

IDENTIFIKACIJA NEDOZVOLJENIH NAPONA NA PRENOSNOJ MREŽI BiH

-ELABORAT-



**NOSBiH
НОСБиХ**

Sarajevo, oktobar 2010

Sadržaj

1	Projektni zadatak	3
2	Uvod	8
3	Granične vrijednosti napona.....	10
3.1	Izvodi iz Mrežnih pravila susjednih EES i Operativnog priručnika UCTE	12
3.1.1	Mrežna pravila elektroenergetskog sustava Hrvatske	12
3.1.2	Pravila o radu prenosnog sistema Srbije	12
3.1.3	Privremeni kodeks mreže Elektroprivrede Crne Gore	13
3.2	Operativni priručnik UCTE (ENTSO-E) – Pravilo 3: Operativna sigurnost.....	13
4	Prikaz rezultata	15
4.1	Procedura praćenja i registracije visokih napona	15
4.2	Dijagrami napona i krive trajanja	18
5	Uređaji za regulaciju napona u EES.....	35
5.1	Sinhroni generatori	35
5.2	Sinhroni kompenzatori	37
5.3	Transformatori	37
5.4	Kondenzatorske baterije	38
5.5	Paralelne prigušnice/reaktori	40
5.6	Statički VAr kompenzatori.....	40
5.7	Statički sinhroni kompenzator	42
5.8	Pregled performansi uređaja za regulaciju	42
5.9	Uređaji za regulaciju reaktivne snage i napona u EES BiH	43
5.9.1	BH Steel Željezara Zenica.....	43
5.9.2	CHE Čapljina	44
6	Dispečerske akcije	47
7	Formiranje modela EES-a	50
7.1	Analiza uzorka i izvora nastanka visokih napona u EES BiH.....	50
8	Mjere za sniženje napona u EES-u BiH	56
9	Zaključci	62

1 Projektni zadatak



Nezavisni operator sistema u Bosni i Hercegovini
Независни оператор система у Босни и Херцеговини
Neovisni operator sustava u Bosni i Hercegovini
Independent System Operator in Bosnia and Herzegovina

Broj: 162910
Datum: 02.06.2010.

PROJEKTNI ZADATAK za izradu Elaborata

IDENTIFIKACIJA NEDOZVOLJENIH NAPONA NA PRENOSNOJ MREŽI BiH

1. Cilj Elaborata

Puštanjem u pogon 400 kV mreže na području bivše Jugoslavije formirana je siguran prenosni sistem kako za vlastite potrebe članica tadašnje države, tako i za tranzitiranje električne energije. Odmah nakon puštanja prenosne mreže 400 kV u pogon uočene su pojave nedozvoljeno visokih napona, posebno u režimima malih opterećenja. Ove pojave su bile i predviđene, pa su za smanjenje napona na dozvoljeni nivo bile predviđene prigušnice u pojedinim transformatorskim stanicama 400 kV. Tipsko rješenje su bile prigušnice snage 50 Mvar priključene na tercijer energetskih transformatora 400/110 kV. Iskustva sa ovim prigušnicama su bila povoljna sa aspekta uticaja na smanjenje napona u dozvoljene granice ali sa problemima zbog čestog uključenja/isključenja.

Ponovnim stavljanjem u pogon 400 kV mreže na području Bosne i Hercegovine i njenom rekonekcijom u jedinstveni elektroenergetski sistem UCTE oktobra 2004. godine, problematika visokih napona je ponovo postala aktuelna. Prema pravilima UCTE, tokovi reaktivnih snaga na interkonektivnim vodovima moraju biti svedeni na najmanju moguću mjeru, a naponi na krajnjim tačkama interkonekcije moraju biti u deklarisanim granicama.

Obzirom da su već tokom rekonekcije rehabilitovani vodova 400 kV na području Bosne i Hercegovine, a naročito nakon stavljanja u pogon DV 400 kV Konjsko – Mostar 4 i Ernestinovo – Ugljevik evidentirani naponi na prenosnoj mreži 400 kV i 220 kV koji su iznad vrijednosti propisanih Mrežnim kodeksom, što se redovno ponavlja u režimima malih opterećenja, naročito u proljeće i jesen, realno je očekivati da će problematika upravljanja naponskim prilikama i tokovima reaktivnih snaga na interkonektivnim vodovima biti i dalje aktuelna.

Najveći uticaj na pojavu napona koji su iznad granica definisanih Mrežnim kodeksom je opterećenje 400 kV vodova ispod prirodne snage (opterećenja ne prelaze 20% termičkog kapaciteta), kao i vrlo ograničene mogućnosti kompenzacije suficita reaktivne snage u EES-u BiH. Treba imati u vidu da naponi iznad dozvoljenih vrijednosti koji traju u kontinuitetu i po nekoliko sati, pa i dana, nepovoljno utiču na izolacioni nivo opreme, skraćujući njen životni vijek, posebno kada se radi o energetskim transformatorima.

Registracija: Ministarstvo pravde BiH, 08-50.3-7-3/05

Identifikacijski broj: 4200777780003

PDV broj: 200777780003

Žiro račun: 161000004670076 - Raiffeisen Bank d.d. BiH

IBAN CODE: BA39161100001237293

SWIFT: RZBABA2S

H. Čemerlića 2, 71000 Sarajevo, BiH

Tel: +387 33 720 400

Fax: +387 33 720 494

www.nosbih.ba

info@nosbih.ba

Rad EES-a pri nedozvoljeno visokim naponima, ako je ta pojava lokalne prirode, (jedne sabirnice) svrstava se u "pogon pri otežanim uslovima", zahtjevajući dispečersku akciju na tom lokalitetu. Međutim, ako se visoki naponi redovno pojavljuju na širem području što zahtjeva koordinirane dispečerske akcije na više tačaka u sistemu, često vezane za slabljenje sigurnosti sistema isključenjem dalekovoda ili zahtjevom za rad elektrana u dubljoj podpobudi, tada se sistem nalazi u "poremećenom pogonu" uz opasnost od daljeg širenja poremećaja sa težim posljedicama na isporuku električne energije.

Otežane uslove rada sistema, pa tako i pojave previsokih napona, treba predviđati i identifikovati već u fazi planiranja, a njihova sanacija se može vršiti samo raspoloživim dispečerskim akcijama u skladu sa trenutnim mogućnostima.

Prema tome, cilj ovog Elaborata je da, na osnovu praćenja naponskih prilika na karakterističnim tačkama 400 kV i 220 kV mreže EES BiH, sagleda njihovu veličinu i trajanje u proteklom periodu (najmanje jedna godina), izvrši identifikaciju uzroka pojave previsokih napona, izvrši kritičku analizu raspoloživih dispečerskih akcija i njihovu efikasnost, te predloži dalje aktivnosti u njihovoj sanaciji.

2. Sadržaj Elaborata

- 2.1.** U opštem dijelu dati komentar o graničnim vrijednostima napona obzirom na IEC propise, Mrežni kodeks Bosne i Hercegovine i susjednih sistema (zemalja), te izolacioni nivo opreme (energetski i mjerni transformatori, prekidači) koja se koristi u Bosni i Hercegovini.
- 2.2.** Analizirati efikasnost i rezultate procedura za praćenje i registraciju pojave previsokih napona u EES BiH (pogođene sabirnice, vrijeme nastanka i trajanja, doprinos susjednih sistema, primjenjena dispečerska akcija, efekat dispečerske akcije).
- 2.3.** Dati komentar o regulacionim mogućnostima elektroenergetskog sistema sa aspekta regulacionih karakteristika generatora u zavisnosti od podešenja regulatora napona u kapacitivnoj zoni i mrežnih transformatora u Bosni i Hercegovini uzimajući u obzir i analizu načina napajanja sopstvene potrošnje termoelektrana i potreba (MW/Mvar), njihovih pogonskih karata i raspoložive mjerno-registracione opreme.
- 2.4.** Na bazi raspoloživih podataka o tokovima aktivnih i reaktivnih snaga na interkonektivnim vodovima i angažovanju elektrana u vrijeme nastanka previsokih napona formirati odgovarajući model EES-a BiH i susjednih sistema.
- 2.5.** Izvršiti kritičku analizu uzroka i izvora nastanka visokih napona, te izvršiti potrebne simulacije karakterističnih slučajeva i dati komentar o raspoloživim mogućnostima i njihovoj efikasnosti za svođenja napona u dozvoljene granice.
- 2.6.** Definisati konkretnе dispečerske akcije u cilju svođenja visokih napona u dozvoljene okvire uz najmanji rizik od smanjenja sigurnosti rada sistema.
- 2.7.** Izvršiti tehno-ekonomsku analizu rada CHE Čapljina sa aspekta troškova u kompenzatorskom, generatorskom i pumpnom režimu sa aspekta obezbjedenja rezerve reaktivne snage kao sistemske usluge.
- 2.8.** Predložiti dalje aktivnosti u cilju dovođenja napona u dozvoljene granice.

3. Podloge

- 3.1.** Raspoloživi izvještaji o tokovima aktivnih i reaktivnih snaga, angažovanju elektrana i vrijednostima napona na mreži 400 i 220 kV za vrijeme pojave previsokih napona.
- 3.2.** Dokumentacija JP Elektroprivreda u BiH i Elektroprenosa BiH (Pogonske karte generatora priključenih na 400 kV i 220 kV naponski nivo, podešenje naponskih regulatora, karakteristike blok transformatora i mjerno-registracione opreme; karakteristike energetskih transformatora 400/x kV i 220/x kV).
- 3.3.** Mrežni kodeks.
- 3.4.** ENTSO-E Network Code for Requirements for Generators for Grid Connection and Access - proposal WG.

Programski zadatak sastavio



mr. Nikola Rusanov, dipl.inž.el.



Generalni Direktor

Omer Hadžić

Broj: 01-~~1742~~/10

Datum: 15.06.2010. godine

Na osnovu članka 33. Zakona o utemeljenju Neovisnog operatera sustava za prijenosni sustav u Bosni i Hercegovini (Službeni glasnik BiH broj: 35/04) i članka 35. Statuta Nezavisnog operatora sustava u Bosni i Hercegovini, generalni direktor donosi:

RJEŠENJE
o imenovanju Komisije za izradu Elaborata "Identifikacija nedozvoljenih napona na prenosnoj mreži BiH"

Članak 1.

Ovim Rješenjem imenuje se Komisija za izradu Elaborata "Identifikacija nedozvoljenih napona na prenosnoj mreži BiH" u slijedećem sastavu:

1. Nikola Rusanov, predsjednik
2. Husnija Ferizović, član
3. Vojislav Pantić, član
4. Edina Aganović, član
5. Senad Hadžić, član
6. Vedad Hadžagić, član

Članak 2.

Zadatak Komisije je da izradi Elaborat iz članka 1. ovog rješenja i isti dostavi Upravi NOSBiH-a.

Članak 3.

Mandat Komisije traje od dana donošenja ovog rješenja do okončanja poslova iz članka 2. ovog rješenja.

Obrazloženje:

Sukladno ukazanoj potrebi za izradu Elaborata Identifikacija nedozvoljenih napona na prenosnoj mreži BiH imenovana je Komisija iz članka 1. ovog rješenja od uposlenika NOSBiH-a. Prilikom imenovanja komisije u obzir je uzeto da se za predsjednika i članove komisije imenuju uposlenici sa iskustvom na polju problematike napona na prenosnoj mreži.

PRAVNA POUKA: Protiv ovog rješenja može se uložiti pismeni prigovor generalnom direktoru NOSBiH-a u roku 3 dana od primitku istog.



Generalni direktor
Omer Hadžić, dipl. el.ing.

Dostaviti:

- imenovanim članovima komisije
- a/a

2 Uvod

Napon potrošačkih čvorišta su, uz frekvenciju i besprekidnost napajanja, osnovni pokazatelji kvaliteta električne energije. Održavanje napona u tehnički deklarisanim granicama znači ujedno i optimalan rad opreme i potrošača električne energije a ujedno i minimum gubitaka u transportu električne energije od izvora do krajnjeg korisnika. Naponske prilike diktiraju proizvodnja i potrošnja, ali i gubici, odnosno doprinos reaktivne (jalove) snage na cijelom prenosnom putu od izvora do potrošača pa tako i na prenosnoj mreži. Previsoki naponi, odnosno naponi iznad dozvoljenih granica nepovoljno utiču na izolacione karakteristike opreme smanjujući vijek trajanja izolacije, dok naponi ispod graničnih vrijednosti povećavaju gubitke uz opasnost od naponskog sloma i prekida napajanja potrošača.

Posmatrano sa aspekta elektroenergetskog sistema u cjelini, naponske prilike su lokalnog karaktera, tj. u jednom dijelu sistema mogu biti visoki naponi, dok u drugom dijelu niski naponi. Transport velikih količina reaktivne snage iz suficitarnih područja u udaljenija deficitarna područja nije moguć zbog velikih padova napona uzrokovanih gubicima reaktivne snage, a ekonomski nije ni opravдан, jer transporti reaktivnih snaga izazivaju nepotrebne gubitke aktivne snage i smanjuju propusnu moć prenosnih i distributivnih kapaciteta.

Naponsko-reaktivne prilike na prenosnim mrežama uzrokovane su režimima rada generatora, vodova i kablova, rotacionim kompenzatorima i savremenim statickim VAR kompenzatorima. Dok su generatori i kompenzatori regulacioni elementi sa kontinuiranom regulacijom i mogu po potrebi biti izvori i potrošači reaktivne snage, visokonaponski vodovi nisu regulacioni elementi, ali mogu biti značajni proizvođači, odnosno potrošači reaktivne snage, što zavisi samo od njihovog opterećenja.

Nepovoljne naponske prilike, bilo da se radi o visokim ili niskim naponima, moraju se predvidjeti već u fazi planiranja razvoja prenosne mreže, pogotovo ako se pokaže kao neophodno instalisanje i korištenje dodatne opreme koja zahtjeva vrijeme i ne male investicije. Prenosni sistem mora biti pripremljen na adekvatan način za sanaciju nepovoljnih naponskih prilika i dispečeri NOS BiH moraju u svakom trenutku imati mogućnost primjene odgovarajućih dispečerskih akcija.

Podopterećena prenosna mreža, odnosno vodovi opterećeni ispod prirodne snage što je redovna pojava na 400 kV i 220 kV vodovima u BiH ali i susjednim sistemima, značajan su izvor reaktivne snage sa posljedicom povećanja napona iznad maksimalno dozvoljenih vrijednosti, što se u najvećem broju slučajeva ne može kompenzovati bez dodatnih kompenzacionih uređaja ili rada generatora u podpobudi. Za ilustraciju su, u narednoj tabeli, navedene prirodne snage i proizvodnja reaktivne snage za vodove naponskog nivoa 110, 220 i 400 kV.

Tabela I: Prirodne snage i proizvodnja reaktivne snage

Naponski nivo (kV)	Materijal i presjek	Termička struja (A)	Max. snaga (MVA)	Prirodna snaga U^2/Z_c (MW)	Producija Q (Mvar/km)
110	AlFe 240/40	645	122	30	0.05
220	AlFe 360/57	790	300	130	0.14
400	AlFe 2x490/65	1920	1328	550	0.60

Kao dodatni regulacioni element koriste se i transformatori sa regulacijom napona pod opterećenjem usmjerenjem tokova reaktivne snage iz jednog naponskog nivoa u drugi.

Treba napomenuti da je pravilima rada u interkonekciji UCTE definisano da se razmjena reaktivne snage po interkonektivnim vodovima mora ograničiti na najmanju mjeru, a naponi u graničnim čvorovima moraju biti u deklarisanim granicama (SUMMARY OF THE CURRENT OPERATING PRINCIPLES OF THE UCTE- Chapter 4 – Voltage and Reactive Power Control).

Nivoi napona graničnih čvorišta inetkonektivnih vodova moraju biti usklađeni koordiniranim dispečerskim akcijama nadležnih centara u cilju efikasnog upravljanja tokovima reaktivnih snaga.

U slučajevima kada naponi graničnih čvorova prelaze tehnički dozvoljene vrijednosti, mora se instalirati kompenzaciona oprema u cilju održavanja napona u deklarisanim granicama. Snaga, mjesto i način regulacije kompenzacionih uređaja mora se odrediti dogovorno na nivou zainteresovanih kompanija nakon detaljnih proračuna tokova snaga i naponskih prilika za različita pogonska i uklopnja stanja sistema.

Na prenosnim mrežama tokovi reaktivnih snaga, a prema tome i naponi, kontrolišu se primarnim, sekundarnim i tercijernim nivoom regulacije.

Primarni nivo regulacije predstavlja u stvari regulaciju napona generatora koja omogućava brze i kontinuirane promjene proizvodnje reaktivne snage u zavisnosti od napona regulisanih sabirница. Dodatni kompenzacioni uređaji, kao što su VAR kompenzatori, takođe mogu biti uključeni u primarni nivo regulacije.

Sekundarni nivo regulacije podrazumjeva koordinirane aktivnosti unutar date zone u cilju održavanja potrebnog nivoa napona u ključnim tačkama sistema.

Tercijerni nivo regulacije podrazumjeva optimizaciju naponsko-reaktivnih prilika na bazi proračuna zasnovanim na mjerjenjima relevantnih vrijednosti u realnom vremenu u cilju optimalnog podešenja radnih parametara opreme koja utiče na raspodjelu reaktivne snage (generatori, kompenzatori, transformatori sa regulacijom napona pod opterećenjem i sl.).

Na prenosnoj mreži BiH, ali i u susjednim sistemima primjenjuje se sami primarni nivo regulacije napona.

U skladu sa Projektnim zadatkom predmet ovog Elaborata će biti identifikacija čvorišta sa naponskim prilikama iznad graničnih vrijednosti i njihovo trajanje, pregled raspoloživih dispečerskih akcija i njihova efikasnost. Međutim, za trajnu sanaciju naponskih prilika iznad dozvoljenih vrijednosti potrebno je izvršiti dodatne tehnico-ekonomiske analize u vremenskom domenu.

3 Granične vrijednosti napona

Opremu u električnim postrojenjima treba odabrati tako da može izdržati i djelovanje napona i djelovanje struje. Jedan od kriterija za izbor opreme elemenata postrojenja su naponska naprezanja. Izbor opreme elemenata postrojenja u odnosu na naponska naprezanja vrši se u odnosu na vrijednosti: nazivnih napona i ispitnih napona.

U skladu sa IEC 60038 (Standardni naponi, edition 6.2, 2002-07) i JUS N.A2.001 (Standardni naponi, 1989) definisane su i specificirane vrijednosti standardnih napona:

Nazivni napon: napon kojim su mreža ili oprema označeni i u odnosu na koji se daju neke njihove radne karakteristike. U upotrebi je normalno trofazni sistem, pa se kod navođenja nazivni napon trofazne mreže uvijek podrazumjeva efektivna vrijednost linijskog napona kojim je mreža označena i na koji se odnose neke radne karakteristike mreže.

Najviši napon mreže: najviša vrijednost napona koja se pojavljuje u normalnim pogonskim uslovima u bilo kojem trenutku i na bilo kojem mjestu u mreži. Ta vrijednost ne obuhvata prolazne promjene napona (npr. uslijed sklopnih operacija) kao ni povremene promjene napona uslijed nenormalnih pogonskih stanja (kvarovi ili ispadi opterećenja).

Najniži napon mreže: najniža vrijednost napona koja se pojavljuje u normalnim pogonskim uslovima u bilo kojem trenutku i na bilo kojem mjestu u mreži. Ta vrijednost ne obuhvata prolazne promjene napona (npr. uslijed sklopnih operacija) kao ni povremene promjene napona uslijed nenormalnih pogonskih stanja (kvarovi ili ispadi opterećenja).

Najviši napon opreme: najviša vrijednost napona za koju je oprema projektovana obzirom na izolaciju opreme i ostale relevantne karakteristike koje se mogu odnositi na taj najviši napon koji je utvrđen u odgovarajućim standardima za pripadajuću opremu. Najviši napon opreme je najveća vrijednost najvišeg napona mreže za koji se oprema može upotrijebiti.

U ovim standardima navedene su vrijednosti nazivnih napona mreža i najviših napona opreme. Za trofazne mreže i opremu nazivnih napona iznad 1 kV, standardne vrijednosti ovih napona u EES BiH su:

Tabela II: Nazivni naponi mreže i opreme

Nazivni napon mreže (kV)	3 ⁽¹⁾	6 ⁽¹⁾	10	20	35	110	220	400 ⁽³⁾
Najviši napon opreme (kV)	3.6	7.2	12	24	38 ⁽²⁾	123	245	420

⁽¹⁾ Nije dopušteno korištenje u distributivnoj mreži. Može se koristiti kao generatorski napon te u industrijskim i rudarskim pogonima.

⁽²⁾ U IEC 60038 umjesto ove vrijednosti je 40.5 kV

⁽³⁾ Nije definisan jer je za mreže sa nazivnim naponom višim od 220 kV standardiziran samo najviši napon opreme.

Za sklopne aparate, sklopna postrojenja, VN osigurače i izolatore **nazivni napon** označava granicu najvišeg napona između faza mreže (najviši efektivni linijski napon za koju je oprema izgrađena) i po vrijednosti je jednak **najvišem naponu opreme**.

Oprema u električnim postrojenjima mora podnijeti ne samo nazivni napon i njemu odgovarajući dopušteni najviši napon opreme već također i prenapone (svaki napon između faze i zemlje ili između faza čija maksimalna vrijednost premašuje najvišu vrijednost napona opreme) jer se u mreži pojavljuju i znatno viši naponi: radi prelaznih pojava pri manipulaciji sklopnom opremom, atmosferskih pražnjenja i slično pa izolacija mora biti u stanju da podnese i znatno više napone jer bi u protivnom svaka pojava prenapona izazvala kvar u postrojenju. Prema tome neophodno je ispitivanje opreme visokim naponima prije postavljanja i prije izgradnje postrojenja. Iz tog razloga standardizirani su i ispitni naponi, koje mora izdržati svaki aparat ili elemenat postrojenja. Amplituda i vrsta ispitnih napona varira sa nazivnim naponom pojedinih uređaja.

Ispitni naponi koji se primjenjuju na elementima postrojenja su :

Nazivni kratkotrajni podnosivi napon industrijske frekvencije (50Hz, 1min.). Primjenjuje se radi provjere opreme na naprezanja u slučaju slijedećih pojava:

- Isključenja opterećenja na kraju voda (Feranti efekat)
- Zemljospoj, povećanje napona zdravih faza zavisno od uzemljenja zvijezdišta. Ako je zvijezdište uzemljeno direktno onda je to linijski napon, a ako je indirektno uzemljeno povećanje napona zavisi od konfiguracije mreže.

Ispitivanje ovom vrstom opreme vrši se na vanjskoj izolaciji u suhom stanju i pod kišom.

Nazivni podnosivi atmosferski udarni napon. Definisan je kao prenaponski talas oblika $1,2/50 \mu\text{s}$, gdje je $1.2 \mu\text{s}$ vrijeme trajanja čela a $50 \mu\text{s}$ vrijeme trajanja začelja. Primjenjuje se radi provjere opreme na naprezanja u slučaju atmosferskih pražnjenja direktno ili indirektno na elemente postrojenja.

Nazivni podnosivi sklopni udarni napon oblika talasa 250/2500 μs . Sklopni udarni prenaponi se javljaju pri prekidanju kapacitivnih struja tj. isključenja dugih, neopterećenih vodova, kablova ili kondenzatorskih baterija u slučaju povratnog paljenja prekidača. Tom prilikom se javlja talas strmine veće od strmine napona 50 Hz, a manje od strmine atmosferskog udarnog napona $1,2/50 \mu\text{s}$ pa se propisuje oblik 250/2500 μs (čelo traje 250 a začelje 2500 μs). Ova vrsta prenapona javlja se takođe pri prekidanju malih induktivnih struja tj. neopterećenih transformatora ili ako su isti opterećeni prigušnicama i to ako se prekidanje vrši u momentu prolaska struje kroz nulu.

Skup mjera za sprečavanje otkaza izolacije zbog povišenja napona naziva se koordinacija izolacije, koja se provodi tako da se preskoci lokalizuju na mjestu gdje će šteta biti najmanja ako se već ne može sasvim izbjjeći. U skladu sa IEC 71 (standard za koordinaciju izolacije), postupak pri koordinaciji izolacije sastoji se od izbora grupe standardnih podnosivih napona koji karakteriziraju izolaciju dotičnog elementa postrojenja u odnosu na dielektričnu čvrstoću.

Navedeni IEC propisi (60038, 71) kao i JUS standardi (N.A2.001) uopšte ne razmatraju trajan rad opreme iznad vrijednosti najvišeg napona opreme. Obzirom da je po definiciji **najviši napon opreme**, najviši efektivni linijski napon za koji je oprema izgrađena, s obzirom na njenu izolaciju i na neke druge karakteristike koje se odnose na taj napon u pojedinačnim standardima za opremu,

može se zaključiti da nije dozvoljen trajan rad opreme sa vrijednošću napona većom od najvišeg napona opreme.

U standardima IEC 60038, JUS N.A2.001 nisu navedene vrijednosti najnižih i najviših napona prenosnih mreža, odnosno nisu navedene dozvoljene varijacije napona. U NOS BiH, u dosadašnjoj praksi u ekspoloataciji EES isti je vođen uvažavajući naponske granice, odnosno dozvoljene varijacije napona određene u sklopu Mrežnog kodeksa, tačka 5.10.

Napon na mjestu priključka Korisnika na prenosnu mrežu u normalnom pogonu održavaće se:

- za 400 kV mrežu između 380 kV i 420 kV ,
- za 220 kV mrežu između 198 kV i 242 kV ,
- za 110 kV mrežu između 99 kV i 121 kV.

U poremećenom pogonu, iznosi napona na mjestima priključka korisnika mreže na prenosnu mrežu mogu biti u sljedećim granicama:

- u mreži 400 kV: 360 - 420 kV,
- u mreži 220 kV: 187 - 245 kV,
- u mreži 110 kV: 94 - 123 kV.

3.1 Izvodi iz Mrežnih pravila susjednih EES i Operativnog priručnika UCTE

3.1.1 Mrežna pravila elektroenergetskog sustava Hrvatske

U odjeljku 4.1.6.5. – Održavanje napona i kompenzacija jalove snage se navodi:

(11) U normalnim pogonskim uvjetima iznos napona održava se u sljedećim granicama:

- u mreži 400 kV: $400 \cdot 10\% + 5\% = 360 - 420$ kV.
- u mreži 220 kV: $220 \pm 10\% = 198 - 242$ kV,
- u mreži 110 kV: $110 \pm 10\% = 99 - 121$ kV.

(12) U poremećenim pogonskim uvjetima iznos napona se održava u sljedećim granicama:

- u mreži 400 kV: $400 kV \pm 15\% = 340 - 460$ kV,
- u mreži 220 kV: $220 kV \pm 15\% = 187 - 253$ kV,
- u mreži 110 kV: $110 kV \pm 15\% = 94 - 127$ kV.

(13) Dopuštena odstupanja od nazivnog napona u uvjetima normalnog pogona, osim za slučajeve nastale uslijed poremećaja i prekida napajanja, utvrđuju se tijekom razdoblja od tjedan dana tako da 95% 10-minutnih prosjeka efektivnih vrijednosti napona moraju biti u spomenutim granicama.

3.1.2 Pravila o radu prenosnog sistema Srbije

U tački 3.2.3. **Napon** navode se sljedeći kriteriji:

3.2.3.1. Nazivne vrednosti napona na prenosnoj mreži Republike Srbije su: 400 kV, 220kV i 110kV.

3.2.3.2. Vrednost napona u normalnim uslovima rada u bilo kojoj tački prenosne mreže nalazi se u opsegu:

- 400 kV mreža: između 380 kV i 420 kV;

- 220 kV mreža: između 200 kV i 240 kV;
- 110 kV mreža: između 99 kV i 121 kV.

