

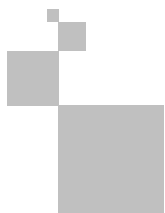


Energetski institut Hrvoje Požar

## TEHNO-EKONOMSKI ASPEKTI REGULACIJE NAPONA KAO POMOĆNE (SYSTEMSKE) USLUGE – IDENTIFIKACIJA I SANACIJA NEDOZVOLJENIH NAPONA NA PRENOSNOJ MREŽI BiH

*(SAŽETAK STUDIJE)*





**Naručitelj:**

NOS BiH  
Hamdije Čemerlića 2  
71000 Sarajevo, Bosna i Hercegovina

**Ugovor: 73-11****Studija:**

*TEHNO-EKONOMSKI ASPEKTI REGULACIJE NAPONA KAO  
POMOĆNE (SYSTEMSKE) USLUGE – IDENTIFIKACIJA I SANACIJA  
NEDOZVOLJENIH NAPONA NA PRENOSNOJ MREŽI BiH*

*(SAŽETAK STUDIJE)*

**Autori:**

Dr. sc. Davor Bajs, dipl. ing.  
Dr. sc. Nijaz Dizdarević, dipl. ing.  
Dr. sc. Goran Majstrovic, dipl. ing.

**Izdavač:**

Energetski institut Hrvoje Požar  
Savska cesta 163  
10000 Zagreb  
<http://www.eihp.hr>

**Ravnatelj:**

Dr. sc. Goran Granić



Zagreb, srpanj 2012. godine

**Autorska prava: EIHP, NOS BiH**

**Razina povjerljivosti: 5**

### **Povijest izrade**

<b>Inačica</b>	<b>Datum</b>	<b>Komentar</b>	<b>Pregledao</b>	<b>Odobrio</b>
Radna verzija – v1	18.5.2012.	-	G. Majstrović	G. Granić
Konačna verzija	11.7.2012.	-	G. Majstrović	G. Granić
Sažetak studije	11.7.2012.	-	G. Majstrović	G. Granić

## SADRŽAJ

1	UVOD.....	6
2	REAKTIVNA SNAGA U EES .....	7
3	STANDARDI I PROPISI.....	7
4	PROCEDURE PRAĆENJA I REGISTRACIJE NAPONSKO-REAKTIVNIH PRILIKA U EES BIH .....	8
5	PRIKAZ POGONSKIH STANJA S NEPOVOLJNIM NAPONSKIM PRILIKAMA .....	8
6	MOGUĆNOSTI REGULACIJE NAPONA I REAKTIVNE SNAGE U EES BIH.....	10
7	MODEL EES BIH I SUSJEDNIH SISTEMA .....	11
8	IDENTIFIKACIJA BUDUĆIH PROBLEMA I ANALIZA UTJECAJNIH FAKTORA.....	13
9	KRATKOROČNE (DISPEČERSKE) MJERE ZA SVOĐENJE NAPONA UNUTAR DOZVOLJENIH GRANICA.....	18
10	DUGOROČNE MJERE ZA SVOĐENJE NAPONA UNUTAR DOZVOLJENIH GRANICA .....	18
11	ZAKLJUČAK .....	20
12	LITERATURA I PODLOGE .....	25

## 1 UVOD

Ovaj dokument predstavlja sažetak (u nastavku SAŽETAK) studije „Tehno-ekonomski aspekti regulacije napona kao pomoćne (sistemske) usluge - identifikacija i sanacija nedozvoljenih napona na prenosnoj mreži BiH“ (u nastavku STUDIJA), izrađene na temelju Studijskog zadatka izrađenog u NOS BiH (u cijelosti priložen u STUDIJI).

Osnovni zadatak STUDIJE je bila analiza naponskih prilika i tokova reaktivne snage unutar elektroenergetskog sustava Bosne i Hercegovine (dalje EES BiH), te prijedlog dispečerskih mjera i investicija u cilju sanacije nedozvoljenih iznosa napona u prijenosnoj mreži, pri čemu se posebna pažnja trebala posvetiti problemu pojave previsokih napona u prijenosnoj mreži.

U SAŽETKU se prikazuju najvažniji zaključci provedenih analiza, a za razumijevanje istih čitatelj se upućuje na cjelovitu STUDIJU gdje su detaljno opisane ulazne pretpostavke, analize i rezultati, na temelju kojih su izvedeni zaključci sadržani u ovom SAŽETKU.

STUDIJA je organizirana na sljedeći način. Nakon uvodnog dijela dat je opći prikaz naponsko-reaktivne problematike unutar EES s ciljem pojašnjenja predmeta koja se razmatra. U sljedećem poglavlju opisani su standardi i propisi u BiH te susjednim sustavima vezani za granične vrijednosti napona. U poglavlju 4 opisan je način i procedure praćenja naponsko-reaktivnih prilika u EES BiH kako se provode unutar dispečerskog centra NOS BiH. Na temelju raspoloživih dispečerskih izvještaja u petom poglavlju opisana su pogonska stanja unutar kojih je zabilježena pojava previsokih napona, te se na temelju toga daju neka generalna zapažanja i iskustvene primjedbe. U šestom poglavlju opisuju se regulacijske mogućnosti s aspekta reaktivne snage i napona (Q/U regulacija) unutar EES BiH, a koje su potpuno ili djelomično dostupne NOS BiH u cilju regulacije napona. U poglavlju 7 formira se i opisuje model EES BiH s elektroenergetskim sustavima u bližem i daljem okruženju, formiran u PSS/E formatu, a koji se koristi u nastavku studije za statičke proračune tokova snaga. U idućem poglavlju opisuju se susjedni sustavi, utjecajni po naponsku problematiku u BiH, te se daje prikaz očekivanog razvoja EES BiH. Osnovni proračuni tokova snaga i naponskih prilika u kratkoročnom (2012. godine), srednjoročnom (2015. godine) i dugoročnom (2020. godine) razdoblju opisani su unutar devetog poglavlja, koristeći tzv. bazne modele koji se odnose na karakteristična pogonska stanja. Na temelju osnovnih proračuna na baznim modelima, u poglavlju 10 analiziraju se faktori utjecajni po naponsku situaciju u prijenosnoj mreži BiH, te se identificiraju kritični režimi rada, ugrožena čvorišta mreže s aspekta visokih napona, te daje procjena iznosa naponskih kolebanja i vremena trajanja različitih naponskih razreda. U idućem poglavlju analizirane su dispečerske mjere za regulaciju napona u mreži korištenjem generatora, regulacijskih transformatora, transformatora s mogućnošću promjene prijenosnog omjera u beznaponskom stanju, te isključenja vodova. Unutar poglavlja 12 analizira se mogući crpni rad CHE Čapljina i planirane CHE Bjelimići na naponske prilike unutar EES BiH. U idućem poglavlju promatrani su tehno-ekonomski aspekti Q/U regulacije kao pomoćne usluge s aspekta međunarodnih iskustva, postojećeg Mrežnog kodeksa i Tržišnih pravila u BiH, te je dat prijedlog valorizacije razmatrane usluge sustavu. Poglavlja koja slijede predstavljaju ključni dio studije jer se predlažu kratkoročne (dispečerske) mjere za sanaciju napona, investicijske mjere u cilju osiguravanja aktivne uloge NOS BiH u Q/U regulaciji, a procjenjuju se i predložena investicijska ulaganja i pripadna dobit. Na kraju STUDIJE daje se prijedlog daljnjih istraživanja i dodatnih mjera, te zaključak izvršenih analiza.

## 2 REAKTIVNA SNAGA U EES

Unutar elektroenergetskog sustava napon bi u svim čvorištima mreže, kao i na stezaljkama generatora i trošila, trebao teoretski imati vrijednost jednaku nazivnoj vrijednosti. Nazivna vrijednost napona je ona vrijednost pri kojoj deklarativno električni uređaji rade na optimalnim uvjetima. Radi prolaza struje kroz vodiče dolazi do padova napona pa isti odstupaju od nazivnih vrijednosti u različitim čvorištima mreže. Tokovi reaktivne snage u elektroenergetskoj mreži izazivaju padove napona, a tokovi aktivne snage izazivaju fazne razlike napona u mreži. Reaktivnu snagu za svoj ispravan rad trebaju različita trošila i motori, kao i pojedini elementi mreže poput transformatora. Visokonaponski vodovi ovisno o svojoj opterećenosti proizvode ili troše reaktivnu snagu, posebno vodovi 400 kV i kabeli 110 kV. U slučaju manjka reaktivne snage u sustavu dolazi do niskih napona, a kod viška reaktivne snage dolazi do porasta napona u mreži. Zbog toga se u visokonaponskim mrežama problem održavanja urednih naponskih prilika svodi na tokove i regulaciju reaktivne snage. Previsoki naponi u mreži mogu uzrokovati ubrzano starenje opreme radi povećanog zagrijavanja, posebno izolacijskih dijelova, te na taj način smanjiti životni vijek opreme i uređaja. Kratkotrajni ekstremno visoki naponi mogu trenutno uništiti pojedinu opremu u mreži radi proboja izolacije. Regulacijom reaktivne snage i napona, odnosno Q/U regulacijom, nazivamo skup aktivnosti i mjera kojima se aktivno utječe na iznose napona u pojedinim čvorištima prijenosne mreže, te na iznos gubitaka električne energije u mreži, za što su zaduženi operatori prijenosnih sustava, odnosno NOS BiH.

## 3 STANDARDI I PROPISI

Međunarodni standard IEC 60038 (IEC Standardni naponi) definira skup standardnih vrijednosti napona koji se koriste u visokonaponskim i niskonaponskim sustavima izmjenične struje. Maksimalan (najviši) napon označava dielektričku čvrstoću opreme, uređaja ili sustava za čiju je odgovarajuću naponsku razinu (nazivni napon) isti dimenzioniran. Na prijenosnim naponskim razinama kao maksimalni naponi IEC standardom definiraju se 123 kV, 245 kV i 420 kV.

