

## IZBOR NOMINALNOG FAKTORA SNAGE GENERATORA I KARAKTERISTIKA NJEGOVOG BLOK-TRANSFORMATORA SA ASPEKATA ZAHTEVA ELEKTROENERGETSKOG SISTEMA

Dragan P. Popović, Miloš Lj. Stojković

*Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd*

**Sadržaj:** Rad prikazuje relevantne metodološke i praktične aspekte izbora najpovoljnijih vrednosti za nominalni faktor snage generatora i najpovoljnijih karakteristika njegovog blok-transformatora. Predmet pažnje su nove hidroelektrane, čije se priključenje na mrežu Srbije planira na naponskom nivou 110 kV (HE Brodarevo, HE Ribarići, HE Svođe i HE Arilje). Takođe, predmet pažnje su i postojeće hidroelektrane, priključene na naponskim nivoima 110 kV i 35 kV, koje su predviđene za revitalizaciju (HE Zvornik, Vlasinske HE, Limske HE, HE Ovčar Banja i HE Međuvršje), za posmatrani vremenski period do 2020. godine.

**Ključne reči:** nominalni faktor snage, generator, blok-transformator, karakteristike

### 1. UVOD

Generalno gledano, kod izbora parametara sinhronih generatora, uz uvažavanje ekonomskih kriterijuma, neophodno je da se postigne razumni kompromis između cene njihovih konstrukcija, pogonskih troškova i kvaliteta plasirane električne energije u elektroenergetski sistem (EES), odnosno neophodno je da se uvažavaju i zahtevi koje neminovno nameće EES (tzv. sistemski zahtevi).

Dakle, u pitanju je jedan veoma složeni tehno-ekonomski problem. Poznato je da prisutni ekonomski i tehničko-tehnološki faktori uslovljavaju porast jediničnih snaga generatora, a time, po pravilu, i neminovno pogoršanje (sa aspekta EES-a) određenih parametara generatora. To je u prvom redu vezano za turbogeneratore. S druge strane, izbor nominalne snage hidrogenatora je u prvom redu determinisan karakteristikama energetskog izvora, pri čemu njegova konstrukcija ima u potpunosti individualni karakter, s obzirom da je ona uslovljena velikim brojem promenljivih faktora.

Jedna od aktivnosti na planu izbora najpovoljnijih vrednosti parametara generatora je izrada Studije [1], u kojoj su predmet pažnje bile su nove hidroelektrane, čije se priključenje na mrežu Srbije planira na naponskom nivou 110 kV (HE Brodarevo, HE Ribarići, HE Svođe i HE Arilje) [2]. Takođe, predmet pažnje bile su i postojeće hidroelektrane, priključene na naponskim nivoima 110 kV i 35 kV, koje su predviđene za revitalizaciju (HE Zvornik, Vlasinske HE, Limske HE, HE Ovčar Banja i HE Međuvršje) [3, 4], za posmatrani vremenski period do 2020. godine.

U pomenutom kontekstu, veliki praktični značaj ima adekvatni izbor nominalnog faktora snage novih generatora, kao i izbor parametara i karakteristika njihovih blok-transformatora, što je predmet ovoga rada. Takođe, predmet ovoga rada je i preispitivanje ovih parametara i karakteristika kod hidrogenatora, predviđenih za revitalizaciju.

## **2. METODOLOŠKI I PRAKTIČNI ASPEKTI IZBORA NOMINALNOG FAKTORA SNAGE GENERATORA I KARAKTERISTIKA NJEGOVOG BLOK-TRANSFORMATORA**

### **2.1. Uvodne napomene**

Izbor nominalnog faktora snage perspektivno planiranog generatora mora da se bazira na utvrđenim potrebama EES-a, u pogledu generisanja (prvenstveno) ili apsorpcije reaktivne snage. Osnovni kriterijum za izbor najpovoljnijih vrednosti nominalnog faktora snage generatora, koji mora da se vrši simultano sa izborom prenosnog odnosa njihovih blok-transformatora, je ostvarenje željenog (maksimalnog) iskorišćenja pogonskih mogućnosti posmatranog bloka, pri očekivanim naponima konkretnog čvorišta EES-a, na koji će elektrana biti priključena, odnosno saglasno zahtevima i potrebama EES-a u pogledu ostvarenja povoljnih naponsko-reaktivnih prilika.

Između proizvodnog dela bloka elektrane i EES-a, na čije karakteristike je teško ili nemoguće da se značajnije utiče, nalazi se tzv. prenosni deo bloka, odnosno blok-transformator (kao svojevrsni interfejs), sa svojim osnovnim parametrima - prenosnim odnosom i naponom kratkog spoja. Sasvim je jasno, da pravilnost izbora ovih parametara (daleko veći, odnosno dominantni uticaj ima prenosni odnos) ima veliki praktični značaj, jer je to od osnovnog uticaja na kvalitet tzv. naponske sprege (interfejsa) elektrane i EES-a, odnosno uticaja na veličinu preseka oblasti mogućih stanja elektrane i stanja EES-a.

Ako se taj izbor ne izvrši na adekvatan način, dolazi do niza nepovoljnih posledica. Tako na primer, ako se izabere niža vrednost nominalnog faktora snage od one koje zahteva EES, to povlači za sobom neopravdano povećanje investicija, koje je u većoj meri uslovljeno konstrukcijom samoga generatora, a manje zahtevima za odgovarajućim, "jačim" pobudnim sistemima. S druge strane, ako je izabrana viša vrednost za nominalni faktor snage od potrebne, dolazi do povećanih gubitaka u prenosu reaktivne snage iz udaljenih delova EES-a, kao i do povećanih investicionih troškova za nabavku, ugradnju i eksploataciju dodatnih izvora reaktivne snage.

Poznato je da se plasman potrebne snage i energije generatora u EES obavlja pri odgovarajućoj vrednosti napona na pragu elektrane, u kojoj se generator nalazi. Takođe je poznato da ta vrednost napona proističe iz niza relevantnih faktora (veličina, mesto, način priključka elektrane, struktura i veličina mreže u njenom okruženju, stanje i parametri generatora i njihovih blok-transformatora i dr.). Dakle, za utvrđivanje tih vrednosti neophodni su proračuni perspektivnih statičkih stanja EES-a, na koji se razmatrani generatori uključuju. Promenljivost ovih stanja ima za posledicu nastanak jednog dijapazona očekivanih napona na pragu elektrane. U takvim uslovima, zahteva se od generatora da nesmetano radi u bilo kojoj radnoj tački svoga pogonskog dijagrama, odnosno željene oblasti u njemu.

Imajući u vidu da se priroda i način ostvarenja bilansa reaktivnih snaga suštinski razlikuje od ostvarenja bilansa aktivnih snaga, problematika izbora nominalnog faktora snage generatora, uz aktuelnost i pomenuti veliki praktični značaj, ima i veliku složenost. Dakle, bilans reaktivne snage, a u tom kontekstu, prisustvo rezerve ili deficita u reaktivnoj snazi, ostvaruje se pri strogo određenim nizom raznorodnih okolnosti i uslova. Na taj način, izbor nominalnog faktora snage perspektivno planiranog

generatora mora da se bazira na utvrđenim potrebama EES-a, u pogledu potreba za generisanjem ili apsorpcijom reaktivne snage, uzimajući, pri tome u obzir, sledeće osnovne, međusobno povezane faktore:

- položaj elektrane u EES;
- njena udaljenost od potrošačkih čvorova;
- veličina reaktivne snage ovih potrošačkih čvorova;
- način povezivanja elektrane (parametri i karakteristike blok-transformatora) sa EES;
- očekivana, odnosno zahtevana stanja elektrane u pogledu proizvodnje ili apsorpcije reaktivne snage;
- međusobni uticaj naponsko-reaktivnih prilika elektrane i EES-a.

Drugim rečima, govoreći praktičnim rečnikom, problem određivanja najpovoljnijih vrednosti za pomenute veličine mora da se osloni na što objektivniju procenu mogućih režima rada elektrane sa aspekta naponsko-reaktivnih prilika, u složenoj interakciji sa EES, na koji se priključuje. Za ispunjenje ovoga cilja potreban je veliki broj proračuna tokova snaga i naponskih prilika u EES, na koji se posmatrana elektrana priključuje, za relativno duži vremenski period posmatranja. Pri ovome, dakle, traga se za rešenjem koje je najpovoljnije sa tehno-ekonomskog aspekta.

Sve analize statičkih stanja obavljene su korišćenjem unapređene računarske programske celine, koju, u okviru jedinstvene baze podataka, u komplementarnoj primeni, čine računarski programi UCOSFI i DEFNAPON, o kojima će ukratko biti reči u narednom izlaganju.