3.1.3 Privremeni kodeks mreže Elektroprivrede Crne Gore

U tački 4.5.1.2 Naponske promjene se navodi:

Prenos i OPM su dužni osigurati korisnicima isporuku električne energije određenog nominalnog napona. U normalnim energetskim uslovima, Prenos i OPM su dužni da obezbijede da odstupanje napona na svim mjestima priključenja na prenosnu mrežu ne bude izvan granica:

- za mrežu 400 kV: $\pm 5\%$, tj. između 420 kV i 380 kV,
- za mrežu 220 kV: $\pm 10\%$, tj. između 242 kV i 198 kV i
- za mrežu 110 kV: $\pm 10\%$, tj. između 121 kV i 99 kV.

Izuzetno, u slučaju poremećaja u elektroenergetskom sistemu, tj. većih kvarova na proizvodno-prenosnim objektima, dozvoljena su veća odstupanja napona od odstupanja naznačenih u pethodnom stavu.

U slučaju da za naponski nivo 400 kV, vrijednost napona dostigne 440 kV, djeluje prenaponska zaštita.

3.2 Operativni priručnik UCTE (ENTSO-E) – Pravilo 3: Operativna sigurnost

U odjeljku **B. Regulacija napona i upravljanje reaktivnom snagom**, između ostalog, navodi se:

- Standardi

S4. *Zajedničke akcije na granici između TSO – Opseg napona u graničnim postrojenjima treba zajednički da se dogovori i dimenzioniše tako da odgovara određenim situacijama. Susjedni TSO će zajednički težiti da poboljšaju upotrebu postrojenja za regulaciju napona. Ako postojeće instalacije nisu dovoljne, instaliraju se dopunska postrojenja. Efikasno upravljanje naponskim nivoima zahtjeva koordinaciju i učešće susjednih TSO.*

S4.1. *Unaprijed utvrđene vrijednosti na granici – Naponski nivoi se održavaju što je moguće bliže unaprijed dogovorenim i utvrđenim vrijednostima između susjednih TSO.*

S4.2. *Tokovi reaktivne snage na interkonektivnim dalekovodima – Sve vrijednosti napona na granici dogovaraju i bilateralno kontrolišu susjedni TSO zavisno od dogovorenog nivoa napona u graničnim postrojenjima ili zavisno od specifičnih situacija (mogući slučajevi kupovine reaktivne snage iz neke druge regulacione oblasti). Zavisno od uslova rada koji mogu da ugroze rad povezanih sistema, susjedni TSO se mogu dogovoriti o iznosu reaktivne snage koja se može razmjeniti u normalnim ili poremećenim uslovima rada.*

S4.3. *Bilateralna pravila – Bilateralna pravila se utvrđuju između susjednih TSO u cilju održavanja napona u slučajevima poremećaja.*

S4.4. *Podaci koji trebaju da se razmjenjuju – Na granicama, TSO razmjenjuju podatke o vrijednostima napona na graničnim postrojenjima i tokovima reaktivnih snaga na poveznim dalekovodima za potrebe analize sigurnosti mreže i za rad u realnom vremenu.*

- Uputstva

- G1.** *Opseg naponskih vrijednosti u normalnim uslovima rada – Za mreže veoma visokih napona, opseg posmatranih naponskih vrijednosti u normalnim uslovima rada kreću se respektivno od 380 kV – 420 kV za 380kV/400kV nivo i 200 kV – 240 kV za 220kV/225kV nivo. Vrijednosti ispod 365 kV i 220 kV ili iznad 420 kV i 250 kV se mogu trajati kraće vrijeme u nekim slučajevima.*
- G2.** *Pravila i procedure za granična postrojenja razvijaju se sa susjednim TSO.*
- G3.** *Regulacija napona (podešenje proizvodnje reaktivne snage). Da bi se obezbjedio siguran rad sinhronne oblasti, nivoi napona trebaju da budu optimizirani u graničnim tačkama poveznih dalekovoda sa susjednim regulacionim oblastima.*

4 Prikaz rezultata

4.1 Procedura praćenja i registracije visokih napona

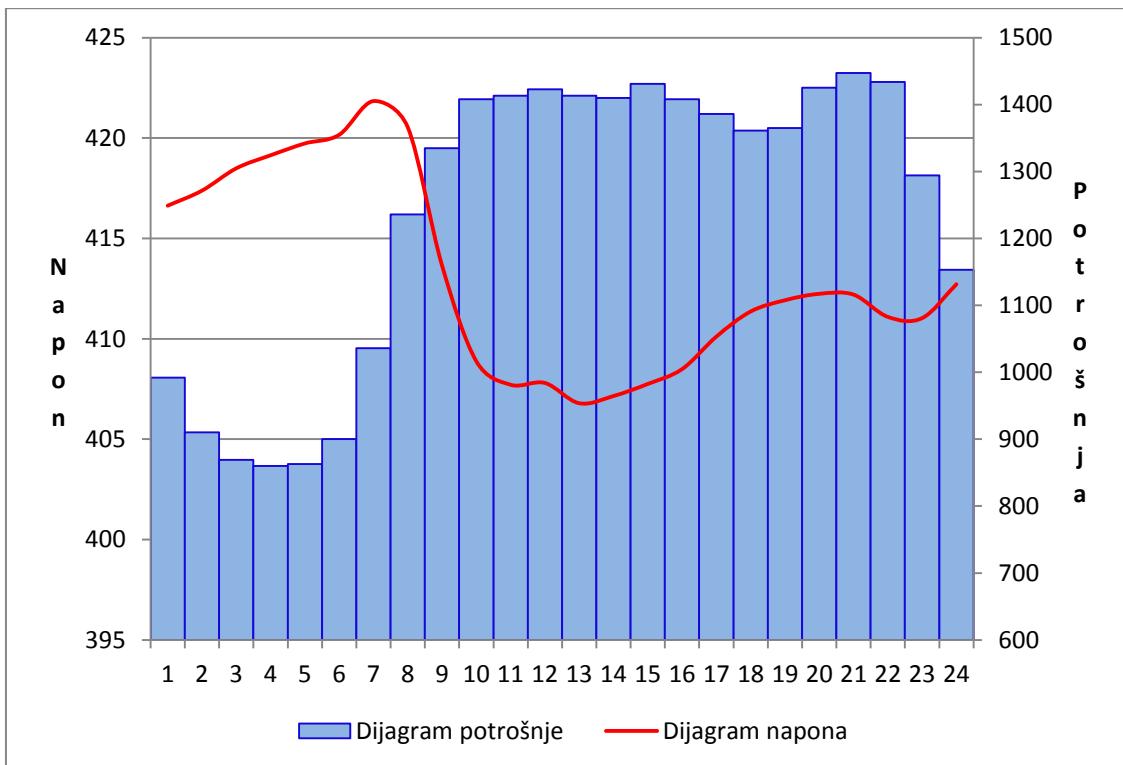
Vrijednosti napona je moguće pratiti u realnom vremenu na svim čvorištima 400, 220 i 110 kV na SCADA/EMS sistemu NOS BiH-a. Osvježavanje veličina se ostvaruje u rezoluciji u skladu sa zahtjevima ENTSO-E standarda (4-5 sekundi).

U zavisnosti od namjene, registraciju vrijednosti napona je moguće ostvariti preko baze podataka u samom SCADA/EMS sistemu u definisanim vremenskim intervalima i za definisani vremenski period.

Tabela III: Mogućnosti registracije vrijednosti napona i vremenski period

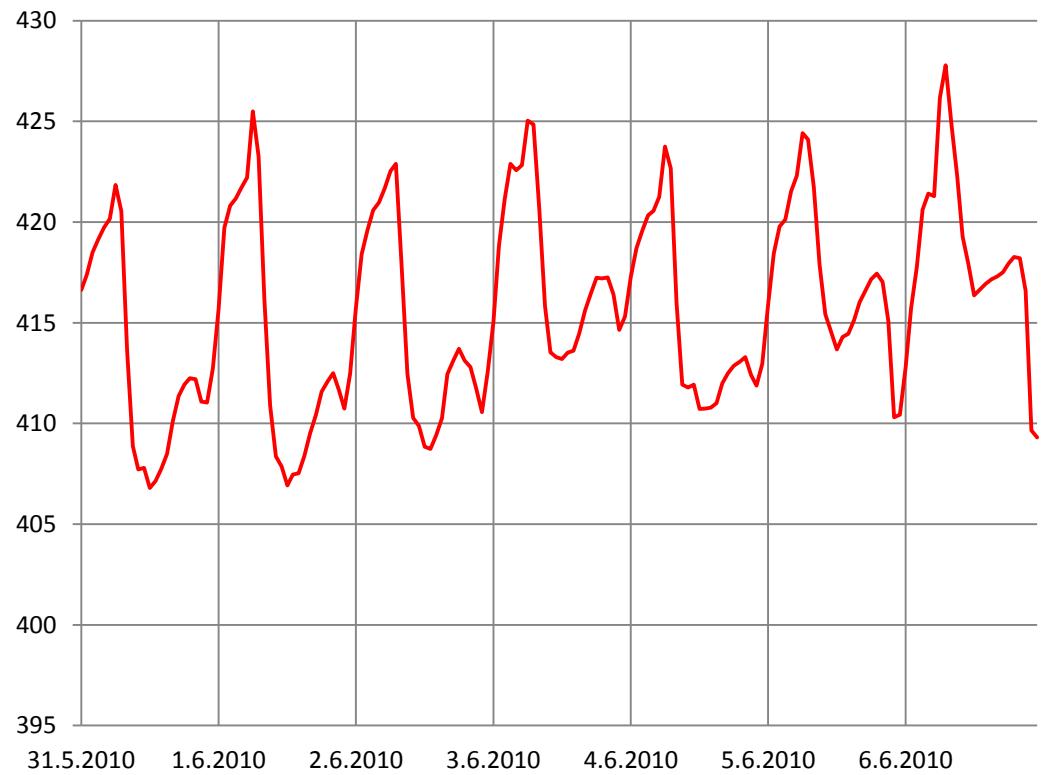
Mogućnost registracije	Vremenski period	Napomena
Satne vrijednosti	dvije godine	
Petominutne vrijednosti	jedna godina	Snimanjem ovih arhiva na eksterni medij moguće je ostvariti registrovanje ovih vrijednosti na duži vremenski period.
Trend arhive (svakih 5 sekundi)	10 dana	Zbog velikog broja podataka i ograničenog memorijskog prostora ovakve arhive se svakih deset dana posebno snimaju, tako da je moguće i ove vrijednosti registrovati na duži vremenski period.

Izgled dnevnog dijagrama napona (TS Banja Luka 6) je data na sljedećoj slici. Takođe, na slici je radi poređenja dat i dnevni dijagram opterećenja BiH. Sa slike se može uočiti da u doba minimalnih opterećenja dolazi do povećanja napona, a u periodu povećanje potrošnje smanjenje napona.



Slika 1. Dnevni dijagram potrošnje i napona

Sedmični dijagram napona prikazuje dnevne profile napona u toku jedne sedmice. Karakteristično je da u danima vikenda, zbog posljedice smanjenog opterećenja, dolazi do povećanja napona u odnosu na radne dane.



Slika 2. Sedmični profil napona.

4.2 Dijagrami napona i krive trajanja

U razmatranom periodu 01.01.-30.06.2010 godine (4344 sata) zabilježene su satne vrijednosti napona na sabirnicama u sljedećim postrojenjima: TS Banja Luka 6, TS Mostar 4, TS Prijedor 2, TS Sarajevo 10, TS Trebinje, TS Tuzla i TE Kakanj. Sve vrijednosti napona se nalaze u arhivi SCADA sistema, odakle su i preuzete. Rezultati su prikazani dijagramom na dva načina:

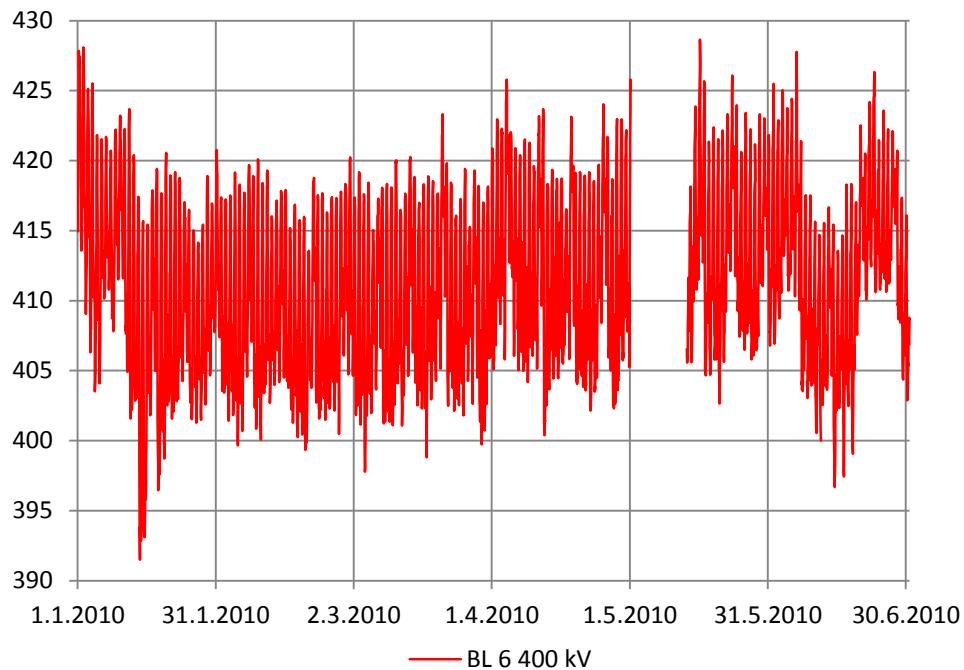
- Dijagram satnih vrijednosti napona, predstavlja prikaz svih satnih vrijednosti u razmatranom periodu, sa koga se mogu uočiti dnevni profili napona. Dijagrami prikazani na slikama od 3. do 18. sa indeksom a. Na pojedinim dijagramima se može uočiti prekid krive napona koji se dešava zbog nedostatka napona zbog isključenja dalekovoda uslijed previsokih vrijednosti napona ili zbog remonta.
- Dijagram trajanja napona. Predstavlja 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 (vrijednosti prikazane u Tabeli IV). Dijagrami prikazani na slikama od 3. do 18. sa indeksom b.

Tabela IV prikazuje broj sati rada pri naponu većem od maksimalno dozvoljene granice u toku razmatranog perioda. Može se vidjeti da uprkos povećanim naponima na sabirnicama 400 ili 220 kV u pojedinim postrojenjima napon na 110 kV strani ostaje u dozvoljenim granicama, što ukazuje na uspješnu regulaciju napona pomoću promjene pozicije preklopke transformatora.

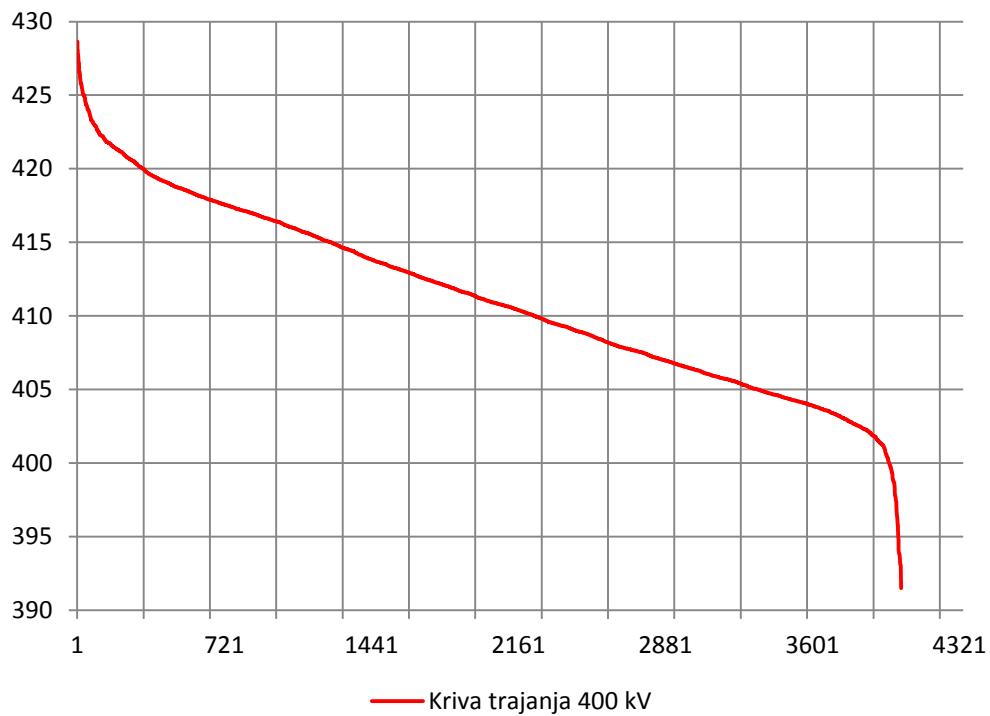
Tabela IV: Broj sati rada pri naponu većem od maksimalno dozvoljene granice

Napon	U _m	TS BL 6		TS MO 4		TS PD 2		TS SA 10		TS TB		TS TZ		TE Kakanj	
		U	≥U _m	U	≥U _m	U	≥U _m	U	≥U _m	U	≥U _m	U	≥U _m	U	≥U _m
400 kV	420	325	7%	1398	32%			884	20%	793	18%	551	13%		
220 kV	242			251	6%	1369	32%			95	2%	989	23%		
110 kV	121	0	0%	112	3%	0	0%	128	3%	88	2%	0	0%	582	13%

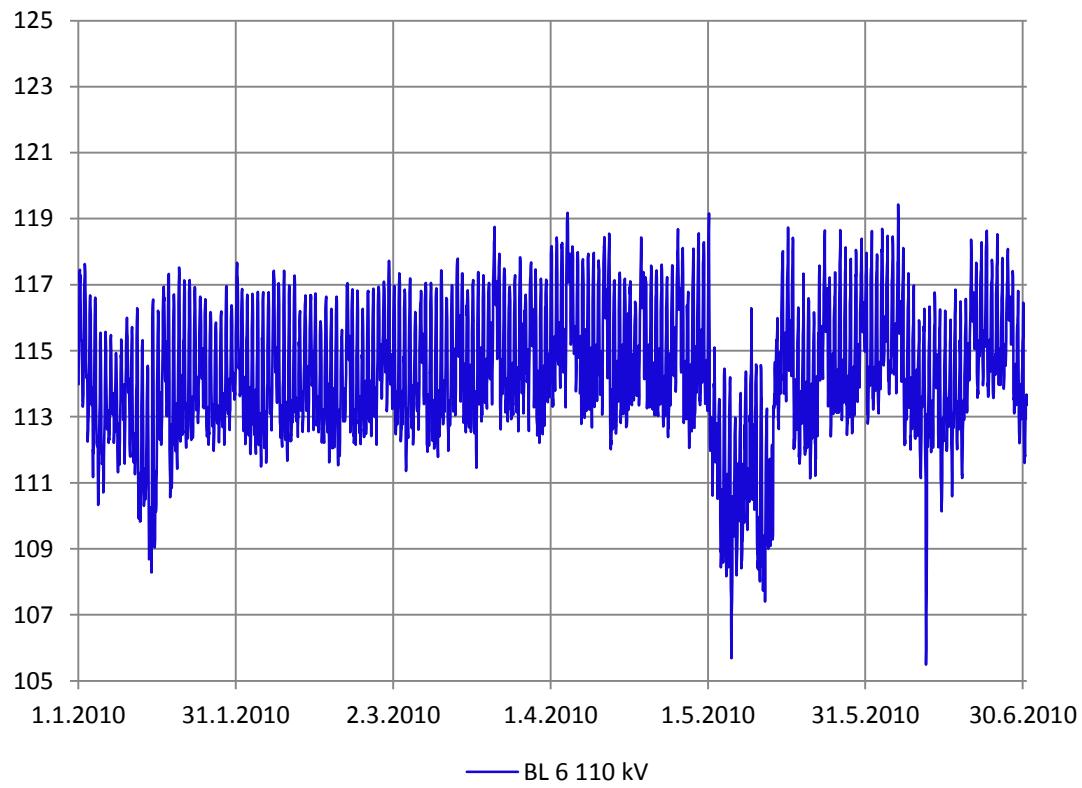
TS Banja Luka 6.



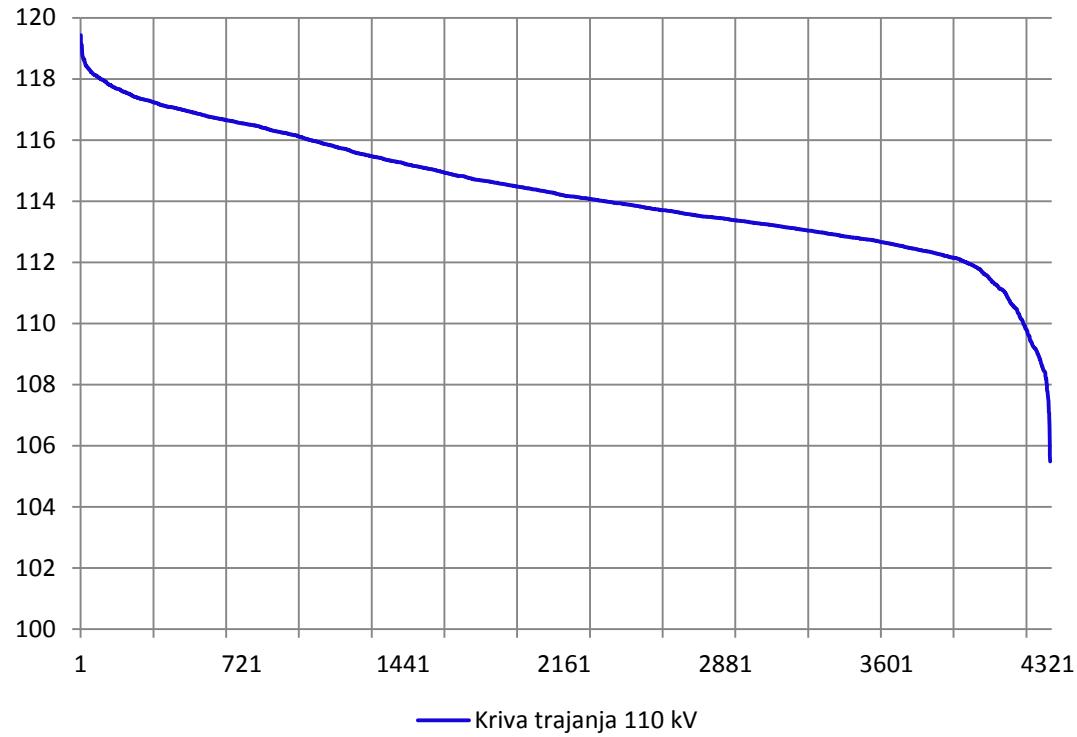
Slika 3.a. Dijagram napona u TS Banja Luka 6. Sabirnice 400 kV



