

DINAMIČKA STABILNOST HRVATSKOG EES-a U UCTE/CENTREL INTERKONEKCIJI

Mr. sc. Darko N e m e c – mr. sc. Milan S t o j s a v l j e v i ć – dr. sc. Muharem M e h m e d o v i ć, Zagreb

UDK 621.311.153
PRETHODNO PRIOPĆENJE

Prikazani su rezultati istraživanja dinamičke stabilnosti hrvatskog EES-a u paralelnom radu s UCTE i CENTREL interkonekcijom u aktualnoj konfiguraciji s 400 kV DV Tumbri - Hévíz (jedna trojka) te u konfiguraciji s obnovljenom TS Ernestinovo, izgrađenom TS Žerjavinec i s obje trojke 400 kV DV Žerjavinec - Hévíz u pogonu.

Za ocjenu dinamičke stabilnosti (stabilnosti na mali poremećaj) razmatrana su svojstva elektromehaničkih oscilacija, odnosno oscilatornih modova sistemskih njihanja. Primijenjen je postupak modalne analize nadomjesnog lineariziranog modela EES-a dobivenog postupkom identifikacije iz vremenskih odziva nelinearnog modela na odabrani mali poremećaj.

Istražen je utjecaj 400 kV interkonekcije u obje konfiguracijske varijante, pokazan utjecaj poprečne veze kroz EES BiH i ocijenjen utjecaj tranzita 400 kV DV Tumbri (Žerjavinec) – Hévíz na dinamičku stabilnost hrvatskog EES-a.

Ključne riječi: elektroenergetski sustav, dinamička stabilnost, modalna analiza, međupodručne oscilacije.

1. UVOD

Stabilnost sustava na mali poremećaj ili dinamička stabilnost (u posljednje vrijeme zamijenjena pojmom statičke stabilnosti) sve se češće postavlja kao ograničenje u eksploataciji suvremenih elektroenergetskih sustava, posebno u novim okolnostima deregulacije koje nerijetko iziskuju maksimalno iskorištenje raspoloživih prijenosnih kapaciteta (putova). Dinamička stabilnost istražuje značajke oscilatornih prijelaznih pojava, frekvencija približno u opsegu od 0.1 do 3 Hz, koje uključuju modove vlastitih oscilacija pojedinačnih agregata u odnosu na sustav, oscilacije između grupa strojeva u pojedinim dijelovima EES-a i oscilacije između područja povezanog EES-a (tzv. međupodručne oscilacije). Poznavanje dopustivih granica prijenosa s obzirom na kriterij dinamičke stabilnosti u tom je smislu nužan preduvjet za siguran pogon i vođenje elektroenergetskog sustava. Pritom se u svjetskoj praksi tzv. procjena dinamičke sigurnosti sustava (DSA, Dynamic Security Assessment) postupno uvodi i u on-line primjenu.

Za razliku od analiza prijelazne stabilnosti dinamička stabilnost hrvatskog elektro-energetskog sustava do sada nije bila predmetom posebnih istraživanja, posebno ne nakon osamostaljenja hrvatske države. Zemljopisno nepovoljna konfiguracija hrvatskog EES-a s dugim 400 kV vodovima i značajnom koncentracijom hidroproizvodnje u južnom dijelu sustava, zatim činjenica da su sjeverni i južni krak hrvatskog EES-a povezani kroz EES-a Bosne i Hercegovine koji

još nije u cijelosti obnovljen i, konačno, očekivana deregulacija elektroenergetskog sektora u Hrvatskoj ukazuju na potrebu da se ova problematika počne sustavno izučavati, kako na studijskom tako i na eksperimentalnom planu.

Neposredan poticaj za studiju kojom će se obuhvatiti aspekt dinamičke stabilnosti hrvatskog EES-a bila je izgradnja 400 kV dalekovoda Tumbri (Žerjavinec) - Hévíz kojim je znatno pojačana veza EES-a Hrvatske s EES-om Mađarske odnosno s UCTE i CENTREL interkonekcijom. U sklopu istraživanja razmatrani su, osim utjecaja novog dalekovoda i utjecaja iznosa i smjera tranzita njime, utjecaji nekih drugih čimbenika (npr. angažmana hidroelektrana u južnom dijelu sustava) i konfiguracijskih varijanti. U tu svrhu postavljen je, pored odgovarajućih modela susjednih sustava Mađarske i Slovenije te UCTE-a i CENTREL-a, detaljni model EES-a Hrvatske i dijela EES-a Bosne i Hercegovine s dinamičkim modelima proizvodnih jedinica i njihovih regulacijskih sustava. Razmatrane su sljedeće osnovne konfiguracije:

- polazna konfiguracija (A) bez TS Žerjavinec i TS Ernestinovo, sa Slavonijom napajanom 220 kV dalekovodom Mraclin - Đakovo i s jednom trojkom 400 kV DV Tumbri - Hévíz u pogonu, u dvije varijante: s poprečnom vezom kroz EES BiH i bez te veze
- dodatna konfiguracija (B) s izgrađenom TS Žerjavinec 400/110 kV, obnovljenom TS Ernestinovo 400/220/110 kV i obje trojke 400 kV DV Žerjavinec - Hévíz u pogonu

Primijenjen je postupak simulacije odziva EES-a u vremenskoj domeni na prikladno odabrane poremećaje. U tu svrhu korišten je programski paket za proračun stabilnosti na standardnom nelinearnom višestrojnom modelu EES-a (CESI FLOWC-NEWDYN). Odabrani su odzivi veličina koje prikladno reprezentiraju dinamiku od interesa (tokovi djelatne snage na karakterističnim prijenosnim vodovima i frekvencije napona u 400 i 220 kV čvorovima) te su iz njih postupkom zasnovanim na minimumu kvadrata identificirani nadomjesni linearizirani modeli sustava.

Modalnom analizom tako dobivenih linear(izira)nih modela određivani su karakteristični parametri značajnih modalnih komponenti. Svođenjem analize na manji broj dominantnih modova (odnosno, kad je to bilo moguće, na jedan) omogućeno je da se njihove značajke - frekvencije i relativni koeficijenti prigušenja - mogu uspoređivati u različitim stanjima sustava (konfiguracija, radna točka, uključenost stabilizatora elektroenergetskog sustava - PSS-a ...) i tako ocjenjivati utjecaj značajki stanja sustava na dinamičku stabilnost.

Dodatna provjera načinjena je pomoću pojednostavljenog lineariziranog modela višestrojnog sustava u kojem su agregati reprezentirani drugim redom, odnosno jednadžbama gibanja rotora (bez prigušenja) a sinkroni generatori modelom s konstantnom elektromotornom silom iza prijelazne reaktancije $\dot{S}7\dot{C}$. Primjenom modalne analize dinamičkog jakobijana ovako dobivenog modela EES istraženo je grupiranje agregata u koherentne grupe i njihov udio u pojedinim modovima elektromehaničkog njihanja. Kako u pojednostavljenom modelu nije reprezentirano prigušenje, rezultati se mogu interpretirati samo s obzirom na frekvencije njihanja. Usporedbom ovisnosti ovih frekvencija o parametrima režima s ovisnošću frekvencija dominantnih modova identificiranih iz odziva nelinearnog modela potvrđena je vjerodostojnost rezultata dobivenih identifikacijom.

Istraživanje dinamičke stabilnosti hrvatskog EES-a trebalo je odgovoriti na sljedeća pitanja:

- postoji li u hrvatskom EES-u jedan ili više izraženih međupodručnih oscilatornih modova i koje su im karakteristike i s kojim karakteristikama (frekvencijom i prigušenjem)?
- Kako utječe novi 400 kV dalekovod Tumbri (Žerjavinec) - Heviz na prigušenje i frekvenciju dominantnog moda međupodručnih oscilacija karakterističnih za hrvatski EES? Kako se može usporediti utjecaj tog voda s utjecajem nekih drugih interkonekcijskih vodova?
- Kako iznos i smjer tranzita na novom 400 kV dalekovodu utječu na karakteristične pokazatelje dinamičke stabilnosti hrvatskog EES-a i postoje li pri tranzitima u očekivanim granicama opasnosti za dinamičku stabilnost?

- kakav je utjecaj novog 400 kV DV na dinamička svojstva sustava u različitim varijantama angažmana agregata u hrvatskom EES-u?
- kakav je dinamički odziv hrvatskog EES-a u slučaju ispada jednog interkonektivnog voda?