Dozvoljene granice napona u prijenosnoj mreži BiH definirane su Mrežnim kodeksom na sljedeći način: u normalnom pogonu 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 naponske granice iznose 360 - 420 kV, 187 - 245 kV, te 94 - 123 kV.

Budući da prijenosna mreža BiH radi u europskoj interkonekciji ENTSO-E, subjekt odgovoran za vođenje sustava (NOS BiH) dužan je pridržavati se Operativnog priručnika unutar kojeg su definirani različiti zahtjevi, standardi i pravila rada. Po naponsku problematiku najvažniji je zahtjev da svaki operator prijenosnog sustava mora osiguravati izvore reaktivne snage za vlastite potrebe u cilju održavanja sposobnosti upravljanja naponima, te da se tokovi reaktivne snage interkonektivnim vodovima moraju održavati na minimalnoj razini. Dozvoljene naponske granice definirane su na slične ili iste vrijednosti kao i u Mrežnom kodeksu BiH. Potreba za održavanjem dozvoljenih naponskih granica unutar mreže ne proizlazi samo iz obaveza prema Mrežnom kodeksu i Operativnom priručniku ENTSO-E, već i radi sprječavanja štetnog utjecaja dugotrajne izloženosti opreme naponskim naprezanjima za koja oprema nije dimenzionirana, te izbjegavanja dodatnih troškova nabave nove opreme koja se mora dimenzionirati za više vrijednosti maksimalnog napona koji se može realno pojaviti u visokonaponskoj mreži.

## **4 PROCEDURE PRAĆENJA I REGISTRACIJE NAPONSKO- REAKTIVNIH PRILIKA U EES BIH**

Naponi se u dispečerskom centru NOS BiH prate u realnom vremenu na svim čvorištima 400, 220 i 110 kV. Vrijeme osvježavanja podataka je 4-5 sekundi što je zadovoljavajuća rezolucija. Unutar SCADA/EMS sistema i odgovarajuće baze podataka vrijednosti napona za određeni vremenski period moguće je pohraniti na zadovoljavajuće načine. Načine praćenja i registracije napona u EES BiH smatramo potpuno zadovoljavajućim za potrebe različitih tipova analiza pogona i planiranja prijenosne mreže. Ugrađeni SCADA sustav prikazuje na monitoru napone na svim sabirnicama prijenosne mreže BiH, pri čemu je moguće koristiti zvučno upozorenje u slučaju prekoračenja dozvoljenog naponskog raspona. Sustav je trenutno podešen da zvučnog upozorenja nema, no u slučaju prekoračenja ili smanjenja napona izvan granica iznos napona na odgovarajućim sabirnicama prikaže se crvenom bojom koju dispečer može lako uočiti. Nakon uočavanja nedozvoljenog napona dispečer odlučuje koje akcije će poduzeti, a izvršenje njegovih odluka telefonski se prosljeđuje osoblju u operativnim područjima Elektroprijenosa ili Elektroprivreda. Unutar dispečerskog centra NOS BiH postoji mogućnost daljinskog upravljanja pojedinim podešenjima (na primjer regulacijskih transformatora, uklopno stanje vodova i transformatora i slično), no isto se uglavnom ne koristi već se uklopna akcija prepušta osoblju u odgovarajućim transformatorskim stanicama kako bi isti mogli potvrditi ispravnost nastanka novog stanja. Prilikom izrade ove STUDIJE došli smo do sumnje u ispravnost nekih mjerenja sa SCADA sustava pa upućujemo NOS BiH i Elektroprijenos BiH na aktivnosti radi otklanjanja ovakvih nedostataka.

## **5 PRIKAZ POGONSKIH STANJA S NEPOVOLJNIM NAPONSKIM PRILIKAMA**

Analizom naponskih prilika u EES BiH tijekom 2011. godine za pojedinačna čvorišta mreže određen je broj sati kada su vrijednosti napona bile iznad dozvoljenih vrijednosti u normalnom i poremećenom pogonu, te su na temelju toga identificirana kritična čvorišta u mreži s aspekta pojave previsokih napona. Promatrane godine zabilježeno je vršno opterećenje u iznosu 2150 MW koje je nastupilo 31. 12. 2011. godine u 18 sati. Minimalno opterećenje EES BiH u iznosu 872 MW zabilježeno je 22. 7. 2011. godine u 4 ujutro. Odnos minimalnog opterećenja i vršnog opterećenja EES BiH promatrane godine iznosio je 0,41 što je nepovoljno budući da pokazuje vrlo širok raspon unutar kojeg se kreću opterećenja sustava unutar godine dana. Ukupna godišnja potrošnja električne energije u BiH u 2011. godini iznosila je 12,49 TWh, što znači da je uz zabilježeno vršno opterećenje od 2150 MW faktor opterećenja iznosio 0,66. Uobičajeno niža dnevna opterećenja postižu se u razdoblju od ponoći do 6 sati ujutro, dok se dnevni maksimumi opterećenja uobičajeno postižu između 17 i 19 sati. S aspekta pojave previsokih napona kritične su situacije tijekom noćnih sati u razdoblju između aprila i septembra (posebno 4, 5 i 9 mjesec radi niske reaktivne potrošnje), prvenstveno radi sniženih aktivnih i reaktivnih opterećenja u mreži.

Pri niskim opterećenjima sustava HE su uobičajeno izvan pogona ili su nisko angažirane, dok su TE uglavnom u pogonu, što je razumljivo imajući u vidu visoke troškove i dugačko vrijeme pokretanja termoblokova nakon njihova zaustavljanja. U noćnim razdobljima izvoz u susjedne sustave vrlo je umjeren, odnosno EES BiH je gotovo uravnotežen. Sve to znači da u razdobljima niskih opterećenja postoji ograničena reaktivna podrška generatora priključenih na 400 kV i 220 kV mrežu što doprinosi nastanku nepovoljne naponske slike u mreži.



Tablica 5.1 Ugroženost TS unutar EES BiH s aspekta pojave visokih napona tijekom 2011. godine

TS	Sabirnice	Maksimalno zabilježen napon (kV)	Broj sati iznad dozvoljene vrijednosti (h)		poremećen pogon	Udio vremena iznad dozvoljene vrijednosti (%)		Srednja satna vrijednost napona (kV)	Standardna devijacija (kV)
			normalan pogon	poremećen pogon		normalan pogon	poremećen pogon		
Mostar 4	400 kV	433,74	2099	2099	2099	24	24	414,5	20,1
	220 kV	246,24	311	22	22	4	0	236,2	8,4
	110 kV	123,37	221	8	8	3	0	116,6	5,3
Tuzla 4	400 kV	429,39	1479	1479	1479	17	17	415,3	13,3
	220 kV	245,84	404	5	5	5	0	237,9	7,6
	110 kV	117,77	0	0	0	0	0	113,3	3,7
Sarajevo 20	400 kV	430,46	1088	1088	1088	12	12	413,0	13,5
	220 kV	248,58	1232	83	83	14	1	230,2	43,2
	110 kV	122,88	47	0	0	1	0	117,1	3,8
Trebinje	400 kV	429,32	459	459	459	5	5	407,6	8,0
	220 kV	245,42	119	6	6	1	0	234,4	7,7
	110 kV	124,28	117	8	8	1	0	116,3	4,3
Višegrad	400 kV	423,82	1	1	1	0	0	390,2	4,6
	220 kV	241,95	0	0	0	0	0	228,4	23,4
	110 kV	121,89	11	0	0	0	0	116,7	3,6
Banja Luka 6	400 kV	426,34	221	221	221	3	3	406,3	32,0
	110 kV	120,34	0	0	0	0	0	114,6	3,8
	400 kV	418,15	0	0	0	0	0	402,4	39,3
Ugljevik	110 kV	120,14	0	0	0	0	0	116,0	3,5
	400 kV	431,25	1002	1002	1002	11	11	413,5	13,0
	110 kV	123,04	100	0	0	1	0	117,5	3,8
Prijedor 2	220 kV	251,2	2540	940	940	29	11	237,1	9,2
	110 kV	121,74	4	0	0	0	0	115,4	3,6
	220 kV	252,83	56	41	41	1	1	235,8	2,8
TE Tuzla	110 kV	117,41	0	0	0	0	0	112,3	4,8
	220 kV	243,96	11	11	11	0	0	231,5	8,0
	220 kV	247,63	1203	59	59	14	1	238,5	3,2
RP Kakanj	220 kV	245,29	431	4	4	5	0	237,7	8,5
Mostar 3	220 kV	245,08	150	5	5	2	0	235,4	7,6

S aspekta pojave previsokih napona najviše su ugrožene 400 kV sabirnice TS Mostar 4, zatim slijede 400 kV sabirnice TS Tuzla 4, TS Sarajevo 10 i Sarajevo 20, a nakon njih 220 kV sabirnice unutar TS Sarajevo 20 i TS Prijedor 2 (tablica 5.1). Radi visokih napona više ili manje ugrožene su gotovo sve TS u sjevernom dijelu EES (Tuzla 4, B. Luka 6), središnjem dijelu (Sarajevo 10 i 20), južnom (Mostar 4, RP Trebinje), a manje u istočnom dijelu EES (Višegrad, uz sumnju u ispravnost mjerenja napona u ovoj TS). To znači da problem pojave visokih napona nije usko lokaliziran i uzrokovan generiranjem reaktivne snage jednog neopterećenog voda 400 kV, već je proširen po čitavom EES, pa i rješenje tog problema treba tražiti na sistemskoj, a ne lokalnoj razini. Promatrajući pojedinačne naponske razine moguće je primijetiti da su najugroženija čvorišta 400 kV mreže, zatim slijede čvorišta 220 kV mreže, dok su čvorišta 110 kV mreže neugrožena ili blago ugrožena. To upućuje na osnovni uzrok problema, odnosno slabo opterećene 400 kV vodove koji generiraju visoke iznose reaktivne snage, te na povoljno djelovanje transformatora 400/220 kV, 400/110 kV i 220/110 kV, bez obzira da li se radi o regulacijskim transformatorima ili transformatorima s mogućnošću promjene prijenosnog omjera u beznaponskom stanju, koji sprječavaju širenje naponskog poremećaja u mreže nižih naponskih razina. Budući da su često ugrožena rubna čvorišta prijenosne mreže prema susjednim sustavima (Mostar 4, Sarajevo 20, Prijedor 2) moguće je primijetiti da uzrok problema djelomično dolazi iz susjednih EES (Hrvatska, Crna Gora), odnosno da se eventualno širi u susjedne sustave. Budući da rubna čvorišta prema EES Srbije nisu ugrožena (Ugljevik, Višegrad) moguće je pretpostaviti da problematika reaktivnih snaga nije izražena na granici BiH i Srbije, odnosno da EES Srbije ne doprinosi pogoršanju naponske situacije u prijenosnoj mreži BiH.

