



R C2 04

SEKUNDARNA REGULACIJA NAPONA U EES SRBIJE: ANALIZA, MOGUĆA REŠENJA I REZULTATI SIMULACIJA NAD OSTVARENIM STANJIMA

**NIKOLA GEORGIJEVIĆ*, BORIJANA FILIPOVIĆ, JASNA DRAGOSAVAC,
ŽARKO JANDA
INSTITUT NIKOLA TESLA
PETAR PETROVIĆ
EMS AD**

BEOGRAD

SRBIJA

Kratak sadržaj — U ovom radu ispitani su doprinosi različitih izvedbi sekundarne regulacije napona u EES Srbije ukupnom smanjenju gubitaka u sistemu što ima za posledicu smanjenu emisiju CO₂ i pozitivne ekonomske efekte koji su analizirani. Za potrebe analize korišćen je realni model prenosne mreže Srbije i analiziran je period od 48h u okolini dva ključna režima: prolećnog minimuma i zimskog maksimuma potrošnje 2015. godine. Obraden je uticaj na kvalitet električne energije sa aspekta naponskih prilika, kao i uticaj na gubitke u prenosnoj mreži. Rezultati su dati uporedo sa merenjima iz realnog sistema.

Ključne reči — naponske prilike, reaktivna snaga, gubici, sinhroni generator, sekundarna regulacija napona

1. UVOD

U EES Srbije, svi generatori su opremljeni sa automatskim regulatorom pobude koji upravlja naponom/strujom pobude tako da eliminiše neočekivane fluktuacije napona. U literaturi, ova vrsta regulacije se često naziva i primarna regulacija napona [1], [2]. Primarna regulacija napona je kompletno automatizovana, ali zbog složenosti problematike regulacije napona i lokalne karakteristike naponsko-reaktivnih prilika nije u stanju da se adekvatno prilagodi velikim promenama u sistemu. U slučaju velikih promena, operatori u centrima upravljanja moraju modifikovati reference lokalnih regulatora pobudinih sistema sa ciljem da se postignu zadovoljavajuće naponske prilike i/ili optimizuju gubici aktivne snage u mreži. U [1], ovo

* Koste Glavinića 8a, nikola.georgijevic@ieent.org

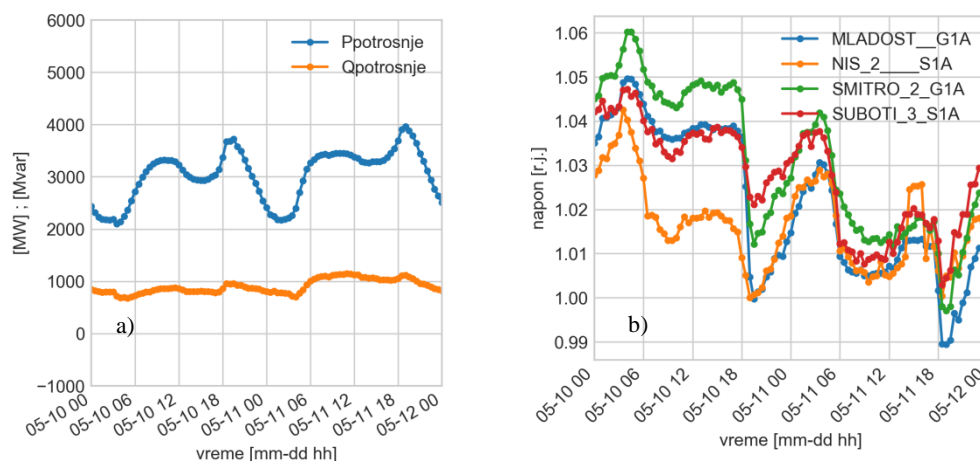
dodatno regulaciono dejstvo se naziva sekundarna regulacija napona. Povrh ove dve konture, moguće je uvođenje i trećeg nivoa regulacije napona sa ciljem preraspodele reaktivnih injektiranja generatora u okviru sistema, uzimajući u obzir sigurnosne i ekonomske aspekte. Prema [2], ova treća kontura je poznata kao hijerarhijska regulacija napona koja se primenjuje u nekoliko evropskih zemalja dugi niz godina [3]–[5]. Tema ovog rada je ispitivanje mogućnosti i efekata rada hijerarhijske regulacije napona iz [3] u EES Srbije, a podloge su zasnovane na rezultatima radova [6], [7].