2. OSNOVNE ZNAČAJKE MODELA ELEKTROENERGETSKOG SUSTAVA

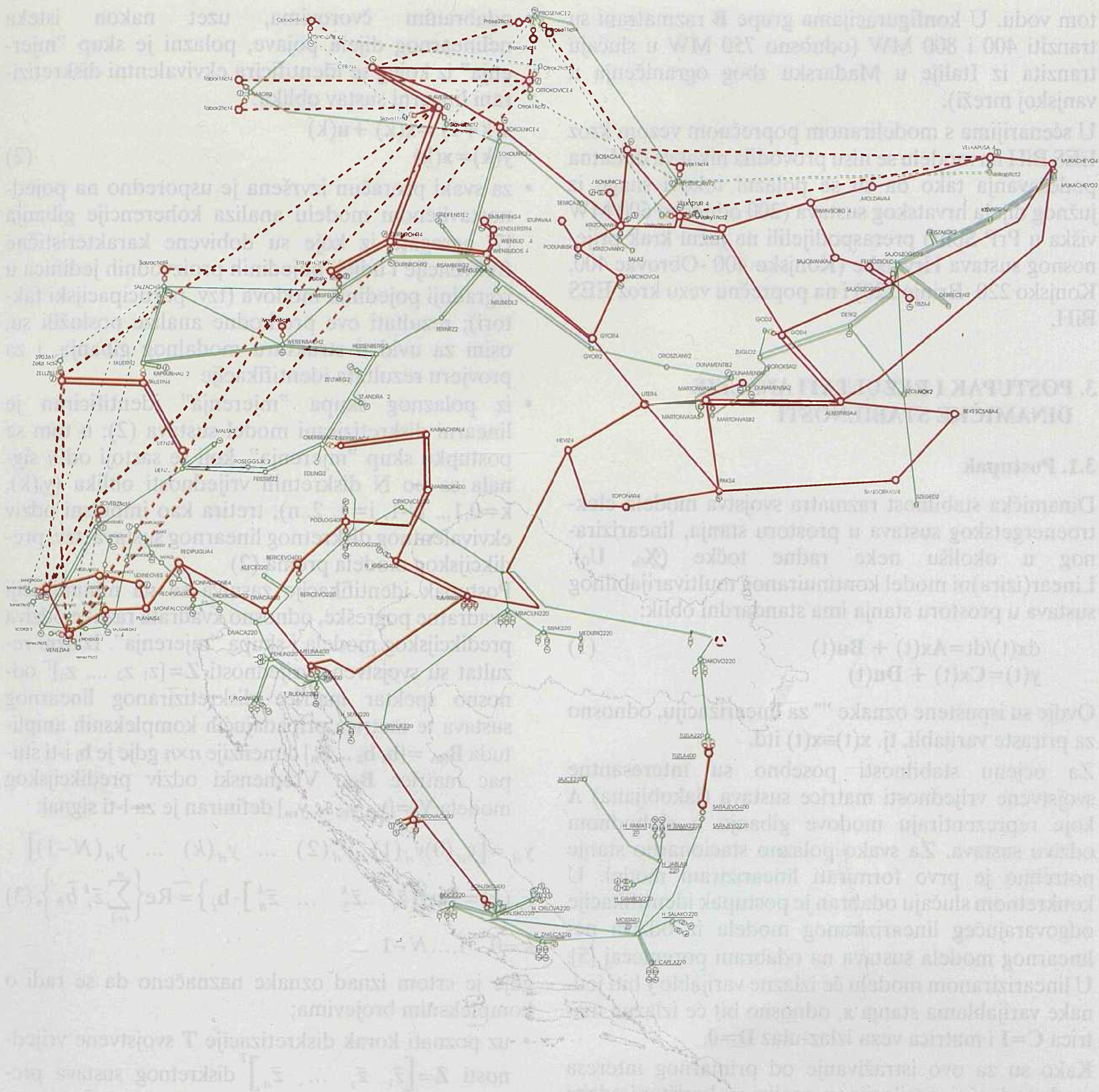
2.1. Konfiguracija

Model prijenosne mreže obuhvaća hrvatski EES-a s dijelom EES BiH ("unutarnji" EES) u paralelnom radu s UCTE/CENTREL interkonekcijom. Model vanjskog elektroenergetskog sustava obuhvaća prijenosnu mrežu naponskih razina 400 i 220 kV Slovenije, Italije, Austrije, Mađarske, Češke, Slovačke te odgovarajući ekvivalent preostalog dijela UCTE/CENTREL interkonekcije. Značajniji agregati u vanjskom sustavu modelirani su pojedinačno, a ostali su reprezentirani u sklopu dinamičkih ekvivalenata [1]. Jednopolna shema 400 i 220 kV mreže modeliranog EES za konfiguraciju A prikazana je na slici 1.

