



Marko Lovrić, dipl. ing.
HEP - Dispečerski centar Split
Mr. sc. Ranko Goić, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje – Split
Dr. sc. Mislav Majstović, dipl. ing.
Energetski institut "Hrvoje Požar" Zagreb

39-13

PROBLEMATIKA PREVISOKIH NAPONA U PRIJENOSNOJ MREŽI DALMACIJE

SAŽETAK

Jedan od glavnih faktora koji utječu na kvalitetu opskrbe električne energije i uredan rad elektroenergetskog sustava je održavanje napona u dozvoljenim granicama. U ovom radu prezentirana je problematika visokih napona u dijelu sadašnje prijenosne mreže Hrvatske elektroprivrede (južni krak). Dani su osnovni parametri koji utječu na naponske prilike, kao i mogućnosti rješavanja problema regulacije napona i jalove snage za sadašnje stanje mreže. Također je dan i prikaz okvirne analize stanja u prijenosnoj mreži za predstojeće promjene koje se očekuju u mreži.

Ključne riječi: regulacija napona, jalove snage, prijenosna mreža

THE PROBLEM OF HIGH VOLTAGE IN DALMATIA TRANSMISSION NETWORK

ABSTRACT

One of the main factors determining on the quality of the electric energy supply and accurate work of power system is the keeping of voltages in permissible limits. This work presents the problem of high voltages in the part of present high voltage network of Croatian power system (south part). The basic parameters influencing on voltage conditions are given, as well as the possibility of solving the problems of voltage and reactive power control for present state of network. Also, the results of an approximate analysis of state in the network with expecting forthcoming changes are given.

Key words: voltage control, reactive power, transmission network

1. UVOD

Problem regulacije tokova jalovih snaga odnosno napona u 400 i 220 kV-tnoj mreži Hrvatske elektroprivrede problem je koji neopravdano čeka na rješavanje već dugi niz godina. S obzirom na relativno veliku izgrađenost mreže u odnosu na nivo potrošnje i tranzita, najveći problem predstavljaju previsoki naponi u 400 i 220 kV-tnoj mreži koji se javljaju za vrijeme malih opterećenja u sustavu. Pri sadašnjem stanju mreže i potrošnje, te mogućnostima regulacije, teoretski i praktički je nemoguće održavati napone u tehnički dozvoljenim granicama. Dakle, stanje je takvo da elektrane vrlo često moraju raditi u kapacitivnom području (posebno RHE Velebit), što uzrokuje čiste ekonomske gubitke, skraćuje se životna dob elektrane, a osnovni problem još uvijek nije riješen, budući da uveliko ovisi o raspoloživosti

elektrana, te o mogućnosti njihova angažiranja s obzirom na odgovarajuće tehničke mogućnosti. Rješavanje problema regulacije napona nije moguće kvalitetno izvesti s trenutno raspoloživim sredstvima u mreži (elektrane, regulacijski transformatori, isključivanje slabo opterećenih vodova i sl.), već je uz kvalitetniju primjenu tih mjera potrebno osigurati i dodatne načine, prvenstveno ugradnja kompenzacijskih uređaja na 400 kV-tnom (eventualno 220 kV-tnom) naponskom nivou.

2. ODNOS NAPONA I JALOVE SNAGE

Radna snaga (P), jalova snaga (Q), iznos napona (V) i kut napona (Θ) čvorišta su međusobno zavisne veličine povezane jednačinom

$$F(P, Q, V, \Theta) = 0 \quad (1)$$

Iz ove jednačine slijedi da je promjena iznosa (ΔV) i kuta ($\Delta \Theta$) napona u funkciji promjene radne (ΔP) i jalove (ΔQ) snage čvorišta.

$$\begin{bmatrix} \Delta \Theta \\ \Delta V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \quad (2)$$

gdje je

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial \Theta} & \frac{\partial P}{\partial V} \\ \frac{\partial Q}{\partial \Theta} & \frac{\partial Q}{\partial V} \end{bmatrix}^{-1} \quad (3)$$

