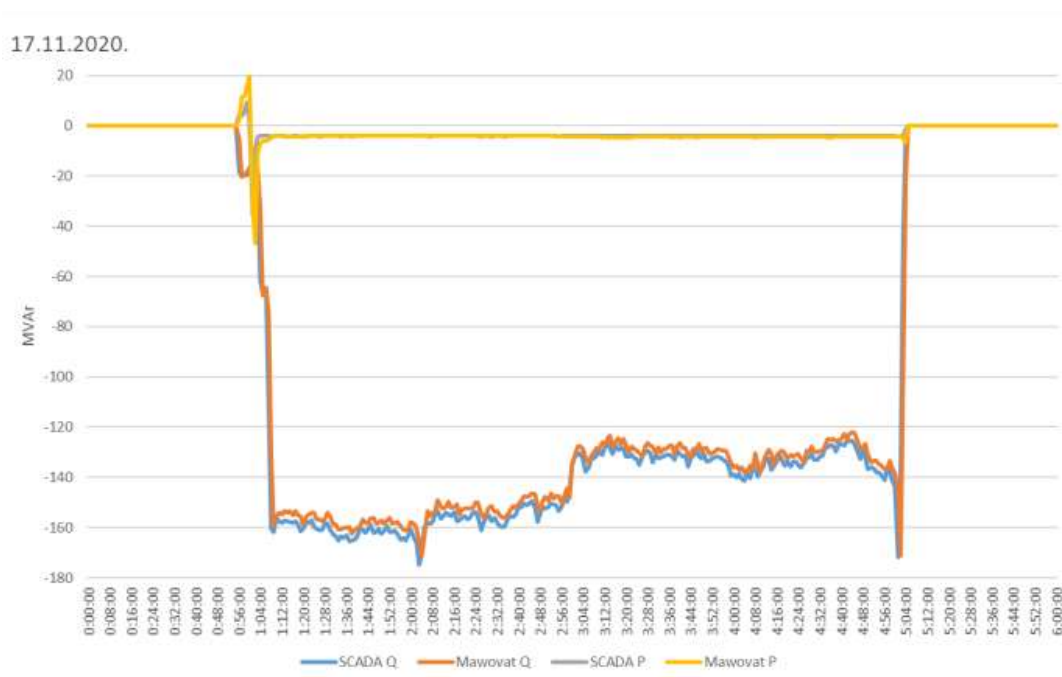
- napon: jednominutne prosječne vrijednosti, najniže i najviše efektivne vrijednosti za svaki interval od jedne minute
- struja: jednominutne prosječne vrijednosti, najniže i najviše efektivne vrijednosti za svaki interval od jedne minute
- aktivna i reaktivna snaga: jednominutne prosječne vrijednosti,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



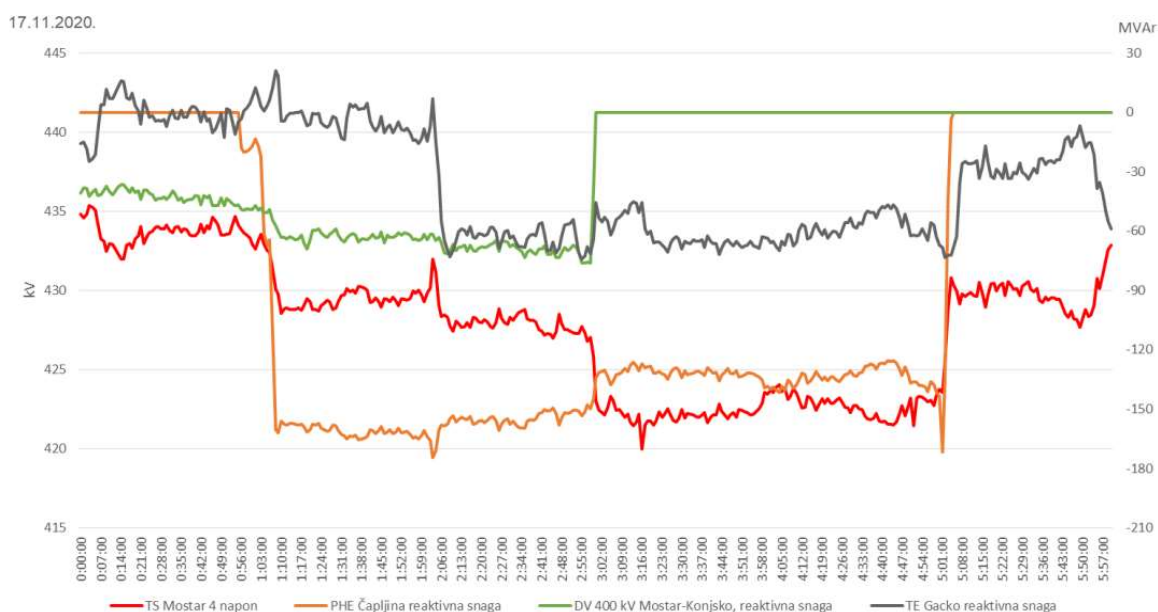
Slika 5.17. Izmjereni linijski naponi tri faze na primarnoj strani blok transformatora G2 u CHE Čapljina