## 6 MOGUĆNOSTI REGULACIJE NAPONA I REAKTIVNE SNAGE U EES BIH

Ograničene mogućnosti Q/U regulacije unutar EES BiH sastoje se od generatora, regulacijskih transformatora, transformatora s mogućnošću promjene prijenosnog omjera u beznaponskom stanju, te posebno CHE Čapljina koja je projektirana za kompenzatorski rad.

S aspekta podrške reaktivnom snagom raspodjela priključka pojedinih elektrana na različite naponske razine izuzetno je povoljna jer su generatori raspoređeni na sve tri naponske razine. S aspekta visokih napona povoljan je priključak dvije velike TE (Gacko, Ugljevik) na 400 kV mrežu budući da iste eventualnim radom u poduzbudi mogu utjecati na sniženje napona u mreži najviše naponske razine. Priključak većih HE (Rama, Čapljina, Trebinje I, i dr.), te većih TE (Tuzla G4-G6, Kakanj G7) na 220 kV mrežu pruža značajnu podršku reaktivnom snagom na toj naponskoj razini, dok se fina regulacija napona na mreži 110 kV može izvoditi generatorima priključenim na tu naponsku razinu (Jablanica, Mostar, M. Blato, Peć-Mlini, Jajce I, Bočac, Tuzla 3, Kakanj 5 i 6). Jedino su u CHE Čapljina instalirani blok transformatori s automatskom regulacijom napona koja omogućava dodatan utjecaj na regulaciju napona u mreži od strane proizvodnih blokova.

Unutar transformatorskih stanica 400/x kV, 220/x kV i 110/x kV u BiH nalazi se 14 transformatora 400/x kV instalirane snage 4900 MVA, 14 transformatora 220/x kV instalirane snage 2100 MVA, te 216 transformatora instalirane snage 5204 MVA. Kao regulacijski transformatori izvedeni su svi transformatori 220/110 kV, te 400/110 kV u TS Banja Luka 6 i TS Sarajevo 10 (jedan trafo). Transformatori 110/x kV u pravilu se izvode kao regulacijski pa je tako i u EES BiH. Svi regulacijski transformatori imaju regulacijsku sklopku, odnosno odcjepe, na primarnoj strani, te se regulira napon sekundara. Uobičajeno

postoji 25 odcjepa ( $\pm 12$ ), s 1,25 %-om promjenom napona primara po jednom odcjepu. Kroz rad na ovoj STUDIJI autori su zaključili da se automatska regulacija transformatora ne koristi u punoj mjeri što bi u budućnosti trebalo promijeniti.

Svi transformatori 400/220 kV i većina transformatora 400/110 kV unutar EES BiH izvedeni su s mogućnošću promjene prijenosnog omjera u beznaponskom stanju. Njihova upotreba radi utjecaja na tokove reaktivne snage u mreži moguća je na sezonskoj razini (zima, ljeto) ili češće ovisno o potrebama sustava. Da bi se podesio prijenosni omjer takvih transformatora isti je potrebno isključiti s mreže, podesiti položaj preklopke, a zatim ponovno pustiti u pogon. Transformatori 400/220 kV u pravilu su izvedeni s tri položaja regulacije, te 5 %-om promjenom napona primara po jednom položaju. Podešavanjem prijenosnog omjera tih transformatora moguće je utjecati na napon u 220 kV mreži. Većina transformatora 400/110 kV u EES BiH također je izvedena s mogućnošću promjene prijenosnog omjera u beznaponskom stanju, no ovakvi transformatori uobičajeno imaju ukupno 5 položaja preklopke, te 2,5 %-nu promjenu napona primara po jednom položaju.

Višenamjenski proizvodni objekt koji se unutar EES BiH može koristiti za regulaciju naponsko-reaktivnih prilika je reverzibilna hidroelektrana Čapljina. Usprkos tome, ista se rijetko koristi u kompenzatorskom režimu rada prvenstveno radi nedostatka financijske kompenzacije za takav rad. CHE Čapljina opremljena je s dva sinkrona generatora snage 2x240 MVA, faktora snage 0,85 u generatorskom režimu rada, te 0,95 u crpnom režimu rada. Generatorski napon iznosi 15,75 kV, a generatori su preko regulacijskih blok transformatora 15,75/245 kV (240 MVA) priključeni na mrežu 220 kV naponske razine. Generatori mogu raditi s 10 % povišenim ili sniženim naponima na generatorskim sabirnicama. Pri nazivnoj radnoj snazi u generatorskom režimu rada generatori CHE Čapljina mogu davati oko 120 Mvar induktivne i reaktivne kapacitivne snage uz nazivni napon generatora. U crpnom režimu rada generator/motor može davati i primati oko 70 Mvar reaktivne induktivne snage pri nazivnoj radnoj snazi. Za niže razine radne snage mogućnost proizvodnje reaktivne snage se povećava u oba smjera (induktivni, kapacitivni dio), do iznosa od oko 160 Mvar po generatoru u podzbudi i naduzbudi pri nultoj proizvodnji radne snage (kompenzatorski rad). Prema tome, ukupna mogućnost proizvodnje reaktivne snage CHE Čapljina (oba generatora) pri nazivnom naponu na stezaljkama generatora kreće se unutar raspona 2x70 Mvar do 2x160 Mvar u poduzbudi i naduzbudi. Elektromehaničke i regulacione karakteristike generator/motor CHE Čapljina omogućavaju i čisto kompenzatorski (nad ili podpobuđeni rad) u sva četiri kvadranta pogonske karte. Tokom asinkronog 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 po agregatu.

## **7 MODEL EES BIH I SUSJEDNIH SISTEMA**

Model EES BiH postavljen je u PSS/E formatu za pojedina razmatrana (karakteristična) pogonska stanja, te su uspoređene izračunate vrijednosti na modelu s izmjerenim veličinama (aktivne snage na vodovima, naponi u pojedinim čvorištima mreže). Bazni modeli su postavljeni za sljedeća karakteristična pogonska stanja:

1. situacija maksimuma opterećenja EES BiH 2011. godine (2150 MW, 31. 12. u 18 sati)
2. situacija minimuma opterećenja EES BiH 2011. godine (872 MW, 22. 7. u 4 sata)
3. situacija karakteristična po visokim naponima u prienosnoj mreži BiH (3. 7. u 7 sati)

Naponska situacija u danu i satu nastanka maksimuma opterećenja BiH bila je povoljna, s naponima između 400 kV i 410 kV u mreži 400 kV, između 225 kV i 235 kV u mreži 220 kV, te između 109 kV i 116 kV na promatranim čvorištima 110 kV mreže. Minimum opterećenja 2011. godine zabilježen je 22. 7. u 4 sata ujutro, u iznosu od 872 MW. Naponska situacija u danu i satu nastanka minimuma opterećenja BiH bila je uvjetno povoljna, s naponima između 406 kV i 418 kV u mreži 400 kV, između 232 kV i 243 kV u mreži 220 kV, te između 113 kV i 118 kV na promatranim čvorištima 110 kV mreže. Napon je bio povišen iznad dozvoljene vrijednosti u normalnom pogonu jedino u TS Prijedor 2 na 220 kV sabirnicama gdje je iznosio 242,63 kV. U situaciji izrazitog naponskog poremećaja zabilježena je maksimalna godišnja vrijednost napona na 400 kV sabirnicama TS Mostar (434 kV), TE Ugljevik (418 kV), RP Trebinje (429 kV), te 220 kV sabirnicama TS Prijedor 2 (251 kV).

Kasnije analize izvršene su na način da su na definiranim baznim modelima ispitani utjecaji različitih faktora na naponsku situaciju u BiH, te su određena kritična pogonska stanja kada je moguće očekivati pojavu previsokih napona u prijenosnoj mreži.

Bazni modeli detaljno su opisani u STUDIJU, zajedno s postupkom verifikacije modela.

Model EES BiH obuhvaća mreže naponskih razina 400 kV, 220 kV i 110 kV, s elektranama modeliranim kao grupama generatora i blok transformatora, te opterećenjima modeliranim u 110 kV čvorištima (opterećenje Aluminijska Mostar modelirano je u pripadnom 220 kV čvorištu). Na model su uključeni svi transformatori 400/220 kV, 400/110 kV i 220/110 kV. EES BiH smješten je na modelu kao dio cjelokupnog prijenosnog sustava jugoistočne Europe zajedno s ekvivalentom zapadnog dijela ENTSO-E mreže.

**Tablica 7.1 Bilanca EES BiH na modelu i u stvarnom stanju (MW)**

Bilanca EES	Karakteristična stanja					
	Maksimum opterećenja		Minimum opterećenja		Visoki naponi	
	SCADA	Model	SCADA	Model	SCADA	Model
Opterećenje	2150	2110	872	843	965	900
Gubici		40		29		23
Angažman elektrana	1956	1956	1063	1063	1223	1181
Razmjena	194	194	-191	-191	-258	-258

Ispitivanja tokova snaga za vremenske presjke 2015. i 2020. godine izvršeno je prema uputi Naručilca na odgovarajućim SECI modelima (zimski maksimum i ljetni minimum opterećenja).