Slijedi da je promjena iznosa napona u funkciji promjene radne i jalove snage čvorišta.

$$\Delta V = C \cdot \Delta P + D \cdot \Delta Q \quad (4)$$

Radna snaga čvorišta određena je uvjetima opterećenja i ona se ne može mijenjati da bi se ostvarila određena promjena napona. Ona se može postići promjenom jalove snage. Zbog toga je od primarne važnosti za analizu naponskih prilika u mreži koeficijent $\partial Q/\partial V$, koji daje na neki način spoznaju o veličini promjene jalove snage koju je potrebno proizvesti u nekom čvorištu mreže da bi se postigla određena promjena napona. Drugim riječima, na osnovu ovog koeficijenta može se zaključiti o korisnosti koju predstavlja regulacija napona promjenom jalove snage u nekom čvorištu mreže.

Simulirajući promjenu jalove snage (uključenjem i isključenjem fiktivnih prigušnica) za uklopno stanje prijenosne mreže u studenom 1998. godine pomoću programskog paketa TOKSwin, određeni su koeficijenti $\partial Q/\partial U$ za neka čvorišta koja su locirana na južnom kraku 400 kV-tne mreže. Vrijednosti ovih koeficijenata dani su slijedećoj tabeli:

Tablica 2: Koeficijenti $\partial Q/\partial U$

Ime čvorišta	Nazivni napon (kV)	$\partial Q/\partial U$ (MVar/kV) [D (kV/MVar)]
TS Konjsko	400	1/14.7
RHE Velebit	400	1/12.5
TS Meline	400	1/22.7

Koeficijenti se mogu interpretirati na slijedeći način: npr. promjenom jalove snage +/- 12.5 MVar u 400 kV čvorištu RHE Velebit može se promijeniti na njemu napon za +/- 1 kV. Na taj način ovaj koeficijent daje mjeru korisnosti koju predstavlja regulacija napona promjenom jalove snage u čvorištu RHE Velebit. Također možemo reći da je ovaj dio prijenosne mreže veoma male čvrstoće što se reflektira sa velikim varijacijama napona.

3. NAPONSKE PRILIKE I MOGUĆNOSTI REGULACIJE U PRIJENOSNOM PODRUČJU SPLIT

Nakon puštanja u pogon južne dionice prstena "Nikola Tesla" 400 kV mreže bivše Jugoslavije susrećemo se prečesto sa problemom povišenih napona u čvorištima Meline, Velebit, Konjsko i Mostar. Povišeni naponi u 400 kV-tnoj mreži prenose se preko transformatora u 220, 110 i 35 kV-tnu mrežu. Osnovni parametri južne dionice prethodno pomenutog prstena dani su u slijedećoj tabeli.

Tablica 1: Osnovni parametri 400 kV-tnih vodova na potezu Meline - Mostar

Vod	Un (kV)	l (km)	R1 (Ω/km)	X1 (Ω/km)	B1(μS/km)
Meline-Obrovac	400	180.6	0.0316	0.3263	3.521
Meline-Tumbri		127.0			
Obrovac-Konjsko		101.0			
Konjsko-Mostar *		110.6			
Mostar-Gacko **		69.3			
Mostar-Sarajevo **		96.4			