## **2.2. Računarski program UCOSFI**

U referencama [5, 6, 7] je bio izložen razvoj i praktična primena jedne nove metode za upravljanje tokovima reaktivnih snaga na izabranim elementima, uvođenjem kompenzacije u odgovarajuće čvorove, koji prirodno gravitiraju tome elementu. Ova metoda je bazirana na nestandardnim modelima tokova snaga, u kojima, za razliku od klasičnog modela tokova snaga, svi čvorovi u razmatranoj interkonekciji imaju karakter balansnog, odnosno, u uspostavljanju novog kvazistacionarnog stanja kao rezultat uvedene kompenzacije (i nastalog poremećaja, ako se razmatra), učestvuju svi generatorski čvorovi (srazmerno svojim primarnim regulacionim konstantama i statizmima primarne regulacije napona) i svi potrošački čvorovi (u skladu sa svojim zavisnostima od napona i učestanosti). Karakteristike i mogućnosti razvijenog računarskog programa UCOSFI, baziranog na izloženoj metodi, utvrđivane su i utvrđene na primeru realne elektroenergetske interkonekcije [5, 6, 7].

Proračuni u primeni računarskog programa UCOSFI počinju formiranjem i sređivanjem svih potrebnih ulaznih podataka razmatrane interkonekcije. Posredstvom posebno razvijenog interfejsa, omogućena je komunikacija sa podacima u UCTE i PTI formatu, koji se uobičajeno koriste i razmenjuju između zainteresovanih EES-a u Evropi. U takve podatke spadaju i podaci sa kojima se obavljaju tehno-ekonomske analize opravdanosti uvedene kompenzacije. Po sređivanju ulaznih podataka, vrši se

proračun polaznog stanja, odnosno proračun tokova snaga i naponskih prilika primenom procedure ("samopokretanje"), koja je detaljno opisana u [8, 9].

Za ovo polazno stanje se utvrđuju oni pokazatelji (veličina i struktura gubitaka aktivne i reaktivne snage, veličine i struktura generisanja reaktivne snage od strane dalekovoda i veličine reaktivne rezerve generatora), čije se promene dalje prate, a koje su veoma indikativne u pogledu utvrđivanja relevantnih tehničkih efekata uvedene kompenzacije reaktivne snage.

U unapređenoj verziji ovoga računarskog programa, do koje je došlo tokom izrade Studije [1], omogućeno je da se, u odnosu na dobijeno tzv. polazno stacionarno stanje, izvrše sledeće korekcije:

- korekcije zadatih vrednosti napona na krajevima odabranih generatora;
- korekcije vrednosti prenosnog odnosa blok-transformatora odabranih generatora;
- korekcije vrednosti napona kratkog spoja blok-transformatora odabranih generatora.

Ove korekcije mogu da se obavljaju pojedinačno, ili da se formira njihova raznorodna kombinacija. Za stanje, dobijeno nakon učinjenih korekcija, za odabrane generatore, u posebnoj datoteci, na pregledan način daju se sledeći pokazatelji:

- angažovana aktivna snaga [MW];
- angažovana reaktivna snaga [Mvar];
- odnos angažovane i maksimalno raspoložive reaktivne snage;
- odnos aktuelne i nominalne vrednosti struje statora;
- odnos aktuelne i nominalne vrednosti napona na krajevima generatora;
- ostvareni (radni) faktor snage;
- vrednost napona na visokonaponskim sabirnicama elektrane [kV].

Potrebno je da se naglasi, da u uspostavljanju novih stanja, usled učinjenih korekcija, moraju striktno da budu zadovoljena sledeća, tzv. "tvrda" ograničenja za aktivne i reaktivne snage generatora:

$$P_{G\min} \leq P_G \leq P_{G\max} \quad (1)$$

$$Q_{G\min} \leq Q_G \leq Q_{G\max} \quad (2)$$

U prisutnim i raspoloživim modelima tokova snaga u postdinamičkim kvazistacionarnim stanjima[10]-[15], analogno konvencionalnim modelima, generatorima se najčešće specificira napon na njihovim krajevima, koji se održava regulacijom pobude. Pri tome, reaktivna snaga generatora je nepoznata veličina, odnosno pretpostavka o konstantnom naponu generatora važi sve dok je ispunjen dati uslov (2), pri čemu su (minimalna vrednost) i (maksimalna vrednost) unapred zadate, konstantne veličine.

Međutim, kako je maksimalno dozvoljena struja rotora stvarno fizičko ograničenje (tzv. "tvrd" ograničenje), njoj korespondira niz vrednosti  $Q'_{Gmax}$  (uveden gornji indeks "r"-rotor), odnosno [16]:

$$Q'_{Gmax} = \frac{\sqrt{(E_{Qm}V)^2 - (P_G f_r x_q)^2} - V^2}{f_r x_q} \quad (3)$$

gde je:

$E_{Qm}$  - maksimalno dozvoljena vrednost elektromotorne sile generatora "iza" sinhrona poprečne reaktanse  $x_q$ , koja odgovara maksimalno dozvoljenoj struji rotora;

$V$  - napon na krajevima generatora;

$P_G$  - angažovana aktivna snaga generatora;

$f_r$  - relativna vrednost učestanosti.

U slučaju generatora sa cilindričnim rotorom (turbogeneratori), vrednost ove elektromotorne sile iznosi:

$$E_{Qm} = E_{qm} = E_{qm0} f_r^p \quad (4)$$

u slučaju mašine sa istaknutim polovima (hidrogeneratori):

$$E_{Qm} = E_{qm0} f_r^p \frac{x_q}{x_d} + V \frac{x_d - x_q}{x_d} \cos \delta_G \quad (5)$$

gde je  $E_{qm0}$  elektromotorna sila koja odgovara maksimalno dozvoljenoj struji rotora pri nominalnoj učestanosti,  $p$  je faktor koji zavisi od tipa pobudnog sistema (na primer,  $p=1$ , ako pobudna struja ne zavisi od brzine obrtanja),  $\delta_G$  je tzv. "unutrašnji" ugao generatora, a  $x_d$  je podužna sinhrona reaktansa. Elektromotorna sila  $E_{qm0}$  određuje se preko sledećeg izraza [16]:

$$E_{qm0} = m \frac{I_{fn}}{I_{f0}} V_n \quad (6)$$

gde je  $I_{f0}$  pobudna struja koja u praznom hodu pri nominalnoj brzini obrtanja obezbeđuje nominalni napon na krajevima  $V_n$ , a  $I_{fn}$  je pobudna struja koja obezbeđuje tu istu vrednost napona, pri nominalnom opterećenju. Preko faktora  $m$  označena je mogućnost preopterećenja pobudnog namotaja, koja je zavisna od vremena trajanja preopterećenja. Prema [16], vrednost ovog faktora kreće se od 1.05 do 2, za vreme trajanja preopterećenja od 20 s do 3600 s.

Dakle, pomoću izraza (6) određuju se veličine elektromotorne sile  $E_{qm0}$ , a posredstvom izraza (4) i (5) veličina  $E_{Qm}$ , da bi se konačno, preko izraza (3), odredila tražena maksimalno dozvoljena reaktivna snaga koja odgovara maksimalno dozvoljenoj struji rotora, koja je stvarno fizičko ograničenje.

Naravno da nije potrebno posebno da se naglašava koliko ovakav prilaz utvrđivanju graničnih reaktivnih snaga generatora doprinosi tačnijem sagledavanju najpovoljnijih vrednosti za nominalni faktor snage posmatranih novih hidrogeneratora, kao i takvih vrednosti za prenosni odnos njihovih blok-transformatora. Ujedno, to

omogućuje i preciznije sagledavanje (ne)opravdanosti uvođenja regulacije blok-transformatora. Takođe, uz prethodno rečeno, kako će se to videti u delu ovoga rada, u kome se izlažu konkretni rezultati, analiza prethodno pomenutih pokazatelja neposredno doprinosi sagledavanju najpovoljnijih vrednosti za razmatrane parametre.

### 2.3. Računarski program DEFNAPON

U radu [17] je bio izložen razvoj i praktična primena jedne nove metode, odnosno računarskog programa DEFNAPON, za brzo i dovoljno tačno definisanje naponskih referenci generatora u cilju ostvarenja povoljnih naponsko-reaktivnih stanja. Verifikacija predložene metode obavljena je u okviru statičkog simulacionog modela [17], koji je integralni deo pomenutog razvijenog računarskog programa, na primerima ostvarenih i perspektivnih stanja prenosne mreže Srbije, u njenom širokom okruženju. Takođe, u radu [18] izvršena je dinamička verifikacija razvijene metode, u okviru dinamičkog simulacionog modela, za identična ostvarena i perspektivna stanja prenosne mreže Srbije.

U okviru primene računarskog programa DEFNAPON, koja se odvija komplementarno sa primenom računarskog programa UCOSFI [19], analize počinju formiranjem i sređivanjem svih potrebnih podataka razmatrane interkonekcije. Posredstvom posebno razvijenog interfejsa, takođe je omogućena komunikacija sa podacima u UCTE i PTI formatu. Po sređivanju ulaznih podataka, vrši se proračun polaznog stanja, odnosno proračun tokova snaga i naponskih prilika, primenom već pomenute procedure, koja je detaljno opisana u [8, 9]. Za ovo polazno stanje se utvrđuju sledeći pokazatelji: veličina i struktura gubitaka aktivne i reaktivne snage, veličina i struktura generisanja reaktivne snage od strane dalekovoda i veličine reaktivne rezerve angažovanih generatora. Promene vrednosti ovih pokazatelja se dalje prate u okviru odvijanja ovoga računarskog programa, jer su one veoma indikativne u pogledu utvrđivanja relevantnih tehničkih efekata uvedenog upravljanja naponima odabranih generatora. U daljem odvijanju ovog računarskog programa, njegovom Korisniku stoje na raspolaganju Opcije I, II i III [17].