Za potrebe ovog rada, kao i u [6], analiziran je matematički model prenosne mreže EES Srbije koji obuhvata naponske nivoe 110 kV, 220 kV i 400 kV, ali i generatore sa uvažanim ograničenjima po pogonskim kartama i uvaženom sopstvenom potrošnjom. Simulacije su izvršene na periodima od oko 48h oko dva različita režima – prolećnog minimuma 2015. godine i zimskog maksimuma 2015. godine. Na analiziranim periodima izvršeno je dispečovanje proizvodnje, skaliranje potrošnje i razmena aktivne snage prema podacima iz SCADA sistema.

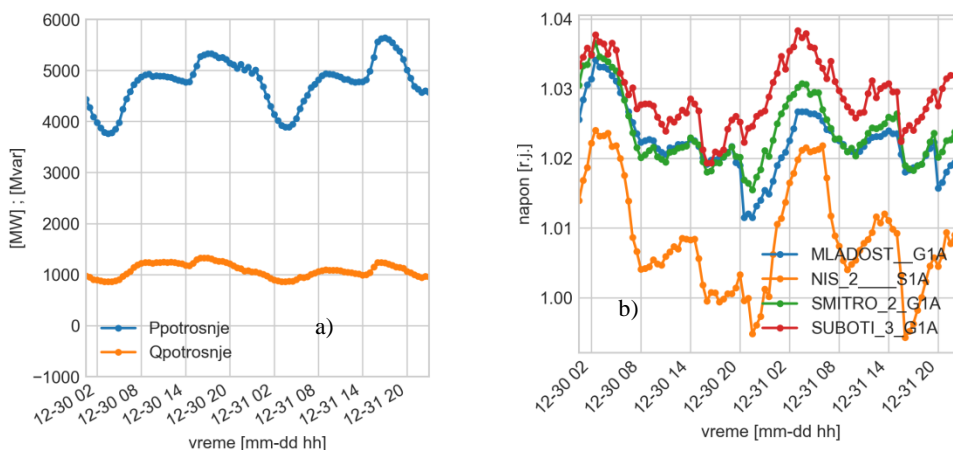
Ovaj rad je podeljen u 5 poglavlja. Posle uvoda, u poglavlju 2 predstavljene su režimi koji su se koristili za analize. Trenutna praksa koja se sprovodi prilikom upravljanja naponskim prilikama je opisana u poglavlju 3, dok su mogućnosti hijerarhijske sekundarne regulacije napona ispitane u poglavlju 4. Zaključne napomene date su u poglavlju 5.

2. ANALIZIRANI REŽIMI

Prvi analizirani period počinje u trenutku prolećnog minimuma 10.05.2015. 5:30. Na Sl. 1a) prikazane su ostvarene vrednosti ukupne potrošnje na osnovu podataka preuzetih iz SRAMD baze. Na Sl. 1b) prikazane su vrednosti napona u karakterističnim čvorovima prenosne mreže Srbije. Ovde je važno napomenuti da u analiziranom trenutku nije bio u funkciji DV Vranje – Štip. Na Sl. 2a) i Sl. 2b) prikazane su iste veličine, ali u okolini zimskog maksimuma (31. 12. 2015. 17:45). Ukupna potrošnja u okolini prolećnog minimuma osciluje u opsegu 2 GW – 4 GW, dok su izmerene dnevne oscilacije napona u RP Mladost u opsegu 404 kV - 424 kV. U okolini zimskog maksimuma ove oscilacije su u opsegu od oko 3,5 GW - 5,5 GW za potrošnju, a oscilacije napona u RP Mladost su manje i nalaze se u opsegu 406 kV – 414 kV.