Model hrvatskog elektroenergetskog sustava temelji se na dvije polazne konfiguracije (A i B) spomenute u uvodu. Sve razmatrane varijante konfiguracije i stacionarnih stanja dane su u tablici 1.

Tablica 1. Pregled razmatranih varijanti konfiguracije hrvatskog EES-a

Varijante A – bez TS Ernestinovo i TS Žerjavinec, 1x400 kV DV Tumbri – Hévíz	
- konfiguracija P0	bez 400 kV DV Tumbri - Heviz i bez poprečne veze kroz EES BiH
- konfiguracija P1	bez 400 kV DV Tumbri - Heviz, bez poprečne veze kroz EES BiH i s 400 kV DV Melina-Divača izvan pogona
- konfiguracija P2	400 kV DV Tumbri - Heviz, s poprečnom vezom Mostar - Sarajevo – Tuzla - Đakovo
- konfiguracija A0	sa 400 kV DV Tumbri - Heviz i bez poprečne veze kroz EES BiH
- konfiguracija A1	sa 400 kV DV Tumbri - Heviz, bez poprečne veze kroz EES BiH i s 400 kV DV Melina-Divača izvan pogona
- konfiguracija A2	sa 400 kV DV Tumbri - Heviz, s poprečnom vezom kroz EES BiH (Mostar - Sarajevo – Tuzla - Gradačac - Đakovo)
Varijante B – sa TS Ernestinovo i TS Žerjavinec, 2x400 kV DV Žerjavinec - Hévíz	
- konfiguracija B0	sa 2x400 kV DV Žerjavinec – Hévíz, bez poprečne veze kroz EES BiH
- konfiguracija C0	sa 1x400 kV DV Žerjavinec – Hévíz u pogonu, bez popr. veze kroz EES BiH
- konfiguracija B2	sa 2x400 kV DV Žerjavinec – Hévíz i sa popr. vezom kroz EES BiH



Slika 1. Prijenosna mreža 400 i 220 kV modeliranog EES ("unutarnji" sustav u konfiguraciji A s poprečnom vezom kroz EES BiH)

Opterećenja u čvorištima u stacionarnim stanjima modelirana su konstantnom djelatnom i jalovom snagom, a tijekom prijelaznih pojava konstantnom impedancijom.

U modelu za istraživanje stabilnosti generatori su u pravilu modelirani dinamičkim modelima petog reda s dinamičkim modelima sustava uzbude i sustava regulacije brzine vrtnje. Nedostajući podaci dopunjeni su procijenjenim ili tipičnim vrijednostima.

2.2. Stacionarna stanja

Razmatrano je vršno opterećenje hrvatskog EES (2670 MW u konfiguraciji A, odnosno 2953 MW u konfiguraciji B). Usvojena je pretpostavka da u EES Hrvatske

postoji manjak od cca 300 MW nadoknađen uvozom iz UCTE. U svakoj varijanti stacionarnog stanja razmatrane su i dvije podvarijante, (uvjetno) za slučaj više i niže hidrologije, što rezultira dvjema razinama angažmana hidroelektrana u južnim dijelovima hrvatskog EES-a i EES-a BiH te dvjema razinama prijenosa snage iz južnog dijela hrvatskog EES-a u središnji (cca 200 MW i cca 600 MW).

Polazeći od stacionarnih stanja uz navedene pretpostavke, u konfiguracijskim varijantama A istraživano je utjecaj dviju razina tranzita na 400 kV DV Tumbri (Žerjavinec) - Hévíz (400 i 600 MW) za slučaj tranzita iz EES Mađarske u EES Italije i obrnuto. Kao posebna varijanta razmatrano je stanje s nultom razmjenom na

tom vodu. U konfiguracijama grupe **B** razmatrani su tranziti 400 i 800 MW (odnosno 750 MW u slučaju tranzita iz Italije u Mađarsku zbog ograničenja u vanjskoj mreži).