* trenutno pod naponom 220 kV

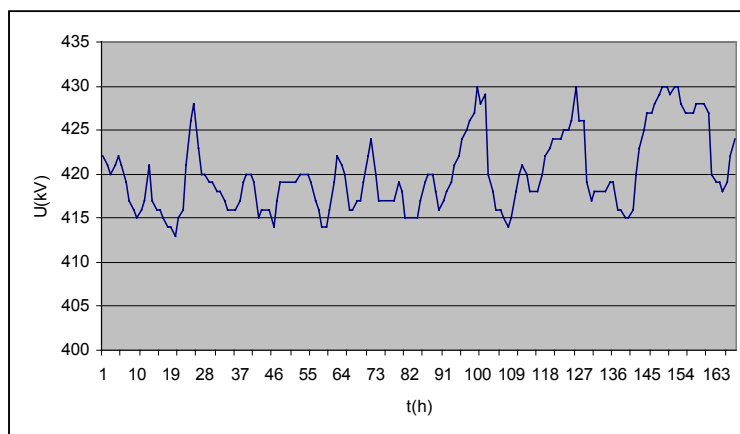
** van pogona

Za pogon elektroenergetskog sustava od velikog je značaja proizvodnja i potrošnja jalove snage voda. U praznom hodu vod 400 kV proizvodi na 100 km dužine i kod 400 kV napona jalovu snagu $Q_c = 57.6$ MVar. Za vrijeme velikog opterećenja ovog voda ova proizvodnja jalove snage kompenzira jalove gubitke u dalekovodu i u izvjesnim slučajevima podmiruje jedan dio potreba jalove snage potrošača. Prirodna impendacija ovog voda je $Z_p = 305 \Omega$ iz čega proizlazi prirodna snaga voda $P_p = 524$ MW kod 400 kV napona. Vod se do opterećenja radnom snagom do prirodne snage ponaša kao izvor jalove snage, a iznad toga opterećenja kao potrošač jalove snage. Budući da je 400 kV-tna mreža najčešće opterećena s daleko manjom snagom od prirodne, navedeni 400 kV-tni vodovi veći dio godine generiraju značajne količine jalove snage. Također i vodovi 220 kV i 110 kV u prijenosnoj mreži su većinom opterećeni ispod prirodne snage (123 MW odnosno 32 MW), tako da i oni proizvode određenu jalovu snagu koja podiže napone u mreži.

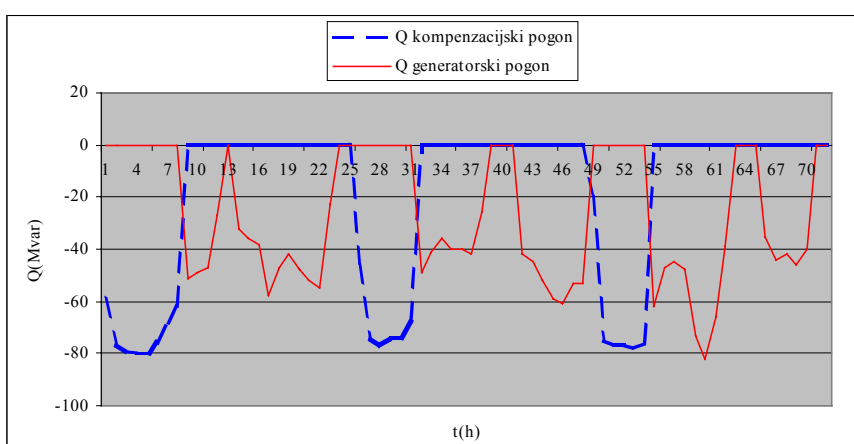
Čvorišta RHE Velebit, Konjsko i Mostar imaju većim dijelom godine povišene napone (400-420 kV i 231-244 kV). Ponekad se u noćnim satima i za vrijeme neradnih dana (nedjelja, blagdan) javljaju ekstremno visoke vrijednosti (420-440 kV i 244-260 kV).

Napon u visokonaponskoj mreži ovisi pored ostalog i o položaju regulacione preklopke na transformatorima. Položaj regulacijske preklopke na transformatorima u TS Konjsko u razdoblju od uključenja 400 kV dalekovoda Konjsko-Velebit-Meline 21.12.1995. godine do 3.12.1998. godine bili na poziciji br.3 (380/231 kV), te su naponi u gornjoj ekstremnoj zoni bili više izraženi u 220 kV-tnoj mreži po satima trajanja. Vrijeme trajanja ekstremno visokih napona tijekom godine, za koje se obično kaže da su privremena, je kod 400 kV naponskog nivoa iznosilo oko 10% , a kod 220 kV oko 30%. Prebacivanjem regulacijske preklopke u drugi položaj dana 3.12.1998. godine (400/231 kV) snizili su se naponi u 220 kV mreži, a povećali u 400 kV mreži, što je imalo za posljedicu još veću proizvodnju jalove snage u prijenosnoj mreži.