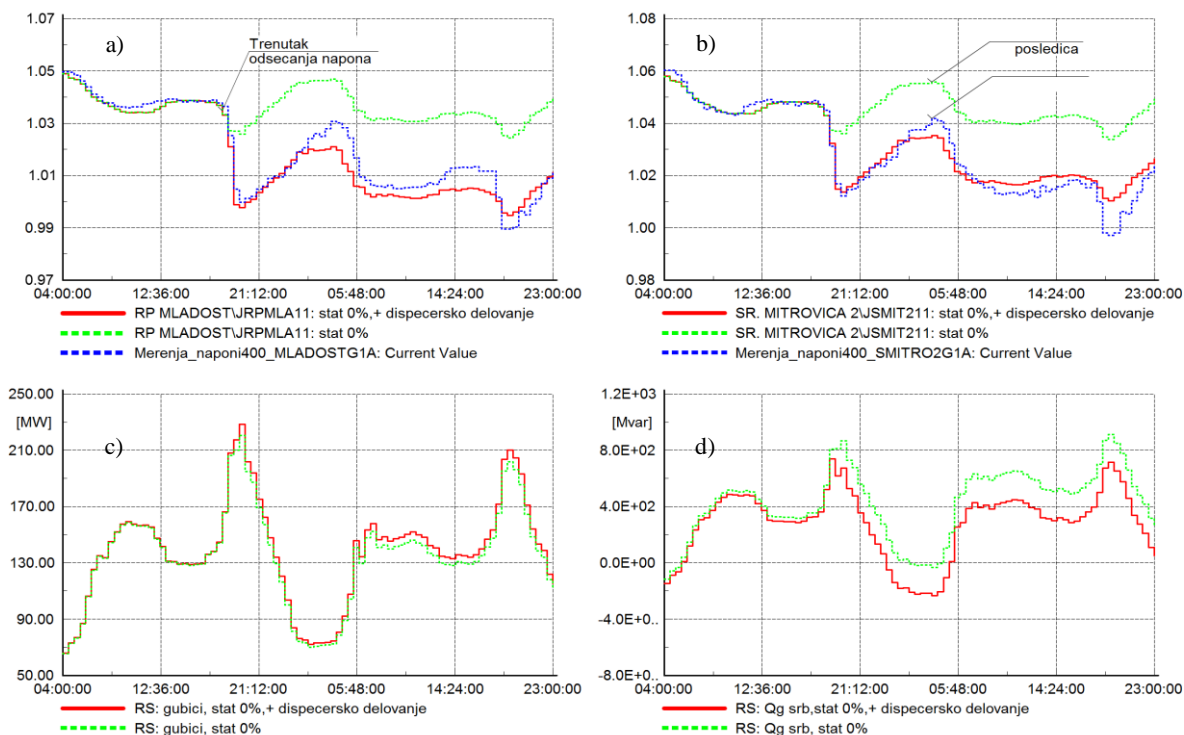
Sl. 1 – Ostvarene vrednosti ukupne potrošnje (a) i napona (b) u karakterističnim tačkama u EES Srbije u maju 2015. godine



Sl. 2 – Ostvarene vrednosti ukupne potrošnje (a) i napona (b) u karakterističnim tačkama u EES Srbije u decembru 2015. godine