Izborom Opcije I, po određivanju tokova snaga u polaznom stanju razmatrane interkonekcije, admitanse potrošača, kao i admitanse generatora koji se ne nalaze u EES od interesa, sračunate na bazi poznatih injektiranih aktivnih i reaktivnih snaga i modula napona u tim čvorovima, dodaju se odgovarajućim dijagonalnim elementima matrice admitansi  $\underline{Y}$ . Zatim, vrši se eliminacija (Gausova) svih potrošačkih čvorova u razmatranoj interkonekciji i svih generatorskih, koji se ne nalaze u EES od interesa.

Dalje, za to stanje, obavlja se sračunavanje elemenata matrica osetljivosti  $\frac{\partial P_G}{\partial V_G}$  i  $\frac{\partial Q_G}{\partial V_G}$ , čiji su elementi dati u [17].

Analizom dobijenih vrednosti elemenata ovih matrica, Korisniku se pruža prilika da najpre sagleda koji je i koliki uticaj varijacije naponskih referenci izabranih generatora na novo dobijene vrednosti aktivnih i reaktivnih snaga svih angažovanih generatora. Takođe, analizom dobijenih vrednosti, omogućeno je da se sagleda koji od angažovanih generatora imaju najveći uticaj na uspostavljene naponsko-reaktivne prilike u posmatranom stanju, kao i da se dobije dobar uvid u njihovu međupovezanost.

### 3. REZULTATI I KOMENTAR ANALIZA STATIČKIH STANJA

#### 3.1. Uvodne napomene

Primenom računarskih programa UCOSFI i DEFNAPON izvršene su veoma opsežne analize maksimalnih i minimalnih statičkih stanja prenosne mreže Srbije koja se očekuju 2010, 2015. i 2020. godine. Rezultati ovih analiza, kako će se to videti iz narednog teksta, dali su dobru osnovu za izbor najpovoljnijih vrednosti za nominalni faktor snage razmatranih novih hidrogeneratora (u HE Svođe, HE Brodarevo, HE Ribarići i HE Arilje) i za izbor prenosnog odnosa njihovih blok-transformatora. Rezultati ovih analiza, ujedno su dali dobru osnovu za ocenu (ne)opravdanosti uvođenja regulacije ovih prenosnih odnosa (u praznom hodu, ili pod opterećenjem).

Takođe, rezultati prethodno pomenutih analiza dali su osnovu za proveru postojećih vrednosti nominalnog faktora snage hidrogeneratora, čija se revitalizacija planira u razmatranom vremenskom periodu (u HE Zvornik, Vlasinske HE, Limske HE, HE Ovčar Banja i HE Međuvršje), kao i za proveru postojećih prenosnih odnosa i karakteristika njihovih blok-transformatora.

#### 3.2. Izbor nominalnih faktora snage novih generatora i parametara blok-transformatora

U Programskom zadatku Studije [1] navedeno je, između ostalog sledeće: " Blok transformatori *treba da imaju regulatore napona u beznaponskom stanju (na osnovu iskustva u francuskom elektroenergetskom sistemu). Za blok transformatore hidrogeneratora priključenih na mrežu 110 kV, pet izvoda i to: osnovni ili srednji položaj odgovara odnosu transformacije  $110/U_{gen}$  kV/kV i + 2x2,5% od 110 kV i - 2x2,5% od 110 kV.* "

Što se tiče poželjnih vrednosti nominalnih faktora snage, u Programskom zadatku nije bilo posebnih zahteva, ali se u diskusiji tokom njegovog formiranja pominjala vrednost od 0.80, takođe na osnovu ranijih iskustava u francuskom elektroenergetskom sistemu.

Ako bi se striktno respektovalo prethodno rečeno (a u pitanju su stvarno skupa rešenja, na samo za naš EES), u značajnoj meri bi se relaksirao posao oko izbora najpovoljnijih rešenja za predmetne parametre. Ostalo bi samo da se proveru kako bi se ovi parametri "uklopili" u zahteve EES-a.

Međutim, Obradivači Studije [1] su svesno izabrali znatno teži i duži put, koji je zahtevao veliki broj simulacija i veliki broj varijacija relevantnih parametara, a sve u cilju dobijanja ekonomičnijih rešenja od sugerisanih, a da pri tome budu zadovoljeni zahtevi EES-a Srbije, za posmatrani vremenski period.

U okviru ovih proračuna, varirana je vrednost nominalnog faktora snage u opsegu 0.80-0.95, a prenosni odnos-blok transformatora u opsegu od  $0.9 \times 110/U_{gn}$  kV/kV do  $1.1 \times 110/U_{gn}$  (na dijagramima koji slede, te veličine su označene sa 0.90, odnosno 1.10), uz uvažavanje naponsko-regulacionog opsega generatora od  $0.95U_{gn}$  do  $1.05U_{gn}$ . Takođe, varirana je i vrednost napona kratkog spoja blok-transformatora.

Od niza dobijenih rezultata, najpre se daje Tabela 1, koja se odnosi na maksimalno stanje 2020. godine. U njoj se daju rezultati za HE Brodarevo, HE Ribarići, HE Svođe i

HE Arilje, za tri vrednosti nominalnog faktora snage 0.80, 0.90 i 0.95, kada se varirao prenosni odnos njihovih blok-transformatora. Oznaka *a* se odnosi na prenosni odnos  $U_{gn}/110$  kV/kV, oznaka *b* na  $U_{gn}/110+5$  % kV/kV i oznaka *c*, na prenosni odnos  $U_{gn}/110+10$  % kV/kV. U ovoj tabeli, za tri vrednosti angažovane aktivne snage (0.2, 0.5 i 1.0  $P_n$ ), daju se ostvarene vrednosti reaktivnih snaga na krajevima generatora, u odnosu na maksimalno raspoloživu reaktivnu snagu  $Q/Q_{max}$  (koja nije konstantna vrednost, već je određivana saglasno prethodno datom izrazu (3)) i ostvarene vrednosti napona na krajevima generatora, u odnosu na njegovu nominalnu vrednost  $U_g/U_{gn}$ .

Dalje, daje se Tabela 2, koja se odnosi na maksimalno stanje 2020. godine. U njoj se daju ostvarene vrednosti radnog faktora snage generatora u HE Brodarevo, HE Ribarići, HE Svođe i HE Arilje i napona na visokonaponskim sabirnicama  $U_{VN}$ , za dve vrednosti nominalnog faktora snage 0.90 i 0.95. Za prenosni odnos njihovih blok-transformatora uzeta je vrednost  $U_{gn}/110+10$  % kV/kV. Oznaka *I* se odnosi na slučaj kada je početna vrednost odnosa napona  $U_g/U_{gn}$  iznosila 1.00, a oznaka *II*, kada je taj odnos iznosio 1.05. Termin "početna vrednost napona" odgovara vrednosti napona generatora koja je zadata na početku proračuna tokova snaga, a koja ne mora da bude i na kraju proračuna, zavisno od toga da li je prekoračeno ograničenje po reaktivnoj snazi.

Grafička interpretacija rezultata koji su dobijeni kada je za nominalni faktor snage posmatranih hidrogenatora uzeta vrednost u iznosu od 0.90 daje se na Slikama 1-4. Ti rezultati se odnose na očekivano maksimalno stanje 2020. godine. Na ovim slikama se daje zavisnost odate reaktivne snage [Mvar] razmatranih novih hidrogenatora, od vrednosti prenosnih odnosa njihovih blok-transformatora (0.90 - 1.10), za tri početne vrednosti napona na krajevima (0.95, 1.00 i 1.05  $U_{gn}$ ).

Prikazani rezultati u Tabelama 1 i 2 i na Slikama 1, 2, 3 i 4, su veoma indikativni u pogledu dobijanja mogućnosti izbora najpovoljnijih vrednosti nominalnog faktora snage posmatranih hidrogenatora i prenosnog odnosa njihovih blok-transformatora. Najpre se jasno uočava da vrednost za nominalni faktor snage u iznosu od 0.80 ne bi bilo racionalno rešenje. Saglasno pokazateljima iz Tabela 1 i 2, pri tim vrednostima nominalnog faktora snage, posmatrani hidrogenatori, za maksimalnu aktivnu snagu, ne bi bili u stanju da odaju svu raspoloživu reaktivnu snagu pri maksimalnoj vrednosti napona na njihovim krajevima ( $1.05 U_{gn}$ ) i pri prenosnom odnosu njihovih blok-transformatora u iznosu  $U_{gn}/110+10$  % kV/kV (oznaka *c* u Tabeli 1). Dakle, to bi bilo skupo rešenje, a ne bi bilo racionalno.