Planovi razvoja susjednih EES uzeti su u obzir prema sagledavanjima susjednih operatora prijenosnih sustava. Pretpostavke vezane za budući razvoj EES BiH u skladu su s Indikativnim planom razvoja proizvodnje u razdoblju 2012. - 2021.

Imajući u vidu problematiku ograničenih mogućnosti Q/U regulacije u BiH i pojave previsokih napona prvenstveno u mreži 400 kV, do pozitivnog utjecaja u budućnosti bi moglo doći ukoliko će blokovi novih termoelektrana čiji se priključak predviđa na 400 kV mrežu (TE Stanari, Tuzla G7 i Kakanj G8/G7) povremeno raditi u poduzbudi, pri čemu će njihov utjecaj biti to povoljniji što im je omogućen rad dublje u poduzbudi. Budući da se ulazak u pogon prvog takvog objekta očekuje 2016. godine (TE Stanari), do tog vremenskog presjeka ne treba očekivati značajnije ublažavanje problematike pojave visokih napona u prijenosnoj mreži BiH.

Za problematiku pojave visokih napona u prijenosnoj mreži od velikog je interesa buduća izgradnja novih 400 kV vodova, koji bi u neopterećenim stanjima mogli generirati reaktivnu snagu koja bi dovela do pogoršavanja problema visokih napona u mreži 400 kV. U STUDIJI je razmatrana izgradnja novih 400 kV vodova Višegrad - Pljevlja u sklopu izgradnje HVDC veze Crna Gora - Italija, te B. Luka - L. Osik, kao nova interkonekcija s EES Hrvatske.

Projekti u EES Hrvatske, Crne Gore i Srbije koji bi mogli imati veći ili manji utjecaj na problematiku naponskih prilika u BiH jesu sljedeći:

- Prigušnica 150 Mvar priključena na 400 kV sabirnice TS 400/220/110 kV Konjsko,
- povećanje snage prigušnice priključene na 110 kV sabirnice TS 400/110 kV Ernestinovo s 100 Mvar na 150 Mvar,
- HVDC 1000 MW Crna Gora - Italija, zajedno s TS 400/110 kV Lastva te novim DV 400 kV Pljevlja - Lastva,
- Razvoj 400 kV mreže u zapadnoj Srbiji, priključak RHE Bajina Bašta na 400 kV mrežu i izgradnja DV 2x400 kV B. Bašta - Obrenovac.

## **8 IDENTIFIKACIJA BUDUĆIH PROBLEMA I ANALIZA UTJECAJNIH FAKTORA**

Na temelju proračuna tokova snaga i naponskih prilika za različite scenarije opisane u STUDIJI identificirana su buduća stanja, te kritični režimi unutar kojih može doći do pojave previsokih napona u prijenosnoj mreži BiH. Promatrano je postojeće stanje 2012. godine, te očekivano kratkoročno stanje 2015. godine i dugoročno stanje 2020. godine. Izvršeni proračuni upućuju na sljedeće:

- Problem povremene pojave visokih napona u prijenosnoj mreži BiH može se očekivati na sve tri prijenosne naponske razine (400 kV, 220 kV, 110 kV).
- Pojava visokih napona uzrokovana je prvenstveno pogonskim prilikama u 400 kV mreži, uzrok čemu su slabo opterećeni i dugački vodovi te naponske razine, što je posebno izraženo u razdobljima niskih (noćnih) opterećenja u EES BiH i u susjednim zemljama.
- Ispravnim podešenjima prijenosnih omjera transformatora 400/220 kV i 400/110 kV, te djelovanjem regulacijskih transformatora 400/110 kV i 220/110 kV, problem pojave visokih napona moguće je ograničiti samo na 400 kV naponsku razinu.
- Svođenjem napona u 220 kV i 110 kV mreži unutar dozvoljenih granica podešavanjem prijenosnog omjera mrežnih transformatora 400/220 kV, 400/110 kV i 220/110 kV, bilo automatski bilo ručno u beznaponskom stanju, dodatno se kvare prilike u mreži 400 kV budući da se povisuju naponi na 400 kV sabirnicama u mreži.
- Postojeće elektrane priključene na 400 kV mrežu, TE Ugljevik, TE Gacko i HE Višegrad, s aktualnim ograničenjem rada generatora u poduzbudi od -60 Mvar/elektrani, nisu dovoljne da se u razdobljima niskih opterećenja naponi u 400 kV mreži svedu unutar dozvoljenih granica.
- Na modelima se opaža jak i nepovoljan utjecaj tokova reaktivne snage na interkonektivnim vodovima 400 kV i 220 kV između EES BiH, te EES Hrvatske i EES Crne Gore, odnosno nepovoljnih naponskih prilika u ove dvije susjedne zemlje na naponski profil u BiH. To je posebno izraženo sa strane EES Hrvatske, gdje se na južnom (Konjsko, RHE Velebit) i istočnom (Ernestinovo) potezu mreže 400 kV kontinuirano



bilježe previsoki naponi, te time dolazi do negativnog utjecaja u smislu povišenja napona prvenstveno u TS 400/220/110 kV Mostar 4, TS 400/110 kV Ugljevik, TS 220/110 kV Prijedor 2 i TS 220/110 kV Bihać 1. Negativan utjecaj sa strane EES Crne Gore opaža se prvenstveno u RP 400/220/110 kV Trebinje i TS 400/220/110 kV Sarajevo 20. U oba susjedna EES mogućnosti Q/U regulacije na 400 kV naponskoj razini ili ne postoje (Crna Gora), ili su vrlo ograničene (EES Hrvatske, rijedak kompenzacijski rad RHE Velebit).

- Realno je očekivati ublažavanje problematike pojave visokih napona u prijenosnoj mreži u budućnosti, no isto ovisi o više faktora i ulaznih pretpostavki vezanih za veću ili manju nesigurnost.
- Najvažniji povoljni faktori koji će utjecati na naponske prilike u prijenosnoj mreži BiH u budućnosti su:
  - Mogućnosti, sposobnost i motivacija rada generatora, prvenstveno priključenih na 400 kV mrežu, za rad u poduzbudi, uključujući mogućnost kompenzatorskog rada RHE Čaplina.
  - Planirana izgradnja novih elektrana s predviđenim priključkom na 400 kV mrežu (TE Stanari, TE Tuzla 7, TE Kakanj 7 i 8).
  - Očekivani porast konzuma BiH u budućnosti, a time i opterećenja 400 kV vodova.
  - Mogući tranziti 400 kV mrežom BiH u budućnosti.
  - Planirana ugradnja prigušnice 150 Mvar s predviđenim priključkom na 400 kV sabirnice TS 400/220/110 kV Konjsko u EES RH, te planirano proširenje postojeće prigušnice 100 Mvar priključene na 110 kV sabirnice TS Ernestinovo na 150 Mvar, s očekivanim redovnim uključivanjima u pogon u razdobljima niskih noćnih opterećenja čime bi se naponske prilike u EES RH svele unutar dozvoljenih granica propisanih Mrežnim pravilima.
  - Izgradnja HVDC veze Crna Gora – Italija na pravcu Tivat (Lastva) – Peskara koja će u slučaju njenog visokog iskorištenja povećati opterećenja 400 kV vodova u dijelu regije JI Europe, a time i u BiH.
- Najvažniji nepovoljni faktori koji će utjecati na naponske prilike u prijenosnoj mreži BiH u budućnosti su:
  - Izgradnja novih 400 kV vodova (planirano Višegrad – Pljevlja i Banja Luka 6 – L. Osik).
  - Eventualni produžetak gospodarske krize, te neostvarenje očekivanog povećanja konzuma, kao i kašnjenje s realizacijom investicija u nove velike blokove u TE na ugljen.
  - Kašnjenje u realizaciji planiranih investicija u susjednim EES RH (prigušnice) i EES Crne Gore (HVDC veza).

Reaktivna snaga konzuma BiH izrazito je utjecajan faktor na pojavu previsokih napona u prijenosnoj mreži BiH, često doprinoseći naponskom poremećaju u okolnostima niske reaktivne potrošnje, odnosno doprinoseći izostanku naponskog poremećaja u razdobljima povišene reaktivne potrošnje (ljetna noćna razdoblja uz pojačan rad klima uređaja).

U postojećem je stanju pogon TE Ugljevik i TE Gacko pri niskim opterećenjima EES BiH umjereno utjecajan faktor na eventualnu pojavu visokih napona u 400 kV mreži, no u

budućnosti će taj utjecaj na napone biti sve manji, posebno radi priključka i drugih blokova na 400 kV mrežu. Isključenje TE Gacko pri niskim opterećenjima ima negativan utjecaj s obzirom na porast napona na 400 kV sabirnicama TE Gacko, RP Trebinje i TS Mostar 4, dok je isključenje TE Ugljevik prvenstveno nepovoljno za naponsku situaciju na 400 kV sabirnicama te elektrane, TS Tuzla 4, TS Višegrad i TS Banja Luka 6. Isključenje ove dvije elektrane pri niskim opterećenjima sustava ne mora dovesti do pojave naponskih prekoračenja u mrežama 220 kV i 110 kV ukoliko su ispravno podešeni prijenosni omjeri mrežnih transformatora (400/220 kV, 400/110 kV i 220/110 kV).

Mogućnost, sposobnost i motivacija rada generatora u BiH za radom u poduzbudi, posebno onih priključenih na mrežu 400 kV, od velikog su značaja u cilju održavanja što povoljnijeg naponskog profila u mreži, te svođenja napona ispod dozvoljenih gornjih granica. Ta činjenica je od posebnog značaja imajući u vidu priključak novih blokova na 400 kV mrežu u budućnosti, a koji bi radom u poduzbudi mogli u potpunosti, ili barem značajno otkloniti/ublažiti pojavu visokih napona u prijenosnoj mreži BiH.