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

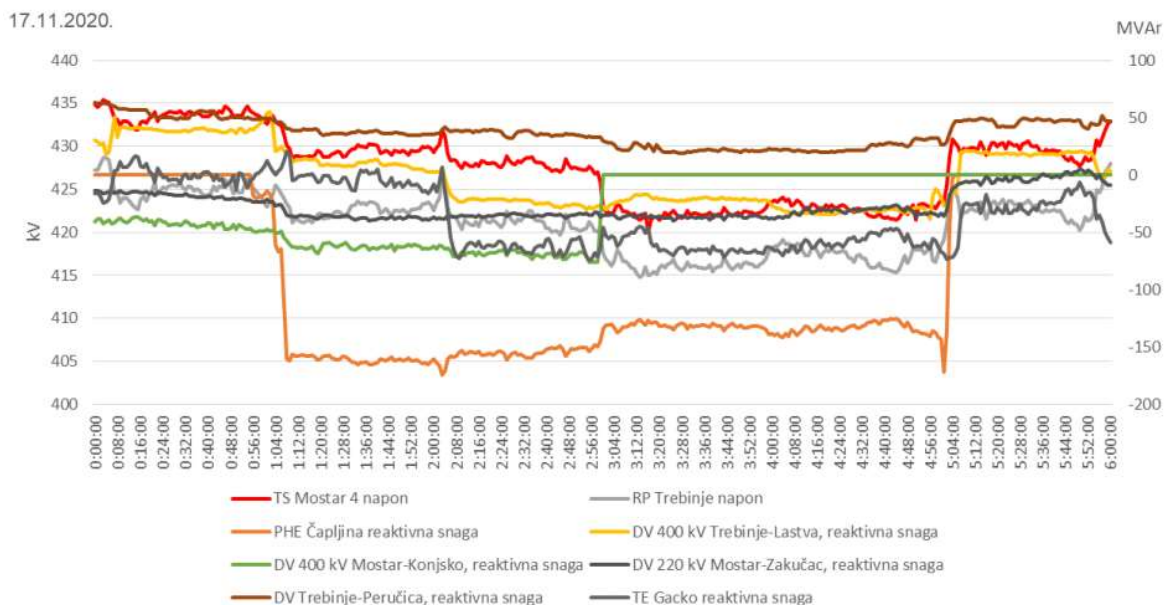
5.4.6. Ukupni rezultati mjerenja i proračuna

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 mjerenog 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., Stojšavljević M., Nemec 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 [11.05.2021.]
- [12] 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 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 kompenzatorski rad.....	54
Tablica 5.11. Tokovi Q na dalekovodima 400 kV nakon ulaska CHE Čapljina u kompenzatorski rad.....	55
Tablica 5.12. Bilanca razmjene reaktivne snage nakon ulaska CHE Čapljina u 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 rad	59
Tablica 5.16. Tokovi na dalekovodima 220 kV nakon ulaska TE Gacko u kompenzatorski rad	59
Tablica 5.17. Bilanca razmjene reaktivne snage nakon ulaska TE Gacko u kompenzatorski rad	59
Tablica 5.18. Naponi u čvorištima prije i nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 - Konjsko	61
Tablica 5.19. Naponi u čvorištima prije i nakon isključenja DV 220 kV Mostar 4 - Konjsko	62
Tablica 5.20. Naponi u 400 kV čvorištima nakon isključenja DV 400 kV Mostar – Konjsko	64
Tablica 5.21. Naponi u 220 kV čvorištima nakon isključenja DV 400 kV Mostar – Konjsko	64