Međutim, za nominalne faktore snaga u iznosu 0.90 i 0.95, za maksimalnu aktivnu snagu posmatranih hidrogenatora i istom prenosnom odnosu ( $U_{gn}/110+10$  %), obezbeđen je plasman tada maksimalno raspoložive reaktivne snage. Ostajući kod ovih vrednosti za nominalne faktore snaga, za prenosni odnos  $U_{gn}/110 + 5$  % kV/kV (oznaka *b* u Tabeli 1) ne bi bio obezbeđen ovaj maksimalni plasman reaktivne snage, dok bi za prenosni odnos  $U_{gn}/110$  kV/kV (oznaka *a* u Tabeli 1) pojedini hidrogenatori ulazili u potpobuđena stanja (naravno, sasvim nepotrebno).

Iz tih razloga, predmet dalje pažnje bile su varijante sa vrednostima nominalnih faktora snage 0.90 i 0.95, a kao rezultat toga je Tabela 2, koja se odnosi na prenosni odnos  $U_{gn}/110+10$  %. Da bi se dobila sigurnost u pogledu izbora najpovoljnijih vrednosti za prenosni odnos blok-transformatora, formirane su Slike 1, 2, 3 i 4, na kojima se daje grafička interpretacija rezultata za varijantu sa nominalnim faktorom snage 0.90, uz široku varijaciju prenosnog odnosa (0.90-1.10).



Rezimirajući dobijene rezultate analiza maksimalnih stanja, kada su predmet pažnje bili novi hidrogeneratori, konstatuje se da bi najpovoljnije vrednosti za njihove nominalne faktore snaga bile 0.90, odnosno 0.95, kao ekonomičnije rešenje. Što se tiče najpovoljnije vrednosti za prenosni odnos njihovih blok-transformatora, analize su ubedljivo pokazale da je to fiksna vrednost u iznosu  $U_{gn}/121$  kV/kV.

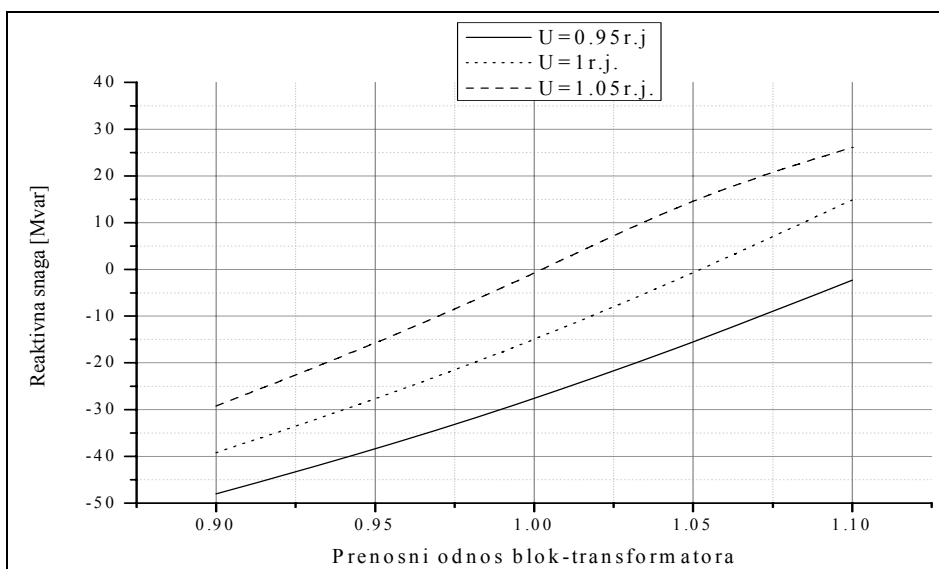
Da bi se proširila osnova za izbor najpovoljnije vrednosti prenosnog odnosa, obavljen je niz proračuna tokova snaga za očekivana minimalna stanja, uz varijacije niza relevantnih parametara. Od niza dobijenih rezultata, daje se Tabela 3, koja se odnosi na minimalno stanje 2020.godine. U njoj se daju ostvarene vrednosti reaktivnih snaga na krajevima generatora, u odnosu na maksimalno raspoloživu reaktivnu snagu  $Q/Q_{max}$  u HE Brodarevo, HE Ribarići, HE Svođe i HE Arilje i ostvarene vrednosti napona na visokonaponskim sabirnicama  $U_{VN}$ , za vrednost nominalnog faktora snage 0.90. Za prenosni odnos njihovih blok-transformatora uzeta je vrednost  $U_{gn}/110+10\%$  kV/kV. Oznaci  $a$  odgovara početna vrednost odnosa napona  $U_g/U_{gn}$  u iznosu 0.95, oznaci  $b$ , u iznosu 1.00, a oznaci  $c$ , u iznosu 1.05. Dobijeni rezultati evidentno su pokazali da je prenosni odnos blok-transformatora razmatranih hidrogeneratora u fiksnom iznosu  $U_{gn}/121$  kV/kV najracionalnije rešenje, jer se pri toj vrednosti, ostajući u okvirima uobičajenih vrednosti za naponsko-regulacioni opseg generatora u iznosu  $\pm 5\%$   $U_{gn}$ , mogu da izbegnu potpobudeni režimi rada, što je od posebnog praktičnog interesa.

Tabela 1: Ostvarene vrednosti reaktivnih snaga u odnosu na maksimalno raspoloživu reaktivnu snagu  $Q/Q_{max}$ , za maksimalno stanje 2020. godine

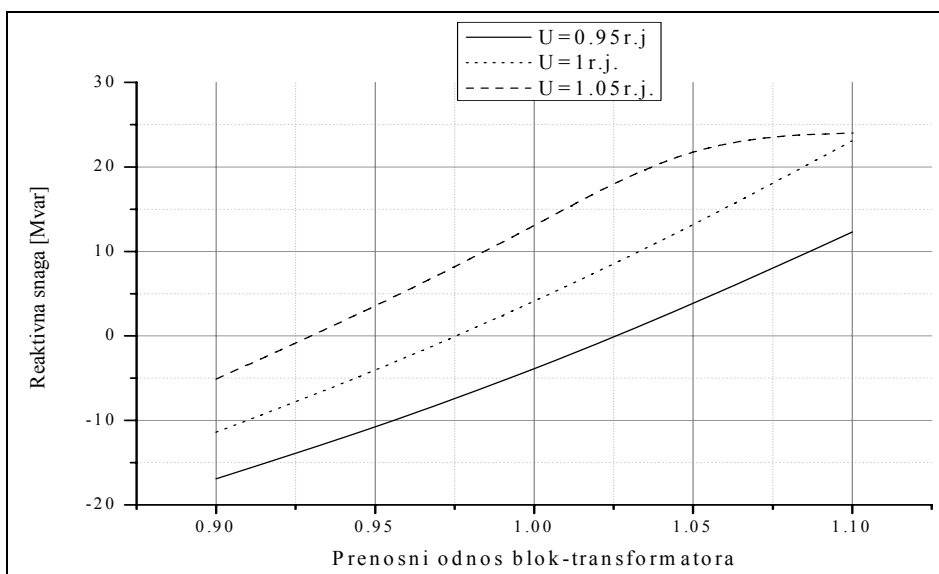
R.br.	Hidroelektrana	Aktivna snaga [MW]	$\cos\varphi_n=0.80$						$\cos\varphi_n=0.90$						$\cos\varphi_n=0.95$					
			a		b		c		a		b		c		a		b		c	
			Q/Q <sub>max</sub>	U <sub>g</sub> /U <sub>gn</sub>	Q/Q <sub>max</sub>	U <sub>g</sub> /U <sub>gn</sub>	Q/Q <sub>max</sub>	U <sub>g</sub> /U <sub>gn</sub>	Q/Q <sub>max</sub>	U <sub>g</sub> /U <sub>gn</sub>	Q/Q <sub>max</sub>	U <sub>g</sub> /U <sub>gn</sub>	Q/Q <sub>max</sub>	U <sub>g</sub> /U <sub>gn</sub>	Q/Q <sub>max</sub>	U <sub>g</sub> /U <sub>gn</sub>	Q/Q <sub>max</sub>	U <sub>g</sub> /U <sub>gn</sub>	Q/Q <sub>max</sub>	U <sub>g</sub> /U <sub>gn</sub>
1	Arilje	5.2	0.223	1.050	0.611	1.050	1.000	1.046	0.282	1.050	0.773	1.050	1.001	1.025	0.330	1.050	0.904	1.050	0.999	1.012
		11.7	0.208	1.050	0.616	1.050	1.002	1.045	0.272	1.050	0.800	1.050	1.000	1.021	0.326	1.050	0.957	1.050	1.000	1.007
		22.4	0.246	1.050	0.741	1.050	1.000	1.028	0.374	1.050	1.011	1.044	1.000	0.995	0.530	1.050	1.000	1.023	1.002	0.973
2	Brodarevo	10.4	0.055	1.050	0.400	1.050	0.778	1.050	0.069	1.050	0.504	1.050	0.711	1.050	0.081	1.050	0.590	1.050	0.999	1.036
		24.7	0.016	1.050	0.380	1.050	0.775	1.050	0.021	1.050	0.492	1.050	1.001	1.048	0.025	1.050	0.591	1.050	1.000	1.033
		47.9	-0.024	1.050	0.431	1.050	0.909	1.050	-0.040	1.050	0.648	1.050	1.000	1.023	-0.050	1.050	0.965	1.050	1.001	1.001
3	Ribarići	10.4	0.393	1.050	0.627	1.050	0.883	1.050	0.497	1.050	0.792	1.050	0.715	1.035	0.581	1.050	0.925	1.050	0.999	1.015
		23.9	0.353	1.050	0.596	1.050	0.861	1.050	0.459	1.050	0.772	1.050	1.000	1.035	0.550	1.050	0.924	1.050	1.000	1.014
		46.0	0.376	1.050	0.664	1.050	0.981	1.050	0.568	1.050	0.991	1.050	1.000	1.002	0.797	1.050	0.999	1.013	1.001	0.968
4	Svođe	20.8	0.130	1.050	0.349	1.050	0.588	1.050	0.164	1.050	0.352	1.050	0.543	1.050	0.191	1.050	0.514	1.050	0.999	1.050
		51.3	0.119	1.050	0.348	1.050	0.597	1.050	0.155	1.050	0.453	1.050	0.776	1.050	0.186	1.050	0.542	1.050	0.930	1.050
		98.7	0.176	1.050	0.453	1.050	0.750	1.050	0.269	1.050	0.681	1.050	1.000	1.036	0.383	1.050	0.953	1.050	1.000	1.001