Slika 3.b. Dijagram trajanja napona u TS Banja Luka 6. Sabirnice 400 kV

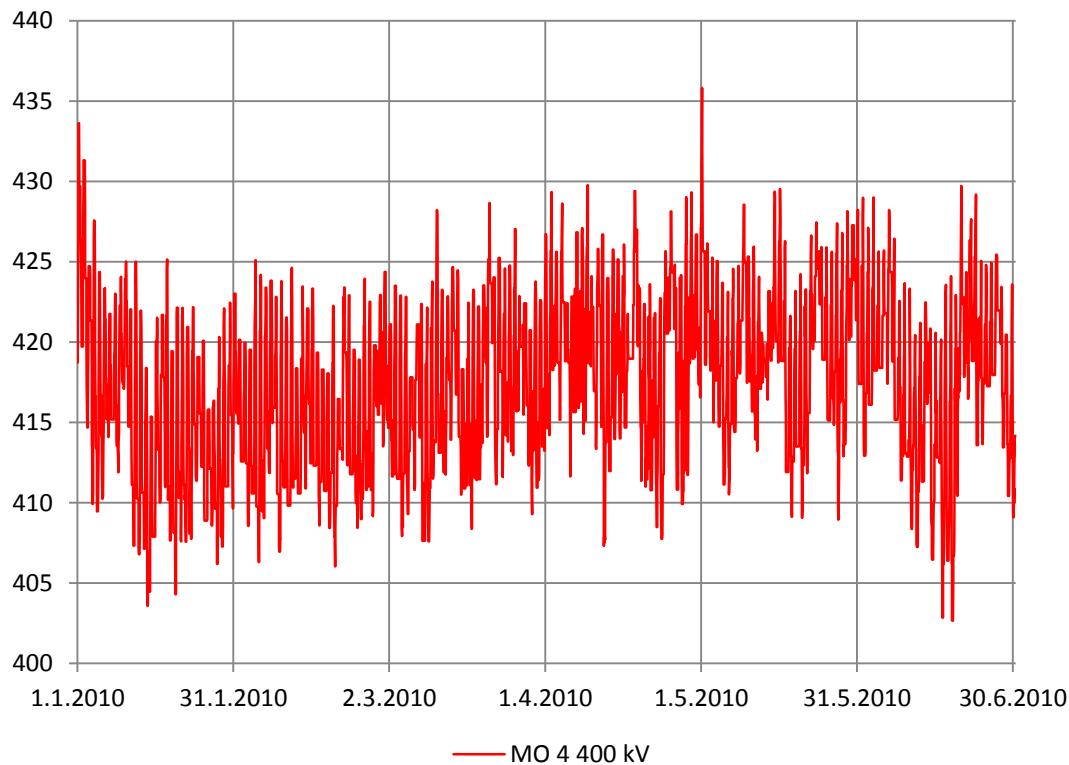


Slika 4.a. Dijagram napona u TS Banja Luka 6. Sabirnice 110 kV

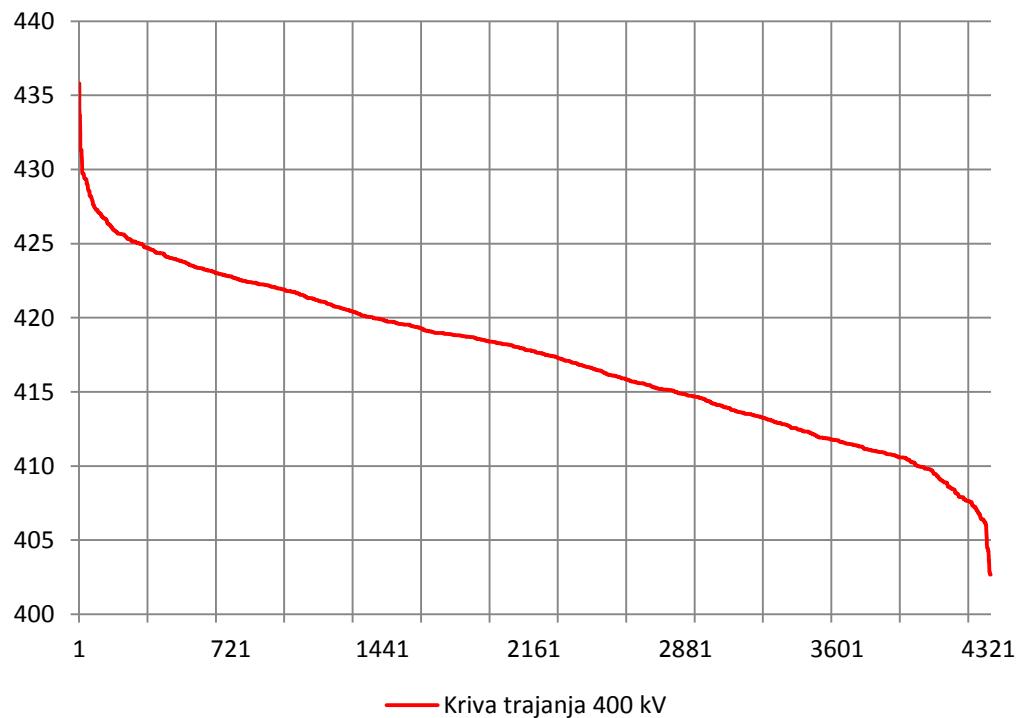


Slika 4.b. Dijagram trajanja napona u TS Banja Luka 6. Sabirnice 110 kV

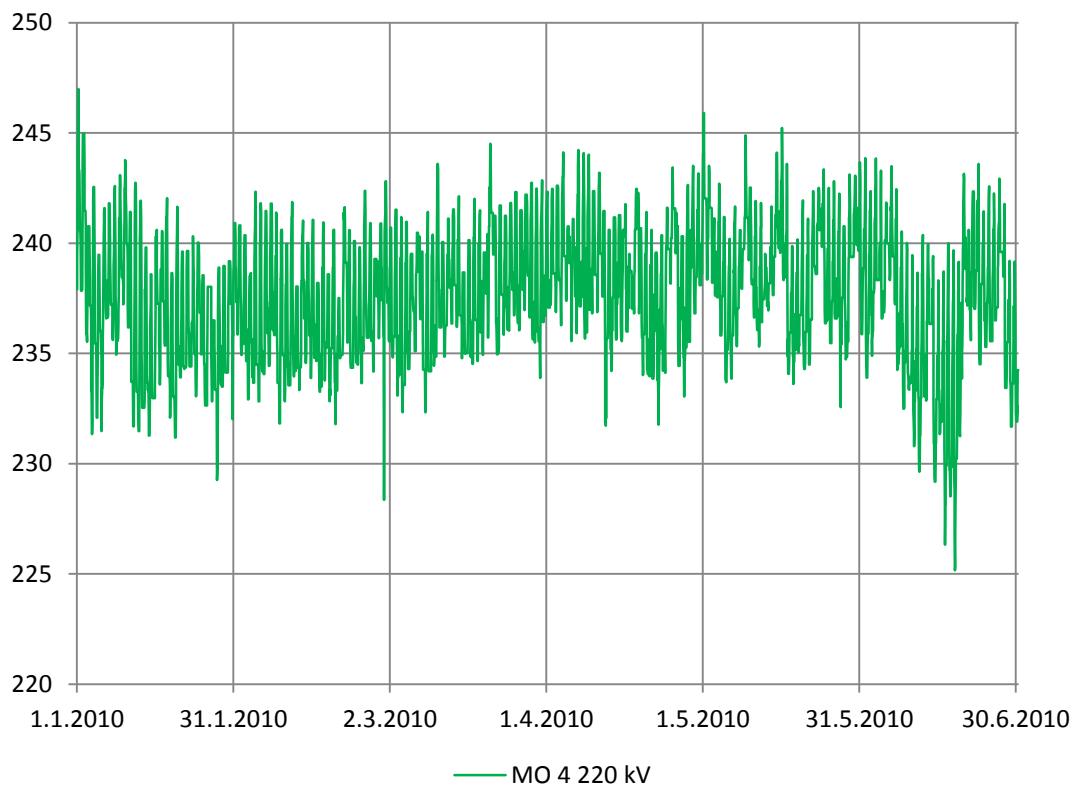
TS Mostar 4



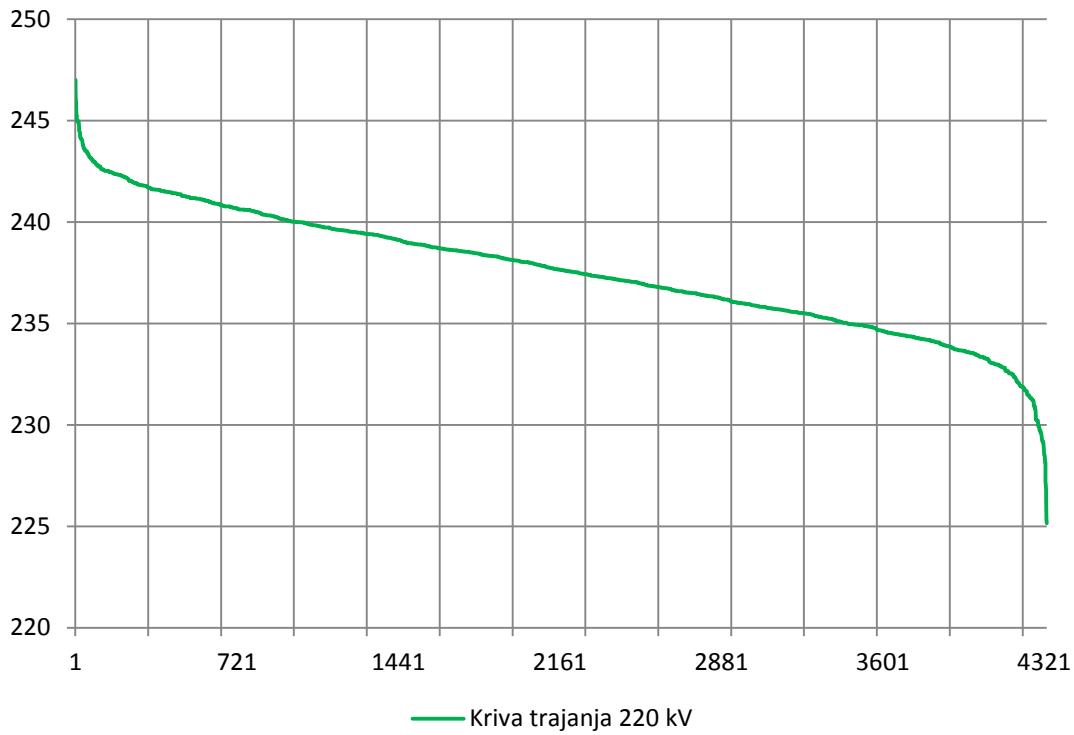
Slika 5.a. Dijagram naponu u TS Mostar 4. Sabirnice 400 kV



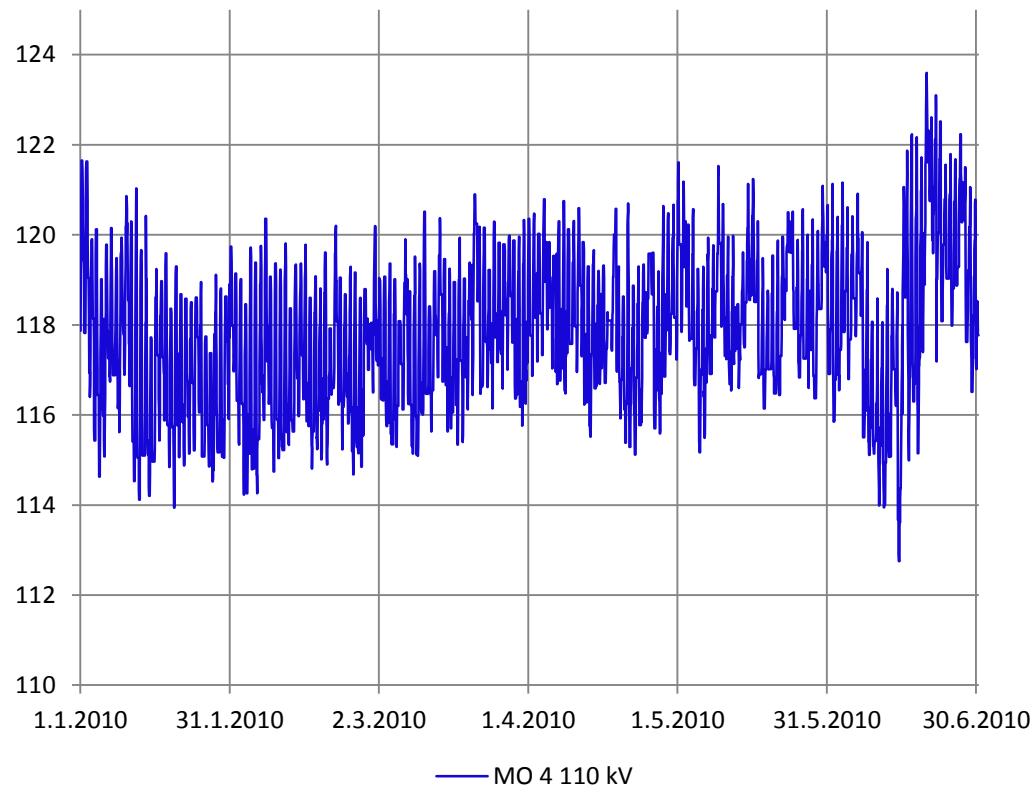
Slika 5.b. Dijagram trajanja naponu u TS Mostar 4. Sabirnice 400 kV



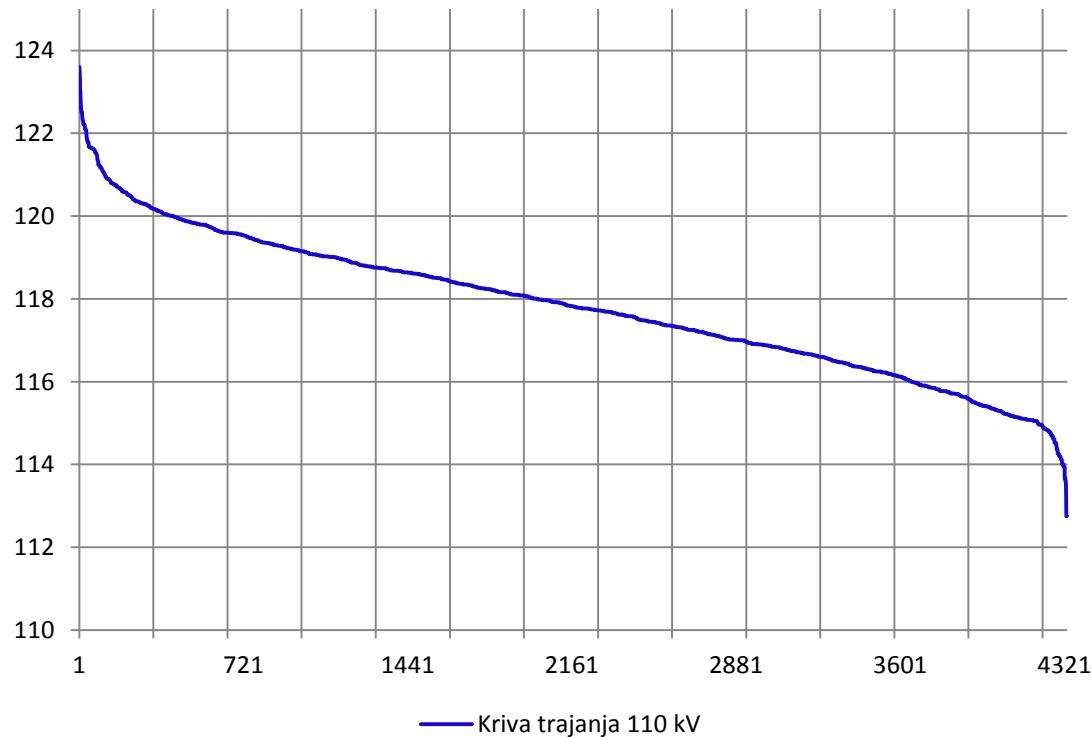
Slika 6.a. Dijagram napona u TS Mostar 4. Sabirnice 220 kV



Slika 6.b. Dijagram trajanja napona u TS Mostar 4. Sabirnice 220 kV

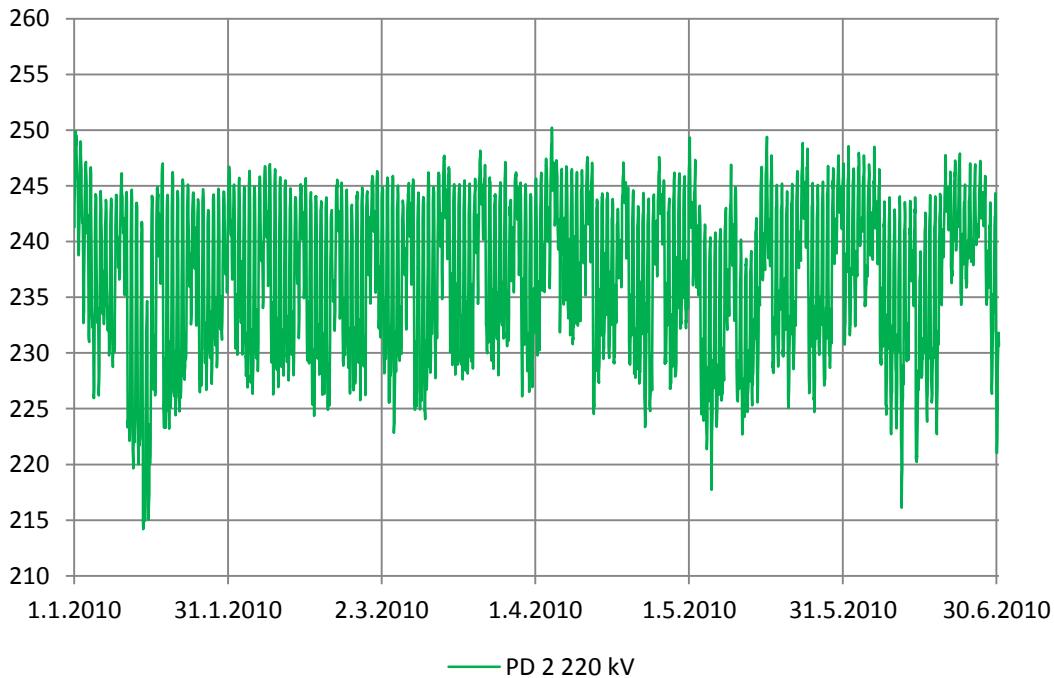


Slika 7.a. Dijagram napona u TS Mostar 4. Sabirnice 110 kV

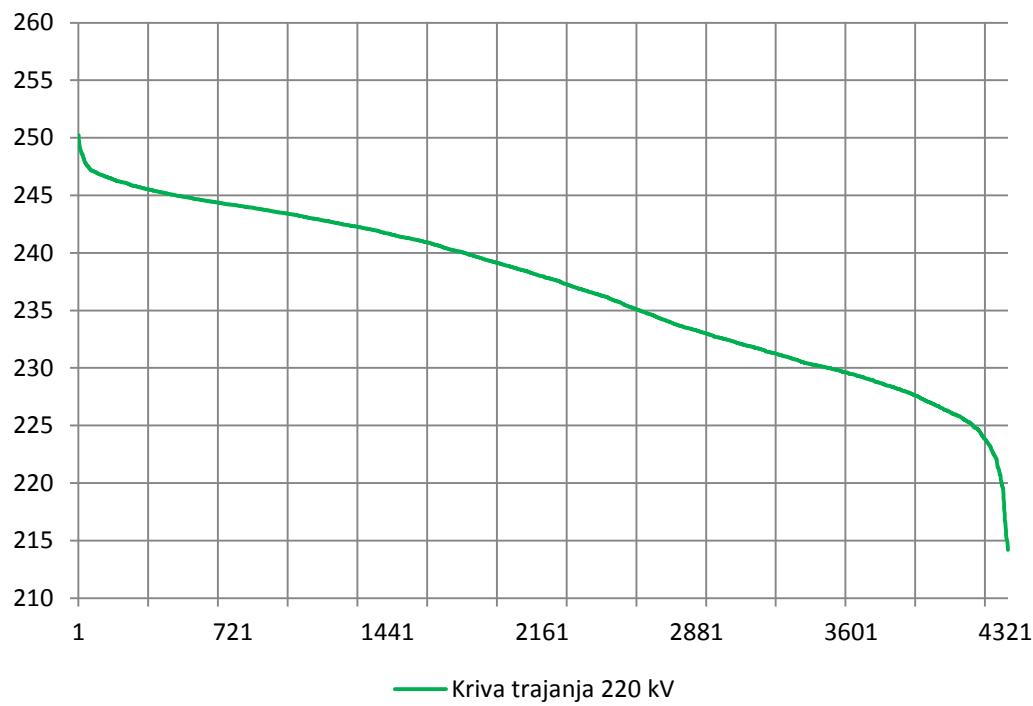


Slika 7.b. Dijagram trajanja napona u TS Mostar 4. Sabirnice 110 kV

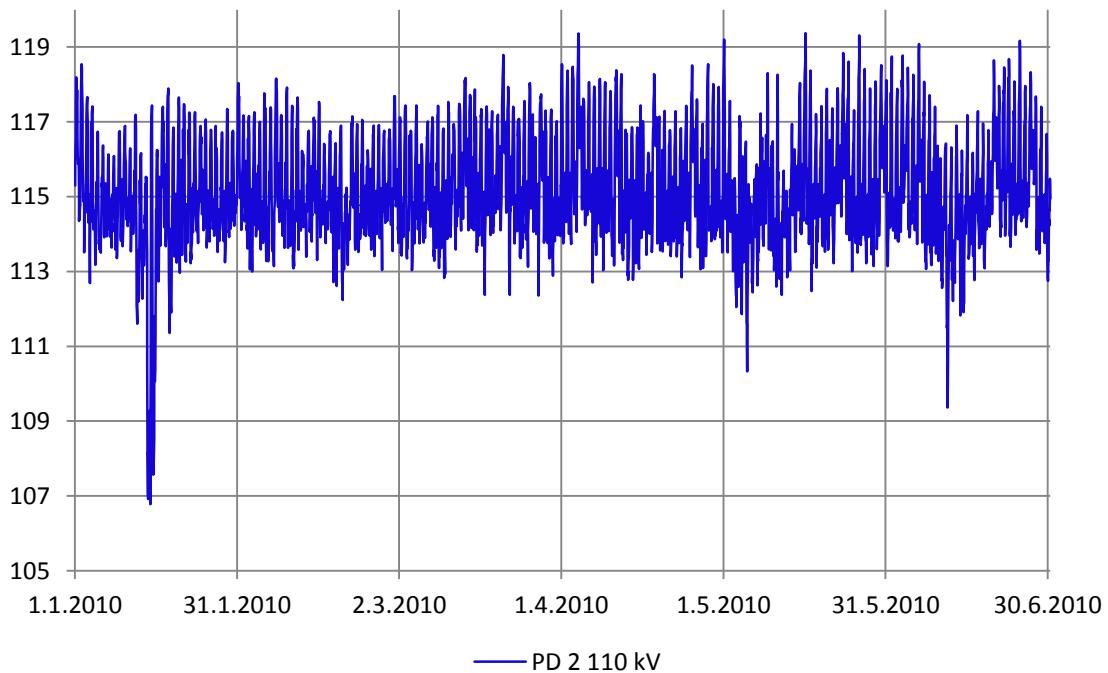
TS Prijedor 2



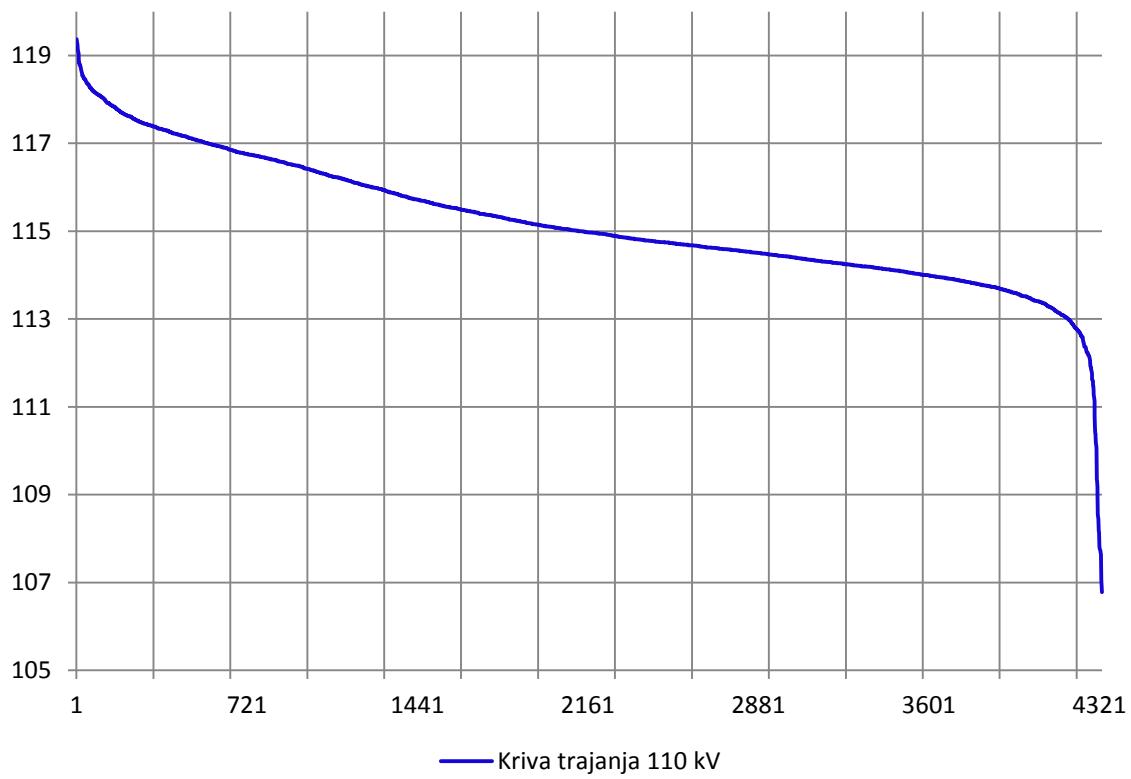
Slika 8.a. Dijagram napona u TS Prijedor 2. Sabirnice 220 kV



Slika 8.b. Dijagram trajanja napona u TS Prijedor 2. Sabirnice 220 kV

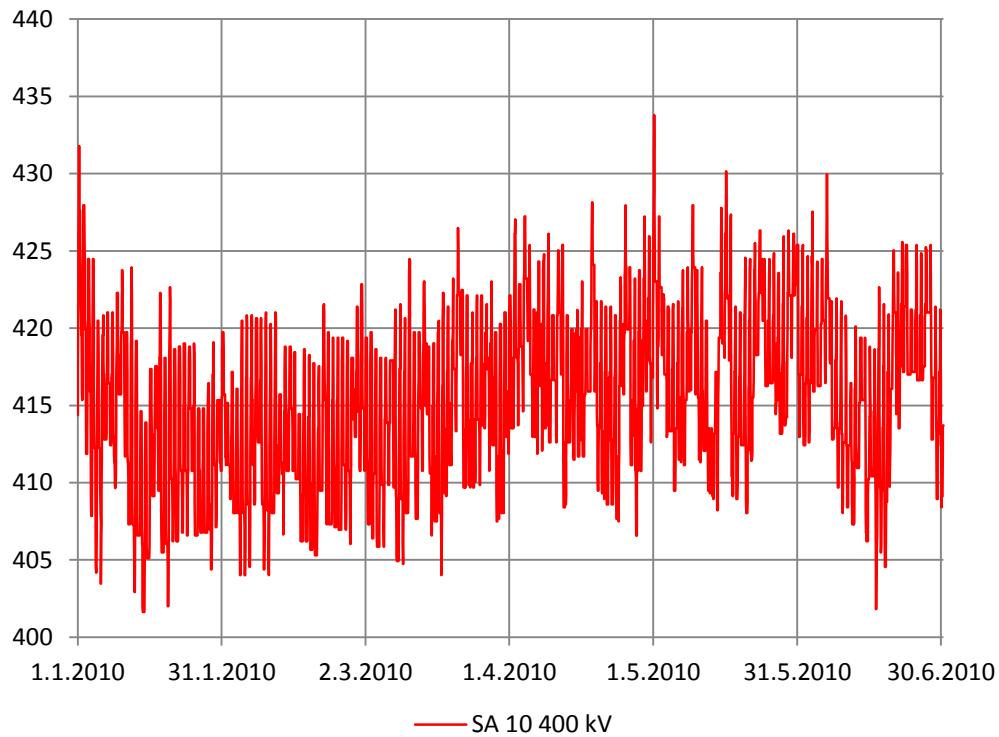


Slika 9.a. Dijagram napona u TS Prijedor 2. Sabirnice 110 kV

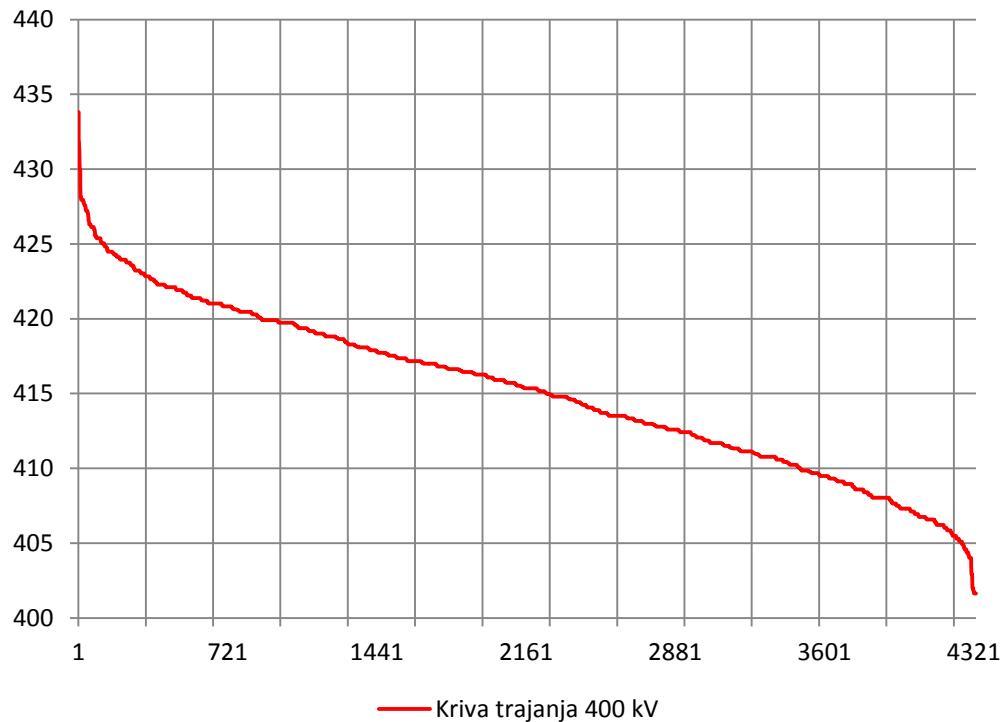


Slika 9.b. Dijagram trajanja napona u TS Prijedor 2. Sabirnice 110 kV

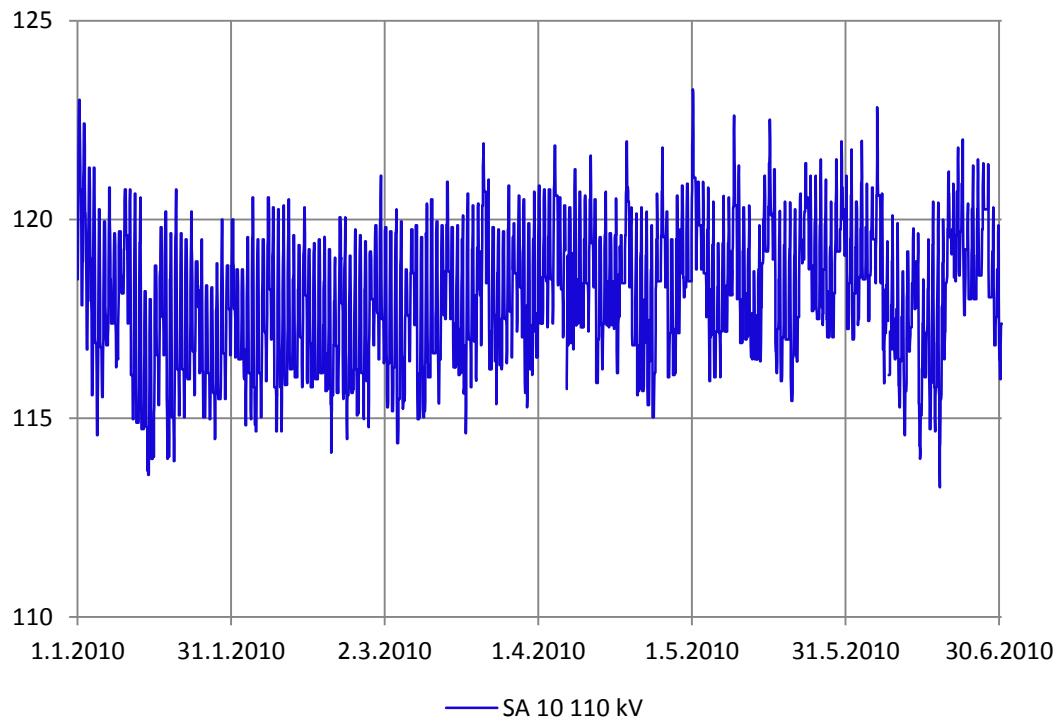
TS Sarajevo 10



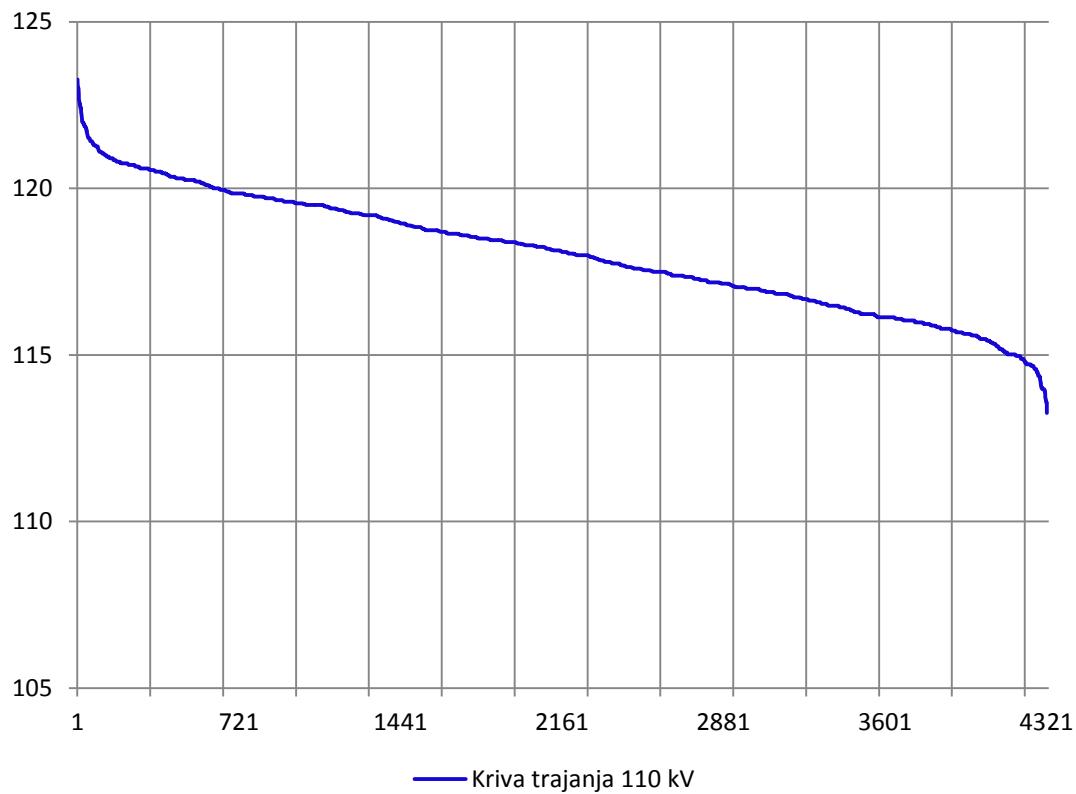
Slika 10.a. Dijagram naponja u TS Sarajevo 10. Sabirnice 400 kV