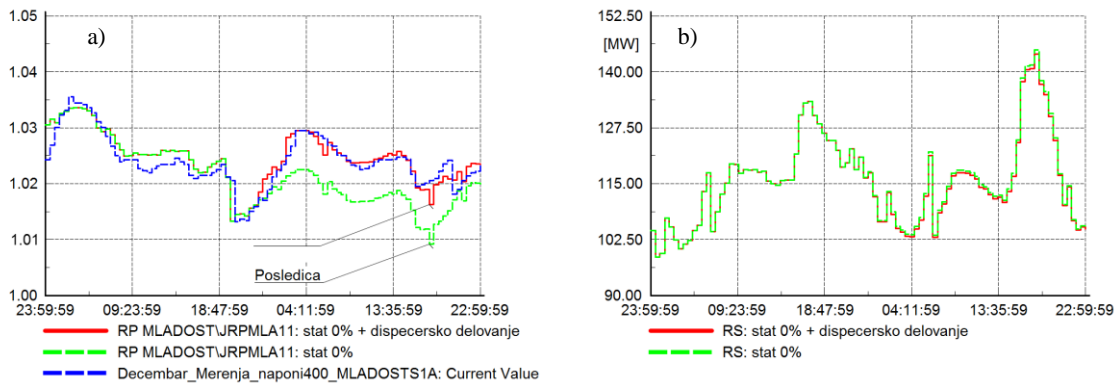
3. RUČNA SEKUNDARNA REGULACIJA NAPONA – UTICAJ DISPEČERSKIH AKCIJA

Uticaj dispečerskih akcija je najpre ilustrovan na primeru prolećnog minimuma. Na Sl. 3 prikazane su merene i simulirane vrednosti napona u RP Mladost (Sl. 3a) i S. Mitrovica 2 (Sl. 3b)). Plavom bojom prikazana je merena vrednost, a crvenom i zelenom bojom simulirane vrednosti sa i bez dispečerskog delovanja. U trenutku koji je naznačen kao "trenutak odsecanja napona", kao dispečersko delovanje simulirane su promene referenci napona na dole na generatorima TENT B1, A5 i A6. TENT B2 je u analiziranom periodu bio van pogona. U tom trenutku dolazi do snižavanja ukupnog generisanja reaktivne snage u EES Srbije (Sl. 3d) i povećanja gubitaka aktivne snage (Sl. 3c)). Pozitivne posledice odsecanja napona naznačene su na Sl. 3b) - delovanjem dispečera, naredni vrh napona u TS S. Mitrovica 2 je oboren ispod maksimalno dozvoljene vrednosti od 1,05 r.j.



Sl. 3 – Režim prolećnog minimuma: a,b) Simulirane i merene vrednosti napona u RP Mladost i S. Mitrovica 2. c) Gubici aktivne snage. d) Ukupno generisanje reaktivne snage na generatorima u EES Srbije.

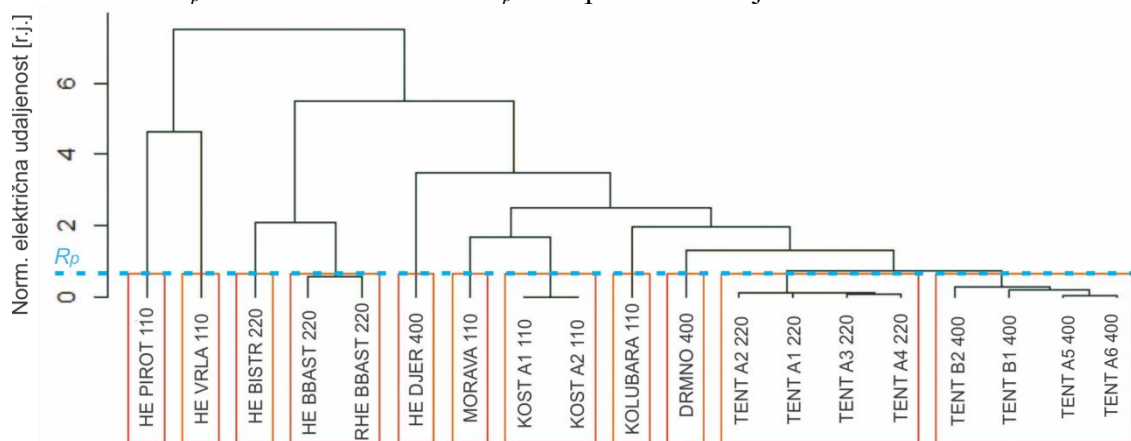
Na Sl. 4 Prikazani su rezultati za režim zimskog maksimuma. Razlika u odnosu na prolećni minimum je u tome što se u jutarnjim časovima vrši „zaletanje“ napona, što za posledicu ima porast naponskih prilika u EES Srbije (Sl. 4a) i smanjenje gubitaka (Sl. 4b)).



Sl. 4 – Režim zimskog maksimuma: a) Napon u RP Mladost. b) Gubici aktivne snage.

4. AUTOMATSKA HIJERARHIJSKA REGULACIJA NAPONA

Automatska regulacija napona daje prednosti u smislu sigurnosti, gubitaka i jednostavnosti rada sistema. Kvalitet napona se poboljšava jer se nakon bilo kakvog nepredviđenog događaja naponi prenosnog sistema brzo vraćaju na normalne vrednosti. Gubici se takođe smanjuju stalnim održavanjem ključnih napona sistema na, ili u blizini njihovih optimalnih vrednosti. [3]. U ovom radu analiziran je deo koncepta iz [3], prema kome je sistem podeljen na zone naponske regulacije. Po zonama su izabrane grupe generatora koje upravljaju naponima u prenosnoj mreži i određeni su čvorovi prenosne mreže (tačke u zoni) u kojima se upravlja naponom. U [3] je prikazano više metodologija za odabir zona, kontrolnih generatora i čvorova, među kojima je i primena određenog optimizacionog algoritma. U ovom radu, grupe generatora su odabrane prema rezultatima iz [7] gde je izvršeno hijerarhijsko klasterovanje čvorova (podela na zone) na osnovu normalizovane matrice električnih udaljenosti. U [7] je za svaku normalizovanu električnu udaljenost između dve tačke i i j , manju od predefinisane vrednosti R_p , tačka j stavljena u isti klaster (zonu) gde je i tačka i . Ovaj pristup je ilustrovan na Sl. 5, gde je R_p zapravo horizontalna linija, a zone čine sve tačke koje su spojene ispod prave na visini R_p . Odabirom vrednosti R_p se zapravo određuje veličina zone.