Tabela 2: Ostvarene vrednosti radnog faktora snage za maksimalno stanje 2020. godine

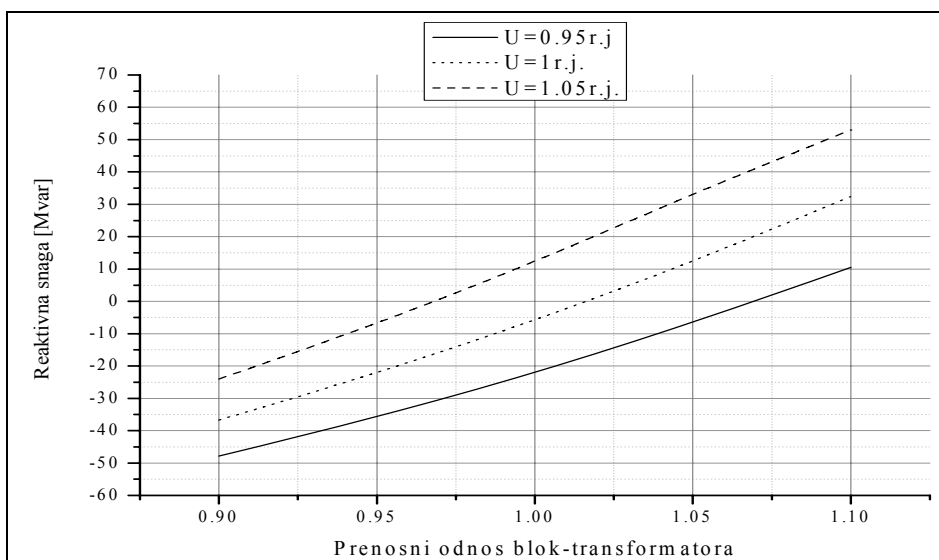
R.br.	Hidroelektrana	Aktivna snaga [MW]	$\cos\varphi_n=0.90$						$\cos\varphi_n=0.95$					
			I			II			I			II		
			Radni faktor snage	U <sub>VN</sub> [kV]	U <sub>g</sub> /U <sub>gn</sub>	Radni faktor snage	U <sub>VN</sub> [kV]	U <sub>g</sub> /U <sub>gn</sub>	Radni faktor snage	U <sub>VN</sub> [kV]	U <sub>g</sub> /U <sub>gn</sub>	Radni faktor snage	U <sub>VN</sub> [kV]	U <sub>g</sub> /U <sub>gn</sub>
1	Arilje	22.4	0.8929	114.59	0.994	0.8947	114.74	0.995	0.9495	113.92	0.973	0.9488	113.93	0.973
2	Brodarevo	47.9	0.9535	117.85	1.000	0.8901	118.86	1.023	0.9472	117.63	1.000	0.9454	117.66	1.001
3	Ribarići	46.0	0.8942	115.86	0.998	0.8932	116.24	1.002	0.9503	113.68	0.967	0.9492	113.71	0.968
4	Svođe	98.7	0.9473	116.94	1.000	0.8885	119.11	1.036	0.9470	116.93	1.000	0.9448	117.01	1.001



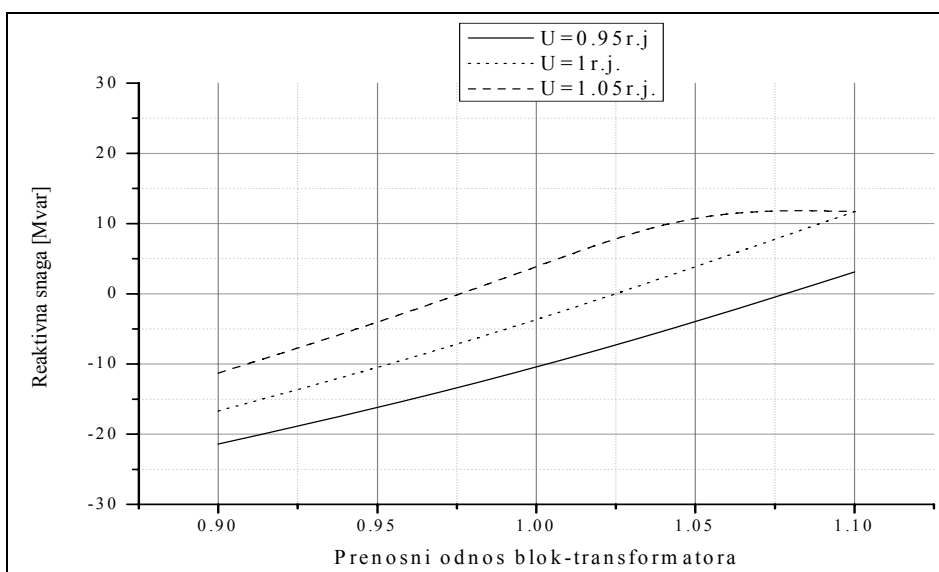
Slika 1: Zavisnost odate reaktivne snage generatora u HE Brodarevo, za maksimalno stanje 2020. godine, od vrednosti prenosnih odnosa njihovih blok-transformatora



Slika 2: Zavisnost odate reaktivne snage generatora u HE Ribarići, za maksimalno stanje 2020. godine, od vrednosti prenosnih odnosa njihovih blok-transformatora



Slika 3: Zavisnost odate reaktivne snage generatora u HE Svođe, za maksimalno stanje 2020. godine, od vrednosti prenosnih odnosa njihovih blok-transformatora



Slika 4: Zavisnost odate reaktivne snage generatora u HE Arilje, za maksimalno stanje 2020. godine, od vrednosti prenosnih odnosa njihovih blok-transformatora

Tabela 3: Ostvarene vrednosti reaktivnih snaga u odnosu na maksimalno raspoloživu reaktivnu snagu  $Q/Q_{max}$ , za minimalno stanje 2020. godine

R.br.	Hidroelektrana	Aktivna snaga [MW]	2020.min								
			a			b			c		
			$Q/Q_{max}$	$U_g/U_{gn}$	$U_{VN}$ [kV]	$Q/Q_{max}$	$U_g/U_{gn}$	$U_{VN}$ [kV]	$Q/Q_{max}$	$U_g/U_{gn}$	$U_{VN}$ [kV]
1	Arijlje	6.4	-0.422	0.973	120.63	-0.074	1.000	121.32	0.592	1.050	122.37
2	Brodarevo	14.5	-0.506	0.968	119.81	0.013	1.000	120.80	0.773	1.050	122.21
3	Ribarići	10.2	-0.404	0.954	118.17	0.023	1.000	120.69	0.483	1.050	123.53
4	Svođe	6.6	-0.427	0.958	120.05	-0.065	1.000	121.71	0.369	1.050	123.70

### 3.3. Provera nominalnih faktora snage i parametara blok-transformatora hidrogeneratora predviđenih za revitalizaciju

Za razliku od prethodnog, cilj analiza, čiji su rezultati predmet narednog izlaganja, je provera valjanosti postojećih vrednostih ovih parametara za hidrogeneratore, koji su predviđeni za revitalizaciju.