Bilanca EES BiH (uvoz, izvoz, uravnotežen sustav) utjecajna je po naponske prilike u prijenosnoj mreži, no u manjoj mjeri od nekih drugih faktora, kao što su uključenost generatora priključenih na 400 kV mrežu ili mogućnost rada generatora u poduzbudi. Utjecaj bilance sustava na naponske prilike odražava se prvenstveno kroz opterećenost 400 kV vodova koji u pojedinim stanjima generiraju veće ili manje količine reaktivne snage.

Kompenzatorskim radom CHE Čapljina u dozvoljenom rasponu angažmana reaktivne snage po generatoru, uz regulacijski režim rada blok transformatora u CHE Čapljina, moguće je postići zadovoljavajući naponski profil u postojećem stanju, pri čemu problem ostaju gubici radne snage od 4 MW/agregatu koji se ne pokrivaju nikakvom dodatnom naknadom budući da je pružanje Q/U regulacijske usluge u BiH besplatno.

Crpnim radom jednog agregata CHE Čapljina maksimalnom snagom naponi se u 400 kV mreži BiH spuštaju za najviše 2 kV, a najveći utjecaj u 400 kV mreži opaža se na 400 kV sabirnicama TS Mostar 4. Crpnim radom oba agregata maksimalnom snagom naponi se u južnom i jugozapadnom dijelu EES spuštaju za 3 do 4 kV, dok se u sjeverozapadnom i sjeveroistočnom dijelu spuštaju za 1 do 2 kV. Prema tomu, crpni rad CHE Čapljina ima daleko manji utjecaj na naponsku situaciju u prijenosnoj mreži BiH od čisto kompenzatorskog rada ove elektrane.

Utjecaj CHE Bjelimići na naponsku situaciju u BiH za dugoročni vremenski presjek 2020. godine ne bi trebao biti od presudnog značaja budući da se do razmatranog vremenskog presjeka očekuje sanacija pojave visokih napona, prvenstveno radi priključka novih velikih termoblokova na 400 kV mrežu, očekivanog porasta konzuma, planirane ugradnje prigušnice 150 Mvar unutar EES Hrvatske, te očekivanog porasta opterećenja prijenosnih 400 kV vodova radi tranzita za potrebe napajanja HVDC veze od Crne Gore do Italije. Crpnim radom jednog agregata CHE Bjelimići maksimalnom snagom naponi u 400 kV mreži padaju za oko 2 kV do 4 kV, a crpnim radom oba agregata maksimalnom snagom naponi u promatranoj situaciji padaju za oko 3 kV do 7 kV.

Regulacijskim je transformatorima moguće optimirati napone u mrežama sve tri naponske razine ovisno o razmatranom pogonskom stanju. Djelovanjem regulacijskih transformatora, te utjecajem na tokove reaktivne snage u sustavu moguće je također optimirati i gubitke električne energije u prijenosnoj mreži.

Kroz nepovoljan se utjecaj pogonskih prilika u EES RH naponi u 400 kV mreži BiH mogu podizati za iznos do oko 6 kV, posebno izraženo na sabirnicama 400 kV u TS Mostar 4 i TE Ugljevik, te sabirnicama 220 kV u TS Prijedor 2 i TS Bihać 1. Kroz nepovoljan se utjecaj pogonskih prilika u EES CG naponi u 400 kV mreži BiH mogu podizati za iznos do oko 2 kV, posebno izraženo na sabirnicama 400 kV u RP Trebinje, te sabirnicama 220 kV TS Sarajevo 20.

Unutar EES Srbije planirano je priključenje RHE Bajina Bašta na 400 kV mrežu preko DV 2x400 kV prema TS Obrenovac, no ne očekuje se da će taj zahvat utjecati na naponske prilike u prijenosnoj mreži BiH, posebno ukoliko ne dođe do izgradnje nove interkonekcije 400 kV iz Bajine Bašte do Višegrada/Pljevlje (ista se trenutno studira).

Značajniji tranziti prijenosnom mrežom BiH mogu smanjiti napone u 400 kV mreži za do 6 kV, bez obzira na njihov smjer. Usprkos značajnom utjecaju tranzita prijenosnom mrežom BiH na naponske prilike u prvenstveno 400 kV mreži, autori smatraju da isti kratkoročno i srednjoročno nisu realni za očekivati, budući da je u noćnim razdobljima kad su istaknuti problemi pojave visokih napona konzum susjednih zemalja također značajno smanjen, a imajući u vidu strukturu proizvodnih postrojenja sa značajnim udjelom protočnih HE, TE na ugljen i NE (Hrvatska), TE (Crna Gora, TE Pljevlja), TE i HE (Srbija), TE i NE (Slovenija) i dr., za očekivati je da u kritičnim razdobljima neće biti potrebe za većim uvozom od strane tih zemalja. To bi se moglo promijeniti tek izgradnjom HVDC veze Crna Gora – Italija koja bi prema procjenama trebala biti značajno napajana i u noćnim razdobljima u smjeru Italije kao velikog uvoznika električne energije.

Isključenja 400 kV vodova, prvenstveno Mostar 4 – Konjsko radi visokih tokova reaktivne snage preko njega, redovno se u koordinaciji sa susjednim operatorima sustava provodi kao mjera snižavanja napona u prijenosnoj mreži BiH. U STUDIJI je izvršena analiza utjecaja pojedinačnog isključenja svih 400 kV vodova na naponske prilike u BiH. Analiza N-1 pokazuje da u situaciji minimuma (odnosno niskog) opterećenja N-1 kriterij nije ugrožen na topologiji mreže oslabljenoj isključenjem bilo kojeg voda 400 kV. To znači da dispečeri u razmatranoj situaciji mogu koristiti ovu mjeru u cilju snižavanja napona u prijenosnoj mreži. Najveći efekt po smanjenje napona postiže se isključenjem voda 400 kV Mostar 4 – Konjsko, pri čemu se naponi snižavaju za oko 2 kV na sabirnicama 400 kV u sjevernom dijelu EES, te od 4 kV do 8 kV na sabirnicama 400 kV u centralnom dijelu (Sarajevo), te južnom dijelu EES (Mostar, Gacko, Trebinje). Iz analiza je moguće primijetiti da neće isključenje svakog voda 400 kV dovoditi do poboljšane naponske situacije u sustavu BiH. Tako se na primjer isključenjem u baznoj situaciji najjače opterećenog 400 kV voda, Tuzla 4 – Ugljevik, naponske prilike pogoršavaju jer se naponi podižu na svim sabirnicama 400 kV (porast do 2 kV) osim u TE Ugljevik.

Modelska ispitivanja pokazuju da dugoročno naponske prilike u BiH ne bi trebale biti ugrožene s aspekta pojave previsokih napona ukoliko postoji mogućnost rada generatora u poduzbudi, te ukoliko je HVDC veza prema Italiji relativno dobro iskorištena, naravno uz pretpostavku da će se visoki tokovi reaktivne snage iz smjera EES RH smanjiti nakon ugradnje prigušnice u TS Konjsko. Nepovoljan utjecaj novih 400 kV interkonekcija, Višegrad – Pljevlja i B. Luka – L. Osik, na naponske prilike najviše se primjećuje u rubnim čvorištima EES BiH (TS Višegrad i TS Banja Luka 6), ali i u njima bliskim čvorištima (Tuzla 4, Stanari), te duž čitave mreže 400 kV. U uvjetima kada bi HVDC veza bila neiskorištena naponi bi u 400 kV mreži BiH dugoročno poprimali vrijednosti do oko 415 kV uz rad generatora u



poduzbudi. Ukoliko generatori u promatranoj situaciji ne bi imali mogućnost rada u poduzbudi ( $Q_{\min}=0$  Mvar), usprkos uključenim prigušnicama 150 Mvar u TS Konjsko i TS Ernestinovo, naponi bi dugoročno prelazili dozvoljenu granicu u svim čvorištima 400 kV mreže. Ugroženost većine čvorišta 400 kV mreže u okolnostima nemogućnosti pogona generatora u poduzbudi i niskog opterećenja HVDC veze na modelu 2020. godine u minimumu opterećenja ukazuje na činjenicu da sanacija naponskih prilika u BiH sama od sebe, kao rezultat izgradnje novih blokova priključenih na 400 kV mrežu, te očekivanog porasta konzuma, nije dovoljno sigurna pojava u budućnosti, pa NOS BiH treba odlučiti hoće li na neki drugi način smanjiti nepovoljne utjecaje u budućnosti. Na temelju izvršenih analiza identificirani su kritični režimi rada EES BiH unutar kojih može doći do pojave previsokih napona u prijenosnoj mreži BiH. Isti su karakteristični po sljedećim utjecajnim faktorima:

1. razdoblja niskih opterećenja EES (noćna razdoblja) koja prati i niska potrošnja reaktivne energije;
2. stanje isključenosti TE Gacko i/ili TE Ugljevik;
3. stanja ograničenosti rada TE Gacko i TE Ugljevik, te ostalih elektrana u BiH, u poduzbudi;
4. stanja neodgovarajućih podešenja prijenosnih omjera transformatora 400/220 kV, 400/110 kV i 220/110 kV;
5. stanja isključenosti CHE Čapljina, odnosno njenog nedjelovanja u Q/U regulaciji;
6. stanja isključenosti prigušnice 100 Mvar u TS Ernestinovo;
7. stanja niske opterećenosti voda 2x400 kV Ernestinovo – Pecs (smanjenog uvoza u EES RH iz smjera Mađarske);
8. stanja visokih napona na južnom potezu 400 kV mreže unutar EES RH;
9. stanja povišenih napona u 400 kV mreži Crne Gore;
10. stanja bez dodatne opterećenosti 400 kV mreže BiH tranzitima za potrebe trećih strana.