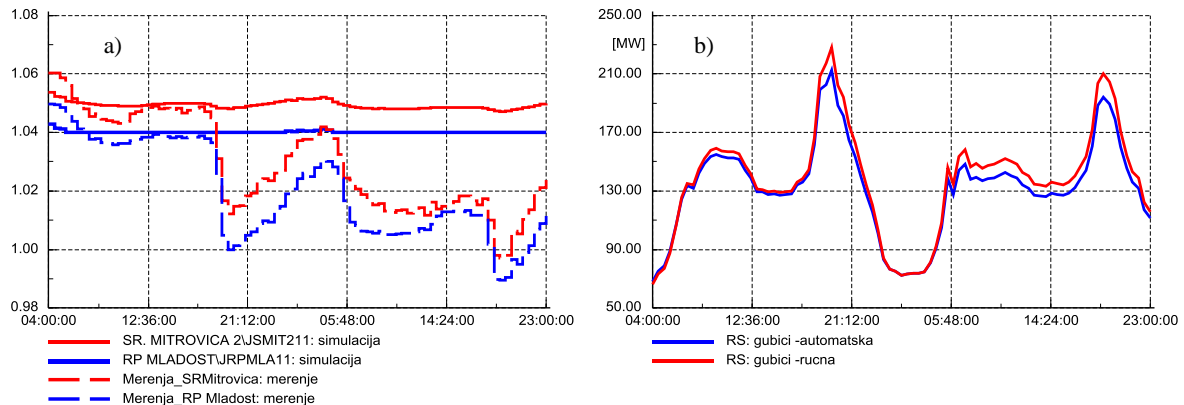
Sl. 5 - Grafički prikaz hijerarhijskog klasterovanja na osnovu normalizovane matrice električnih udaljenosti. Slika je preuzeta iz [7].

Dakle, zone regulacije napona i generatori koji pripadaju jednoj zoni određeni su na osnovu električnih udaljenosti. Električne udaljenosti su dobijene na osnovu analiza naponske

osetljivosti u odnosu na injektiranja reaktivnih snaga u određenim čvorovima EES Srbije. Više detalja o ovom pristupu dato je u [7].

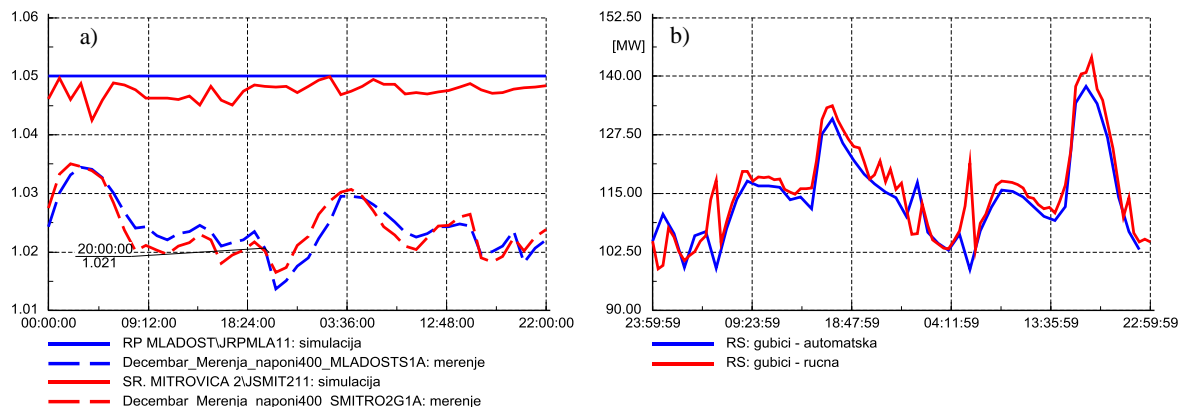
Sa druge strane, pilot čvorovi sa čijim naponom upravljaju generatori jedne zone određeni su na osnovu snage kratkog spoja – čvor sa najvećom snagom kratkog spoja jedne zone uzet je kao čvor sa čijim se naponom upravlja. Tako je, primera radi, za jednu zonu uzeta neposredna okolina agregata TENT B1, B2, A5 i A6, a za pilot čvor uzet je čvor RP Mladost.