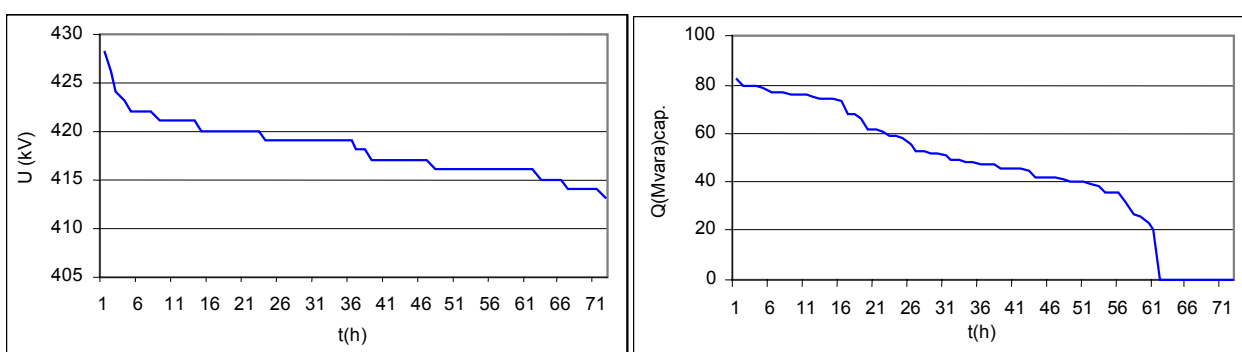
Na slici br. 1 prikazane su naponske prilike na 400 kV-tnim sabirnicama RHE Velebit tijekom jednog tjedna u siječnju 1999., dok je na slici br. 2 prikazano generiranje kapacitivne jalove snage RHE Velebit u istom periodu (za prva tri dana). Na slici br. 3 i 4 dane su krivulje trajanja napona i proizvodnje jalove snage za tri dana u RHE Velebit.



Slika 1: Naponi na 400 kV-tnim sabirnicama RHE Velebit u periodu 18. siječnja – 24. siječnja 1999.



Slika 2: Proizvodnja jalove snage RHE Velebit 18., 19. i 20. siječnja 1999.



Slika 3: Krivulje trajanja napona i proizvodnje jalove snage RHE Velebit za period 18-20 siječnja 1999.

Osnovni princip pri regulaciji napona i jalove snage sastoji se u tome da se ova regulacija u velikim elektroenergetskim sustavima vrši decentralizirano tj. posebno po pojedinim područjima elektroenergetskog sustava. Temeljni zadatak regulacije napona i jalovih snaga u normalnom (stacionarnom) pogonu je održavanje napona u svim čvorištima elektroenergetskog sustava kroz održavanje jednakosti između proizvodnje i potrošnje jalove snage (energije) uključujući i gubitke. Radni gubici snage (energije) ovisni su o struji, te je tom smislu svaki prijenos jalove snage nepovoljan. Radi toga se djelatni gubici u prijenosu mogu smanjiti prikladnim rasporedom tokova jalovih snaga, a što doprinosi ekonomičnosti i raspoloživosti rada elektroenergetskog sustava (EES-a).

Kod vođenja EES-a cilj je da se napon u bilo kojem čvorištu bez obzira na njegovu razinu, održava u granicama bliskim njegovoj nazivnoj vrijednosti. Dakle, regulacija napona je u biti usmjerena na

proizvodnju, odnosno potrošnju i tokove jalove snage. Regulaciju napona nije neophodno vršiti u svakom čvorištu, već se za grupu čvorišta može izabrati jedno kontrolno čvorište u kome se vrši regulacija. Kao kontrolna čvorišta na području Dalmacije mogu se uzeti HE Zakučac, RHE Velebit i TS Konjsko.