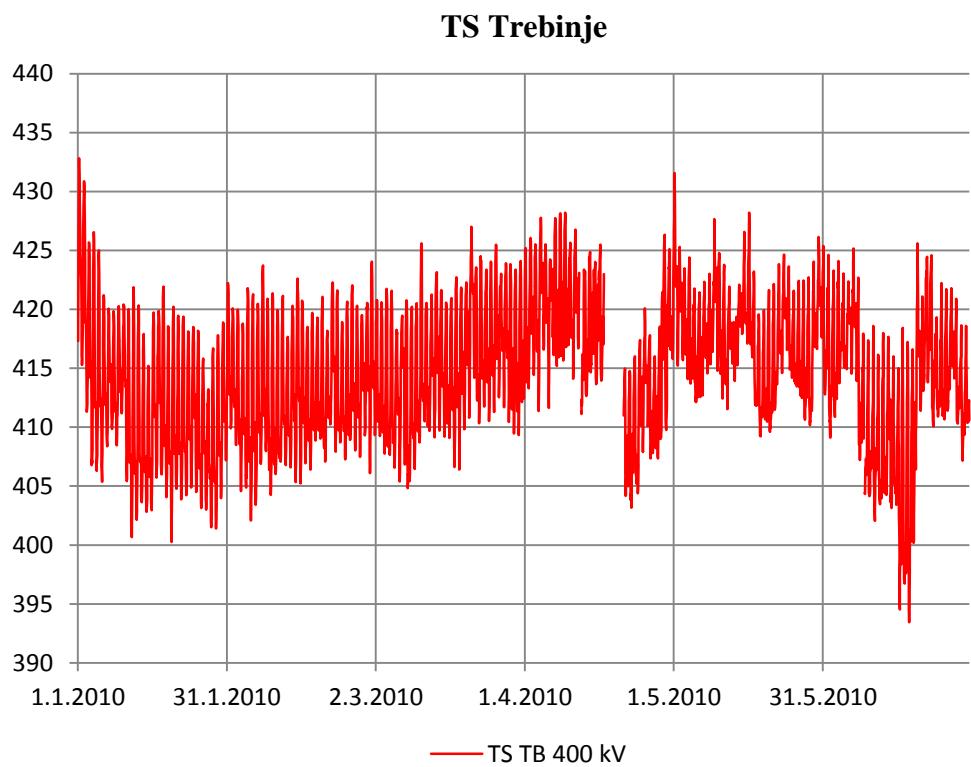
Slika 10.b. Dijagram trajanja naponja u TS Sarajevo 10. Sabirnice 400 kV



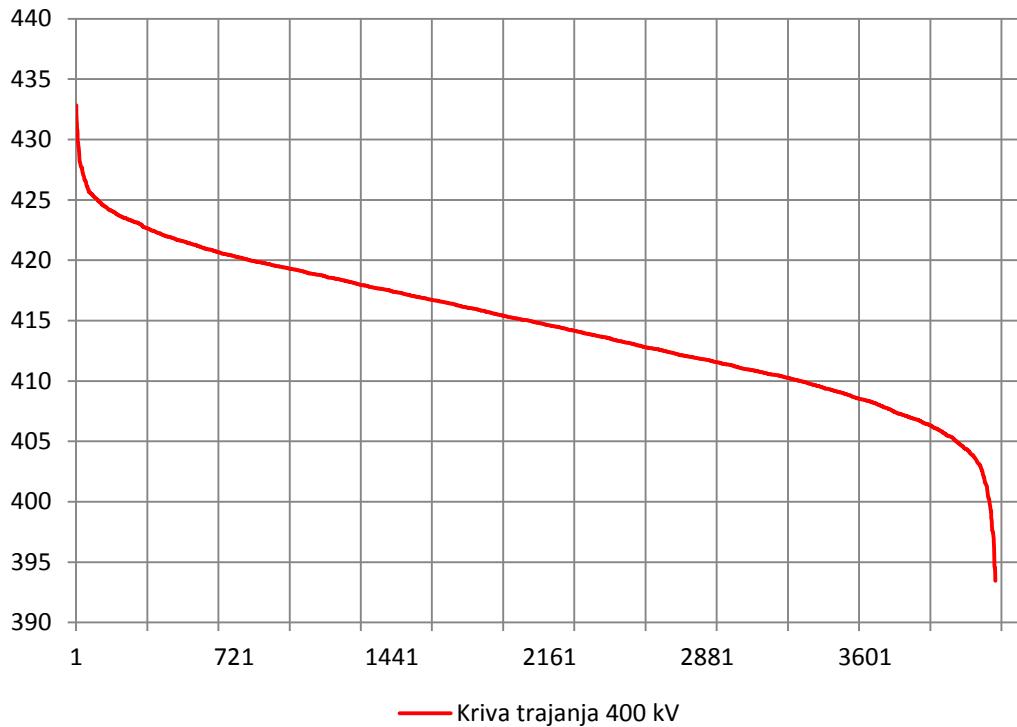
Slika 11.a. Dijagram napona u TS Sarajevo 10. Sabirnice 110 kV



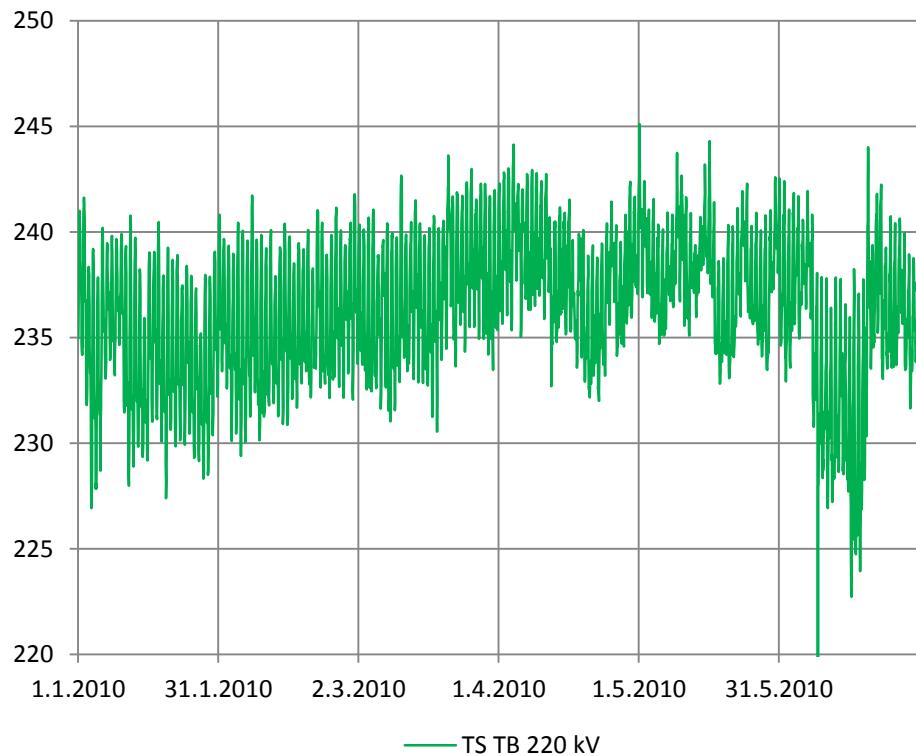
Slika 11.b. Dijagram trajanja napona u TS Sarajevo 10. Sabirnice 110 kV



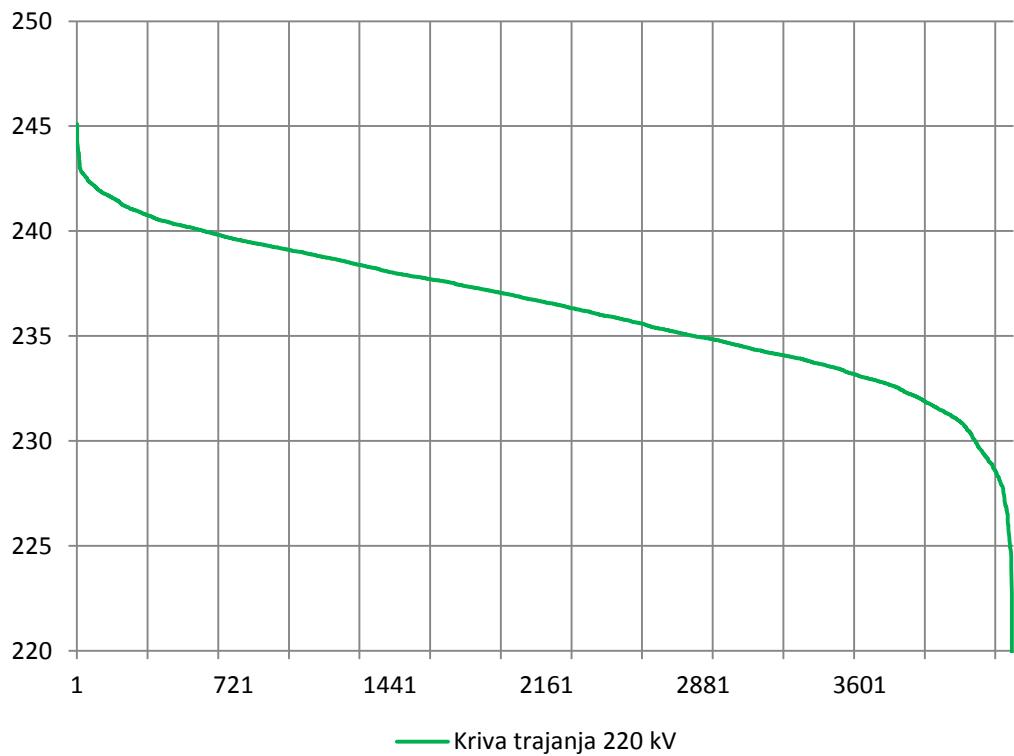
Slika 12.a. Dijagram napona u TS Trebinje. Sabirnice 400 kV



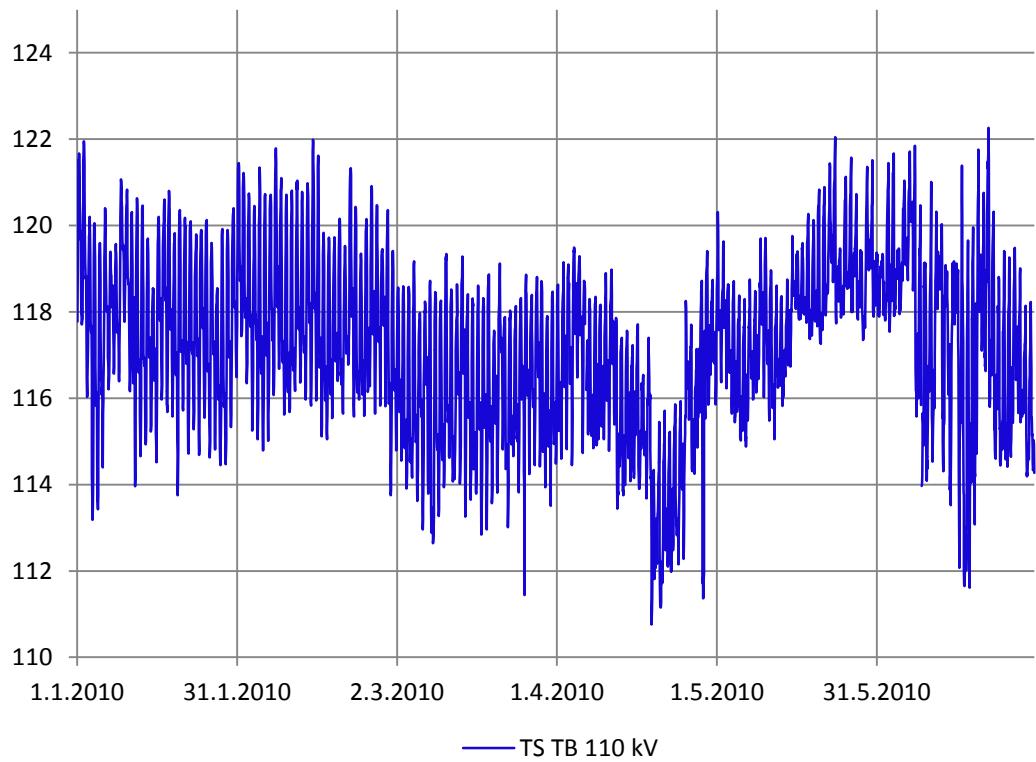
Slika 12.b. Dijagram trajanja napona u TS Trebinje. Sabirnice 400 kV



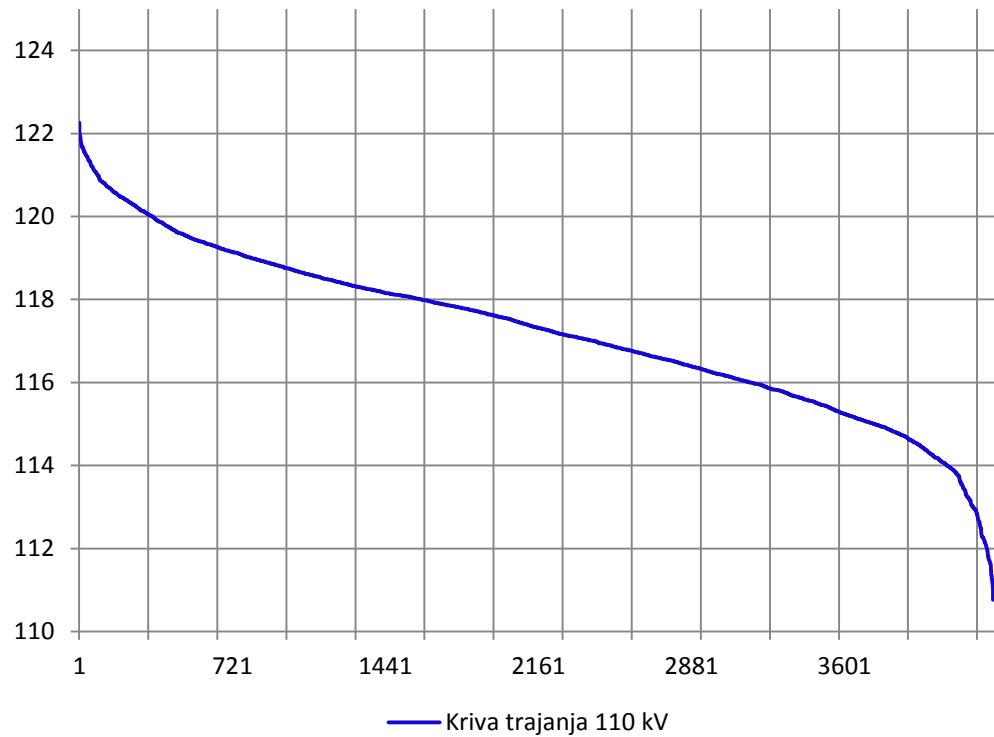
Slika 13.a. Dijagram napona u TS Trebinje. Sabirnice 220 kV



Slika 13.b. Dijagram trajanja napona u TS Trebinje. Sabirnice 220 kV

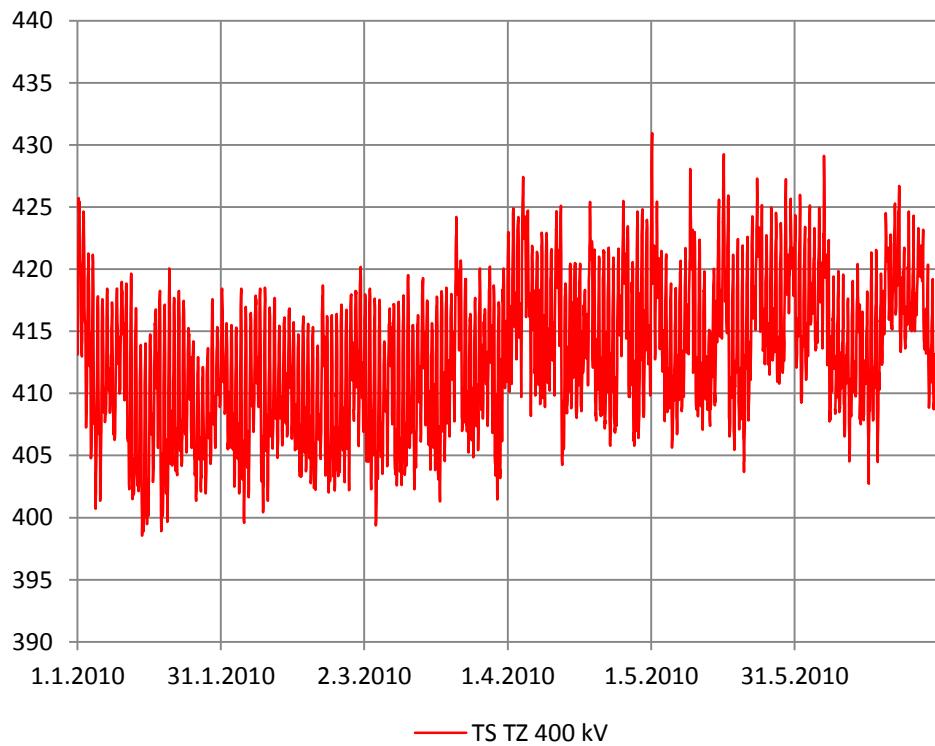


Slika 14.a. Dijagram napona u TS Trebinje. Sabirnice 110 kV

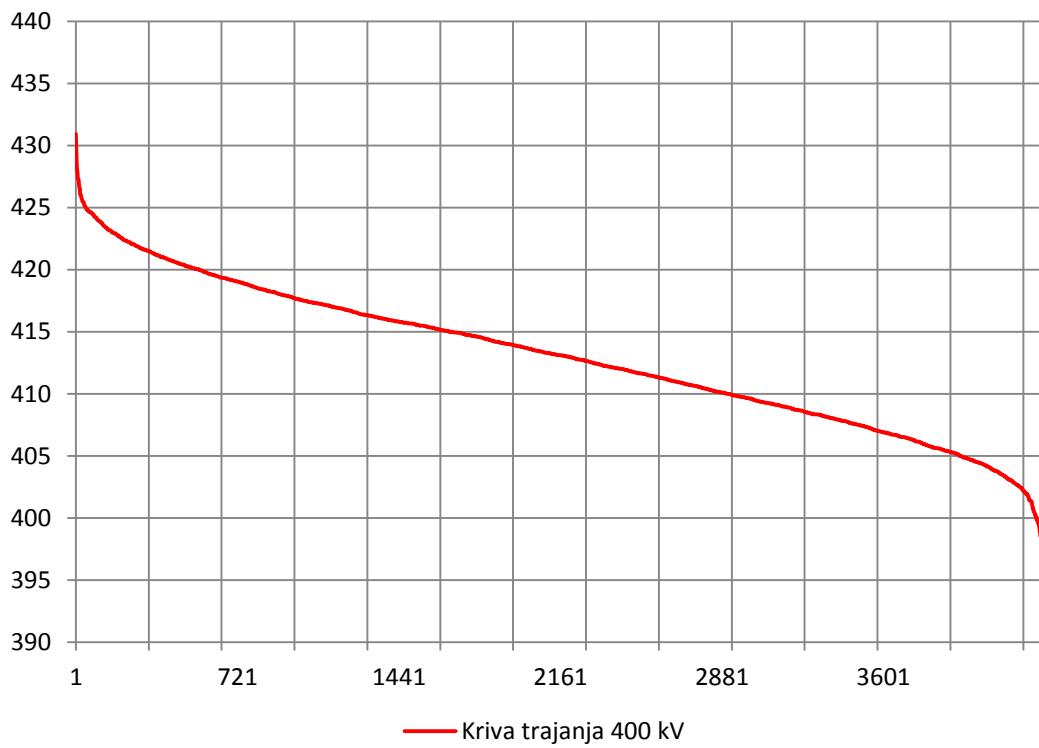


Slika 14.b. Dijagram trajanja napona u TS Trebinje. Sabirnice 110 kV

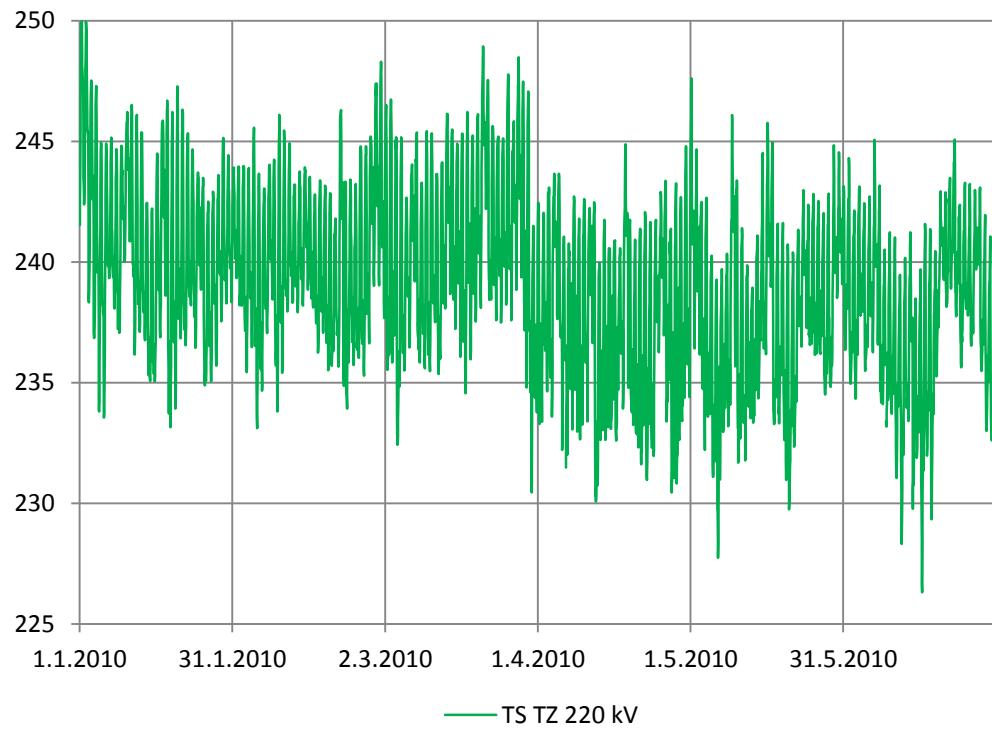
TS Tuzla



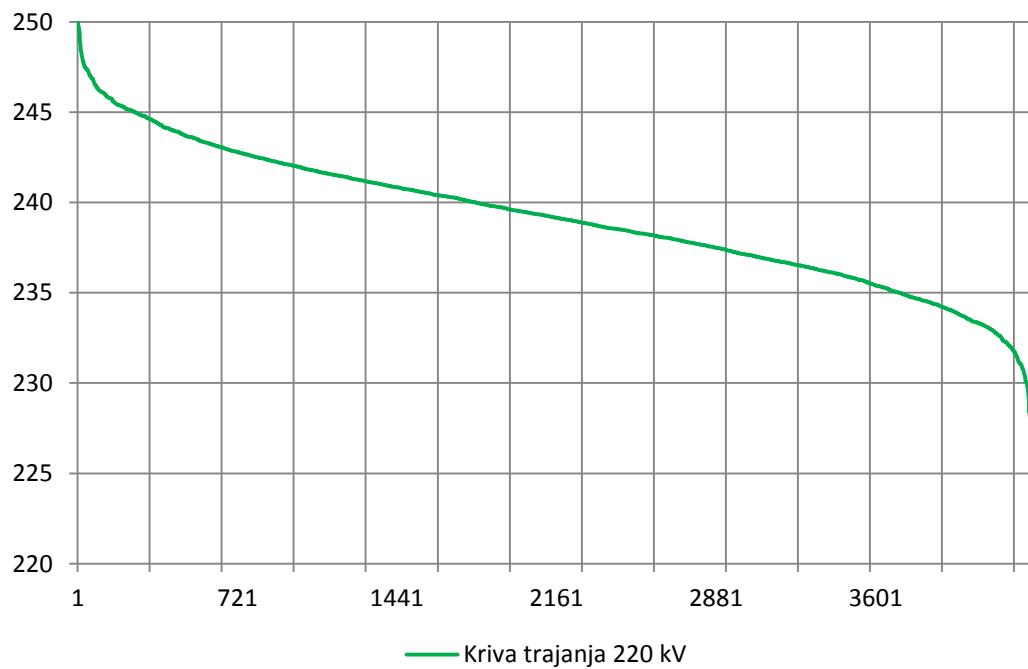
Slika 15.a. Dijagram naponja u TS Tuzla. Sabirnice 400 kV