Rezultati analiza za maj 2015. prikazani su na Sl. 6. Na Sl. 6a) dat je uporedni prikaz merenih i simuliranih vrednosti. Primećuje se da su dnevne oscilacije napona značajno manje u slučaju automatske regulacije napona u RP Mladost i da su vrednosti napona skoncentrisane oko maksimalno dozvoljenih vrednosti. Na Sl. 6b) prikazani su gubici, pri čemu se opažaju manje vrednosti gubitaka u slučaju automatske regulacije napona.



Sl. 6 – Režimi u okolini prolećnog minimuma: uporedni prikaz simuliranih i merenih vrednosti napona (a) i gubitaka (b) u slučaju automatske i ručne regulacije napona.

Slični rezultati efekti dobijaju se i u okolini zimskog maksimuma. Na Sl. 7a) prikazana je evolucija napona, a na slici Sl. 7b) evolucija gubitaka u slučajevima ručne i hijerarhijske regulacije napona. Razlika u odnosu na prolećni minimum je u tome što je napon u TS Sremska Mitrovica 2 niži od napona u RP Mladost. Zapravo, u režimima zimskog maksimuma, RP Mladost je tačka lokalnog maksimuma napona u toj zoni 400 kV mreže i generatori TENTB i TENA5 i A6 rade u induktivnom režimu.

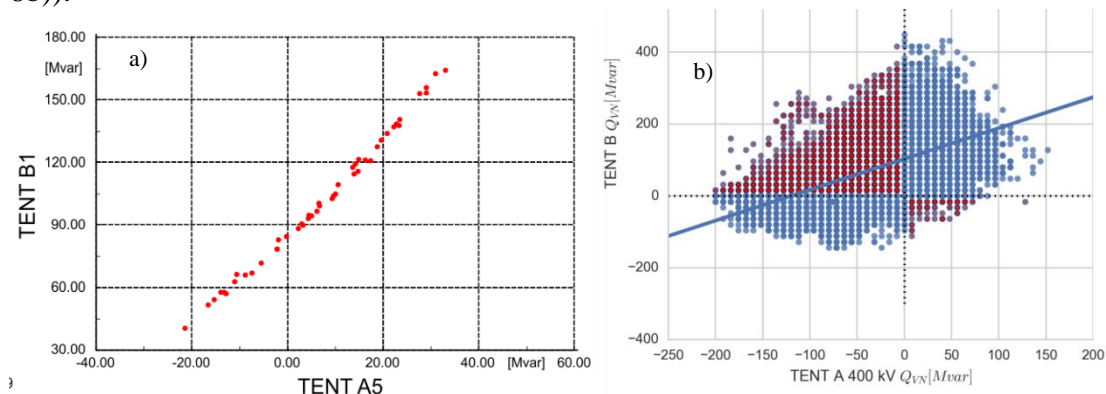


Sl. 7 – Režimi u okolini zimskog maksimuma: uporedni prikaz simuliranih i merenih vrednosti napona (a) i gubitaka (b) u slučaju automatske i ručne regulacije napona.

Na vremenskom intervalu koji je analiziran, prosečna razlika u gubicima električne energije u prenosnom sistemu koji su dobijeni simulacijama ručne i hijerarhijske regulacije napona napona iznosi 3,95 MW/h (2,2 MW/h za okolinu zimskog maksimuma i 5,7 za okolinu prolećnog minimuma). Ako se ovaj prosek uvaži na nivo cele godine (8760h) moguće uštede u gubicima su procenjene na oko 34,6 GWh, što je oko 1,73 miliona € (po ceni od 50€/MWh).

Moguće uštede u pogledu emisije CO₂ se procenjuju na 17,3 kilotona (za prosečnu emisiju CO₂ od 500 kg CO₂ / MWh).

Pored uticaja na prenosni sistem, zanimljivo je analizirati i uticaj rada hijerarhijske regulacije napona na dispečing reaktivnih snaga generatora. Na Sl. 8 prikazane su radne tačke dobijene simulacijom i radne tačke dobijene merenjima. Automatskom preraspodelom reaktivnih snaga maksimizuje se reaktivni opseg jedinica za podizanje i spuštanje napona, dok se ručnim upravljanjem dobijaju rezultati koji su više stohastični i povremeno se dolazi u situacije kada neke jedinice rade induktivno, a neke kapacitivno (tačke naznačene crvenom bojom na Sl. 8b)).