Rezultati analiza maksimalnih stanja prenosne mreže Srbije, koja se očekuju 2015. godine, sistematizovani su preko naredne Tabele 4. U ovoj Tabeli daju se ostvarene vrednosti reaktivnih snaga na krajevima posmatranih generatora, u odnosu na maksimalno raspoloživu reaktivnu snagu  $Q/Q_{max}$  i ostvarene vrednosti napona na visokonaponskim sabirnicama  $U_{VN}$ . Oznaci *a* odgovara početna vrednost odnosa napona  $U_g/U_{gn}$  u iznosu 0.95, oznaci *b*, u iznosu 1.00, a oznaci *c*, u iznosu 1.05 U cilju proširenja osnove za proveru valjanosti postojećih vrednosti razmatranih parametara, izvršena je široka varijacija napona na krajevima generatora, u okviru raspoloživog naponsko-regulacionog opsega. Grafička interpretacija dobijenih karakterističnih rezultata, za očekivano maksimalno stanje 2015. godine, daje se na Slikama 5, 6 i 7. Na ovim slikama daje se zavisnost odnosa reaktivne snage [Mvar] razmatranih hidrogeneratora, od vrednosti početnih vrednosti napona na krajevima (u opsegu od 0.95 - 1.05  $U_{gn}$ ).

Pre kritičke analize dobijenih rezultata, trebalo bi se podsetiti vremena i stanja mreže Srbije, kada su se ove elektrane gradile i uklapale u EES Srbije. S toga, ne bi trebalo, sa aspekta ovog i budućeg vremena, previše "pametovati" da li su vrednosti za nominalni faktor snage u iznosu od 0.80 (HE Zvornik), a pogotovo u iznosu od 0.70 (HE Međuvršje i HE Ovčar Banja), bile najsrećnije rešenje, saglasno pokazateljima iz prethodno datih tabela i slika. Ujedno je pokazano, da vrednosti za nominalni faktor snage u iznosu od 0.90 su prihvatljivo i zadovoljavajuće rešenje za sve razmatrane generatore, koji su predviđeni za revitalizaciju. Takođe, analize su pokazale da su postojeće vrednosti prenosnih odnosa njihovih blok-transformatora zadovoljavajuće.

Dakle, to praktično znači da HE Zvornik (postojeći nominalni faktor snage 0.80), HE Međuvršje (0.70), HE Ovčar Banja (0.70) (tu treba uvrstiti i Vrhu 1AB (0.80), Vrhu 2A (0.80), Vrhu 3A (0.80) i Vrhu 4A (0.74)) mogu da imaju nominalni faktor snage u iznosu od 0.90, kao prihvatljivo i zadovoljavajuće rešenje. Ujedno, napominje se da svi ostali hidrogeneratori, predviđeni za revitalizaciju, već imaju faktor snage u iznosu od 0.90.

Tabela 4: Ostvarene vrednosti reaktivnih snaga u odnosu na maksimalno raspoloživu reaktivnu snagu  $Q/Q_{max}$ , za maksimalno stanje 2015. godine

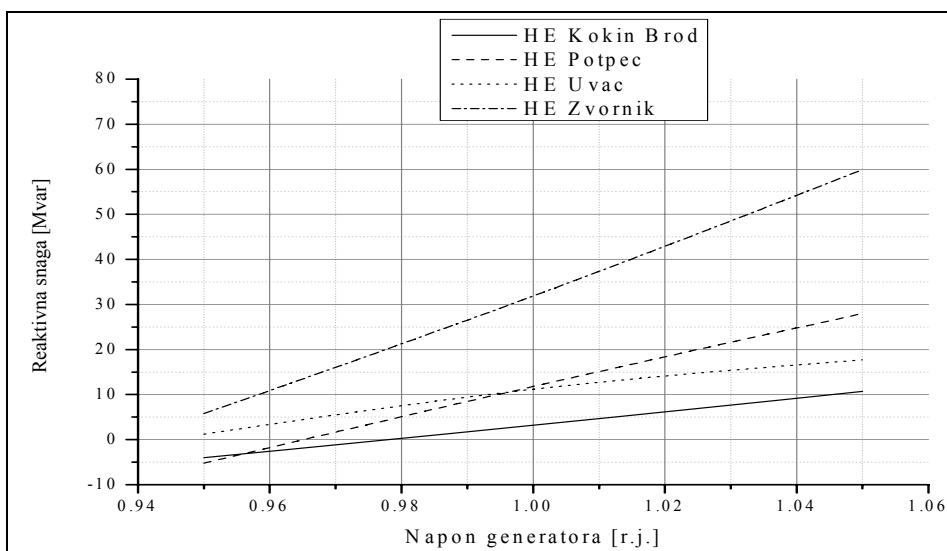
R.br.	Hidroelektrana	Aktivna snaga [MW]	2015.max								
			a			b			c		
			$Q/Q_{max}$	$U_g/U_{gn}$	$U_{VN}$ [kV]	$Q/Q_{max}$	$U_g/U_{gn}$	$U_{VN}$ [kV]	$Q/Q_{max}$	$U_g/U_{gn}$	$U_{VN}$ [kV]
1	Kokin Brod	22.6	-0.406	0.950	117.09	0.303	1.000	119.19	1.000	1.045	120.82
2	Potpeć	51.1	-0.205	0.950	116.17	0.451	1.000	118.26	1.000	1.041	119.91
3	Uvac	36.1	0.085	0.950	116.60	0.710	1.000	118.93	1.002	1.028	120.58
4	Vrla 1 AB	22.5	0.132	0.950	113.80	0.465	1.000	117.15	0.857	1.050	120.07
5	Vrla 1 CD	28.1	0.230	0.950	113.80	0.712	1.000	117.15	1.002	1.038	120.07
6	Vrla 2 A	11.2	0.183	0.950	113.72	0.603	1.000	117.00	1.000	1.045	119.88
7	Vrla 2 B	13.1	0.197	0.950	113.72	0.623	1.000	117.00	1.000	1.043	119.88
8	Vrla 3 A	12.8	0.250	0.950	113.15	0.666	1.000	116.10	1.001	1.042	118.68
9	Vrla 3 B	15	0.270	0.950	113.15	0.710	1.000	116.10	1.001	1.038	118.68
10	Zvornik	93.2	0.088	0.950	114.37	0.441	1.000	117.91	0.799	1.050	121.42
11	Međuvrše 1	2.2	-0.370	0.950	35.16	0.241	1.000	36.29	0.842	1.050	37.39
12	Međuvrše 2	3.9	-0.322	0.950	35.16	0.228	1.000	36.29	0.772	1.050	37.39
13	Ovčar Banja 1	2.2	-0.417	0.950	35.21	0.152	1.000	36.40	0.707	1.050	37.56
14	Ovčar Banja 2	3.9	-0.273	0.950	35.21	0.050	1.000	36.40	0.373	1.050	37.56
15	Vrla 4 A	10.4	-0.165	0.950	35.13	0.115	1.000	36.42	0.426	1.050	37.64
16	Vrla 4 B	14.2	-0.132	0.950	35.13	0.177	1.000	36.42	0.501	1.050	37.64

U cilju proširenja osnove za proveru valjanosti postojećih vrednosti razmatranih parametara, izvršena je analiza minimalnih stanja, za široku varijaciju napona na krajevima generatora, u okviru raspoloživog naponsko-reaktivnog opsega. Dobijeni rezultati evidentno su pokazali da su postojeće vrednosti prenosnih odnosa blok-transformatora razmatranih hidrogeneratora i dalje zadovoljavajuće rešenje. Pokazano je da se pri tim postojećim vrednostima prenosnog odnosa, ostajući u okvirima raspoloživih vrednosti za naponsko-regulacioni opseg generatora, mogu da izbegnu potpobudeni režimi rada, što je od posebnog praktičnog interesa.

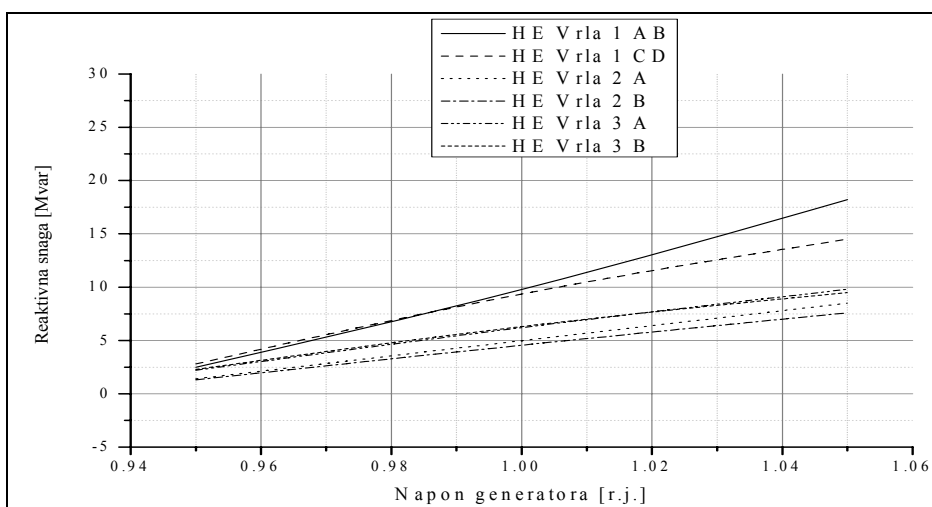
### 3.4. Zaključne napomene

Na taj način, rezultati sprovedenih analiza maksimalnih i minimalnih stanja, za razmatrani vremenski horizont, ne postavljaju neke posebne zahteve od strane EES-a Srbije u pogledu razmatranih parametara novih i "starih" hidrogeneratora, u kontekstu naponsko-reaktivnih prilika.