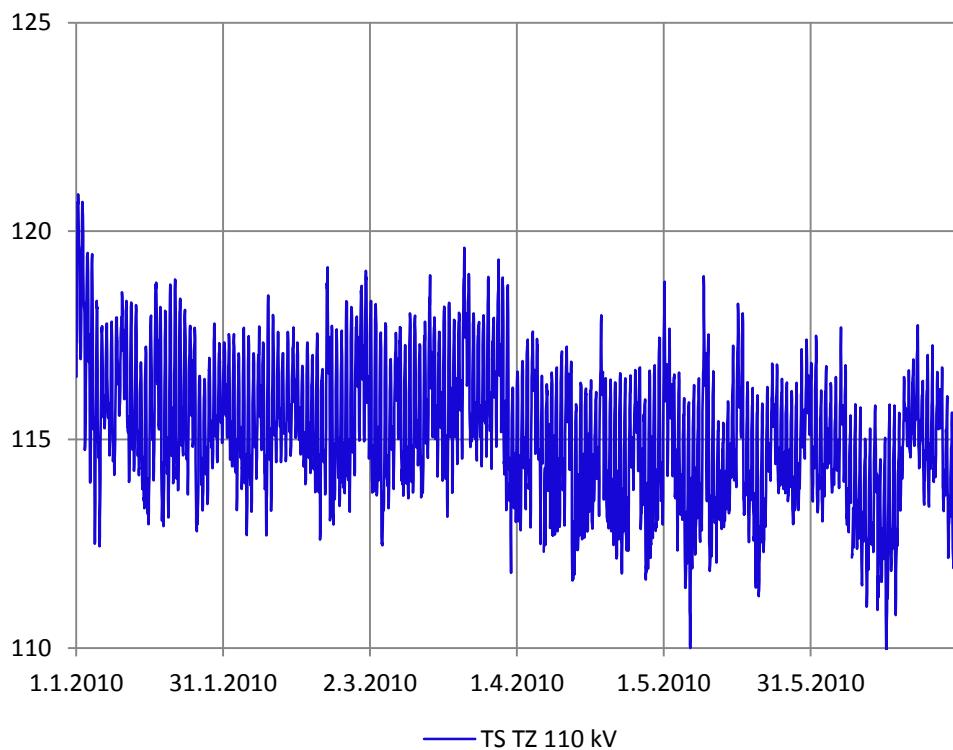
Slika 15.b. Dijagram trajanja naponja u TS Tuzla. Sabirnice 400 kV



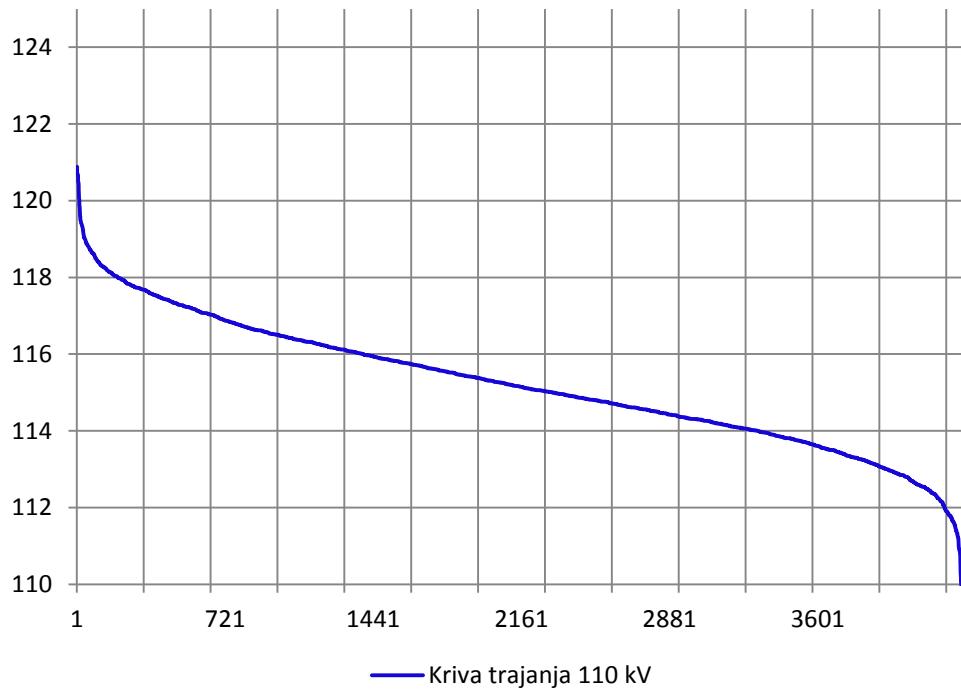
Slika 16.a. Dijagram naponja u TS Tuzla. Sabirnice 220 kV



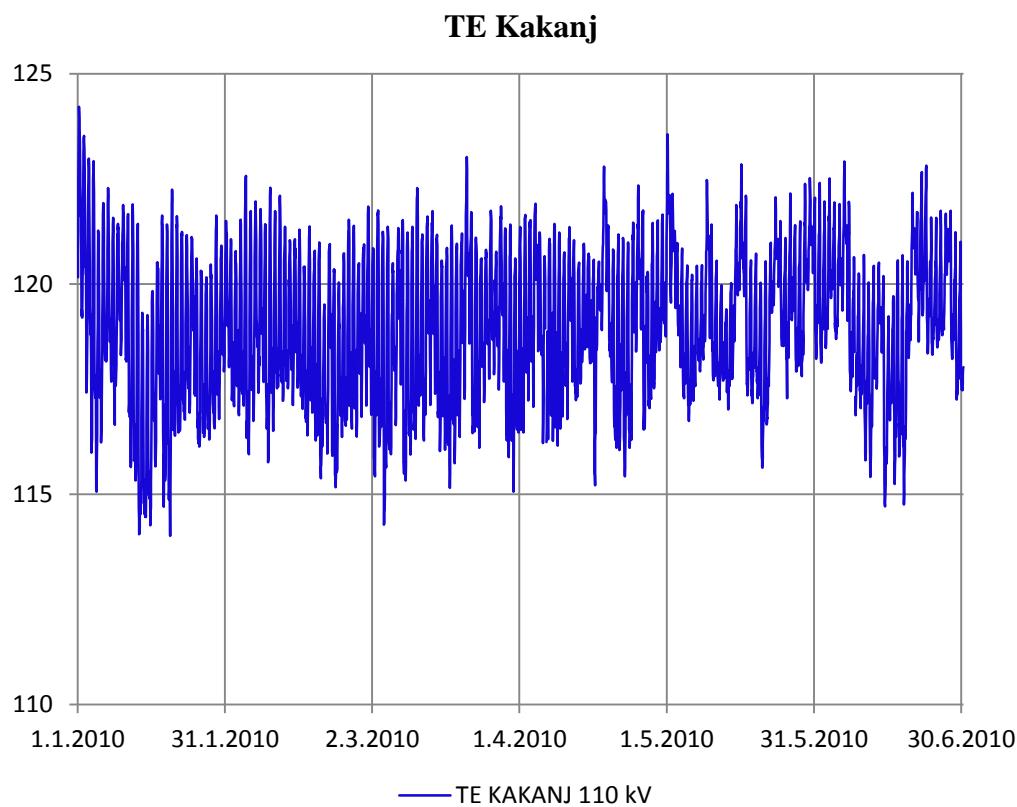
Slika 16.b. Dijagram trajanja naponja u TS Tuzla. Sabirnice 220 kV



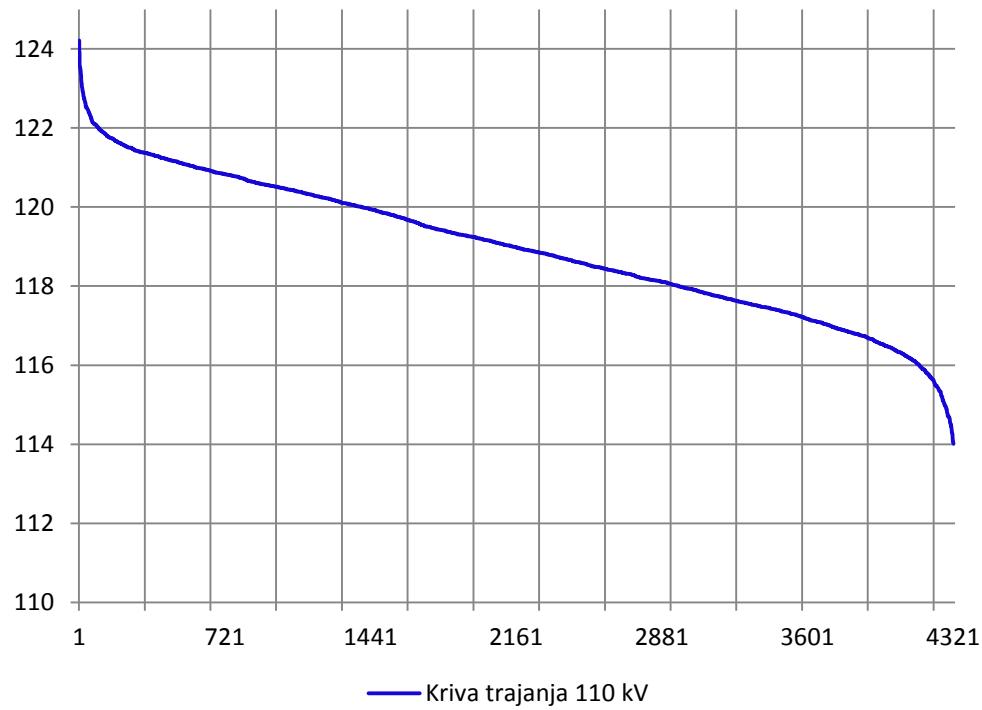
Slika 17.a. Dijagram trajanja napona u TS Tuzla. Sabirnice 110 kV



Slika 17.b Dijagram trajanja napona u TS Tuzla. Sabirnice 110 kV



Slika 18.a. Dijagram napona u TE Kakanj. Sabirnice 110 kV



Slika 18.b. Dijagram trajanja napona u TE Kakanj. Sabirnice 110 kV

5 Uredaji za regulaciju napona u EES

Varijacije napona u EES-ma su izazvane promjenama tokova aktivnih i reaktivnih snaga, uslijed promjene potreba potrošača, promjene topologije mreže i promjene raspodjele opterećenja na generatorima. Brze promjene napona su obično izazvane kvarovima u mreži i imaju ograničeni (lokalni) domet. Spore promjene su posljedica poremećaja u profilu napona i ravnoteže bilansa reaktivnih snaga i obično se protežu na veće dijelove mreže. Osnovni zadatak regulacije napona i reaktivnih snaga u normalnom radnom režimu je održavanje napona u čvorštima sistema, putem održavanja ravnoteže između proizvodnje i potrošnje reaktivne snage u sistemu, pri promjeni radnih uslova u sistemu.

U EES-u se ne zahtjeva striktno održavanje napona u svim tačkama mreže na propisanim konstantnim vrijednostima, već je dovoljno da se oni održavaju u granicama kompatibilnim sa kriterijima eksplotacije prenosnih i distributivnih mreža i tehničkim ograničenjima ugrađene sklopne i ostale opreme. Granice dozvoljenih promjena u prenosnim mrežama određene su uslovima sigurnosti pogona sistema i u principu zavise od sljedećih ograničenja:

- gornja granica zavisi od stepena izolacije aparata i uređaja, odnosno od dielektrične čvrstoće primjenjenih izolacionih materijala i pojave zasićenja transformatora;
- donja granica zavisi od granice stabilnosti pogona generatorskih grupa, sigurnosti napajanja sopstvene potrošnje elektrana i opasnosti od pojave sloma napona u sistemu.

Uredaji za regulaciju napona i reaktivne snage u EES-u međusobno se razlikuju po svojoj funkciji i mogućnostima regulacije. Regulacija napona u EES-u obavlja se uz korištenje svih raspoloživih sredstava, koji obuhvataju:

- sinhroni generatoren vezani na sistem;
- sinhroni kompenzatori;
- transformatori;
- kondenzatorske baterije;
- paralelne prigušnice/reaktore;
- statičke Var kompenzatore (SVC, Static VAr Compesator);
- statičke sinhroni kompenzatore (STATCOM, Static Synchronous Compensator).

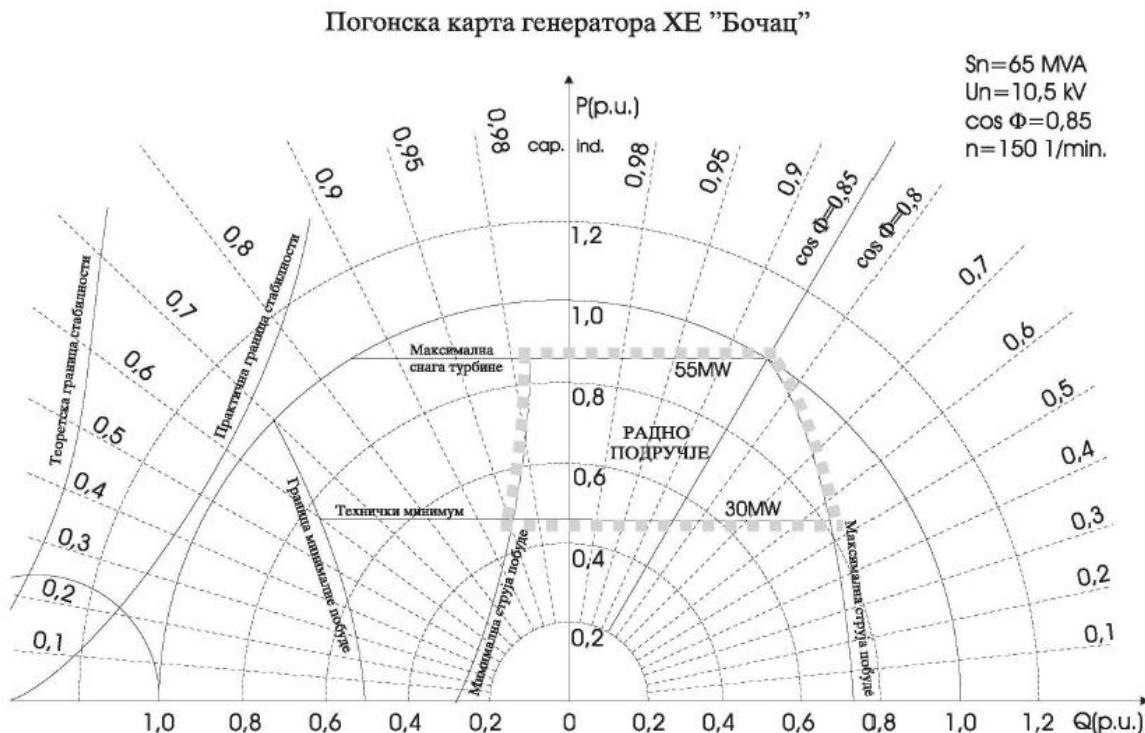
5.1 Sinhroni generatori

Primarni zadatak sinhronih generatora je konverzija mehaničke snage u električnu. Pored toga oni su i osnovni resurs za proizvodnju reaktivne snage u EES-u te za regulaciju napona i reaktivne snage u EES-u. Oni se regulišu posredstvom sistema uzbude i automatskih regulatora napona. Sistem uzbude predstavlja izvor struje uzbude potrebne za održavanje napona na priključcima generatora i uključuje maštine i aparate za proizvodnju struje uzbude (budilica/uzbudnik), uređaje za regulaciju uzbude (regulator uzbude ili regulator napona), uređaje za kompenzaciju po naponu i strujni na priključcima generatora, uređaje za stabilizaciju sistema te zaštitne krugove i limite.

Pripadajuće karakteristike sinhronih generatora su takve da pomažu održavanju napona u sistemu. Za odgovarajuće podešenje struje uzbude, generator ima određenu vrijednost napona na stezaljkama, koju pokušava da drži. Ako dođe do pada napona u sistemu, generator će injektirati reaktivnu snagu u sistem nastojeći da poveća napon sistema. Ako pak, dođe do povećanja napona u sistemu,

reaktivna snaga na izlazu generatora će se smanjiti ili početi da ide iz sistema u generator, nastojeći da smanji napon u sistemu. Regulator napona prati ovo ponašanje regulišući struju uzbude u odgovarajućem iznosu da se dobije željeni napon sistema. Ova regulacija može biti automatska, kontinualna i brza.

Mogućnost proizvodnje/apsorbcijske reaktivne snage sinhronog generatora zavisi od proizvodnje aktivne snage i dozvoljeno područje rada sinhronog generatora određeno je njegovim pogonskim P-Q dijagramom. Granice ovog dijagrama, koje definišu dozvoljenu oblast rada generatora, određene su: dozvoljenim zagrijavanjem namotaja statora i rotora, maksimalnom snagom pogonskog stroja, tehničkim minimum pogona, granicom minimalne uzbude i granicom statičke stabilnosti.



Slika 19: Primjer pogonske karte generatora

Regulacijom uzbude generatora podešava se proizvodnja/odavanje odnosno apsorbcijske njegove reaktivne snage. Pri radu u naduzbudi (induktivno područje rada) generator proizvodi reaktivnu induktivnu snagu, dok pri radu u poduzbudi (kapacitivno područje rada) generator troši reaktivnu induktivnu snagu, odnosno proizvodi reaktivnu kapacitivnu snagu. Prvi režim rada analogan je radu kondenzatorskih baterija, a drugi radu prigušnice.

Mogući angažman reaktivne snage generatora određuje se prema nazivnim parametrima pogona, a mijenja se u slučaju promjene parametara pogona, као што су рад при сниженом или повишеном statorskim naponima.

Sinhronim generatorima u EES-u kompenzuju se brze varijacije napona velikih amplituda i oni су uređaji sa kontinualnom promjenom reaktivne snage.

Rješavanje problema regulacije tokova reaktivnih snaga i napona u EES-u promjenom angažmana reaktivne snage sinhronih generatora ograničeno je zbog udaljenosti generatora od značajnih potrošača reaktivne energije, ili zbog dužine dugih visokonaponskih vodova. Zbog prenosa velikih iznosa reaktivnih snaga dolazilo bi do povećanja gubitaka u mreži i smanjenja propusnosti grana mreže, što zahtjeva kompenzaciju reaktivne snage bliže potrošačima.

5.2 Sinhroni kompenzatori

Sinhronne maštine, koje su isključivo namjenjene da obezbijede reaktivnu podršku sistemu zovu se sinhroni kompenzatori. Funkcionalno i konstruktivno sinhroni kompenzator je sinhrona mašina koja radi u sinhronizmu sa mrežom, sa nultom aktivnom snagom (u režimu praznog hoda, bez pogonskog stroja ili mehaničkog tereta). Za pokretanje do sinhronizacije koriste se razne metode, kao što su: pokretanje posebnim motorom, pokretanje samog kompenzatora kao asinhronog motora pri sniženim naponima na njegovim krajevima, pokretanje pomoću posebnog generatora (metoda progresivnog ubrzavanja „back to back“), pokretanje pomoću statičkog generatora za startovanje.

Regulacijom uzbude podešava se odavanje odnosno apsorbacija njegove reaktivne snage, tako da se sinhroni kompenzator ponaša kao generator/potrošač reaktivne snage, shodno potrebama sistema. Kompenzator pri tome može regulisati bilo koji napon na svojim krajevima ili napon na sabirnicama mreže na koju je priključen preko transformatora za povišenje napona. Često se za spregu sinhronog kompenzatora sa mrežom koriste i tercijeri interkonektivnih transformatora i autotransformatora.

Kompenzatori mogu raditi i u induktivnom i kapacitivnom reaktivnom režimu i obezbijeđuju kontinualnu promjenu odate/apsorbovane reaktivne snage, a s tim i održavanje željenog nivoa napona prenosne mreže. Djelovanjem sistema regulacije uzbude brzog odziva kompenzuju se brze varijacije napona.

Za pokrivanje gubitaka (uključujući i potrošnju pomoćnih uređaja), sinhroni kompenzatori uzimaju aktivnu snagu iz mreže, koja iznosi oko 3% nazivne reaktivne snage kompenzatora.

Neki sinhroni generatori su tako dimenzionirani i opremljeni, da u posebnim uslovima mogu raditi kao sinhroni kompenzatori. Primjer u EES-u BiH je PHE Čapljina.

Sinhroni kompenzatori su rotacione maštine sa pokretnim dijelovima i pomoćnim sistemima koji imaju potrebu permanentnog održavanja te radi njihove cijene i visokih pogonskih troškova, u posljednje vrijeme se sve više zamjenjuju statičkim kompenzatorima.

5.3 Transformatori

Energetski transformatori povezuju dijelove EES-a različitih naponskih nivoa. To znači da se izborom prenosnog odnosa utiče na iznose napona u tačkama njihovog priključivanja. Regulisanje napona se u ovim slučajevima izvodi na dva načina:

- u beznaponskom stanju,
- pod opterećenjem.

Za regulaciju napona pomoću promjene prenosnog odnosa u beznaponskom stanju potrebno je isključiti transformator iz pogona i izvesti promjenu prenosnog odnosa. Ovakvi transformatori se uobičajeno izvode sa dopunskim namotajem $\pm 2 \times 2.5\%$ ili $\pm 1 \times 5\%$. Ovakav način regulisanja i ne

predstavlja u pravom smislu regulaciju koliko motažnu mjeru. Prespajanje se vrši povremeno vezano za trajnije režime u sistemu, kao što su ljetni/zimski režim rada.

Kod transformatora sa regulacijom napona pod opterećenjem (regulacioni transformatori) omogućena je promjena prenosnog odnosa pod opterećenjem, odnosno bez isključenja iz pogona. Podešavanje prenosnog odnosa se može provoditi automatski ili ručno. Opseg regulacije se kreće u rasponu od $\pm 10\%$ do $\pm 20\%$, odnosno 1 do 2% po regulacionom izvodu (odcjepu).

Regulaciona sklopka se obično izvodi na strani višeg napona jer je struja na visokonaponskoj strani transformatora manja nego na niženaponskoj strani, čime je olakšana komutacija pri promjeni regulacionih izvoda. Sama regulacija se odvija po sistemu „korak po korak“ (približno kontinualna), što znači da pogonski mehanizam regulacione sklopke mora nakon izvršenja jednog koraka regulacije, dobiti novi impuls za sljedeći korak od automatskog regulatora napona. Promjena prenosnog odnosa transformatora mora biti takva da se pri promjeni regulacionog izvoda ne prekida struja opterećenja u namotajima transformatora te da se promjena regulacionog izvoda uradi bez kratkog spajanja dijelova namotaja. Ovi zahtjevi nameću uvođenje u kolo regulacionog izvoda tokom perioda preklapanja neke forme prelazne impedanse. Ova prelazna impedansa može biti ili otpor ili rektansa. Regulaciona sklopka se smješta u zvijezdište namotaja transformatora (jeftinija izvedba) ili na kraju faza, a regulacioni uređaj može biti izведен zajedno s namotajima za transformaciju ili odvojeno od njih.

Regulacionim transformatorima kompenzuju se spore promjene napona u EES i oni su jedan od važnijih resursa za regulaciju napona i reaktivnih snaga gdje se promjenom prenosnog odnosa transformatora utiče na tokove reaktivnih snaga i vrijednosti napona u sistemu. S aspekta eksploatacije EES-a mogu se svrstati u tri osnovne grupe:

- Distributivni ili potrošački regulacioni transformatori, koji se koriste za povezivanje prenosnih mreža sa distributivnim mrežama srednjeg napona.
- Interkonektivni transformatori 400/220 kV, 400/110 kV, 220/110 kV, koji povezuju VN mreže različitih napona.
- Generatorski blok transformatori, koji se koriste za povezivanje proizvodnih jedinica sa prenosnim ili distributivnim mrežama.

Transformatori 110/x kV, za napajanje distributivnih mreža iz prenosne, uvijek su regulacioni i uglavnom se koriste za održavanje napona na sabirnicama nižeg napona. Interkonektivni transformatori se izvode kao regulacioni ukoliko se pokaže potreba za tim i s njima se uglavnom djeluje na regulaciju tokova reaktivne snage između mreža u interkonekciji. Kod regulacionih generatorskih blok transformatora, regulacijom odnosa transformacije u kombinaciji sa regulacijom uzbude sinhronih generatora podešava se razmjena reaktivne snage generatora sa mrežom.

5.4 Kondenzatorske baterije

Kondenzatorske baterije su pasivni uređaji koji se koriste za proizvodnju reaktivne snage i povećanje napona u mreži a moguće ih je priključiti paralelno na čvorista mreže ili serijski na vodove. S aspekta regulacije napona u sistemu značajniju ulogu ima paralelni priključak

kondenzatorskih baterija dok se serijski priključak kondenzatorskih baterija više koristi u cilju povećanja rezerve stabilnosti.

U distributivnim mrežama paralelne kondenzatorske baterije se priključuju radi poboljšanja faktora snage potrošača i kontrole napona. U prenosnim mrežama primarna uloga kondenzatorskih baterija je obezbijedenje željenih naponskih prilika pri visokim opterećenjima u EES-u i smanjenje gubitaka u mreži.

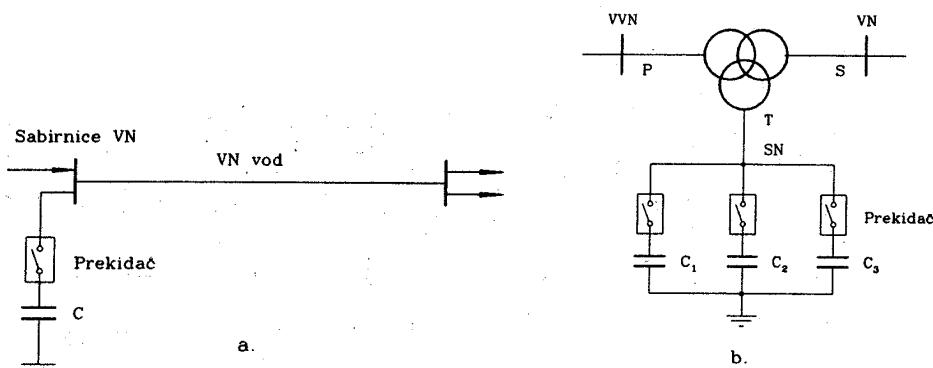
U odnosu na mogućnost upravljanja reaktivnom snagom rade se kao:

- neupravljive komponente, kondenzatori sa fiksnim kapacitetom (FC Fixed Capacitors);
- komponente sa stepenastim aktivnim upravljanjem, mehanički uklopivi kondenzatori (MSC Mechanical Switched Capacitors).

Kod kondenzatora sa fiksnim kapacitetom (FC) isti se može jedino mijenjati u diskretnim stepenima promjenom statusa uključenosti prekidača („on-off“, odnosno sve ili ništa) a proizvodnja reaktivne snage ne može se regulisati odnosno ne postoji mogućnost prilagođenja odate reaktivne snage potrebama sistema.

Ako se prethodno opisana izvedba modifikuje, tako da se kondenzatori podjele u više stepeni/sekcija i priključe na sistem preko mehaničkih sklopnih aparata (prekidači, sklopke) te opremi uredajem za upravljanje, dobiju se komponente sa stepenastim aktivnim upravljanjem. Zadatak uređaja za upravljanje je da prati zadane parametre (napon, faktor snage....) i na osnovu toga daje nalog za uklop/isklop pojedinih stepeni. Ovako ostvarena regulacija je skokovita i ovisi o broju i veličini pojedinih stepeni

Priklučuju se direktno na sabirnice visokonaponskih postrojenja ili na tercijer mrežnih transformatora preko sklopnih aparata koji moraju biti sposobni da uspješno prekidaju kapacitivnu struju bez ponovnih paljenja i da podnesu struju uklapanja kondenzatorske baterije.