Tablica 5.22. Tokovi na dalekovodima 400 kV nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 - Konjsko	65
Tablica 5.23. Tokovi na dalekovodima 220 kV nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 - Konjsko	65
Tablica 5.24. Bilanca razmjene reaktivne snage nakon isključenja DV 400 kV Mostar 4 - Konjsko	66
Tablica 5.25. Naponi u 400 kV čvorištima nakon izlaska HE i TE iz potpobuđenog režima	67
Tablica 5.26. Naponi u 220 kV čvorištima nakon izlaska HE i TE iz potpobuđenog režima	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

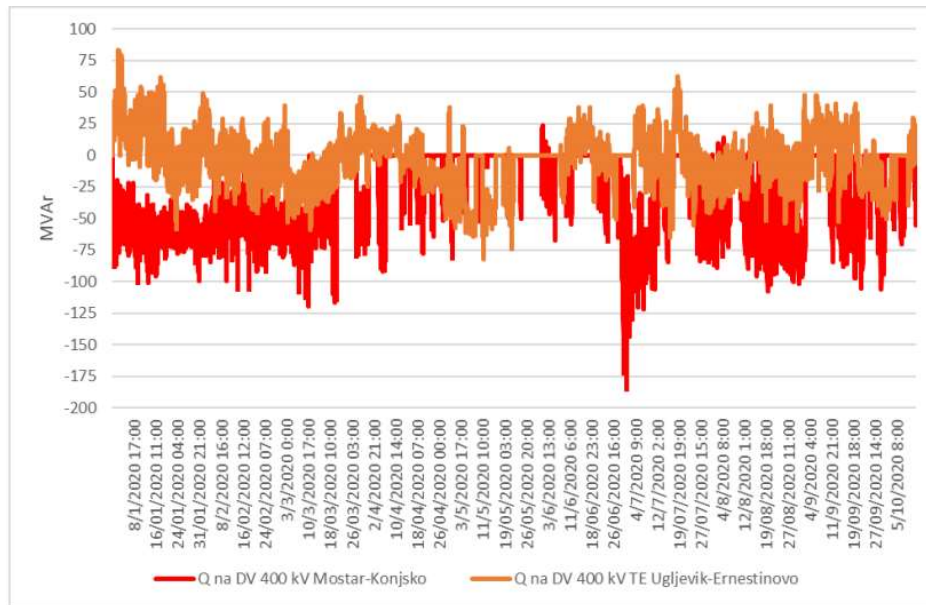
Prilog 5 – Pregled napona EES-a BiH

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

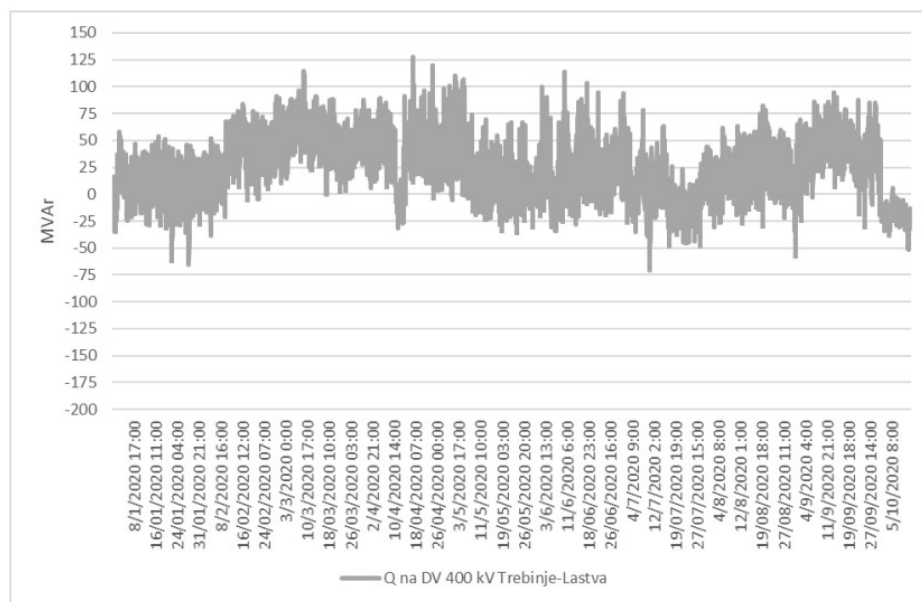
Prilog 7 – Bilanca snaga i pregled napona EES-a Srbije