Prema prikazanom popisu najvažnijih utjecajnih faktora možemo zaključiti kako će kombinacija nekih od nabrojanih faktora nepovoljno djelovati na naponske prilike u BiH, te će se povremeno u prijenosnoj mreži pojavljivati visoki naponi. U budućnosti se može očekivati kako će doći do svođenja napona unutar dozvoljenih granica, prvenstveno kao posljedica sljedećeg:

1. priključka novih blokova na 400 kV mrežu i mogućnosti njihova rada u poduzbudi,
2. ugradnje prigušnice 150 Mvar u TS Konjsko, te proširenja prigušnice 100 Mvar u TS Ernestinovo na 150 Mvar,
3. očekivanog porasta opterećenja konzuma BiH,
4. očekivanih povećanja tranzita prijenosnom mrežom BiH kao posljedica izgradnje HVDC veze Crna Gora – Italija.

Ukoliko se gornje pretpostavke ne ostvare, odnosno ukoliko generatori u BiH i dalje budu nemotivirani za rad u poduzbudi, ili ukoliko se ne izgrade TE Tuzla 7 i TE Kakanj 8, ili ukoliko HEP OPS ne ugradi planirane prigušnice, odnosno ukoliko ne dođe do očekivanog porasta konzuma u BiH i susjednim zemljama, te ukoliko HVDC veza Crna Gora – Italija bude slabo iskorištena, a izgrade se novi 400 kV vodovi Višegrad – Pljevlja i Banja Luka 6/Bihać – Lički Osik, naponi bi i dalje mogli povremeno značajno prelaziti dozvoljenu granicu 420 kV, a ovisno o radu regulacijskih transformatora i podešenjima ostalih transformatora naponski poremećaji se mogu i dalje širiti na mreže 220 kV i 110 kV.

## 9 KRATKOROČNE (DISPEČERSKE) MJERE ZA SVOĐENJE NAPONA UNUTAR DOZVOLJENIH GRANICA

Osoblje u dispečerskom centru NOS BiH ima određene mogućnosti utjecaja na naponske prilike i tokove reaktivne snage u prijenosnoj mreži BiH, iako su te mjere ograničene posebno s obzirom na kontrolu i upravljanje naponima u mreži 400 kV. Efikasnost provedbe njihovih mjera ovisi i o drugim subjektima koji se pojavljuju na tržištu električne energije u BiH i u susjednim zemljama, prvenstveno ovi o proizvođačima električne energije u BiH (ERS, EPBiH, EPHZHB), Elektroprijenosu BiH, te susjednim operatorima prijenosnog sustava posebno HEP OPS. Sam NOS BiH kao subjekt odgovoran za vođenje sustava, a time i za održavanje napona unutar dozvoljenih granica, ne posjeduje vlastite uređaje za kompenzaciju reaktivne snage, pa time ovisi o izvršavanju zadanih naloga prema drugim subjektima, te njihovoj motiviranosti i često dobroj volji da te naloge ispuni.

Utjecaj elektroprivreda u BiH ogleda se prvenstveno u njihovoj spremnosti da pojedine elektrane/generatori rade prema potrebama u kapacitivnim dijelovima pogonskih karti (poduzbuda). To je posebno značajno imajući u vidu Elektroprivredu RS jer jedina posjeduje elektrane priključene na mrežu 400 kV, koje prema tome mogu izravno utjecati na naponsku situaciju u mreži najviše naponske razine. Također je to značajno i imajući u vidu Elektroprivredu HZHB koja posjeduje proizvodni objekt koji u potpunosti može riješiti problematiku pojave visokih napona u kritičnim pogonskim stanjima (CHE Čapljinina). Osoblje u elektranama ne prakticira rad generatora u poduzbudi prvenstveno radi bojazni da će to negativno utjecati na generator, ili zbog straha da će dovesti stroj na granicu stabilnosti, ili zato što ne postoje mjerenja reaktivne snage u kapacitivnom području. Osim toga, elektroprivrede nisu financijski motivirane da izvrše dispečerske naloge budući da je usluga Q/U regulacije u BiH trenutno besplatna.

Utjecaj Elektroprijenosa BiH prvenstveno se očituje u radu transformatora u režimu automatske regulacije i podešenjima prijenosnih omjera transformatora u beznaponskom stanju, budući da se time upravlja imovinom u njihovom vlasništvu. Prema informacijama dobivenim od dispečera u NOS BiH osoblje Elektroprijenos BiH redovito izvršava naloge dispečera vezano za podešenja mrežnih transformatora.

Susjedni operatori prijenosnog sustava utječu na moguće dispečerske mjere u BiH budući da se uz njihovu suglasnost izvode isključenja interkonektivnih vodova čime se smanjuju naponi u prijenosnoj mreži BiH. Susjedni OPS također mogu utjecati na naponske prilike u svom sustavu, isključenjem njihovih internih 400 kV vodova ili na primjer u EES RH kompenzacijskim radom RHE Velebit (Obrovac), a time popraviti naponsku sliku u svojoj zemlji ali i u BiH.

## 10 DUGOROČNE MJERE ZA SVOĐENJE NAPONA UNUTAR DOZVOLJENIH GRANICA

Dugoročno se problematika pojave visokih napona u prijenosnoj mreži BiH može riješiti, odnosno ublažiti, jednim od sljedeća dva načina ili njihovom kombinacijom:

1. Uvođenjem financijske naknade generatorima (elektroprivredama) za pružanje usluge Q/U regulacije odnosno sinkrone kompenzacije.

Prema metodologiji detaljno opisanoj u STUDIJI, ukupni godišnji iznos koji bi trebalo platiti generatorima za njihovu sposobnost kompenzacije reaktivne snage iznosi oko 11 milijuna KM, od čega se oko 3 milijuna KM odnosi na sposobnost rada u kapacitivnom području, a oko 8 milijuna KM na sposobnost rada u induktivnom području. Ukoliko bi se naknada uvela samo za sposobnost rada u kapacitivnom području, čime je dugoročno moguće riješiti problematiku pojave visokih napona u prijenosnoj mreži, ukupan godišnji iznos koji bi trebalo platiti proizvođačima, odnosno prikupiti od korisnika mreže, iznosio bi do 3 milijuna KM.

Imajući u vidu činjenicu da CHE Čapljina sama može riješiti problem visokih napona u BiH, ukupni troškovi pomoćne usluge kompenzacije reaktivne snage i sinkrone kompenzacije od strane te elektrane procijenjeni su na oko 2 milijuna KM/godišnje. U tom iznosu, oko 1,3 milijuna odnosi se na reaktivnu snagu, a oko 0,7 milijuna na trošak aktivne snage, odnosno gubitaka u kompenzatorskom radu. Ukoliko promatramo samo kompenzatorski rad CHE Čapljina, ukupan trošak tog režima rada procijenjen je na oko 940.000 KM, od čega se oko 670.000 KM odnosi na gubitke aktivne snage, a 270.000 KM na kompenzaciju jalove snage.

## 2. Ugradnjom kompenzacijskog uređaja

U slučaju da NOS BiH odabere izgradnju kompenzacijskog uređaja odnosno postrojenja kao način rješavanja problematike visokih napona u BiH, prilikom odabira tipa kompenzacijskog uređaja potrebno je imati na umu da je kompenzaciju reaktivne snage u prijenosnoj mreži BiH potrebno uvesti zbog problema previsokih napona, dok sustavni problemi preniskih napona nisu uočeni na temelju analiza provedenih u ovoj studiji. Stoga se kao prvi kriterij nameće mogućnost kompenzacijskog uređaja da troši reaktivnu snagu, dok se potreba za njenom proizvodnjom ne uočava u cijelom razmatranom proteklom i budućem razdoblju. Taj zaključak navodi na dva osnovna rješenja kompenzacijskog postrojenja:

1. mehanički uklopiva prigušnica (MSR) snage 150 Mvar priključena na 400 kV sabirnice TS Mostar 4, uz moguću izvedbu u tri modula po 50 Mvar koji omogućavaju diskretnu regulaciju, te eventualno dodatna mehanički uklopiva prigušnica (MSR) snage 100 Mvar priključena na 400 kV ili 110 kV sabirnice TS Tuzla 4, uz moguću izvedbu u dva modula po 50 Mvar.
2. tiristorski uklopiva prigušnica (TCR) snage 150 Mvar do 200 Mvar, odnosno odgovarajuće SVC postrojenje (Statički Var Kompenzator) FC/TCR izvedbe, priključeno na 400 kV sabirnice TS Mostar 4 preko odgovarajućeg mrežnog transformatora 400/10 kV, 150 MVA ili 200 MVA.

Investicija u MSR procjenjuje se na oko 6,5 milijuna KM, dok se investicija u SVC procjenjuje na oko 10 milijuna KM.

Ekonomska analiza upućuje na opravdanost ugradnje prigušnice ili SVC u početnom razdoblju planiranja, no uz smanjenje dobiti u budućnosti radi nastanka pojedinih utjecajnih faktora. Glavni rizik vezan za izgradnju kompenzacijskog uređaja u EES BiH tada proizlazi iz nesigurnosti odvijanja (ostvarenja) utjecajnih faktora u budućnosti, radi kojih bi se moglo smanjiti vrijeme uključenosti kompenzacijskog postrojenja, te time i dobit koju stvara njegova izgradnja. Ti utjecajni faktori su prvenstveno mogućnost i motivacija rada generatora u kapacitivnom području, izgradnja novih termoblokova i njihov priključak na 400 kV mrežu, ugradnja prigušnice u EES RH, porast opterećenja konzuma u BiH, te povećanje tranzita 400 kV mrežom prvenstveno kao posljedica HVDC veze Crna Gora -

Italija. Ostvarenje bilo kojeg od tih faktora smanjuje profitabilnost izgradnje kompenzacijskog postrojenja u BiH, smanjujući za iduće vremenske presjeke pripadni indeks profitabilnosti na vrijednost manju od 1, te time stvarajući negativan NPV (neto sadašnju vrijednost projekta) za čitav projekt promatrajući razdoblje do 20 godina.