Slika 20: Šema paralelno priključenih kondenzatorskih baterija na EES

- a. Direktan priključak na sabirnice VN postrojenja
- b. Priključak preko tercijera mrežnih transformatora

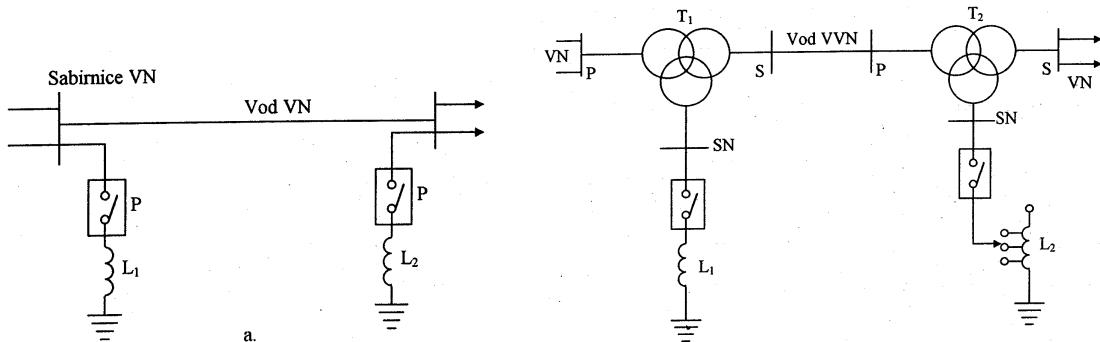
Osnovni nedostatak kondenzatorskih baterija je kvadratna ovisnost proizvedene reaktivne snage o naponu priključnog čvorišta, što znači da se njene mogućnosti smanjuju kada je najbitnije, pri niskim naponima u mreži. Ekonomski gledano, kondenzatorske baterije su vrlo pogodno sredstvo za kompenzaciju reaktivne snage budući da im je cijena prihvatljiva a troškovi održavanja niski.

5.5 Paralelne prigušnice/reaktori

Paralelno priključene prigušnice su najznačajnije sredstvo za kompenzaciju kapacitivnih struja u EES-u, koje se koristi za sniženje napona u slabo opterećenim mrežama visokog napona, kada do izražaja dolaze kapaciteti dugačkih visokonaponskih vodvoda. Malo opterećenje vodova visokog napona (ispod prirodnih snaga vodova) uzrokuje generisanje velikih količina reaktivne snage i povišenje napona na krajevima voda. Prigušnice se koriste za kompenzaciju/apsorbciju viškova reaktivne snage u pojedinim čvoristima mreže, pri čemu se održava željeni naponski profil u EES-u.

Grade se kao monofazne ili trifazne jedinice sa regulacionim otcjepima (komponente sa stepenastim aktivnim upravljanjem, mehanički sklapani reaktori/MSR) ili bez regulacionih otcjepa (neupravljive komponente, fiksni reaktori/FR). Na mrežu koju treba kompenzirati priključuju se direktno (na sabirnice visokonaponskih postrojenja preko sklopnih aparata) ili preko tercijera mrežnih transformatora.

Reaktivna snaga prigušnice ima kvadratnu ovisnost apsorbovane reaktivne snage o naponu priključnog čvorista, što znači da se njene mogućnosti povećavaju pri visokim naponima u mreži. U razdobljima visokih opterećenja u EES-u i povećanog prenosa dugačkim visokonaponskim vodovima, prigušnice je najčešće potrebno odspojiti s mreže.



Slika 21: Šema priključka paralelnih prigušnica na EES

- a. Direktan priključak na sabirnice VN postrojenja
- b. Priključak preko tercijera mrežnih transformatora

5.6 Statički VAr kompenzatori

Statički kompenzatori (SVC, Static VAr Compesator) su uređaji za proizvodnju/apsorbciju reaktivne snage koji varijacijom sopstvene proizvodnje ili apsorbcije reaktivne snage održavaju, odnosno regulišu napon u tački priključka na sistem. Priključuju se paralelno na mrežu i u suštini predstavljaju kombinacije paralelno priključenih kondenzatora (sa fiksnim ili promjenljivim kapacitetom) i prigušnica sa kontrolisanom susceptansom, tako da mogu raditi i u induktivnom i u kapacitivnom režimu. Upravljanje SVC je zasnovano na tiristorima koji nemaju mogućnost

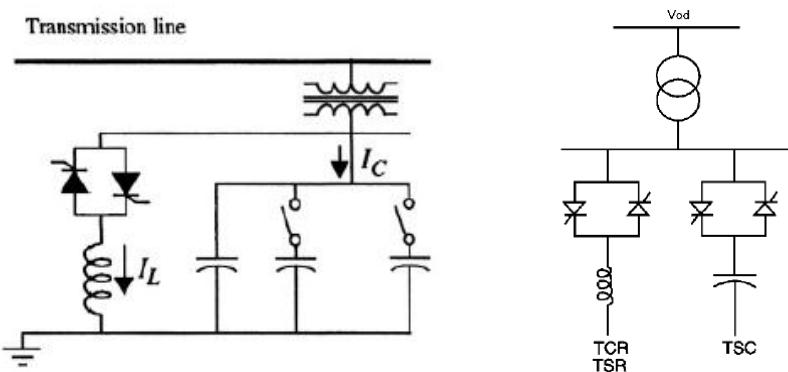
isključenja signalom na upravljačku elektrodu (prekidanje struje u trenutku prolaska kroz nultu vrijednost). U njima je uključena posebna oprema za razmjenu reaktivne snage, tiristorski upravljava ili tiristorski uklopiva prigušnica za apsorbciju reaktivne snage te tiristorski uklopivi kondenzator za proizvodnju reaktivne snage.

Postoji veći broj fizički i konstrukciono različitih elemenata koji se koriste kao SVC. Ovisno o izvedbi i načinu regulacije susceptanse razlikuju se sljedeće grupe ovih elemenata:

- Uredaji sa kontinualnom regulacijom, kao što su tiristorski kontrolisane (regulisane) prigušnice (TCR – Thyristor Controlled Reactor), tiristorski kontrolisani transformatori (TCT - Thyristor Controlled Transformers) i prigušnice upravljane istosmernom strujom (DCCR – Direct Current Controlled Reactors)
- Uredaji sa diskontinualnom regulacijom: tiristorski uklopivi kondenzatori (TSC – Thyristor Switched Capacitors) i tiristorski uklopive prigušnice (TSR - Thyristor Switched Reactors).
- Uredaji sa vlastitom kontrolom susceptanse: prigušnice sa samozasićenjem i kondenzatorima za podešavanje nagiba regulacione karakteristike (SSR – Self Switched Reactors).
- Statički kompenzacioni sistemi koji se sastoje od kombinacije kondenzatora sa fiksnim ili promjenljivim kapacitetom i bilo kojeg tipa regulacionih prigušnica iz prethodnih tačaka.

Važna karakteristika ovih uređaja je mogućnost kontinuirane i brze regulacije napona koja se postiže primjenom odgovarajućih klasičnih ili tiristorskih elemenata. Priključak na mrežu se ostvaruje preko odgovarajućih transformatora ili preko tercijera mrežnih transformatora. Osim širokog regulacionog opsega, brze i kontinualne regulacije, malih gubitaka, važna im je karakteristika i pouzdanost u radu (za razliku od sinhronih kompenzatora).

Njihove povoljne karakteristike čine ih prihvatljivim za primjenu pri dinamičkim promjenama u sistemu. Zbog brze i kontinualne regulacije napona staticki kompenzatori povoljno djeluju na tranzijentnu stabilnost sistema. Obzirom da SVC koriste kondenzatore, i oni imaju isti problem smanjenja reaktivnih mogućnosti odnosno smanjenja proizvodnje reaktivne snage pri smanjenju napona sistema (kvadratna ovisnost proizvedene reaktivne snage o naponu priključnog čvorišta). Cijena im je znatno viša od običnih kondenzatorskih baterija i prigušnica zbog primjene poluvodičkih elemenata i filtera, pa je neophodno analizirati potrebu njihove ugradnje.



Slika 22: Izvedbe SVC uređaja

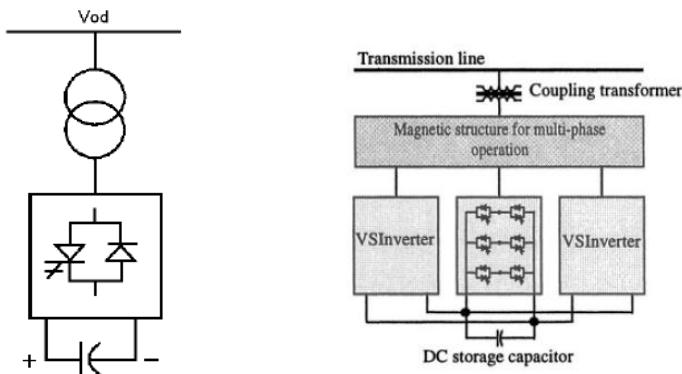
- Sa kondenzatorskim baterijama sa fiksnim ili promjenljivim kapacitetom
- Sa tiristorski prekidanim kondenzatorima

5.7 Statički sinhroni kompenzator

Statički sinhroni kompenzator (STATCOM, Static Synchronous Compensator) je uređaj zasnovan na energetskoj elektronici, paralelno priključen na sistem, koji može proizvoditi ili apsorbovati reaktivnu snagu i pripada familiji FACTS (Flexible AC Transmission System) opreme. Umjesto korištenja konvencionalnih kondenzatora i prigušnica sa mogućnošću brzog uklapanja STATCOM koristi uređaje energetske elektronike (dc/ac pretvarači sa istosmjernim kondenzatorom kao naponskim izvorom) u cilju obezbijedenja injektiranja/apsorbcije reaktivne snage u sistem.

Kod njih se izlaznim izmjeničnim naponom upravlja na način da se automatskom regulacijom napona istosmjernog kondenzatora, koji služi kao naponski izvor pretvarača, utiče na zahtjevani nivo injektirane/apsorbovane reaktivne snage u čvorište izmjeničnog sistema. Reaktivne mogućnosti STATCOM uređaja su simetrične u oba smjera (isti iznosi reaktivnih snaga injektiranja/apsorbcije).

STATCOM uređaji su savršeniji u odnosu na SVC, zasnovani su na pretvaračima s tiristorima koji imaju mogućnost uključenja promjenom signala na upravljačkoj elektrodi. Oni obezbijedju veoma brzu, efikasnu i kontinualnu reaktivnu podršku i regulaciju napona u sistemu (imaju nešto brži odziv regulacije napona u odnosu na SVC). STATCOM uređaji imaju poboljšane performanse pri sniženju napona u sistemu, proizvodnja reaktivne snage ne zavisi od napona sistema (linearna ovisnost proizvedene reaktivne snage o naponu priključnog čvorišta). Ovi atributi značajno povećavaju korisnost STATCOM uređaja u sprečavanju kolapsa napona u sistemu.



Slika 23: Šema STATCOM uređaja

5.8 Pregled performansi uređaja za regulaciju

Sinhroni generatori, sinhroni kompenzatori, SVC i STATCOM uređaji obezbijedju brzu i kontinualnu reaktivnu podršku i naponsku regulaciju u EES-u. Regulacioni transformatori obezbijedju približno kontinualnu ali sporu regulaciju napona. Oni prebacuju reaktivnu snagu sa jednog čvora na drugi i regulacija napona na jednom čvoru se odvija na račun drugog čvora. Kondenzatorske baterije i prigušnice nemaju kontinualnu regulaciju i imaju mogućnost regulacije napona samo u velikim stepenima/koracima.

Nepovoljne karakteristike kondenzatorskih baterija i kondenzatora u SVC uređajima su da injektiranje reaktivne snage u EES značajno opada sa smanjenjem napona u sistemu, što znači da se

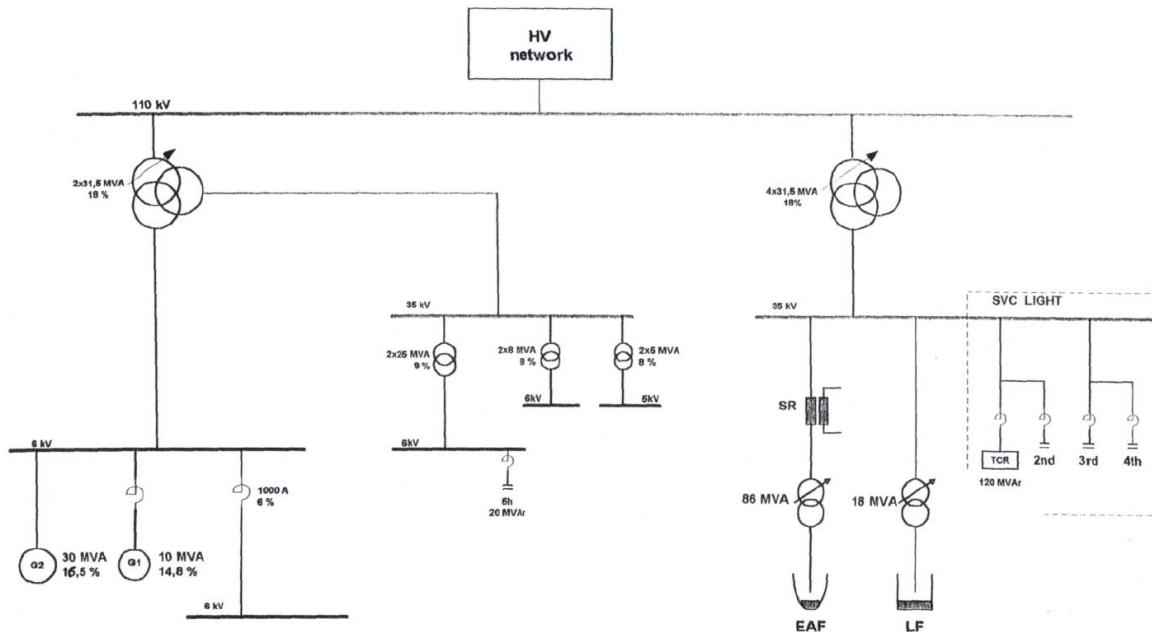
mogućnosti ovih uređaja smanjuju kada je najbitnije, pri niskim naponima u mreži. Oni imaju kvadratnu ovisnost proizvedene reaktivne snage o naponu priključnog čvorišta. STATCOM uređaji imaju bolju podršku reaktivne snage sistemu u uslovima slabih naponskih prilika i imaju linearnu ovisnost proizvedene reaktivne snage o naponu priključnog čvorišta. Proizvodnja reaktivne snage sinhronih generatora i sinhronih kompenzatora se povećava sa smanjenjem napona u sistemu sve dok se ne dostignu ograničenja po struji uzbude.

S aspekta povoljnih karakteristika regulacije napona u EES-u preferira se upotreba sinhronih generatora i sinhronih kompenzatora. Cijena odnosno troškovi, s druge strane, preferiraju upotrebu kondenzatorskih baterija. Generatori imaju jako visoke kapitalne troškove (troškovi vezani za investicije) i prevashodno su namjenjeni za proizvodnju aktivne snage u sistemu. Iako su i dodatni troškovi proizvodnje reaktivne snage generatora jako visoki, teško ih je jednoznačno odvojiti od troškova za proizvodnju aktivne snage. Pogonski troškovi generatora su takođe visoki. Sinhroni kompenzatori imaju visoke kapitalne troškove, slično kao generatori, ali pošto su namjenjeni isključivo za proizvodnju reaktivne snage, njihovi kapitalni troškovi ne uključuju ugradnju uređaja za regulaciju snage i pogonski stroj/turbinu. SVC i STATCOM su jako skupi uređaji, njihovi pogonski troškovi su manji od pogonskih troškova sinhronih generatora i sinhronih kompenzatora. SVC je jeftinija zamjena za STATCOM.

5.9 Uredaji za regulaciju reaktivne snage i napona u EES BiH

5.9.1 BH Steel Željezara Zenica

U toku 2005. godine u sklopu BH STEEL Željezare zenica u pogon je poštena elektrolučna peć kapaciteta 100 t i instalisane snage 86 MVA. Ova peć je, uz kazansku peć instalisane snage 18 MVA, preko priključnih transformatora 4x31,5 MVA i prenosnog odnosa 35/110 kV priključena na sabirnice 110 kV Željezara – Sjever. Kako su proračuni, a i praksa ukazivali da će, zbog relativno male snage kratkog spoja na sabirnicama 110 kV u odnosu na instalisanu snagu elektroelučne i kazanske peći dolaziti do značajnih naponskih kolebanja i flikera na prenosnoj i distributivnoj mreži, na iste sabirnice 35 kV priključen je SVC "light" (veoma brzi odziv na naponske promjene visokog gradijenta) kompenzator snage 120 MVAr.



BHSteel Željezara Zenica (2005. godina)

Slika 24. Šema postrojenja

Međutim, zbog povezanosti rada SVC i elektrolučne peći (koja je u posljednje dvije godine van pogona), namjene SVC da kompenzuje naponske propade, kao i činjenice da je SVC reguliše napon na sabirnicama 110 kV, ovaj uređaj i ako značajne snage, ne može uticati na smanjenje napona u EES BiH, pogotovo na naponskom nivou 400 i 220 kV.

5.9.2 CHE Čapljina

CHE Čapljina, instalisane snage 2×240 MVA, $\cos \varphi = 0.85$, puštena je u pogon 1979. godine. Ova pumpna elektrana je projektovana za rad u sljedećim uslovima:

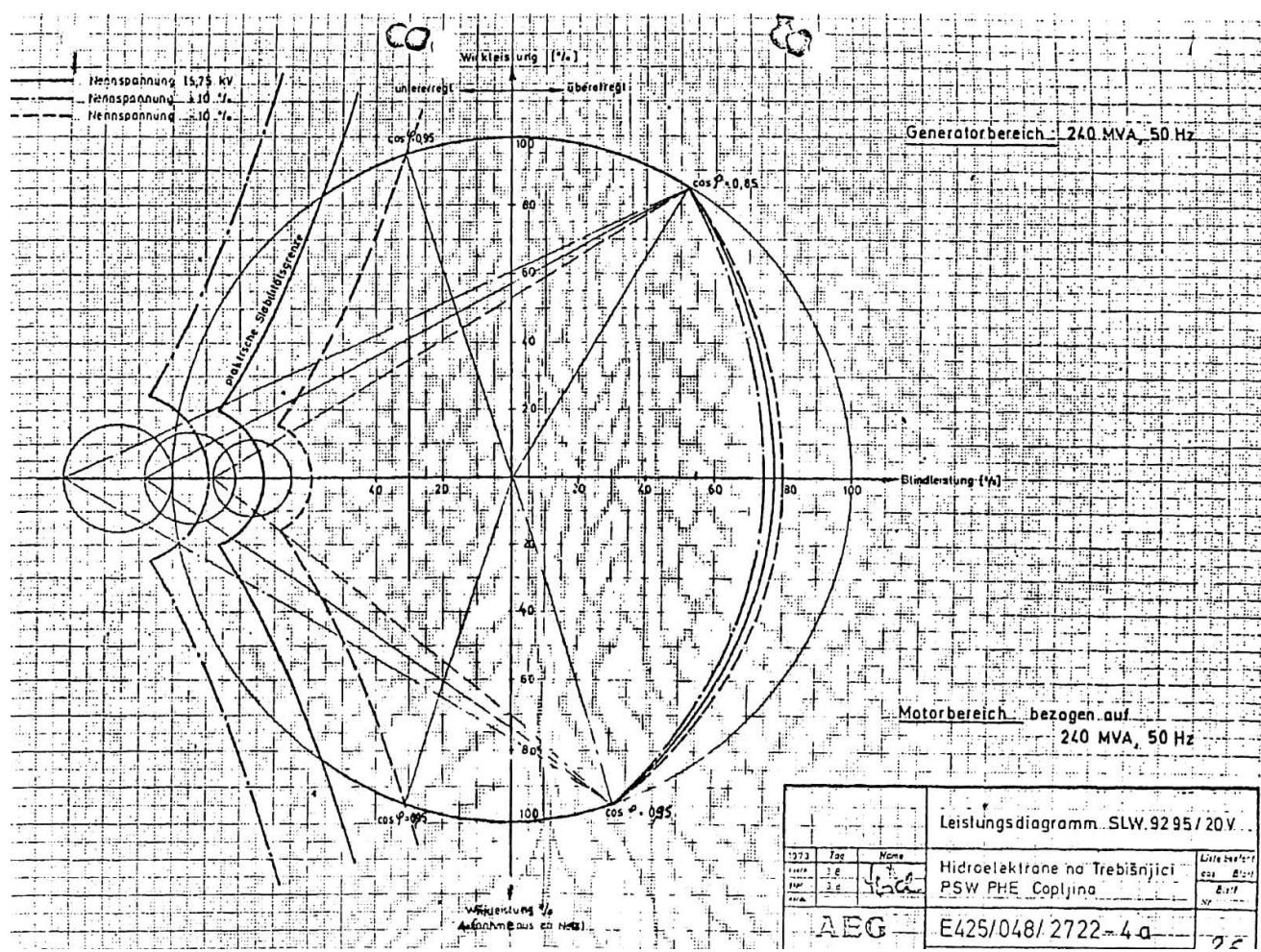
- U suvom ljetnom i jesenjem razdoblju (cca 225 d/g) treba raditi u noćnim satima (23 – 05) u pumpnom pogonu a tokom dana kao elektrana vršne energije i snage 5-6 sati (odnos energije iz pumpanja u odnosu na energiju pumpanja je 0.74). Pumpni rad se postiže asinhronim upuštanjem, a ukupan broj upuštanja do 1991. godine je 1621.
- U zimskom i proljetnom razdoblju (cca 140 d/g) pri dovoljnem dotoku u gornji bazen, planirana je proizvodnja sa prosječnim radom od 12 – 14 sati dnevno.
- Između pumpnog i turbinskog rada, prema prilikama u EES, može biti u kompenzatorskom radu pri čemu može biti u nad- ili podpobudi sa 150-160 MVar po mašini.

Međutim, elektromehaničke i regulacione karakteristike generator/motor CHE Čapljina omogućavaju i čisto kompenzatorski (nad- ili podpobuđeni rad) u sva četiri kvadranta pogonske karte, slika 25. Pri tome, tokom asinhronog zaleta u trajanju do 100 s, potrošnja sa mreže 220 kV iznosi oko 20 MW, dok u stacionarnom kompenzatorskom radu potrošnja iznosi oko 4 MW. Upravo ova okolnost je odigrala ključnu ulogu u resynchronizaciji I i II UCTE zone 10. oktobra 2004. godine, kada je kompenzatorski rad CHE Čapljina (-8MW/-320Mvar) smanjio napone na 400 kV

sabirnicam RP Trebinje sa 426 kV na 410 kV, čime je omogućeno uključenje DV 400 kV Trebinje – Podgorica i formiranje jedinstvenog UCTE sistema.

Nažalost, praktično od 1991. godine ovaj vrijedan energetski i regulacioni objekat regionalnog značaja nije u potpunosti iskorišten za razliku od ostalih pumpnih elektrana u okruženju jer je pumpni rad i proizvodnja iz pumpanja praktično zanemariva u odnosu na projektovanu. I pored toga, kompenzatorski rad je se može realizovati kao pomoćna usluga sistemu, naravno uz odgovarajuću valorizaciju pogonske spremnosti i kompenzatorskog rada, uključujući i aktivnu i reaktivnu energiju.

Kompenzatorski rad CHE Čapljina, odnosno pomoćna usluga sistemu, mora biti adekvatno valorizovana u odnosu na moguće štete koje bi nastale zbog grešaka u sistemu uzrokovane dugotrajnim naponima iznad graničnih vrijednosti što može uticati i na plasman energije iz ovog proizvodnog kapaciteta. S druge strane, treba imati u vidu i dugoročnu vremensku dimenziju ovog problema. To znači da je potrebno izvršiti komparativnu tehno-ekonomsku analizu u vremenskom domenu (najmanje 10 godina) upoređujući troškove systemske usluge i investicione i eksplotacione troškove statičkih kompenzacionih uređaja (prigušnica) koji bi imali isti efekat kao i kompenzatorski rad CHE Čapljina.



Slika 25. Pogonska karta CHE Čapljina

6 Dispečerske akcije

Održavanje napona podrazumjeva održavanje ravnoteže proizvedenje i potrošenje reaktivne snage. Osnovni cilj održavanja napona na prenosnim mrežama, u dozvoljenim granicama, jeste da se izbjegne pojava nestabilnosti i velikih prenosa reaktivne snage, što utiče na sigurnost sistema, tako da su odstupanja napona na prenosnoj mreži okrenuta zahtjevima samog EES-a, a ne zahtjevima potrošača.

Regulacija napona u elektroenergetskim sistemima se obavlja djelovanjem na proizvodnju/potrošnju i tokove reaktivnih snaga, odnosno djelovanjem na regulacione sredstva i uređaje (regulatori) koji mogu učestvovati u regulaciji napona i reaktivnih snaga.

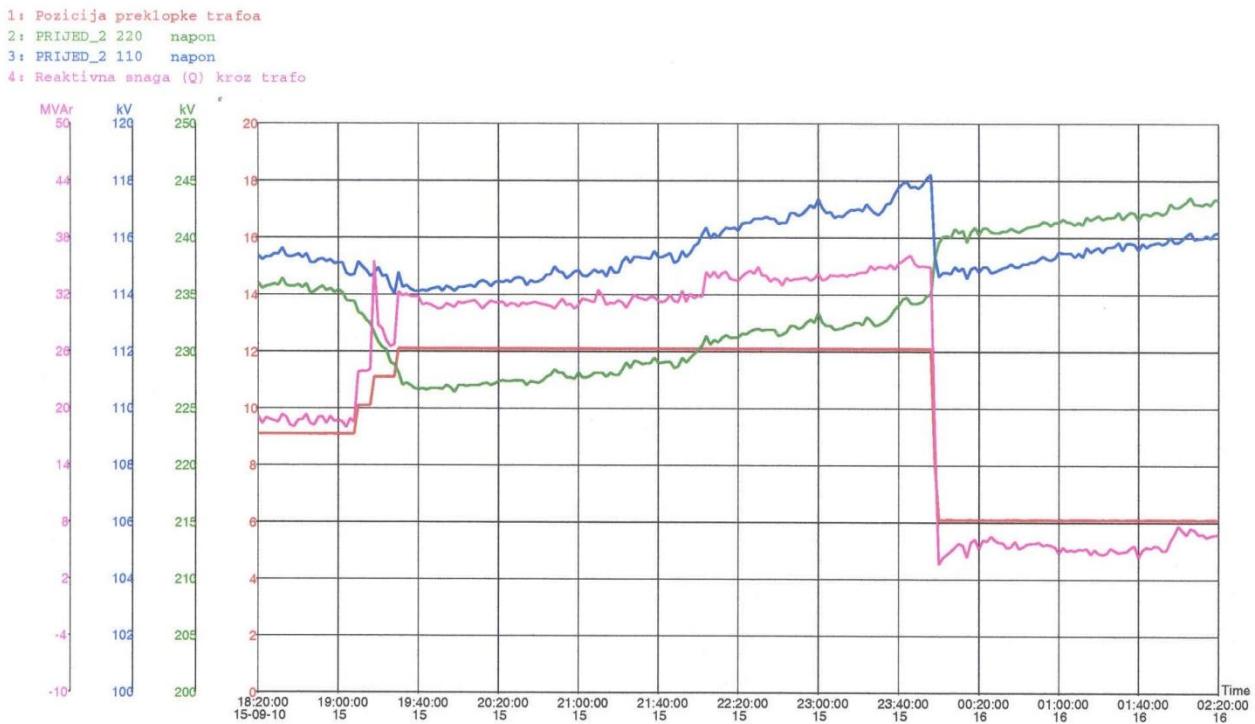
U cilju održavanja napona u dozvoljenim granicama, a samim tim stabilnosti i sigurnosti rada prenosne mreže, na raspodjelu tokova reaktivnih snaga može se uticati, kao raspoložive dispečerske akcije na sljedeće načine:

1. Promjena proizvodnje reaktivne snage.

Sinhroni generatori su osnovni izvori reaktivnih snaga. Kao posebno važni izvori reaktivne snage koji svojom proizvodnjom podmiruju najveći dio potreba potrošača predstavljaju turbogeneratori. Mogućnosti proizvodnje/apsorpcije reaktivne snage sinhronog generatora se predstavlja pogonskom kartom. Rad u kapacitivnom režimu (apsorpcija reaktivne snage) generatora u BiH nije maksimalno iskorišten zbog problema nepostojanja adekvatnih mjernih uređaja na generatorima, a samim tim i nemogućnosti nadgledanja rada generatora u ovom režimu. Takođe, davanje naloga za rad u ovom režimu predstavlja pomoćnu uslugu i cijena za ovaj rad mora biti obuhvaćena odlukom DERK-a, što do sada nismo imali. Zbog navedenog, upravljanje proizvodnjom reaktivne snage u pomenutom režimu od strane DC NOS BiH je veoma ograničeno.