Sl. 8 –Dispečing reaktivnih snaga TENT B i TENT A. (a) Radne tačke dobijene simulacijom (b) Radne tačke dobijene na osnovu merenja. Sl. 8b) je preuzeta iz [7].

5. ZAKLJUČAK

Analizama sprovedenim u ovom radu analizirano je ručno upravljanje naponima u EES Srbije, kao i moguće automatsko, hijerarhijsko upravljanje naponima. Pokazano je da je sa automatskim upravljanjem naponima u određenim čvorovima moguće ukrutiti mrežu i smanjiti dnevne oscilacije napona. Pored ovoga, učvršćivanjem napona na visokim vrednostima, smanjuju se i gubici aktivne snage u EES. Na dva analizirana perioda, gde su analizirani samo spontani odzivi sistema (bez dispečerskog delovanja) prosečno smanjenje gubitaka po satu iznosilo je skoro 4MW/h. Za 8760 sati u godini i cenu gubitaka od oko 50 eur/MWh, ovo se može proceniti na oko 1,73 miliona € mogućih ušteda na godišnjem nivou i smanjenje emisija CO₂ u iznosu od 17 kilotona.

LITERATURA

- [1] M. Čalović, "Regulacija elektroenergetskih sistema; Tom 2 - Regulacija napona i reaktivnih snaga", Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, 1997.
- [2] E. Nobile, "A new scheme for voltage control in a competitive ancillary service market," in Proceedings of XIV PSCC Conference, 2002, no. June, pp. 24–28.
- [3] J. L. Sancha, J. L. Fernandez, A. Cortez i J.T. Abarca, "Secondary voltage control: analysis, solutions and simulation results for the Spanish transmission system" IEEE Trans. on Power System vol. 11, no. 2, 1996.
- [4] S. Corsi, P. Marannino, N. Losignore, G. Moreschini, and G. Piccini, "Coordination between the reactive power scheduling function and the hierarchical voltage control of the EHV enel system," IEEE Trans. Power Syst., vol. 10, no. 2, pp. 686–694, 1995.
- [5] J. P. Paul, J. Y. Leost, and J. M. Tesson, "Survey of the Secondary Voltage Control in France : Present Realization and Investigations," IEEE Trans. Power Syst., vol. 2, no. 2, pp. 505–511, 1987.

- [6] N. Georgijević, B. Filipović, A. Radovanović, P. Petrović, "Upravljanje naponsko reaktivnim prilikama u prenosnoj mreži Srbije i uticaj na gubitke aktivne snage ", 18. Simpozijum Upravljanje i telekomunikacije u elektroenergetskom sistemu, CIGRE Srbija, Zrenjanin, 2018.
- [7] M. Đorđević, A. Latinović, N. Lukić, N. Georgijević, S. Lukić, M- Dilparić "Analiza angažovanja sinhronih generatora i raspodele reaktivnog opterećenja među elektranama JP EPS," CIGRE Srbija, Zlatibor, 2017.

**SECONDARY VOLTAGE CONTROL IN SERBIAN POWER SYSTEM: ANALYSIS,
POSSIBLE SOLUTIONS AND SIMULATION RESULTS**

**NIKOLA GEORGIJEVIĆ¹, BORIJANA FILIPOVIĆ, JASNA DRAGOSAVAC,
ŽARKO JANDA
INSTITUT NIKOLA TESLA
PETAR PETROVIĆ
EMS AD**

BELGRADE

SERBIA

Abstract — This paper examines the contributions of various secondary voltage control regimes in Serbian power system to the total reduction of losses in the system, which results in reduced CO2 emissions and the positive economic effects. For the needs of the analysis, the real model of the transmission network of Serbia was used and the period of 48h was analyzed in the vicinity of two key regimes: spring minimum and winter maximum of consumption in the year 2015. The effect on the quality of electricity from the aspect of voltage conditions, as well as the impact on losses in the transmission network, has been analyzed. The results are given in parallel with measurements from the real system.

Key words— voltage, reactive power, active power loss, synchronous generator, secondary voltage control

¹ Koste Glavinića 8a, nikola.georgijevic@ieent.org