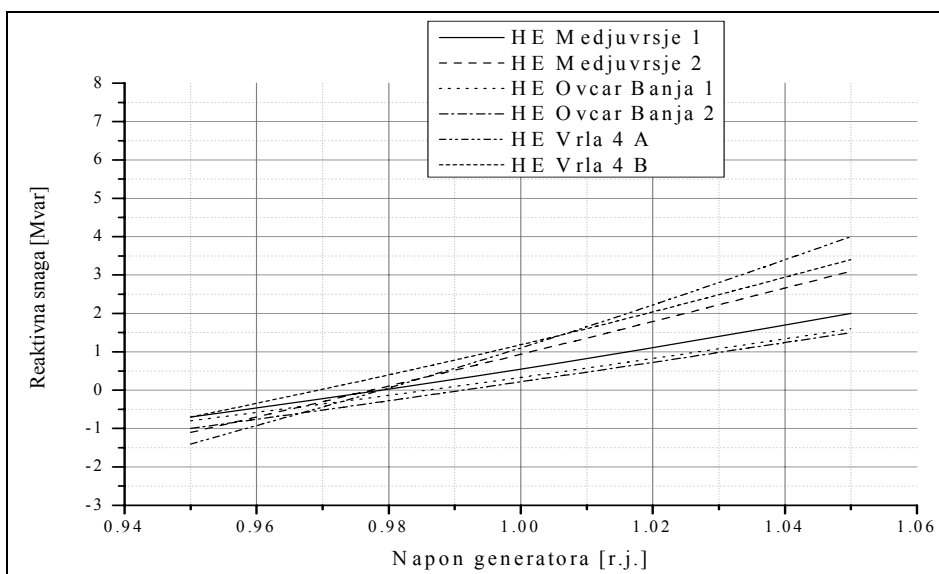
Glavni razlog za prethodno rečeno je povezivanje sa glavnim delom UCTE mreže, koje je uspešno obavljeno 10. oktobra 2004. godine [22]. Ovom rekonekcijom dobijen je i niz veoma korisnih efekata za EES Srbije, kako je to istaknuto, objašnjeno i ilustrovano u [23, 24]. U referenci [23], ovi efekti su ilustrovani kroz poboljšanje operativnih i eksploatacionih uslova rada, naročito u pogledu povećanja sigurnosti interkonekcije, naponskog profila, smanjenja proizvodnje reaktivne energije od strane generatora u EES Srbije i dr. Takođe, prikazano je i kvantifikovano povećanje mogućnosti prekogranične trgovine električnom energijom, kao i povećanje tranzita električne energije.



Slika 5: Zavisnost odate reaktivne snage posmatranih generatora, za maksimalno stanje 2015. godine, od početnih vrednosti napona na njihovim krajevima



Slika 6: Zavisnost odate reaktivne snage posmatranih generatora, za maksimalno stanje 2015. godine, od početnih vrednosti napona na njihovim krajevima



Slika 7: Zavisnost odate reaktivne snage posmatranih generatora, za maksimalno stanje 2015. godine, od početnih vrednosti napona na njihovim krajevima

Naravno, tome su u odgovarajućoj meri doprineli i ugrađeni 200 Mvar na niskom naponu, saglasno implementaciji rezultata iz Elaborata [25], kao i aktiviranih oko 80 Mvar, saglasno rezultatima Studija [26, 27, 28]. Ti razlozi su još ubedljiviji u analiziranim maksimalnim stanjima koja se očekuju 2010. i 2015. godine, ne samo zbog ugradnje dodatnih, novih 200 Mvar (170 Mvar na niskom i 30 Mvar na srednjem naponu) [29], već i zbog daljeg razvoja prenosne mreže Srbije i uvođenja novih njenih elemenata i novih izvora, koji je (razvoj), između ostalog, utvrđivan i utvrđen uz striktno respektovanje osnovnog kriterijuma sigurnosti (n-1) [20]. O svemu ovome što je doprinelo uspešnom rešavanju naponsko-reaktivnih prilika u prenosnoj mreži Srbije, za razmatrani vremenski period do 2015. godine, detaljno je izloženo u Studiji [30], koja je usvojena na Stručnom savetu EPS-a, održanom 28. septembra 2007. godine.

U cilju kompletiranja slike u pogledu mesta, uloge i značaja razmatranih novih i "starih" hidrogeneratora poslužiće naredna Tabela 5. U njoj se daju dijagonalni elementi matrice osetljivosti  $\frac{\partial Q_G}{\partial V_G}$ , za maksimalno stanje prenosne mreže Srbije, koje se očekuje 2020. godine (rezultati primene računarskog programa *DEFNAPON* [17]). Za tada angažovane generatore, vrednost dijagonalnog elementa je mera za koliko će se promeniti reaktivna snaga generatora, ako se napon na njegovim krajevima promeni za 1 % od svoje nominalne vrednosti. Te promene se daju u apsolutnim [Mvar] i relativnim (u odnosu na maksimalno raspoloživu reaktivnu snagu) vrednostima.



Tabela 5: Dijagonalni elementi matrice osetljivosti  $\frac{\partial Q_G}{\partial V_G}$ , za maksimalno stanje 2020. godine

R.br.	Elektrana	2020.max		R.br.	Elektrana	2020.max	
		Osetljivost				Osetljivost	
		Mvar/%promene napona	r.j./%promene napona			Mvar/%promene napona	r.j./%promene napona
1	HE Bistrica	7.944	0.216	23	TE N.Tesla A 56	51.153	0.124
2	HE Đerdap 2	8.332	0.092	24	TET Novi Sad	11.912	0.093
3	HE Đerdap	43.340	0.083	25	TET Subotica	13.995	0.080
4	TE Kostolac B	41.107	0.087	26	HE Uvac	2.926	0.164
5	HE Arilje	1.979	0.170	27	HE Vrla 1 AB	2.803	0.136
6	HE B.Bašta	24.648	0.166	28	HE Vrla 1 CD	2.798	0.202
7	HE Brodarevo	3.856	0.149	29	HE Vrla 2 A	1.497	0.180
8	HE Ribarići	2.444	0.107	30	HE Vrla 2 B	1.355	0.185
9	HE Svođe	4.488	0.090	31	HE Vrla 3 A	1.557	0.163
10	HE Kokin Brod	2.074	0.187	32	HE Vrla 3 B	1.566	0.181
11	TE Kolubara A 3	6.839	0.136	33	HE Zavoj	4.384	0.106
12	TE Kolubara A 5	10.013	0.122	34	HE Zvornik	5.819	0.078
13	TE Kolubara A 6	18.063	0.127	35	HE Gazivode	2.686	0.147
14	TE Kostolac A 1	9.317	0.145	36	TE Kosovo B	45.836	0.069
15	TE Kostolac A 2	16.638	0.125	37	TE Kosovo A	25.072	0.081
16	TE Morava	9.281	0.097	38	HE Međuvršje 1	0.626	0.254
17	HE Potpeć	4.407	0.154	39	HE Međuvršje 2	0.912	0.213
18	RHE B.Bašta	33.956	0.128	40	HE Ovčar Banja 1	0.604	0.244
19	TE Kolubara B	43.848	0.115	41	HE Ovčar Banja 2	0.602	0.142
20	TE N.Tesla B	72.826	0.074	42	HE Vrla 4 A	1.410	0.147
21	TE N.Tesla A 12	34.902	0.113	43	HE Vrla 4 B	1.190	0.166
22	TE N.Tesla A 34	41.099	0.100				

#### 4. ZAKLJUČCI

Rezultati analiza maksimalnih i minimalnih statičkih stanja prenosne mreže Srbije, koja se očekuju 2010, 2015. i 2020. godine dali su dobru osnovu za izbor najpovoljnijih vrednosti za nominalni faktor snage razmatranih novih hidrogenatora (u HE Svođe, HE Brodarevo, HE Ribarići i HE Arilje) i za izbor prenosnog odnosa njihovih blok-transformatora. Konstatovano je da bi najpovoljnije vrednosti za njihove nominalne faktore snaga bile 0.90, odnosno 0.95, kao ekonomičnije rešenje.

Što se tiče najpovoljnije vrednosti za prenosni odnos njihovih blok-transformatora, analize su ubedljivo pokazale da je to fiksna vrednost u iznosu  $U_{gn}/121$  kV/kV. Rezultati analiza minimalnih stanja su potvrdili da je pomenuti prenosni odnos blok-transformatora najracionalnije rešenje. Pokazano je da se pri toj vrednosti prenosnog odnosa, ostajući u okvirima uobičajenih vrednosti za naponsko-regulacioni opseg generatora u iznosu  $\pm 5\%$   $U_{gn}$ , mogu da izbegnu potpobudeni režimi rada, što je od posebnog praktičnog interesa.

U pogledu vrednosti napona kratkog spoja blok-transformatora novih hidrogenatora, poželjno je da one budu što niže (ili u okviru svojih prirodnih, odnosno

tipičnih vrednosti), ali da to ne bude praćeno nesrazmerno višom cenom blok-transformatora.