Posebnu ulogu u smanjenju napona ima RHE Velebit sa svoja tri načina rada (turbinski, kompenzatorski i pumpni). Ona ima mogućnost preuzimanja viškova jalove snage iz prijenosne mreže. U turbinskom režimu RHE Obrovac radi uglavnom tokom dana, kada su naponi niži, dok se kompenzatorski režim koristi uglavnom noću kada su naponi previsoki. Tehničke karakteristike agregata omogućuju preuzimanje do 80 MVar jalove snage po agregatu, tako da se može sa jednim agregatom u pogonu smanjiti napon za 6.5 kV u čvorištu RHE Velebit. Sadašnje naponske prilike u prijenosnoj mreži zahtijevaju od ove elektrane značajno angažiranje u kompenzatorskom režimu (1200-1500 sati godišnje po agregatu). Ovakav način rada za agregate veoma je nepovoljan i izaziva godišnje gubitke električne energije od 7.2 do 9.0 GWh u elektroenergetskom sustavu.

HE Orlovac i HE Zakučac mogu pridonijeti regulaciji napona i tokova jalovih snaga. Svaki agregat u HE Orlovac kod nominalnog opterećenja i u stanju poduzbude može iz mreže 220 kV uzeti 20 MVar jalove snage, a kod minimalnog opterećenja 45 MVar. Kako je ova elektrana radijalno spojena na TS Konjsko odmah se vidi njena mogućnost u regulaciji napona i jalove snage. Nevolja je u tome što se agregati HE Orlovac angažiraju kada su naponi niži, a ne noću kada su naponi previsoki. Zbog toga se do sada nisu znatnije koristile mogućnosti ove elektrane u regulaciji napona.

Analizirajući pogonske karte agregata HE Zakučac uočava se da postoji mogućnost regulacije napona i jalove snage. Stari agregati mogu kod nominalnog opterećenja preuzeti iz mreže 40 MVar, a novi 65 MVar. Tijekom noći kada su naponi previsoki, obično se angažira samo jedan agregat u HE Zakučac, koji djelimično može pripomoći u smanjenju napona u mreži.

Jedna od mjera za sniženje napona u prijenosnoj mreži može biti isključivanje DV 400 kV i 220 kV. Iskapčanjem DV 400 kV Obrovac-Meline eliminira se proizvodnja oko 105 MVar. Ova mjera koristi se samo u slučaju kada naponi poprimo ekstremno visoke vrijednosti. Negativne posljedice ovog zahvata su smanjenje sigurnosti rada elektroenergetskog sustava, jer se kida najčvršća veza između sjeverozapadnog i južnog dijela elektroenergetskog sustava, te maltretiranje prekidača u RHE Velebit i TS Meline. Osim ovog voda često se isključuju vodovi 2 X 220 kV Konjsko-Orlovac i 2 X 220 kV Mostar-Čapljina. Kod nominalnog napona prvi generira 12 MVar, a drugi 15 MVar.

Regulacijom napona promjenom prijenosnog omjera transformatora u prijenosnom području Split mogu se, uz regulaciju jalovom snagom koju osiguravaju elektrane na 110 kV-tnom nivou, osigurati dosta povoljne naponske prilike na 110 kV-tnom nivou tijekom cijele godine, dok se promjenom prijenosnog omjera transformatora 400/220 kV može djelomično utjecati na promjenu naponskih prilika u 220 i 400 kV-tnoj mreži (prelijevanjem jalove snage poboljšavaju se prilike u jednom naponskom nivou, ali pogoršavaju u drugom).

4. PREDSTOJEĆE PROMJENE U MREŽI I DODATNE MOGUĆNOSTI REGULACIJE

Iz iznesenog u prethodnom poglavlju, jasno je vidljivo zašto je situacija s regulacijom napona u Prijenosnom području Split loša, prvenstveno u pogledu previsokih napona. Mogućnosti regulacije jalove snage, s obzirom na potrošnju i izgrađenost mreže je trenutno vrlo loša, a moguće je očekivati i lošiju situaciju, prvenstveno u slučaju stavljanja DV Konjsko – Mostar pod napon 400 kV, te puštanja u pogon DV 400 kV Mostar – Gacko i Mostar – Sarajevo.