Prilog 1

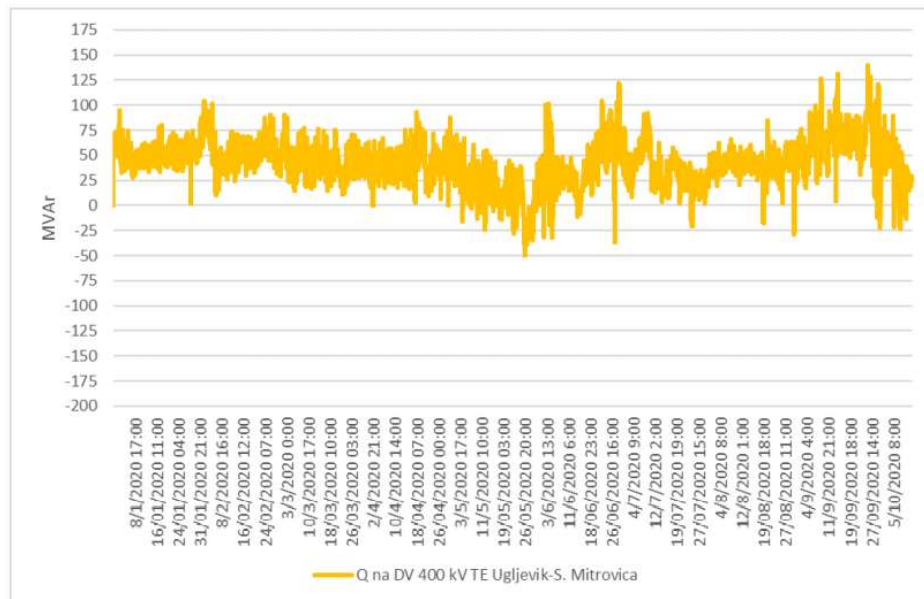
Analize reaktivnih snaga na 400 kV međunarodnim dalekovodima



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



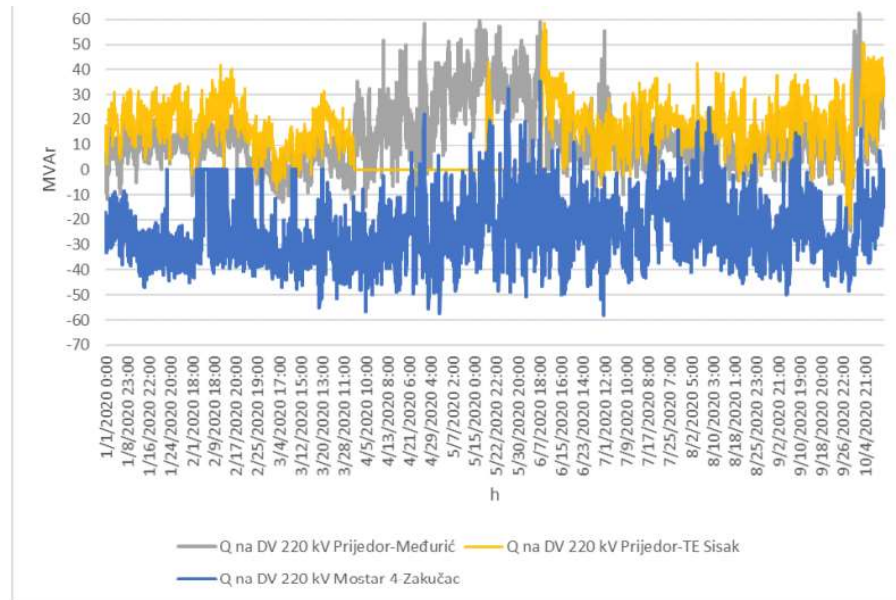
Slika 2. Srednja satna reaktivna snaga na međunarodnom DV 400 kV sa Crnom Gorom