Za hidrogeneratore, koji su planirani za revitalizaciju, rezultati analiza nisu dali relevantne argumente za reviziju postojećih vrednosti parametara njihovih blok transformatora. Dalje, pokazano je, da vrednost za nominalni faktor snage u iznosu od 0.90 je prihvatljivo i zadovoljavajuće rešenje za sve razmatrane generatore, koji su predviđeni za revitalizaciju. Dakle, to praktično znaći da HE Zvornik (postojeći nominalni faktor snage 0.80), HE Međuvršje (0.70), HE Ovćar Banja (0.70), HE Vrla 1AB (0.80), HE Vrla 2A (0.80), HE Vrla 3A (0.80) i HE Vrla 4A (0.74), mogu da, u novim uslovima rada mreže Srbije, imaju nominalni faktor snage u iznosu od 0.90, kao prihvatljivo i zadovoljavajuće rešenje. Ujedno, napominje se da svi ostali hidrogeneratori, predviđeni za revitalizaciju, već imaju faktor snage u iznosu od 0.90.

## LITERATURA

- [1] "Izbor i analiza optimalnih parametara generatora i blok-transformatora hidroelektrana prikljućenih na prenosnu mrežu 110 i 35 kV EES EPS-a", Institut "Nikola Tesla", Beograd, 2007.
- [2] Interna dokumentacija Direkcije za strategije i investicije EPS-a, vezana za nove hidroelektrane, ćije se prikljućenje na mrežu Srbije planira na naponskim nivoima 110 i 35 kV, kao i za postojeće hidroelektrane, prikljućene na pomenutim naponskim nivoima.
- [3] "Program ostvarenja strategije razvoja energetike Republike Srbije do 215. godine za period od 2007. do 2012. godine", Dokument usvojen od strane Narodna skupština Srbije u maju 2005. godine ("Službeni glasnik RS" broj 44/05)
- [4] "Osnovna tehnićka dokumentacija HE i TE u Srbiji", JP Elektroprivrede Srbije, Direkcija za upravljanje i marketing, Beograd, februar 1993.
- [5] Popović D.P., "Jedna metoda upravljanja tokovima reaktivnih snaga u normalnim i havarijskim stanjima elektroenergetskih interkonekcija", ćasopis "Elektroprivreda", br. 1, 2006., str. 7 - 24
- [6] Popović D. P. , Stojković M. , "Jedan prilaz rešavanju naponsko-reaktivne problematike u prenosnim mrežama", *13 Simpozijum -Upravljanje i telekomunikacije u EES, Tara*, 29 maj - 02 jun, 2006, referat C2 I 02
- [7] Popović D.P. , Stojković M. , "Raćunarski program za utvrđivanje lokacije i snage uređaja za kompenzaciju reaktivne snage", *Međunarodni naućno-strućni simpozijum INFOTEH-Jahorina*, 22-24 mart, 2006, referat D-1.
- [8] Popović D.P., *Statićka sigurnost elektroenergetskih interkonekcija*, monografija, Institut "Nikola Tesla", Beograd, juni 2004.
- [9] Popović D.P., "Određivanje tokova snaga u polaznim ustaljenim stanjima u analizama sigurnosti elektroenergetskih sistema", ćasopis "Elektroprivreda", br.2, 2000, str. 13-26.
- [10] Okamura M. et al., "A New Power Model and Solution Method Including Load and Generator Characteristics and Effects of System Control Devices", *IEEE Transaction*, Vol. PAS-94, No. 3, May/June 1975., pp. 1072-1049.

- [11] Saadat M.H., "Steady State Analysis of Power Systems Including the Effects of Control Devices", *Electric and Power System Research*, Vol. 2, No. 2, June 1979, pp. 111-118.
- [12] Čalović M.S., Strezoski V.C., "Calculation of Steady-State Load Flows Incorporating Systems Control Effects and Consumer Self-Regulation Characteristics", *International Journal of Electric Power and Energy Systems*, Vol. 2, No. 2, April 1981, pp- 65-74.
- [13] Strezoski V.C., Viktor L.A., "Jedan matematički model za proračun stacionarnih režima povezanih elektroenergetskih sistema", časopis "*Elektroprivreda*" br. 7-8, 1984., str. 308-317.
- [14] Strezoski V.C., Čalović M.S., "Steady-State Security Analysis Assuming Large Generation/Load Disturbances", *Proc. of 9th Congress of IFAC*, Budapest, July 1984, pp. 7-12.
- [15] Liseev M.S. i dr., "Metodika proračuna posthvarijskih režima elektroenergetskih sistema" (članak na ruskom), *Električevstvo* No. 11, 1983, str. 18-23.
- [16] Lukašov E.S. i dr. *Dugotrajni prelazni procesi u elektroenergetskim sistemima* (knjiga na ruskom), Izd. "Nauka", Novosibirsk, 1985.
- [17] Popović D.P., "Upravljanje naponima generatora i naponsko reaktivna stanja elektroenergetskih interkonekcija", časopis "*Elektroprivreda*", br. 1, 2007., str. 12 - 26.
- [18] Popović D.P., Stojković M., "Dinamički aspekti upravljanje naponima generatora i naponsko-reaktivna stanja elektroenergetskih interkonekcija", časopis "*Elektroprivreda*", br. 3, 2007., str. 3 - 14.
- [19] Popović D.P., Stojković M., "Programska celina za analizu naponsko-reaktivnih stanja u prenosnim mrežama", *Međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH - Jahorina*, 28.- 30. mart, 2007., referat D-1.
- [20] "Studija dugoročnog razvoja prenosne mreže 400 kV, 220 kV i 110 kV na području Republike Srbije, za period do 2025. godine", Institut "Nikola Tesla", Beograd, 2007.
- [21] "Izbor osnovnih parametara sinhronih mašina u elektroenergetskom sistemu Srbije", Zduženo elektroprivredno preduzeće Srbije, Beograd, april 1974.
- [22] Tubić D., Stojković B., "Ponovno povezivanje sa glavnim delom UCTE mreže", časopis "*Elektroprivreda*", br. 3, 2004, str. 3-8
- [23] Mijailović S., Vujašinović Z., Cvijetić I., Marković S., "Rekonekcija UCTE-a: novi uslovi eksploatacije", *13. simpozijum "Upravljanje i telekomunikacije u EES"*, Tara, 29.maj-02.jun., 2006., Referat C2 I01
- [24] Cvijetić I., "Experiences and outcomes after re-synchronization of the UCTE 2", EPS, Power System Control Department, 2005
- [25] "Izbor načina smanjenja reaktivnog opterećenja u elektrodistributivnoj mreži za 200 Mvar", Institut "Nikola Tesla", Beograd, 2005.
- [26] "Poboljšanje kompenzacije reaktivne energije u EES EPS-a korišćenjem postojećih kondenzatorskih baterija", (I faza-područje JP Elektrodistribucija Beograda i

JP"Elektrovojvodina", Novi Sad, Projekat-Elektrotehnički Institut "Nikola Tesla" Beograd, 2001/2002.

- [27] "Poboljšanje kompenzacije reaktivne energije u EES EPS-a korišćenjem postojećih kondenzatorskih baterija", (II faza-područje JP"Elektrosrbija" Kraljevo), Projekat-Elektrotehnički Institut "Nikola Tesla" Beograd, 2002/2003.
- [28] "Poboljšanje kompenzacije reaktivne energije u EES EPS-a korišćenjem postojećih kondenzatorskih baterija" (III faza-područje Elektrodistribucija Kragujevac, Požarevac, Užice i Zaječar), Projekat-Elektrotehnički Institut "Nikola Tesla" Beograd, 2004/2005.
- [29] "Izbor optimalnog načina smanjenja reaktivnog opterećenja s gledišta prenosne mreže po TS 110/X kV u mreži EMS-a, u ukupnom iznosu od dodatnih 200 Mvar (170 Mvar na niskom naponu i 30 Mvar na srednjem naponu)", Institut "Nikola Tesla", Beograd, 2006.
- [30] "Planiranje izvora reaktivne snage u prenosnoj mreži EES Srbije - II faza" - finalna verzija, Institut "Nikola Tesla", Beograd, 2007.

**Abstract:** The improved methodology of generator rated power factor determination is presented in this paper. The block-transformer issue is considered and properly reported. New hydro power plants supposed to be connected at 110 kV are researched (HPP Brodarevo, HPP Ribarići, HPP Svođe and HPP Arilje). Also, the existing hydro power plants, which are planned for revitalization (HPP Zvornik, Vlasinske HPP, Limske HPP, HPP Ovčar Banja and HPP Meduvršje), are observed regarding the time interval up to 2020.

**Key words:** *rated power factor, generator, block-transformer, characteristics*

#### **THE GENERATOR RATED POWER FACTOR AND BLOCK-TRANSFORMER CHARACTERISTICS DETERMINATION ACCORDING TO THE POWER SYSTEM REQUIREMENTS**

Dragan P. Popović, Miloš Lj. Stojković