## 11 ZAKLJUČAK

U priloženoj studiji analizirana je problematika povremene pojave previsokih napona u prijenosnoj mreži BiH, kao dio sveobuhvatne analize mogućnosti regulacije napona i reaktivne snage u BiH, te su predložene određene aktivnosti i mjere kako bi se analizirani problem riješio u najkraćem mogućem roku.

Dozvoljene naponske granice unutar prijenosne mreže BiH definirane su Mrežnim kodeksom. Maksimalno dozvoljeni naponi u normalnom pogonu iznose 420 kV, 242 kV i 121 kV, dok u poremećenom pogonu maksimalni dozvoljeni naponi iznose 420 kV, 245 kV i 123 kV. Osim toga, NOS BiH je dužan pridržavati se pravila rada propisanih od strane ENTSO-E međunarodne organizacije, po kojima je definirano više zahtjeva, standarda i uputa vezanih za problematiku napona u prijenosnoj mreži, te mogućnosti Q/U regulacije unutar sustava.

Unutar EES BiH regulaciju napona i reaktivne snage moguće je provoditi od strane generatora i regulacijskih transformatora 400/110 kV (Banja Luka 6 i Sarajevo 10, jedan trafo) i 220/110 kV (svi transformatori). Dodatno se na tokove reaktivne snage i naponske prilike može utjecati i podešenjem prijenosnog omjera transformatora 400/220 kV i 400/110 kV (svi transformatori osim Banja Luka 6 i Sarajevo 10, jedan trafo) u beznaponskom stanju. Važan objekt za pružanje usluge Q/U regulacije je CHE Čapljina, prvenstveno radi širokog raspona moguće proizvodnje reaktivne snage u generatorskom i crpnom režimu rada, te radi mogućnosti rada u čisto kompenzatorskom režimu rada. Blok transformatori CHE Čapljina izvedeni su kao regulacijski, te se time povećava moguć utjecaj ove elektrane na naponsko-reaktivnu situaciju unutar sustava. Ostali važni proizvodni objekti za Q/U regulaciju u BiH su prvenstveno TE Ugljevik i TE Gacko radi njihovog priključka na mrežu 400 kV, te velikog broja sati rada godišnje, uključujući i čest pogon noću u razdobljima sniženih opterećenja konzuma.

Prema odluci DERK-a pomoćna usluga Q/U regulacije u BiH izvodi se bez financijske naknade, što je uzrok slabe motivacije proizvođača (elektrana, generatora) za pružanje te vrste pomoćne usluge, što u konačnici dovodi do pogoršanja problematike povremene pojave visokih napona u prijenosnoj mreži BiH. Posebno je za kompenzatorski rad nemotivirana CHE Čapljina, tim više što u tom režimu rada dolazi do gubitaka aktivne snage od 4 MW/agregatu koji se financijski ne nadoknađuju vlasniku.

Analizom satnih vrijednosti napona na karakterističnim 400 kV, 220 kV i 110 kV sabirnicama unutar prijenosne mreže BiH tijekom 2011. godine utvrđena su veća ili manja prekoračenja gornje naponske granice na sve tri promatrane naponske razine. Nedozvoljeno visoki naponi registrirani su na svim 400 kV sabirnicama, većini promatranih sabirnica 220 kV i jednom dijelu 110 kV sabirnica. Najviši zabilježeni naponi su bili 434 kV u TS Mostar 4, 251 kV u TS Prijedor 2 i 124 kV u RP Trebinje. Najugroženije sabirnice s aspekta pojave previsokih napona su one unutar TS Mostar 4, a zatim slijede Tuzla 4, Sarajevo 10, Sarajevo 20 itd.

Proračuni tokova snaga na modelima EES BiH postavljenim u PSS/E formatu, kao dio cjelokupne mreže jugoistočne Europe i šire, ukazuju na činjenicu da su uzroci povremene pojave previsokih napona u prijenosnoj mreži BiH sljedeći:

1. slabo opterećeni 400 kV vodovi u razdobljima niskog opterećenja konzuma,
2. povremena niska potrošnja reaktivne snage konzuma u BiH gledano sa 110 kV mreže (situacije niskog radnog opterećenja ali povećane reaktivne snage potrošnje koje nastupaju ljeti, značajnijim korištenjem klima uređaja dovode do nižih napona u mreži),
3. neredoviti i rijedak rad generatora u BiH u kapacitivnom dijelu pogonskog dijagrama, posebno rijedak rad CHE Čapljina u kompenzatorskom režimu,
4. uobičajeno blokirani položaji preklopki regulacijskih transformatora,
5. nepodešavanja prijenosnog omjera transformatora koji imaju mogućnost promjene istog u beznaponskom stanju,
6. nepovoljan utjecaj susjednih EES Hrvatske i Crne Gore, posebno EES Hrvatske gdje naponi na južnom kraku 400 kV mreže gotovo polovicu vremena godišnje prelaze maksimalno dozvoljenu gornju granicu (TS Konjsko), te
7. općenito nedovoljne mogućnosti Q/U regulacije na 400 kV naponskoj razini.

Proračuni nadalje pokazuju da se naponski problem pojavljuje na 400 kV naponskoj razini, no da je širenje naponskog poremećaja na mreže nižih naponskih razina (220 kV i 110 kV) moguće spriječiti ili barem ublažiti podešavanjem prijenosnog omjera transformatora 400/220 kV i 400/110 kV u beznaponskom stanju i radom regulacijskih transformatora 400/110 kV i 220/110 kV u režimu automatske regulacije napona.

Najvažniji povoljni faktori koji će utjecati na naponske prilike u prijenosnoj mreži BiH u budućnosti su:

- Mogućnosti, sposobnost i motivacija rada generatora, prvenstveno priključenih na 400 kV mrežu, za rad u poduzbudi, uključujući mogućnost kompenzatorskog rada RHE Čapljina.
- Planirana izgradnja novih elektrana s predviđenim priključkom na 400 kV mrežu (TE Stanari, TE Tuzla 7, TE Kakanj 7 i 8).
- Očekivani porast konzuma BiH u budućnosti, a time i opterećenja 400 kV vodova.
- Mogući tranziti 400 kV mrežom BiH u budućnosti.
- Planirana ugradnja prigušnice 150 Mvar s predviđenim priključkom na 400 kV sabirnice TS 400/220/110 kV Konjsko u EES RH, te planirano proširenje postojeće prigušnice 100 Mvar priključene na 110 kV sabirnice TS Ernestinovo na 150 Mvar, s očekivanim redovnim uključivanjima u pogon u razdobljima niskih noćnih opterećenja čime bi se naponske prilike u EES RH svele unutar dozvoljenih granica propisanih Mrežnim pravilima.



- Izgradnja HVDC veze Crna Gora – Italija na pravcu Tivat (Lastva) – Peskara koja će u slučaju njenog visokog iskorištenja povećati opterećenja 400 kV vodova u dijelu regije JI Europe, a time i u BiH.

Najvažniji nepovoljni faktori koji će utjecati na naponske prilike u prijenosnoj mreži BiH u budućnosti su:

- Izgradnja novih 400 kV vodova (planirano Višegrad – Pljevlja i Banja Luka – L. Osik).
- Eventualni produžetak gospodarske krize, te neostvarenje očekivanog povećanja konzuma, kao i kašnjenje s realizacijom investicija u nove velike blokove u TE na ugljen.
- Kašnjenje u realizaciji planiranih investicija u susjednim EES RH (prigušnice) i EES Crne Gore (HVDC veza).

Ukoliko se ostvare polazne pretpostavke iz Indikativnog plana razvoja proizvodnje vezane za očekivani porast konzuma u BiH te izgradnju i priključak novih velikih TE na ugljen na 400 kV mrežu, te ukoliko se u EES Hrvatske realizira planirana ugradnja prigušnica u TS Konjsko i TS Ernestinovo (proširenje postojeće prigušnice), a u Crnoj Gori izgradi HVDC veza prema Italiji uz očekivano visoko iskorištenje iste, realno je očekivati ublažavanje problematike pojave visokih napona u prijenosnoj mreži u budućnosti. Smanjenje pojave visokih napona u prijenosnoj mreži BiH u budućnosti stoga ovisi o više faktora i ulaznih pretpostavki vezanih za veću ili manju nesigurnost.

Predložene kratkotrajne mjere za ublažavanje problematike visokih napona su sljedeće, a odnose se samo na dispečerske akcije koje ne traže bilo kakvu promjenu regulatornog okvira ili kapitalne izdatke (mjere su poredane prema potrebnom vremenskom slijedu provedbe od strane dispečera, što znači da se nakon provedene prve mjere, u slučaju pojave ili nastavka nedozvoljenih napona provodi druga mjera itd.):

1. Minimalno sezonsko, ili još bolje češće ovisno o dominantnim pogonskim prilikama u pojedinim dijelovima godine, podešavanje položaja regulacijskih transformatora na način da u zimskom razdoblju prijenosni omjeri odgovaraju nazivnim vrijednostima, dok se u ljetnom razdoblju postavljaju na gornje položaje (420/231 kV, 410/115 kV ili 420/115 kV).
2. Rad pojedinih regulacijskih transformatora u režimu automatske regulacije napona.
3. Koordinacija sa susjednim operatorima prijenosnih sustava u cilju smanjenja tokova reaktivne energije interkonektivnim vodovima.
4. Upućivanje zahtjeva generatorima koji su trenutno u pogonu za rad u poduzbudi pri pojavi visokih napona u prijenosnoj mreži.
5. Povremena isključenja slabo opterećenih 400 kV vodova, posebno Mostar 4 – Konjsko, ukoliko time nije ugrožena sigurnost pogona EES BiH i susjednih sustava.