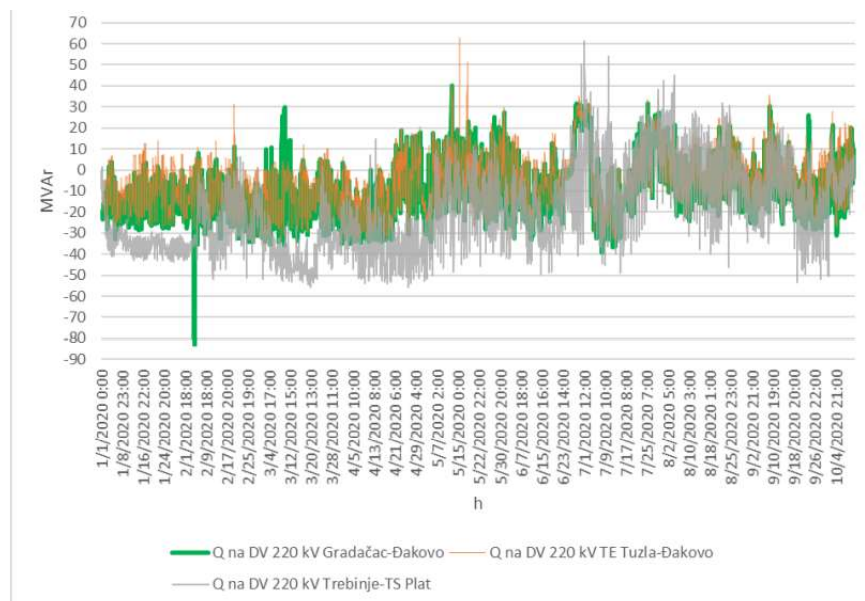
Slika 3. Srednja satna reaktivna snaga na međunarodnom DV 400 kV sa Srbijom

Prilog 2

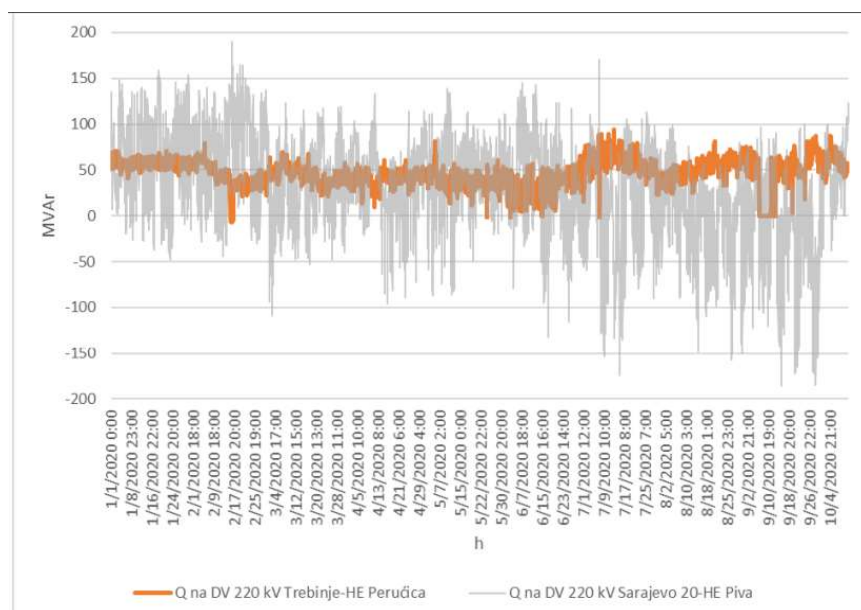
Analize reaktivnih snaga na 220 kV međunarodnim dalekovodima