2. Promjena prenosnog odnosa na transformatorima 400/220 i 220/110.

Promjenom prenosnog odnosa, odnosno promjenom pozicije preklopke, transformatora se nastoji održati željeni napon na niženaponskoj strani transformatora. Ovaj proces se uglavnom odvija automatski ili daljinskom kontrolom na transformatorima 220/110 i 110/xx kV. Primjer je pokazan na slici 26 (TS Prijedor 2). Sa slike se vidi da se promjenom prenosnog odnosa trafoa (crvena linija) nastoji održati vrijednost radnog napona (115 kV). Ljeva strana slike se odnosi na povećanje napona, dok desna strana slike se odnosi na smanjenje napona.



Slika 26. Primjer regulacije napona promjenom pozicije regulacione preklopke na transformatoru u TS Prijedor 2.

3. Promjena uklopnog stanja - isključenje dalekovoda 400 i 220 kV. Ova akcija se preduzima na onim dalekovodima koji proizvode reaktivnu snagu uslijed neopterećenosti mreže, odnosno interkonektivnim dalekovodima koji čiji tokovi reaktivne snage doprinose povećanju napona. Ovakva akcija se najčešće provodi ali je istovremeno i ograničavajuća jer se prilikom isključenja mora voditi računa da se ne naruši sigurnost EES BiH. Doprinosi smanjenja napona prilikom isključenja dalekovoda nisu znatni, ali mogu doprinijeti da se napon zadrži u okviru dozvoljenih granica. U tabeli V prikazan je spisak dalekovoda koji su bili isključivani zbog pojave visokih napona.

Tabela V: Pregled isključenja zbog pojave previsokih napona od 01.01. do 31.06.2010.

Objekat	Status	Razlog isključenja	Datum isklj.	Vrijeme isklj.	Datum uklj.	Vrijeme uklj.
DV 220 kV Kakanj - Prijedor 2	Iskljucen	Visoki naponi	27.3.2010	0:29:00	27.3.2010	9:27:00
DV 400 kV Mostar 4 - Konjsko	Iskljucen	Visoki naponi	27.3.2010	0:44:00	27.3.2010	9:37:00
DV 400 kV Mostar 4 - Konjsko	Iskljucen	Visoki naponi	28.3.2010	0:13:00	29.3.2010	7:18:00
DV 220 kV Kakanj - Prijedor 2	Iskljucen	Visoki naponi	28.3.2010	1:24:00	29.3.2010	7:28:00
DV 400 kV Mostar 4 - Konjsko	Iskljucen	Visoki naponi	2.4.2010	22:59:00	6.4.2010	6:18:00
DV 220 kV Kakanj - Prijedor 2	Iskljucen	Visoki naponi	4.4.2010	7:01:00	6.4.2010	7:23:00
DV 400 kV Mostar 4 - Konjsko	Iskljucen	Visoki naponi	10.4.2010	0:37:00	12.4.2010	0:38:00
DV 220 kV Kakanj - Prijedor 2	Iskljucen	Visoki naponi	10.4.2010	0:37:00	12.4.2010	7:14:00
DV 400 kV Mostar 4 - TE Gacko	Iskljucen	Visoki naponi	12.4.2010	1:45:00	12.4.2010	9:44:00
DV 400 kV Trebinje - TE Gacko	Iskljucen	Visoki naponi	12.4.2010	1:43:00	12.4.2010	9:45:00
Tr 400 MVA 400/220 kV u RP Trebinje	Iskljucen	Visoki naponi	12.4.2010	1:40:00	12.4.2010	9:47:00
Tr 400 MVA 400/220 kV u RP Trebinje	Iskljucen	Visoki naponi	17.4.2010	0:11:00	20.4.2010	23:16:00
DV 400 kV Mostar 4 - TE Gacko	Iskljucen	Visoki naponi	17.4.2010	0:13:00	21.4.2010	8:12:00
DV 400 kV Trebinje - TE Gacko	Iskljucen	Visoki naponi	20.4.2010	14:28:00	22.4.2010	9:08:00
Tr 1 300 MVA 400/110 kV u TS Banjaluka 6	Iskljucen	Visoki naponi	1.5.2010	5:29:00	5.5.2010	8:49:00
Tr 2 300 MVA 400/110 kV u TS Banjaluka 6	Iskljucen	Visoki naponi	1.5.2010	5:29:00	10.5.2010	8:00:00
DV 400 kV Tuzla - Banjaluka 6	Iskljucen	Visoki naponi	1.5.2010	5:29:00	5.5.2010	8:37:00
DV 400 kV Mostar 4 - Konjsko	Iskljucen	Visoki naponi	1.5.2010	18:49:00	3.5.2010	6:09:00
DV 220 kV Kakanj - Prijedor 2	Iskljucen	Visoki naponi	2.5.2010	0:11:00	4.5.2010	7:40:00
DV 220 kV Kakanj - Prijedor 2	Iskljucen	Visoki naponi	23.5.2010	0:30:00	23.5.2010	0:30:00

7 Formiranje modela EES-a

U NOS-a BiH, se u sklopu aktivnosti operativnog planiranja i upravljanja u realnom vremenu svakodnevno provode aktivnosti proračuna tokova snaga i naponskih prilika u cilju provođenja zadatka analize sigurnosti i obezbjedenja sigurnosti u EES-u BiH.

Funkcije analize sigurnosti podrazumjevaju analizu mogućih poremećaja i njihovih efekata na rad sistema. Rezultati ovih analiza treba da omoguće preduzimanje preventivnih mjera u cilju sprečavanja neželjenih posljedica. Pri ovome je najvažnije da se izbjegnu kaskadni (ili lančani) poremećaji koji nastaju ukoliko neki inicijalni događaj, koji je izazvan ispadom jednog elementa, ugrozi normalan rad drugih elemenata, pa oni počnu lančano jedan po jedan ispadati iz pogona.

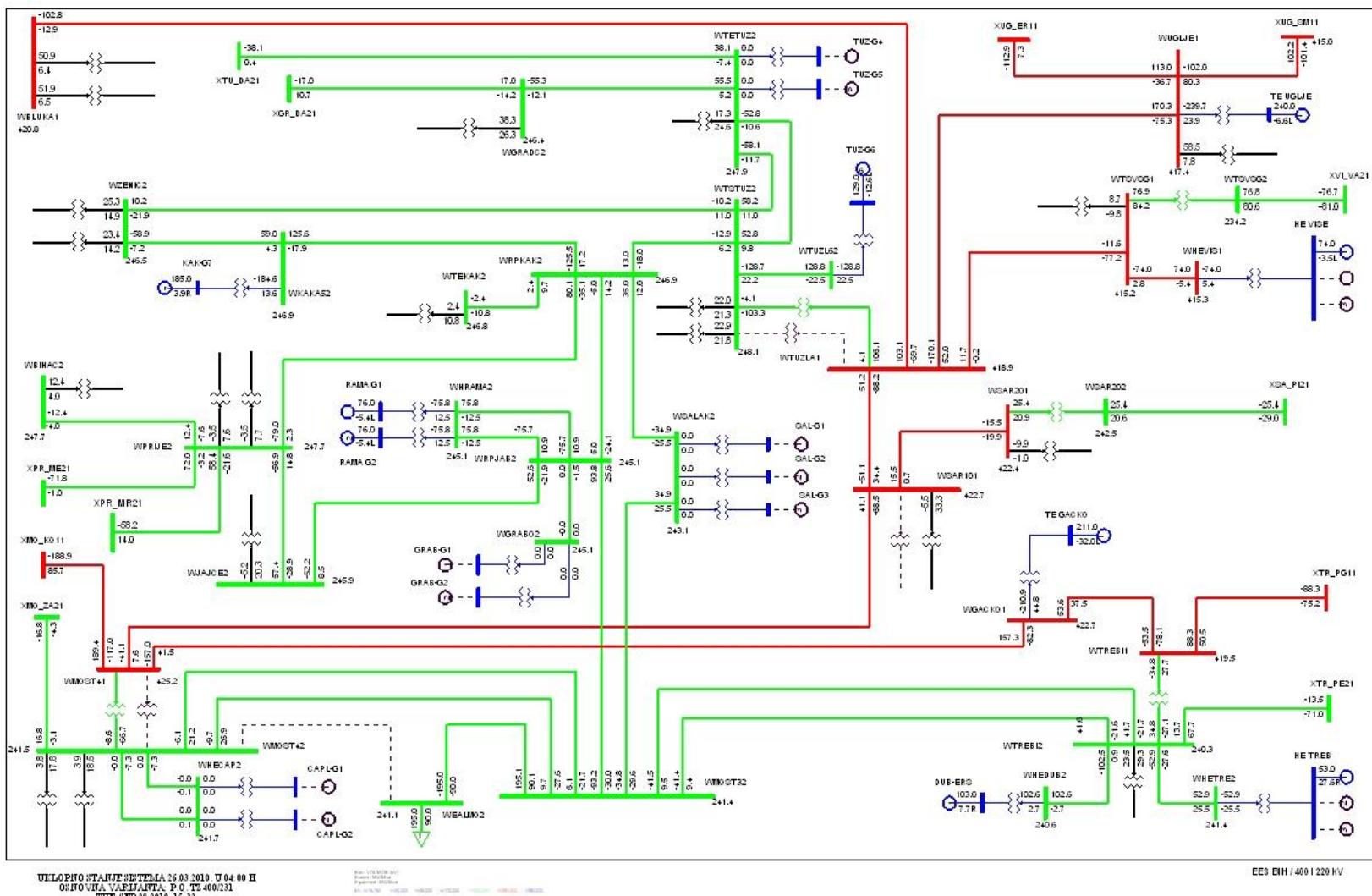
Funkcija obezbijeđenja sigurnosti se sastoji u primjeni korekcionih/upravljačkih akcija koje treba sprovesti pri pojavi pojedinih kvarova a koje će spriječiti dalju degradaciju rada sistema. Ove mjere uglavnom obuhvataju promjenu angažovanja i režima rada proizvodnih jedinica, promjenu topološke strukture prenosne mreže i rasterećenja sistema.

Da bi se ove aktivnosti redovno provodile svakodnevno se formira model EES-a regije jugoistočne Evrope. U ovom modelu EES BiH modeluje se na 400, 220 i 110 kV naponskom nivou, na bazi planiranog dnevnog rasporeda ili ostvarene proizvodnje i topološke strukture prenosne mreže. U planiranom dnevnom rasporedu dat je pregled satnog angažovanja proizvodnih jedinica u EES-u BiH i satna procjena konzuma po elektroprivrednim kompanijama.

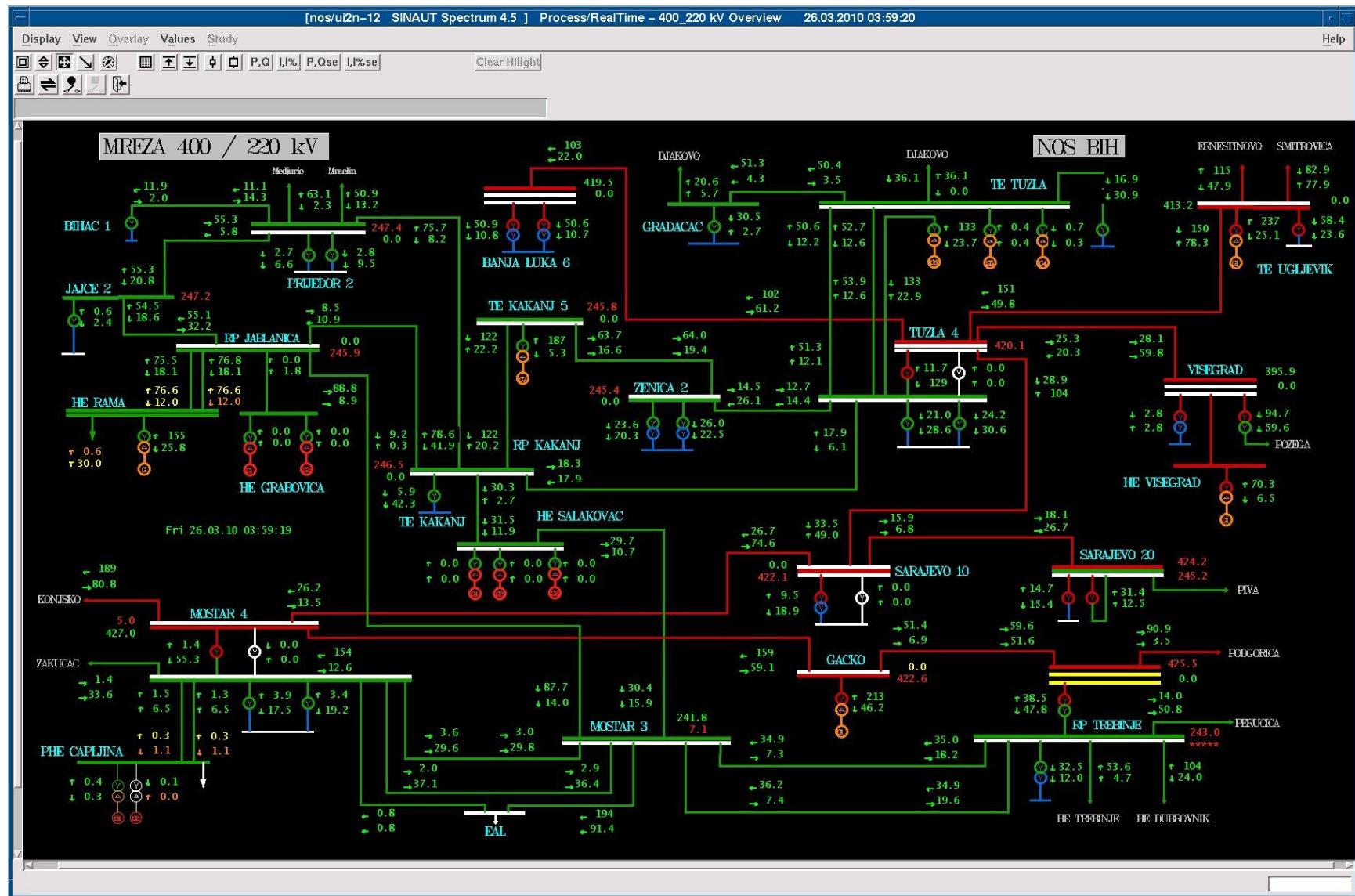
Modeli EES-a susjednih zemalja redovno se razmjenjuju u vidu DACF fajlova (Day Ahead Congestion Forecast file – dan unaprijed prognozirani fajlovi za provjeru zagrušenja). U DACF fajlovima se u UCT formatu daje bilans proizvodnje, bilans potrošnje i topološka struktura prenosne mreže nekog EES-a na naponskom nivou 400 i 220 kV. Spajanjem modela EES-a BiH i modela EES-a susjednih zemalja dobije se model regije jugoistočne Evrope koji je relevantan za provođenje aktivnosti analize i obezbijeđenja sigurnosti.

7.1 Analiza uzorka i izvora nastanka visokih napona u EES BiH

Pojava visokih napona u čvorištima EES-a BiH registrovana je pri ekspolataciji sistema tokom čitave godine, što je i prikazano u poglavlju [3](#). Ova pojava se obično događa u noćnim satima i to najčešće u režimima minimalnog opterećenja (dnevni minimum). Učestale pojave visokih napona u čvorištima EES-a BiH najizraženije su tokom trećeg, četvrtog i petog mjeseca.



Slika 27. Rezultati proračuna tokova snaga i naponskih prilika u EES-u BiH, 26.03.2010. god. u 04:00 sati



Slika 28. Snapshot tokova snaga i naponskih prilika u EES-u BiH, 26.03.2010. god. u 04:00 sati

Kao što je već navedeno u NOS-a BiH se svakodnevno formira model EES-a regije jugoistočne Evrope koji obuhvata EES BiH i EES-e susjednih zemalja. Jedan od tako formiranih modela koristio se za analizu naponskih prilika u EES-u BiH. Razmatra se uklopno stanje EES-a BiH, 26.03.2010. godine u 04:00 sati (jedan od dana kada su u EES-u BiH bili povišeni naponi). Rezultati proračuna tokova snaga i naponskih prilika prikazani su na slici 27. U cilju provjere rezultata proračuna te verifikacije modela, na slici 28, prezentiran je „snapshot“ tokova snaga i naponskih prilika u EES-u BiH, urađen 26.03.2010. godine u 04:00 sati na SCADA sistemu.

Uporednom rezultata proračuna tokova snaga i naponskih prilika sa stvarnim vrijednostima registrovanim na SCADA sistemu (snapshot), uočava se relativno dobro podudaranje sračunatih vrijednosti sa stvarnim vrijednostima a eventualna manja odstupanja posljedica su formiranja modela sa prognoziranim podacima (DACP fajlovi, modeli susjednih sistema) umjesto sa snapshot podacima.

Osnovne karakteristike razmatranog režima su:

Bilans snaga:

PTI INTERACTIVE POWER SYSTEM SIMULATOR--PSS®E UKLOPNO STANJE SISTEMA 26.03.2010. U 04:00 H OSNOVNA VARIJANTA; P.O. TZ 400/231							TUE, SEP 28 2010 15:57 AREA TOTALS IN MW/MVAR				
		FROM TO LOAD		TO			-NET INTERCHANGE-				
X-- AREA --X	GENE- RATION	AT AREA	TO BUS	GNE BUS	TO LINE	FROM	TO	TO TIE	TO TIES	DESIRED	
30	1587.0	919.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.1	650.0	650.0	0.0	
BA	-40.6	398.4	0.0	0.0	0.0	829.2	207.1	183.2	183.2		
COLUMN	1587.0	919.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.1	650.0	650.0	0.0	
TOTALS	-40.6	398.4	0.0	0.0	0.0	829.2	207.1	183.2	183.2		

Opterećenja dalekovoda:

OUTPUT FOR AREA 30 [BA]
SUBSYSTEM LOADING CHECK (INCLUDED: LINES; BREAKERS AND SWITCHES) (EXCLUDED: TRANSFORMERS)
DV 400 kV
CURRENT LOADINGS ABOVE 10.0 % OF RATING SET A:
X----- FROM BUS -----X X----- TO BUS -----X
BUS# X-- NAME --X BASKV AREA BUS# X-- NAME --X BASKV AREA CKT LOADING RATING PERCENT
10101 WUGLJE1 380.00* 30 10121 WTUZLA1 380.00 30 1 169.6 1263.0 13.4
10101 WUGLJE1 380.00 30 10986 XUG_SM11 380.00* 2 1 131.9 1263.0 10.4
10102 WGACKO1 380.00* 30 10124 WMOST41 380.00 30 1 157.3 1263.0 12.5
10124 WMOST41 380.00* 30 10975 XMO_KO11 380.00 2 1 198.3 1263.0 15.7

DV 220 kV
CURRENT LOADINGS ABOVE 20.0 % OF RATING SET A:
X----- FROM BUS -----X X----- TO BUS -----X
BUS# X-- NAME --X BASKV AREA BUS# X-- NAME --X BASKV AREA CKT LOADING RATING PERCENT
10104 WTUZL62 220.00* 30 10123 WTSTUZ2 220.00 30 1 115.9 301.0 38.5
10105 WKAKA52 220.00* 30 10130 WRPKAK2 220.00 30 1 113.0 301.0 37.5
10109 WHRAMA2 220.00* 30 10129 WRPJAB2 220.00 30 1 69.5 301.0 23.1
10109 WHRAMA2 220.00* 30 10129 WRPJAB2 220.00 30 2 69.5 301.0 23.1
10116 WTREB12 220.00 30 10982 XTR_PE21 220.00* 2 1 67.4 301.0 22.4
10125 WPRIJE2 220.00* 30 10979 XPR_ME21 220.00 2 1 64.0 301.0 21.3
10126 WTSVSG2 220.00 30 10984 XVI_VA21 220.00* 2 1 105.5 301.0 35.0
10129 WRPJAB2 220.00 30 10134 WMOST32 220.00* 30 1 88.5 301.0 29.4
10134 WMOST32 220.00 30 10136 WEALMO2 220.00* 30 1 195.9 602.0 32.5

DV 110 kV
CURRENT LOADINGS ABOVE 25.0 % OF RATING SET A:
X----- FROM BUS -----X X----- TO BUS -----X
BUS# X-- NAME --X BASKV AREA BUS# X-- NAME --X BASKV AREA CKT LOADING RATING PERCENT
10137 WTREB15 110.00 30 20502 KOMOLAC 110.00* 19 1 31.7 89.0 35.7
14102 B.BROD 110.00* 30 14115 DERVENT 110.00 30 1 33.3 122.0 27.3
16108 CEMENTAR 110.00* 30 16148 TE_KAKAN 110.00 30 1 34.4 122.0 28.2

16119 HE JABL	110.00*	30	16126 KONJIC1	110.00	30	1	32.8	122.0	26.9
16119 HE JABL	110.00*	30	16129 MO-2	110.00	30	1	42.5	87.0	48.9
16119 HE JABL	110.00*	30	16132 PRATACE	110.00	30	1	36.7	122.0	30.1
16127 LUKAVAC	110.00*	30	16149 TE TUZLA	110.00	30	2	32.8	122.0	26.9
16129 MO-2	110.00*	30	18101 MO-1	110.00	30	1	34.9	122.0	28.6
16132 PRATACE	110.00*	30	16143 SA 14	110.00	30	1	36.3	114.0	31.8
18101 MO-1	110.00*	30	18106 MOSTAR 6	110.00	30	1	29.3	89.0	32.9
18104 MO-4	110.00	30	18111 CITLUK	110.00*	30	1	40.5	122.0	33.2
18106 MOSTAR 6	110.00*	30	18107 MO-7	110.00	30	1	23.2	89.0	26.0
18111 CITLUK	110.00	30	18155 LJUBUSKI	110.00*	30	1	32.0	122.0	26.2
18131 GRUDE	110.00*	30	20506 IMOTSKI	110.00	19	1	20.6	72.0	28.6

Doprinosi u reaktivnoj snazi dalekovoda:

ACTUAL		NOMINAL		MW	MVAR	MW	MVAR
FROM GENERATION		1587.0	-40.6	1587.0	-40.6		
TO CONSTANT POWER LOAD		919.0	398.4	919.0	398.4		
TO CONSTANT CURRENT		0.0	0.0	0.0	0.0		
TO CONSTANT ADMITTANCE		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		0.0	0.0	0.0	0.0		
FROM LINE CHARGING		0.0	829.2	0.0	677.6		

VOLTAGE LEVEL	X----- LOSSES BRANCHES	MW	MVAR	MW	MVAR	MVAR	CHARGING
380.0	10	1.24	12.51	0.0	0.0	438.2	
220.0	38	5.18	35.34	0.0	0.0	234.3	
110.0	229	8.09	36.03	0.0	0.0	156.6	
35.0	8	0.44	2.19	0.0	0.0	0.2	
20.0	2	0.36	30.06	0.0	0.0	0.0	
15.8	5	0.64	29.39	0.0	0.0	0.0	
15.7	2	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	
15.6	2	0.40	14.31	0.0	0.0	0.0	
14.4	2	0.41	12.49	0.0	0.0	0.0	
13.8	5	0.18	8.40	0.0	0.0	0.0	
10.5	10	0.41	11.67	0.0	0.0	0.0	
6.3	11	0.71	14.73	0.0	0.0	0.0	
1.0	1	0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	
TOTAL	325	18.06	207.13	0.0	0.0	829.2	

Kao što je već navedeno razmatra se dnevni minimalni režim optrećenja EES-a BiH, 26.03.2010. godine u 04:00 sati, relevantan za analize naponskih prilika. U skladu sa bilansom snaga angažovanje proizvodnih jedinica u četvrtom satu iznosi 1587 MW a ostvarena razmjena/izvoz aktivne snage iz EES-a BiH u susjedne sisteme iznosi 650 MW (relativno visok izvoz u minimalnom režimu). EES BiH je slabo opterećen i ukupno opterećenje sistema je 937 MW (uključujući gubitke).

Najopterećeniji 400 kV dalekovod je Mostar 4 – Konjsko, opterećen 15.7 % u odnosu na dozvoljeno strujno opterećenje. Na 220 kV naponskom nivou najopterećeniji dalekovod je TE Tuzla – TS Tuzla III, opterećen 38.5 % u odnosu na dozvoljeno strujno opterećenje. Najopterećeniji 110 kV dalekovod je HE Jablanica – Mostar 2, opterećen 48.9 % u odnosu na dozvoljeno strujno opterećenje (jedna od dionica ovog DV je urađena vodičem Cu 120 mm²).

Dakle, većina dalekovoda u razmatranom režimu rada EES BiH opterećena je ispod prirodne snage prenosa (550, 130, 30 MW respektivno za DV 400, 220 i 110 kV) što uzrokuje produkciju značajnih iznosa kapacitivnih snaga punjenja. Ukupni doprinos u reaktivnoj snazi punjenja dalekovoda je 829.3 MVar. Na DV 400 kV produkcija reaktivne snage punjenja je 438.5 MVar, na DV 220 kV je 234.2 MVar a na DV 110 kV produkcija reaktivne snage je 156.6 MVar.

Ovako visoka produkcija reaktivne snage punjenja, relativno niski gubici reaktivne snage u sistemu te slabo opterećenje sistema aktivnom i reaktivnom snagom uzrokuju pojavu povišenih napona u EES-u BiH.

Osim produkcije kapacitivne snage punjenja dalekovoda EES-a BiH, EES Hrvatske po interkonektivnom DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko redovito eksportuje reaktivnu snagu u iznosu od 80 – 100 MVAr, što također, u dijelu 400 kV čvorišta EES BiH uzrokuje povišenje napona iznad dozvoljene vrijednosti.

U razmatranom minimalnom režimu rada EES-a BiH, neke od proizvodnih jedinica TE Gacko, TE Ugljevik, TE Tuzla G6, HE Rama su radile u kapacitivnom/poduzbuđenom režimu rada. Ovo se može zaključiti na bazi tokova reaktivnih snaga kroz blok transformatora (snapshot) i računanja gubitaka reaktivne snage kroz iste.