Pod dispečerskom mjerom ne može se smatrati upućivanje CHE Čapljina zahtjev za rad u kompenzatorskom režimu budući da realno dispečeri u NOS BiH nemaju ovlasti angažirati ovu elektranu koja bi značajno mogla utjecati na napone u prijenosnoj mreži BiH. Proračuni ukazuju da rad CHE Čapljina u kompenzatorskom režimu može dovesti do sanacije

naponskih prilika u BiH u svim realnim pogonskim stanjima, no ista nije financijski motivirana za rad u ovom režimu radi troškova koji nisu nadoknađeni postojećim tarifama za pružanje pomoćnih usluga.

Kao kratkoročne, srednjoročne i dugoročne mjere, autori predlažu da mjerodavne institucije u BiH (NOS BiH, Elektroprijenos BiH i DERK) razmotre dva moguća načina trajnog rješavanja problematike visokih napona, povezana s promjenom regulatornog okvira ili financiranjem izgradnje kompenzacijskog postrojenja:

1. Uvođenje naknade generatorima za pružanje usluge Q/U regulacije, uz odobrenje DERK-a, omogućilo bi tehno-ekonomski održivu opciju rješavanja svih problema povezanih s naponsko-reaktivnim prilikama u BiH (visoki naponi, te eventualno sustavno niski naponi u budućnosti, minimiziranje gubitaka, povećanje prijenosne moći, minimiziranje tokova reaktivne snage interkonektivnim vodovima i dr.).
2. Izgradnjom kompenzacijskog postrojenja 150 Mvar priključenog na 400 kV mrežu u TS Mostar 4, te u slučaju odabira mehanički uklopive prigušnice eventualno i dodatne izgradnje takvog postrojenja snage 100 Mvar priključenog na 400 kV ili 110 kV sabirnice TS Tuzla 4, NOS BiH bi bio u stanju u potpunosti sanirati naponske prilike u BiH bez obzira na motiviranost generatora za rad u poduzbudi, te bez obzira na ostvarenje ostalih utjecajnih faktora u budućnosti (porast konzuma, tranzita mrežom, izgradnja TE priključenih na 400 kV mrežu, izgradnja prigušnica u Hrvatskoj, i dr.).

Izračuni provedeni u ovoj studiji daju procjenu ukupnih potrebnih financijskih sredstava za motivaciju generatora koji bi pružili uslugu kompenzacije reaktivne snage u rasponu od 3 milijuna KM/godišnje (samo za sposobnost rada u kapacitivnom području) do 11 milijuna KM/godišnje (za sposobnost rada generatora u kapacitivnom i induktivnom području). Ukoliko bi se usluga kompenzacije reaktivne snage i sinkrone kompenzacije plaćala samo CHE Čapljini, koja je u stanju sama regulirati naponske prilike u mreži, ukupna godišnja naknada prema ovoj elektrani iznosila bi oko 2 milijuna KM. Uz ovakve iznose na godišnjoj razini, ekonomska analiza ukazuje na prednost ugradnje kompenzacijskog postrojenja u odnosu na plaćanje pomoćne usluge kompenzacije reaktivne snage i sinkrone kompenzacije, no treba imati u vidu da uvođenje ili neuvođenje plaćanja svim centralno dispečiranim proizvodnim jedinicama u BiH za pružanje pomoćne usluge sposobnosti kompenzacije reaktivne snage odnosno proizvodnim jedinicama CHE Čapljina za pružanje pomoćne usluge sposobnosti kompenzacije reaktivne snage i sinkrone kompenzacije zasebno je pitanje i ne bi trebalo biti motivirano rješavanjem sadašnjeg tehničkog problema visokih napona i kapacitivnog pogona nego težnjom za kvalitetnijim uređenjem ukupnog elektroenergetskog sektora i pogona generatora u CHE Čapljina u pogledu pružanja svih pomoćnih usluga.

Ukoliko se NOS BiH odluči predložiti Elektroprijenos BiH, uz suglasnost DERK-a, izgradnju kompenzacijskog postrojenja, potrebno je donesti odluku o tipu postrojenja i lokaciji istog. Po kriteriju manjih troškova prednost se može dati ugradnji prigušnice snage 150 Mvar, po mogućnosti izvedbe u najmanje tri modula po 50 Mvar radi omogućavanja diskretne regulacije, direktno ili preko transformatora priključene na 400 kV mrežu, na lokaciji TS Mostar 4. NOS BiH treba dodatno studijski ispitati ostale aspekte pogona kompenzacijskog postrojenja i njegovog utjecaja na sustav, kao što su prijelazne pojave pri sklopnim operacijama, harmonici i utjecaj na dinamičku stabilnost sustava, te odrediti tip kompenzacijskog postrojenja između mehanički uklopive prigušnice kao jeftinijeg rješenja, ili tiristorski upravljive prigušnice odnosno statičkog Var kompenzatora kao nešto skupljeg,

ali tehnički boljeg rješenja. U slučaju da se nadležne institucije odluče za ugradnju prigušnice, potrebno je dodatno razmotriti potrebu, te odlučiti o eventualnoj ugradnji i druge prigušnice snage 100 Mvar, priključene na 400 kV ili 110 kV mrežu na sjeveru zemlje (TS Tuzla 4).

Autori predlažu da NOS BiH pokrene raspravu o načinu rješavanja problematike visokih napona u prijenosnoj mreži, prvenstveno s Elektroprijenos BiH i DERK, te da se odluči o načinu sanacije naponskih prilika između dvije predložene mjere, odnosno kombinacijom tih mjera.

Autori smatraju da se problematika pojave visokih napona u prijenosnoj mreži BiH može značajno ublažiti izgradnjom jednog kompenzacijskog postrojenja snage 150 Mvar na lokaciji TS Mostar 4 (priključak na 400 kV naponsku razinu), odnosno u potpunosti riješiti izgradnjom i drugog takvog postrojenja snage 100 Mvar na lokaciji TS Tuzla 4 (priključak na 400 kV ili 110 kV naponsku razinu), te da bi Elektroprijenos BiH, na prijedlog NOS BiH te uz suglasnost DERK-a, trebao uvrstiti izgradnju tog postrojenja u plan razvoja prijenosne mreže, a DERK bi trebao odobriti investiciju u kompenzacijsko postrojenje/postrojenja kroz povećanje tarife za prijenos.



## 12 LITERATURA I PODLOGE

- [1] *Električne energetske mreže IV*, M. i K. Ožegović, Split, 1999.
- [2] *Utordživanje potrebe i optimalnih lokacija energetskih transformatora sa zakretanjem faza zbog regulacije tokova snaga u hrvatskom elektroenergetskom sustavu*, Energetski institut Hrvoje Požar, Institut za elektroprivredu i energetiku, Končar institut za elektrotehniku, Zagreb, lipanj 2011.
- [3] *Mrežni kodeks*, NOS BiH, Sarajevo, maj 2011.
- [4] *Identifikacija nedozvoljenih napona na prenosnoj mreži BiH*, Elaborat, NOS BiH, oktobar 2010.
- [5] [http://www.derk.ba/DocumentsPDFs/Osnovni%20podaci\\_o\\_prijenosnom\\_sistemu\\_b.pdf](http://www.derk.ba/DocumentsPDFs/Osnovni%20podaci_o_prijenosnom_sistemu_b.pdf), web stranica DERK s podacima o prijenosnoj mreži
- [6] *Tehno-ekonomska analiza integracije VE u elektroenergetski sustav na području djelovanja JP Elektroprivreda HZHB Mostar*, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, studeni 2011.
- [7] *Indikacioni plan razvoja proizvodnje 2012. – 2021.*, NOS BiH, juni 2011.
- [8] *Nacrt plana razvoja prenosne mreže za period 2011. – 2020.*, Elektroprijenos BiH, novembar 2010.
- [9] *Indikacioni srednjoročni plan razvoja hrvatske prijenosne mreže*, HEP OPS, prosinac 2011.
- [10] *Regulacija napona i kompenzacija jalove snage u elektroenergetskom sustavu*, Energetski institut Hrvoje Požar, studija za HEP OPS, veljača 2009.
- [11] *Uklapanje TE Stanari u EES Bosne i Hercegovine*, EKC, studija za EFT Rudnik i TE Stanari, jul 2008.
- [12] *Priključenje bloka 7 TE Tuzla na EES Bosne i Hercegovine*, EKC, studija za ESOTECH, oktobar 2009.
- [13] *Tehničko rješenje priključka bloka 8 TE Kakanj na prenosnu mrežu 400 kV*, EKC, studija za IBE, oktobar 2009.
- [14] *Asinkroni start agregata CHE "Čapljina" u stvarnim uvjetima elektroenergetskih sustava Bosne i Hercegovine i Hrvatske*, N. Rusanov, S. Vučina, M. Stojsavljević, D. Nemeć, časopis Energija br. 52, 2003.
- [15] *30 godina CHE Čapljina*, brošura, JP EP HZHB, 2009.
- [16] *Transients Due to Switching of 400 kV Shunt Reactor*, I. Uglesić i grupa autora, IPST Conference, Rio de Janeiro, 2001
- [17] *Benefits of SVC and STATCOM for Electric Utility Application*, M. Noroozian, C.W. Taylor, članak za IEEE
- [18] *FACTS – Solutions and case studies*, ABB Review, 2/2003
- [19] *SVC modelling in power systems*, M. Noroozian, ABB
- [20] *FACTS – powerful systems for flexible power transmission*, R. Grunbaum, M. Noroozian, B. Thorvaldsson, ABB Power Systems
- [21] *Odluka o određivanju tarifa za pomoćne usluge*, DERK, Službeni glasnik BiH broj 35/10, 2010.