4.1 Korištenje PHE Čapljina u kompenzatorskom radu

Normalizacijom odnosa na prostorima bivše Jugoslavije, među ostalim, doći će i do uspostave mreže 400 kV. Južni krak 400 kV mreže HEP-a bit će tada dio ove mreže. To podrazumjeva uključivanje DV 400 kV Konjsko-Mostar pod napon 400 kV, Mostar – Sarajevo – Tuzla – Ugljevik - Ernestinovo i Mostar – Gacko - Trebinje. Uključivanjem ovih dionica 400 kV mreže problem održavanja iznosa napona u prihvatljivim granicama biti će još teži, jer one generiraju velike količine jalove snage koja se neće moći absorbirati od strane potrošača niti od strane mreže budući da se ne očekuje da će njima teći veliki iznosi radnih snaga. Analiza tokova snaga i napona u prijenosnoj mreži za sadašnji nivo opterećenja pokazuje da bi sada bilo teško provedivo uključivanje gore navedenih dionica jer bi naponi u prijenosnoj mreži bili još viši i skoro stalno u ekstremno visokim zonama. Da bi se ovaj problem rješio bilo bi potrebno angažiranje PHE Čapljina u kompenzatorskom radu. Iskustva u pogonu 400 kV-tne mreže na prostoru bivše Jugoslavije pokazuju da se PHE Čapljina nikada nije koristila u kompenzatorskom radu unatoč izraženim potrebama. Njeni agregati imaju neusporedivo bolje karakteristike od agregata RHE Velebit (mogu

preuzimati i do 160 MVar u kompenzatorskom radu). Razlog tome je nemogućnost postizanja dogovora oko novčane kompenzacije za takav rad na nivou elektroprivreda republika bivše Jugoslavije. Zbog toga bi prije početka stavljanja u pogon spomenutih dionica trebalo detaljno analizirati mogućnosti rada PHE Čapljine u kompenzatorskom režimu i na osnovu tih analiza napraviti sporazum o međusobnim obavezama zainteresiranih elektroprivreda.

4.2 Ugradnja prigušnice na 400 kV-tnom naponskom nivou

Primjena paralelno priključenih prigušnica već dugi niz godina aktualna je u svim elektroenergetskim sustavima koji imaju slabo opterećene duge vodove visokog napona. Za EES Hrvatske, prema svojoj topologiji, izgrađenosti, opterećenosti i mogućnostima regulacije nužna je ugradnja odgovarajućih kompenzacijskih uređaja koji će poslužiti za kvalitetniju regulaciju tokova jalovih snaga i naponskih prilika. Ugradnjom prigušnice direktno na 400 kV-tne sabirnice TS Konjsko ili RHE Velebit preko vlastitog polja i uključivanjem u EES u trenucima niskih opterećenja smanjio bi se iznos napona na prihvatljive vrijednosti, a regulacija iznosa napona i jalove snage bila bi mnogo efikasnija u odnosu na sada korištene mjere. Time bi se eliminirale sve negativne posljedice koje proizilaze iz rada agregata RHE Velebit u kompenzatorskom pogonu, HE Zakučac u poduzbuđenom stanju, te isključivanja dalekovoda Obrovac-Meline. Daljnim istraživanjima definirala bi se nazivna snaga ovih prigušnica (za sadašnju mrežu, okvirne analize pokazuje snagu od 100 - 150 MVar).