Tabela VI: Podaci o blok transformatorima

Elektrana	U'	U''	Sn	PCu	uk	R'	X'	X''
	kV	kV	MVA	KW	%			
HE Rama G1	242	15.65	90	286.1	11.2	2.07	72.88	0.3
HE Rama G2	242	15.65	90	286.1	11.2	2.07	72.88	0.3
HE Visegrad G1,G2,G3	420	15.75	375	230	12.96	0.29	60.96	0.09
PHE Čapljina G1	242	15.7	240	750	12	0.76	29.28	0.12
TE Gacko	420	20	450	471	12.5	0.41	49	0.11
TE Kakanj G7	242	15.7	250	765	13.52	0.72	31.67	0.13
TE Tuzla G6	250	15.75	240	799.5	13.77	0.87	35.86	0.14
TE Ugljevik	400	20	400	840	13	0.84	52	0.13

Gubici reaktivne snage se računaju u skladu sa izrazom:

$$\Delta Q = \frac{S^2}{U^2} \cdot X = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot X [MVAr] \quad [1]$$

TE Gacko $\Delta Q = 13.03 [MVAr]$ Kapacitivni režim $Q_{GEN} = -33.17 [MVAr]$

TE Ugljevik $\Delta Q = 17.30 [MVAr]$ Kapacitivni režim $Q_{GEN} = -7.8 [MVAr]$

TE Tuzla G6 $\Delta Q = 10.63 [MVAr]$ Kapacitivni režim $Q_{GEN} = -13.07 [MVAr]$

HE Rama G1 $\Delta Q = 7.44 [MVAr]$ Kapacitivni režim $Q_{GEN} = -5.46 [MVAr]$

HE Rama G2 $\Delta Q = 7.44 [MVAr]$ Kapacitivni režim $Q_{GEN} = -5.46 [MVAr]$

TE Kakanj G7 $\Delta Q = 18.34 [MVAr]$ Induktivni režim $Q_{GEN} = 13.04 [MVAr]$

Ovi proračuni gubitaka reaktivne snage na blok transformatorima su u skladu sa rezultatima proračuna tokova snaga i naponskih prilika prikazanim na slici 1.

8 Mjere za sniženje napona u EES-u BiH

U EES-u BiH od kompenzatorskih uređaja na raspolaganju su SVC "light" uređaj snage 120 MVar priključen na sabirnice 35 kV čvora Željezara – Sjever i CHE Čapljina, snage 2x240 MVA, koja može raditi u režimu sinhronog kompenzatora sa snagom 150 – 160 MVar po mašini, u nad ili poduzbudi (induktivni/kapacitivni režim).

SVC "light" uređaj priključen na sabirnice 35 kV napona u čvoru Željezara – Sjever, reguliše napon na 110 kV sabirnicama ovog čvora, vezan je za rad elektrolučne peći u BH STEEL Željezara Zenica (koja je u posljednje dvije godine van pogona) i on ne može uticati na smanjenje napona u čvorištima prenosne mreže EES-a BiH naponskog nivoa 400 i 220 kV.

Zbog neadekvatne valorizacije rada CHE Čapljina u režimu sinhronog kompenzatora, ona praktički od 1991. godine ne radi ili je vrlo rijetko radila u kompenzatorskom režimu.

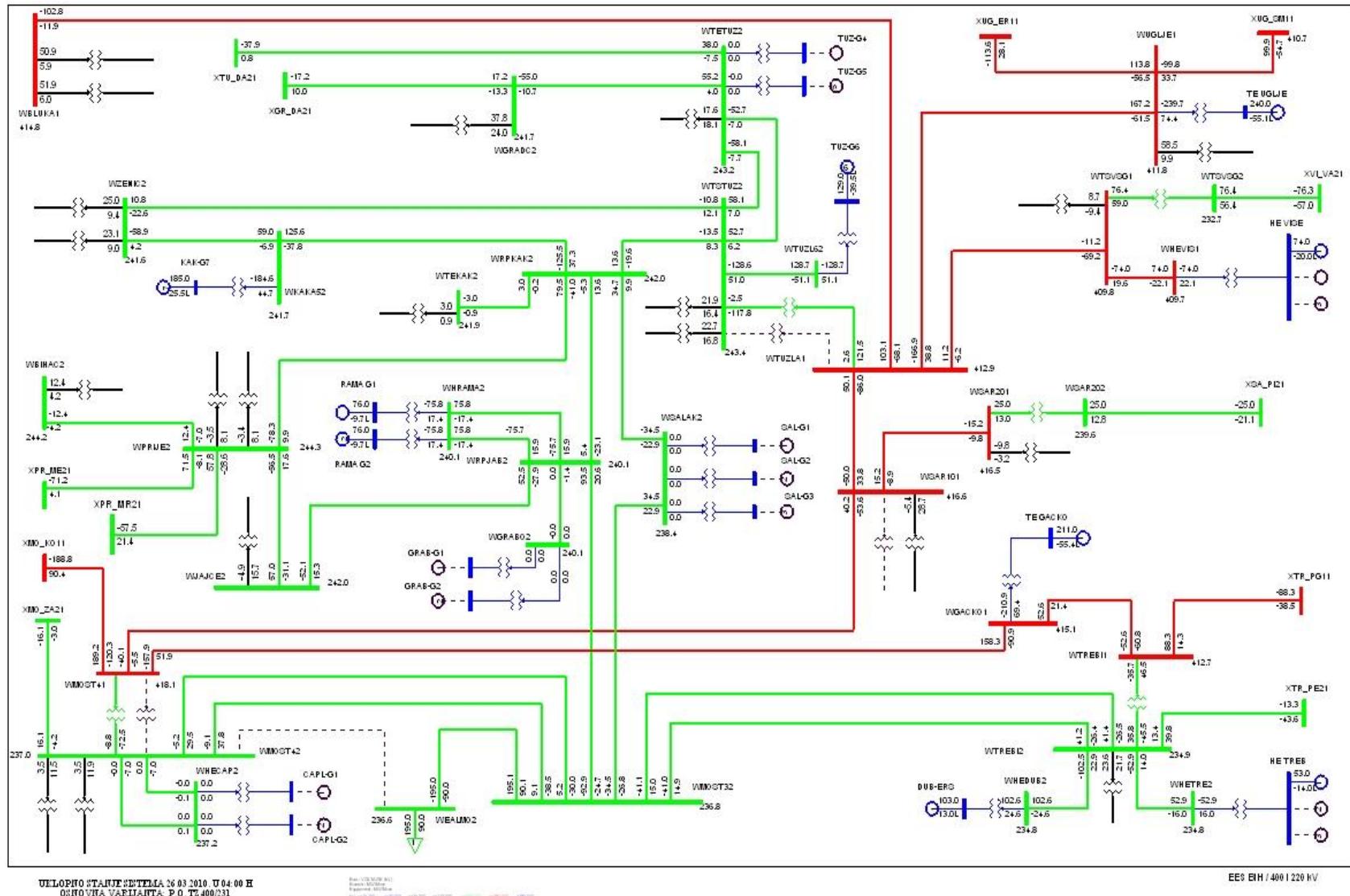
Samo djelimičnim angažovanjem proizvodnih jedinica EES-a BiH u kompenzatorskom režimu (razmatrano u poglavlju [6.1](#)). Analiza uzroka i izvora nastanka visokih napona u EES-u BiH naponi u razmatranim 220 i 400 kV čvorištima i dalje ostaju visoki, iznad gornje granice dozvoljenih napona, te je u tom smislu u cilju analize naponskih prilika urađena analiza rada proizvodnih jedinica sa povećanom apsorbacijom reaktivne snage iz sistema.

Značajnjim angažovanjem proizvodnih jedinica u kapacitivnom režimu, u skladu sa pogonskim kartama istih, (TE Gacko -55 MVar, TE Ugljevik -55 MVar, TE Tuzla G6 -40 MVar, TE Kakanj G7 -26 MVar, HE Rama 2x10 MVar, HE Višegrad -20 MVar, HE Dubrovnik -13 MVar, HE Trebinje G1 -14 MVar) naponi u većini čvorišta 400 i 220 kV prenosne mreže EES-a BiH se smanjuju ispod gornje granice dozvoljenih napona (u normalnom pogonu 420, 242 kV). Izuzetak su čvorišta 220 kV Bihać 1, Prijedor 2, TE i TS Tuzla gdje su naponi iznad dozvoljene vrijednosti za 1 do 2 kV (manji od 245 kV, gornja granica dozvoljenog napona u poremećenom pogonu). Rezultati proračuna tokova snaga i naponskih prilika, za ovakav način angažovanja proizvodnih jedinica prikazani su na slici 29.

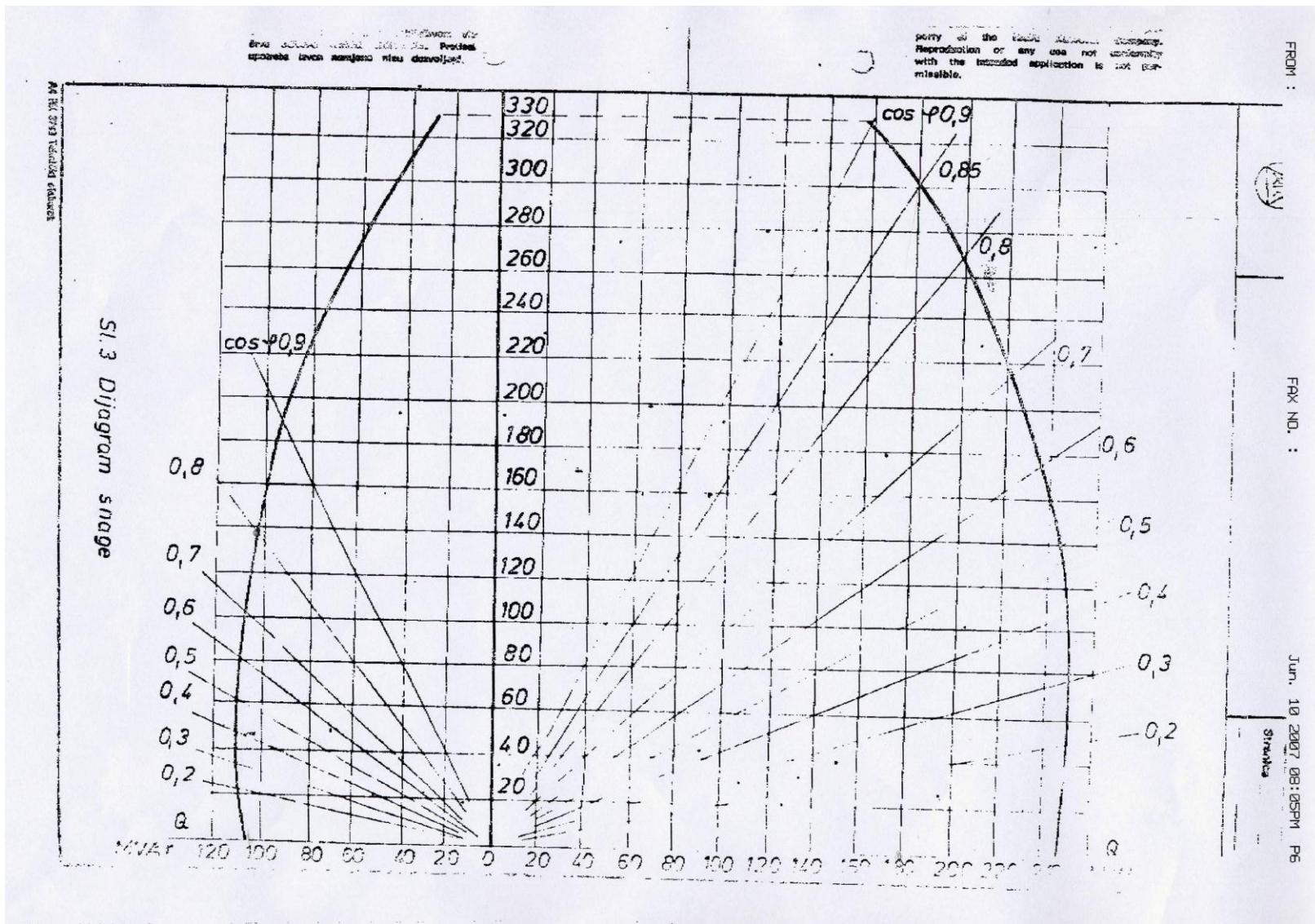
Međutim, ovako povećano angažovanje proizvodnih jedinica u kapacitivnom režimu rada je trenutno upitno zbog neraspoloživosti opreme i uređaja za kontrolu rada generatora u kapacitivnom režimu a i najčešće je u minimalnim režimima rada EES-a BiH priključen na mrežu manji broj generatorskih jedinica, u odnosu na pogonsko stanje sistema od 26.03.2010. u 04:00 sati.

U dosadašnjoj praksi u NOS-a BiH na smanjenje napona na prenosnoj mreži 400 i 220 kV, najčešće se uticalo isključenjem pojedinih dalekovoda. Primjeri isključenja DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko, DV 400 kV TS Tuzla – Banja Luka 6 te DV 220 kV Prijedor 2 – RP Kakanj prezentirani su na slikama 31, 32 i 33, respektivno.

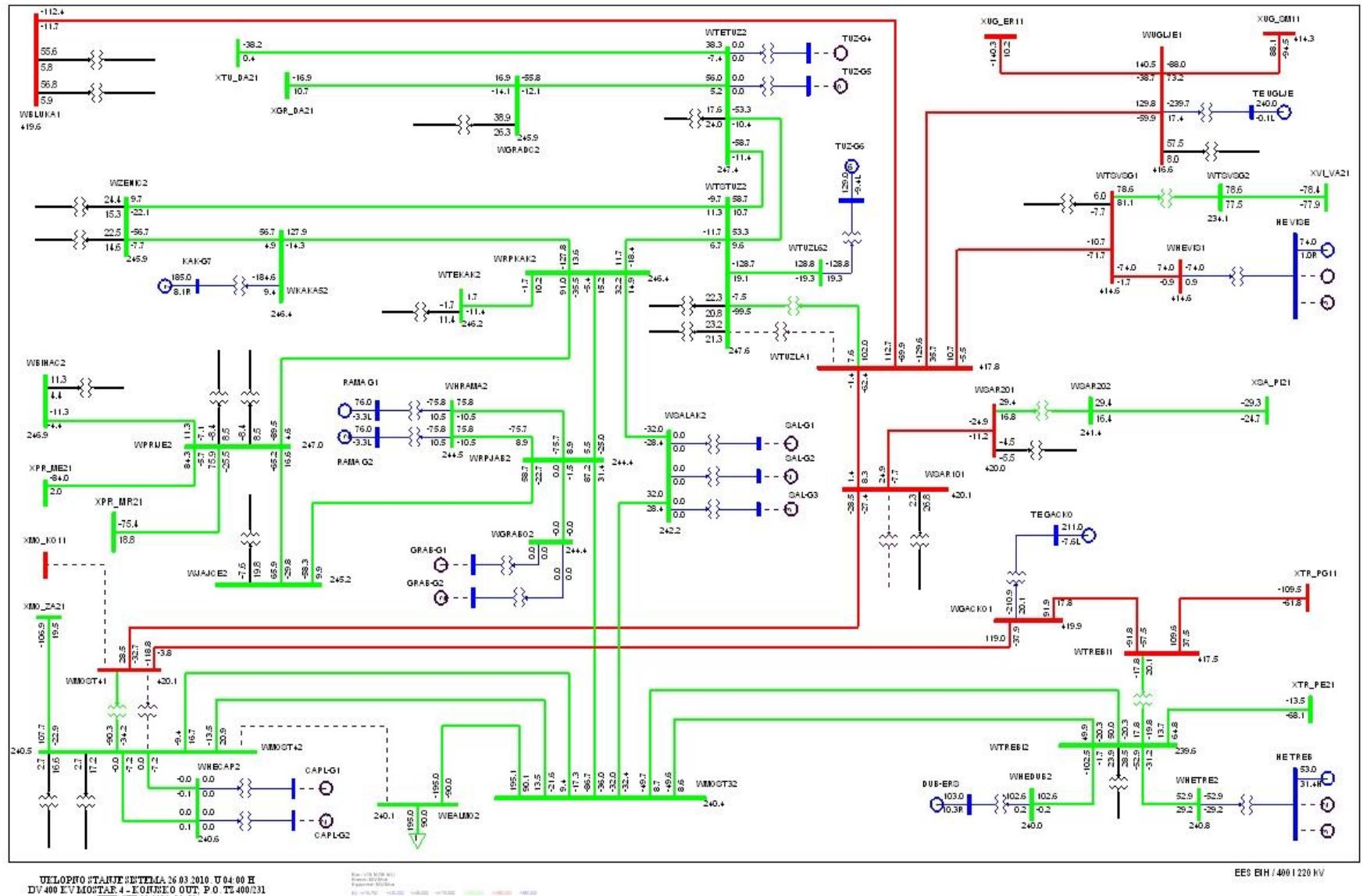
Iz prezentiranih rezultata proračuna tokova snaga i naponskih prilika uočava se da se najefikasnije sniženje napona (cca 5 do 6 kV) u čvorištima EES-u BiH postiže isključenjem DV 400 kV Mostar 4 – Konjsko, prikazano na slici 31.



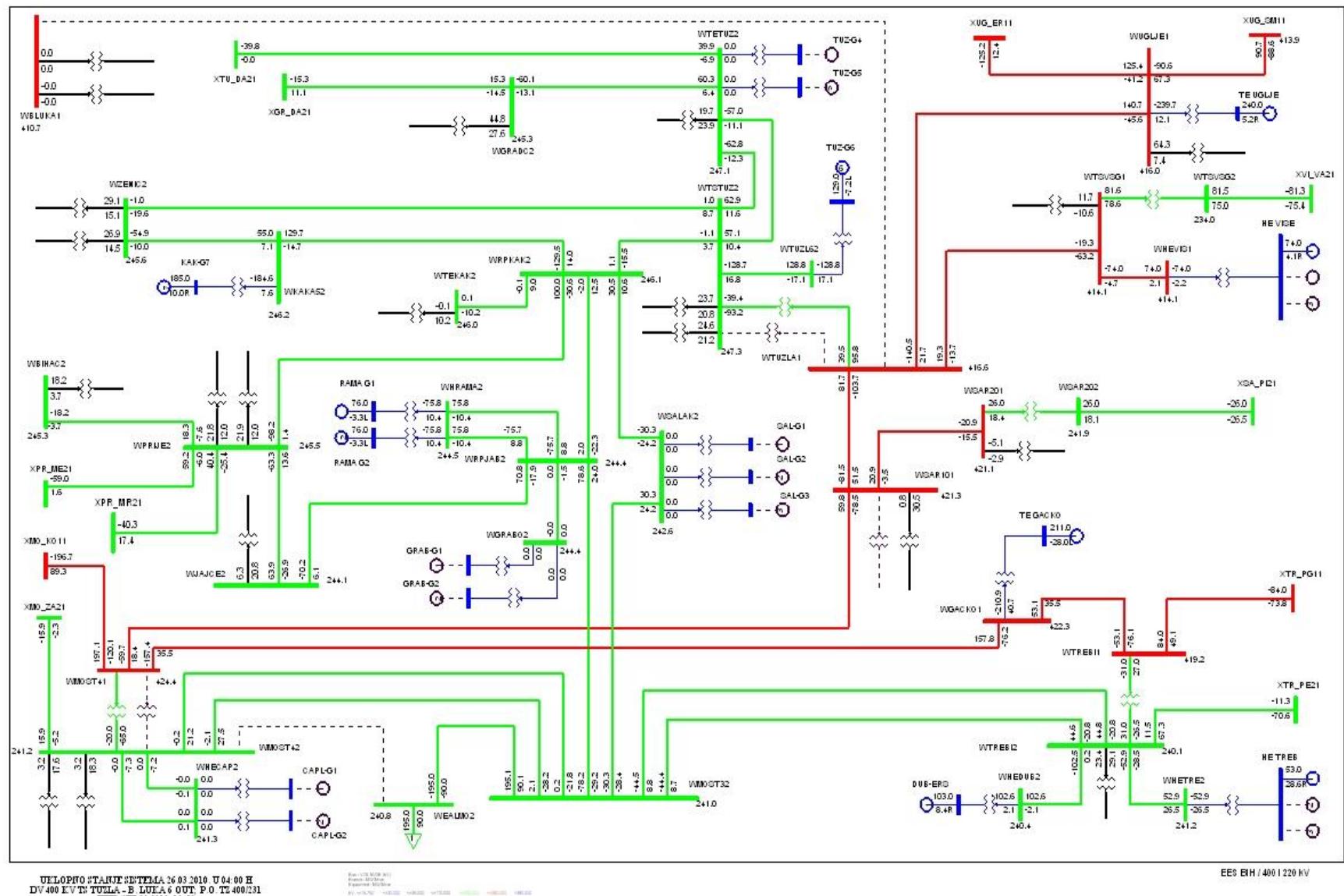
Slika 29. Rezultati proračuna tokova snaga i naponskih prilika u EES-u BiH, za slučaj povećanog angažovanja generatora u kapacitivnom režimu rada



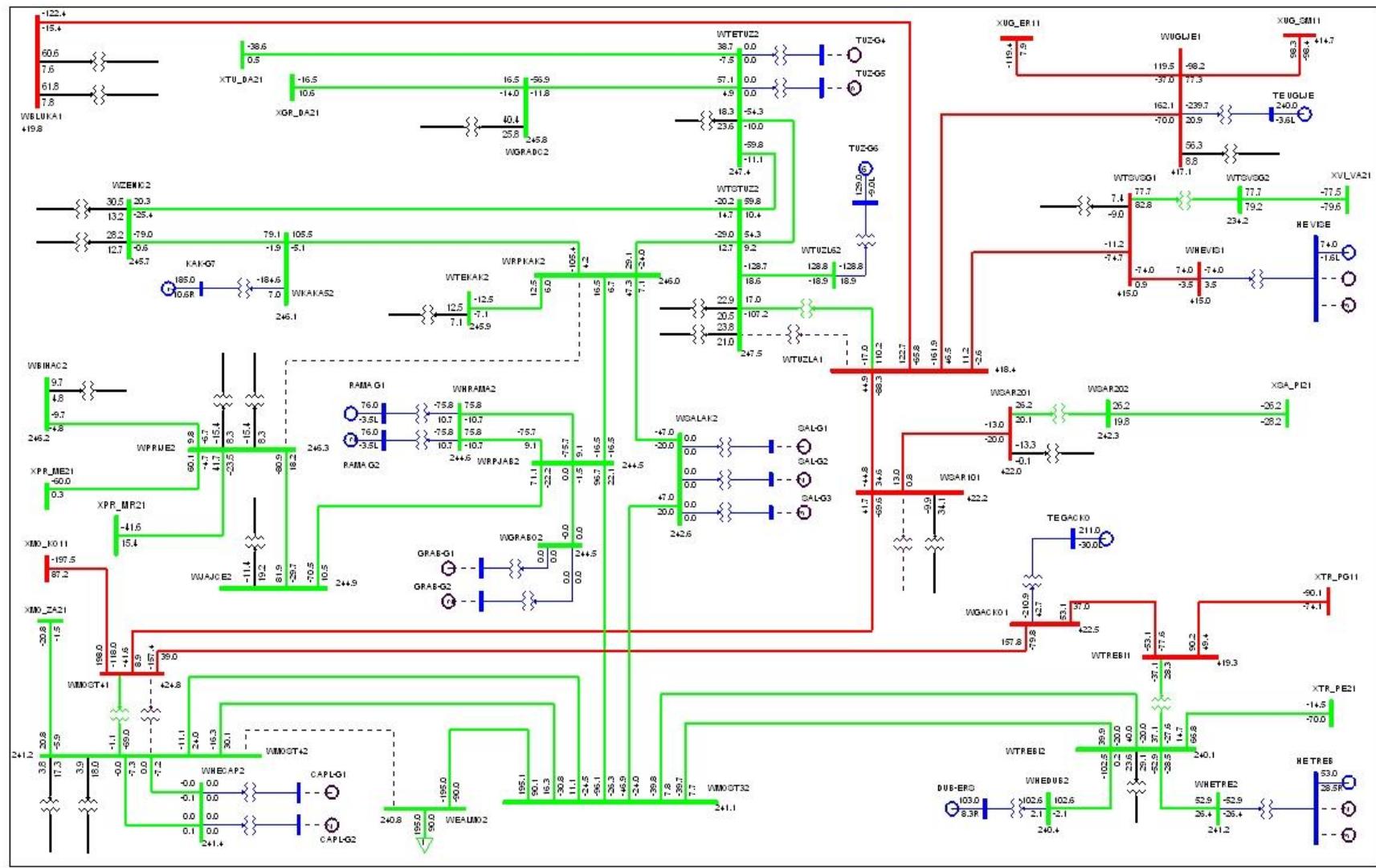
Slika 30. Pogonska karta TE Gacko



Slika 31. Rezultati proračuna tokova snaga i naponskih prilika u EES-u BiH, za slučaj isključenja DV 400 kV Mostar 4 - Konisko



Slika 32. Rezultati proračuna tokova snaga i naponskih prilika u EES-u BiH, za slučaj isključenja DV 400 kV B.Luka 6 – TS Tuzla



Slika 33. Rezultati proračuna tokova snaga i naponskih prilika u EES-u BiH, za slučaj isključenja DV 220 kV Prijedor 2 – RP Kakanj

9 Zaključci

Na osnovu provedenih mjerenja i registracije napona u sistemu, rekonstrukcije i kompjuterske simulacije karakterističnih režima, dolazi se do sljedećih zaključaka:

1. Na praktično svim čvorištima 400 kV i pojedinim 220 kV evidentirana su prekoračenja gornjih naponskih ograničenja od 420 kV (+5%Un), odnosno 242 kV (+10%Un). Trajanje ovih prekoračenja je značajno jer iznosi čak i do 32% ukupnog vremena mjerena. To predstavlja potencijalnu opasnost od prijevremenog starenja opreme i mogućnost proboja izolacije, što može izazvati dalje kaskadne ispade i ugrožavanje integriteta sistema i snabdijevanje kupaca električnom energijom. Obzirom da se radi o ključnim postrojenjima EES BiH, rješavanju ovog problema treba pristupiti sa najvećom odgovornošću.
2. Raspoložive dispečerske akcije i njihovi efekti su ograničeni, svode se na isključenje unutrašnjih dalekovoda 400 kV čime se značajno slabi EES BiH i dovodi u opasnost normalno snabdijevanje kupaca. Ovakve dispečerske akcije ne mogu biti osnov za dugoročno planiranje rada sistema. Potiskivanje generatora, uglavnom TE, ima povoljan ali ograničeni efekat obzirom na veličinu kapacitivne snage koju generišu neopterećeni dalekovodi i mogućnost apsopcije generatora u kapacitivnom radu. Pored toga što rad generatora u kapacitivnoj zoni pogonskog dijagrama pogoršava uslove stabilnosti generatora, upitna je i realna mogućnost kapacitivnog rada zbog podešenja regulatora napona, adekvatnosti opreme i sl.
3. EES BiH ne raspolaže dodatnim uređajima za regulaciju reaktivne snage osim ograničenih mogućnosti rada generatora u podpobudi. Transformatori 400/220 kV/kV imaju fiksne položaje od $\pm 1 \times 5\%$ Un u beznaponskom stanju što omogućava sezonsko prilagođenje primarnog i sekundarnog napona, bez uticaja na dnevne promjene. Angažovanje CHE Čapljina u pumpnom radu kao što je i projektovano, uz korištenje naponske regulacije u sva četiri kvadranta pogonskog dijagrama, značajno bi smanjilo ako ne i eliminisalo pojavu nedozvoljenih napona u TS 400 kV Mostar 4. S tim u vezi, neophodna je i adekvatna ekonomski valorizacija regulacije naponsko-reaktivnih prilika kao pomoćne usluge.
4. Provedena mjerenja, analize i iskustva operativnog osoblja upućuju na potrebu izrade detaljne tehnico-ekonomski studije naponsko-reaktivnih prilika u EES BiH. Studija bi trebala da ima i odgovarajuću vremensku (plansku) dimenziju koja uključuje i potrebne investicije u neophodnu opremu na prenosnoj mreži sa aspekta naponsko-reaktivnih prilika u narednih 10 godina.