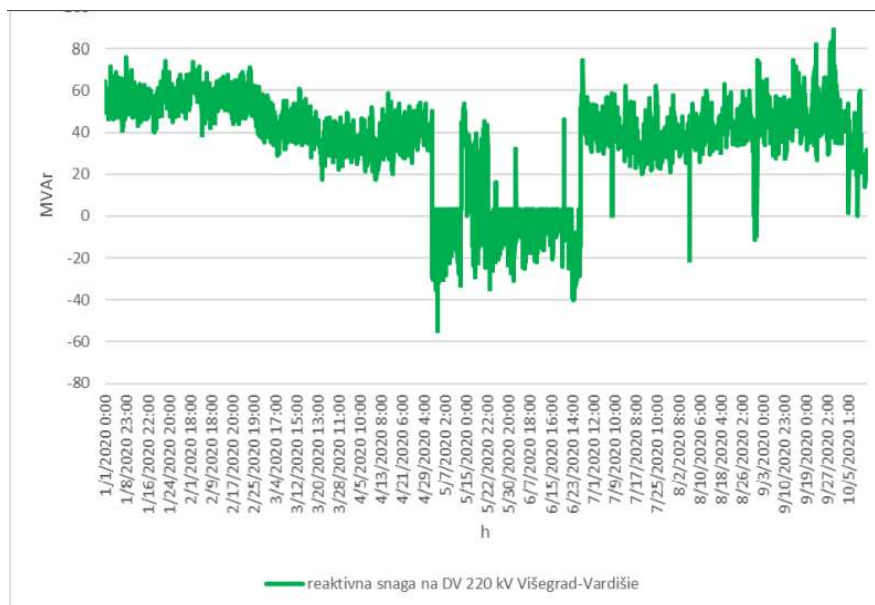
Srednja satna reaktivna snaga na međunarodnom DV 220 kV sa Hrvatskom



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):

FROM BUS				TO BUS							
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	1	61.5	300.0	20.5
130100	WBLUK61	400.00*	13	3WNDTR	WND 1	13	2	1	60.3	300.0	20.1
130110	WSAR201	400.00*	13	3WNDTR	WND 1	13	1	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	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):

FROM BUS				TO BUS							
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	WVISEG2	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	1	126.3	400.0	31.6
130215	WTREBI2	220.00*	13	3WNDTR	WND 1	13	2	1	52.6	150.0	35.0
130220	WVISEG2	220.00*	13	3WNDTR	WND 2	13	2	1	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	WTTUZZL2	220.00	13	135045	WTTUZZL5	15.750*	13	1	134.1	240.0	55.9
133245	WTTUZZL6	220.00*	13	133250	WTTUZZL4	220.00	13	1	145.7	365.5	39.9
133245	WTTUZZL6	220.00*	13	135046	WTTUZZL6	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):

FROM BUS				TO BUS							
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	1	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	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	WLUKA1D2	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	
LEVEL	BRANCHES	MW	MVAR	MW	MVAR
400.0	14	8.13	82.21	0.0	0.0
220.0	45	8.27	61.15	0.8	9.7
110.0	260	10.21	50.80	2.2	21.9
42.0	9	0.00	0.00	0.2	1.6
35.0	150	0.06	0.93	3.6	35.6
33.0	1	0.04	1.08	0.0	0.1
30.0	2	0.00	0.00	0.1	0.1
20.0	51	1.01	54.96	1.9	16.8
15.8	5	0.99	41.17	0.9	9.2
15.7	2	0.00	0.00	0.3	2.9
15.6	2	0.16	5.87	0.2	1.8
14.4	1	0.19	7.66	0.0	0.0
13.8	5	0.14	10.23	0.4	4.8
10.5	14	0.05	1.73	0.5	3.9
10.0	155	0.00	0.00	3.3	34.4
6.3	9	0.08	3.25	0.2	1.5
6.0	4	0.00	0.00	0.1	0.7
TOTAL	729	29.32	321.06	14.5	145.1
				CHARGING	
				MW	MVAR
				964.6	819.7

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		WTREBI1		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		WTUZZL41		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		WTREBI2		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		WTKAK52		220.00	13	1.1232	247.11	133235		WTKAKA25		220.00	13	1.1255	247.62
133240		WTTUZZL2		220.00	13	1.1198	246.35	133245		WTTUZZL62		220.00	13	1.1191	246.20
133250		WTUZZL42		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		WDUBIC5		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		WPRIIT5		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      TO      FROM      TO      NET INTERCHANGE
X-- AREA --X RATION GENERATN MOTORS LOAD SHUNT GNE BUS TO LINE FROM TO TIE TO TIES
                                         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
                                     IN MW/MVAR
FROM -----AT AREA BUSES-----
GENE- FROM IND TO IND TO
X-- AREA --X RATION GENERATN MOTORS LOAD TO BUS GNE BUS TO LINE FROM TO NET INTERCHANGE
      TO SHUNT DEVICES SHUNT CHARGING LOSSES TO TIE TO TIES
      TO TIES
      + LOADS
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 *