4.3 Uloga izgradnje nove TE na regulaciju napona

Razne varijante izgradnje proizvodnih objekata Hrvatske elektroprivrede obuhvataju i izgradnju jedne termoelektrane (na plin ili ugljen) u Južnoj Hrvatskoj koja bi se priključila na 400 kV-tnu mrežu. Ova mreža bila bi pojačana u najmanju ruku jednim novim dvostrukim 400 kV-tnim vodom koji bi povezivao rasklopište termoelektrane sa trafostanicama na području Zagreba. Kratka analiza naponskih prilika i tokova snaga u prijenosnoj mreži (mreža 2003. godine), uz pretpostavku da će nova termoelektrana biti locirana na području Obrovca, pokazuje da bi generatori trebali imati $\cos \varphi = 0.9$ tako da kod nominalnog opterećenja mogu preuzimati iz mreže u poduzbuđenom stanju i do 150 MVar kako bi se naponi u prijenosnoj mreži mogli održavati unutar dozvoljenih granica. Detaljna studija tokova snaga i napona, te dinamičke stabilnosti dati će uvjete koji moraju ispunjavati agregati ove nove termoelektrane (ukoliko se donese odluka o izgradnji) da bi se priključila na prijenosnu mrežu. Budući da se bi takva termoelektrana, bez obzira na lokaciju i gorivo, bila temeljna elektrana, s predviđenim brojem sati svakog agregata u trajanju preko 6000 sati godišnje, nameće se zaključak da bi se izgradnjom i pogonom te nove termoelektrane mogao dobrim dijelom riješiti problem visokih napona i regulacije jalove snage u prijenosnoj mreži, a time i omogućiti uredan rad EES-a Hrvatske.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu prezentiran je problem visokih napona u dijelu sadašnje prijenosne mreže Hrvatske elektroprivrede (južni krak) sa ciljem da izazove pažnju stručnjaka u Hrvatskoj elektroprivredi kako bi se došlo do kvalitetnog rješenja. Ovaj problem povezan je i s drugim problemima vezanim za eksploataciju elektroenergetskog sustava (gubici električne energije, tarife i dr.). Ovdje nije spomenut utjecaj povišenog napona na skraćenje životne dobi izolacije elektroenergetske opreme (opada sa trećom potencijom). Također, u vođenju elektroenergetskog sustava, održavanje napona u dozvoljenim granicama u uvjetima povećanja mnogobrojnih zadataka predstavlja sve veće opterećenja za dežurne dispečere. Zbog toga treba razmišljati o uvođenju sekundarne regulacije po principima suvremenih rješenja tzv. dinamičke kompenzacije napona čime bi se automatski i optimalno održavali naponi u dozvoljenim granicama što bi imalo za posljedicu smanjenje gubitaka u prijenosnoj mreži, povećali kapaciteti prijenosne mreže bez dodatnih investicija, poboljšala sigurnost, bitno poboljšala dinamička stabilnost EES-a, te rasteretili dispečeri od mnogobrojnih ponavljajućih zadataka.

Na kraju, umjesto niza konstatacija, nameće se zaključak da je u organizaciji Hrvatske elektroprivrede potrebno formirati skup stručnjaka-eksperata iz elektroprivrede, znanstvenih ustanova i instituta koji bi trebali usuglasiti potrebne mjere i dinamiku rada na iznesenoj problematici kako bi se problem regulacije napona i jalovih snaga počeo kvalitetno i sustavno rješavati.

LITERATURA:

- [1] M. Ožegović, K. Ožegović: Električne mreže I,II,III, skripta, FESB Split, 1988.
- [2] Analiza i načini rješavanja kompenzacije reaktivne snage na lokaciji RHE "Velebit", studija, EI "Hrvoje Požar", siječanj 1999.
- [3] Programski paket TOKSwin, FRACTAL d.o.o. Split
- [4] Pogonski podaci CDU Vrboran, DC Split

PITANJA ZA DISKUSIJU:

- Mogućnosti kvalitetnije regulacije napona prijenosnim omjerima transformatora
- Pitanje sustavnog rješavanja problema regulacije napona i tokova jalove snage u prijenosnoj mreži Hrvatske
- Utjecaj novih interkonekcija i obnova 400 kV-tne mreže na naponske prilike