U scenarijima s modeliranom poprečnom vezom kroz EES BiH na modelu se nisu provodila nikakva dodatna podešavanja tako da su se polazni tokovi snage iz južnog dijela hrvatskog sustava (200 odnosno 600 MW viška u PrP Split) preraspodijelili na južni krak prijenosnog sustava Hrvatske (Konjsko 400 -Obrovac 400, Konjsko 220 -Brinje 220) i na poprečnu vezu kroz EES BiH.

3. POSTUPAK I REZULTATI ANALIZE DINAMIČKE STABILNOSTI

3.1. Postupak

Dinamička stabilnost razmatra svojstva modela elektroenergetskog sustava u prostoru stanja, lineariziranog u okolišu neke radne točke ($\mathbf{X}_0, \mathbf{U}_0$). Linear(izira)ni model kontinuiranog multivarijabilnog sustava u prostoru stanja ima standardni oblik:

$$\begin{aligned} dx(t)/dt &= \mathbf{A}x(t) + \mathbf{B}u(t) \\ y(t) &= \mathbf{C}x(t) + \mathbf{D}u(t) \end{aligned} \quad (1)$$

Ovdje su ispuštene oznake "''" za linearizaciju, odnosno za priraste varijabli, tj. $x(t) \equiv \hat{x}(t)$ itd.

Za ocjenu stabilnosti posebno su interesantne svojstvene vrijednosti matrice sustava (jakobijana) \mathbf{A} koje reprezentiraju modove gibanja u slobodnom odzivu sustava. Za svako polazno stacionarno stanje potrebno je prvo formirati linearizirani model. U konkretnom slučaju odabran je postupak identifikacije odgovarajućeg lineariziranog modela iz odziva nelinearnog modela sustava na odabrani poremećaj [5]. U lineariziranom modelu će izlazne varijable y biti jednake varijablama stanja x , odnosno bit će izlazna matrica $\mathbf{C}=\mathbf{I}$ i matrica veza izlaz-ulaz $\mathbf{D}=\mathbf{0}$.

Kako su za ovo istraživanje od primarnog interesa međupodručne oscilacije, u analizi su korišteni odzivi tokova djelatne snage na prijenosnim vodovima i odstupanja frekvencije u karakterističnim čvorovima "unutrašnjeg" EES-a. Primijenjen je sljedeći postupak:

- za svako polazno stacionarno stanje simuliran je pomoću nelinearnog višestrojnog modela u programskom paketu za proračun stabilnosti vremenski odziv EES na mali poremećaj (tj. na "artificijelni" prolazni kratki spoj, vrlo kratkog trajanja, na prikladno odabranom mjestu – u konkretnom slučaju u 110 kV TS Bilice) pri čemu je integracija diferencijalnih jednadžbi provedena s prikladno odabranim fiksnim korakom integracije T (konkretno, $T=0,005$ s); potom su izdvojeni vremenski odzivi željenih veličina
- skup simuliranih vremenskih odziva odstupanja djelatne snage na 400 kV prijenosnim vodovima "unutrašnjeg" EES te odstupanja frekvencije u

odabranim čvorovima, uzet nakon isteka nelinearnog dijela pojave, polazni je skup "mjeranja" iz kojeg se identificira ekvivalentni diskretizirani linearni sustav oblika:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(k+1) &= \mathbf{x}(k) + \mathbf{u}(k) \\ \mathbf{y}(k) &= \mathbf{x}(k) \end{aligned} \quad (2)$$

- za svaki proračun izvršena je usporedno na pojednostavljenom modelu analiza koherencije gibanja [7] agregata iz koje su dobivene karakteristične frekvencije i udjeli pojedinih proizvodnih jedinica u izgradnji pojedinih modova (tzv. participacijski faktori); rezultati ove prethodne analize poslužili su, osim za uvid u strukturu modalnog gibanja, i za provjeru rezultata identifikacije
- iz polaznog skupa "mjeranja" identificiran je linearni diskretizirani model sustava (2); u tom se postupku skup "mjeranja", koji se sastoji od n signala sa po N diskretnih vrijednosti oblika ($y_i(k)$, $k=0,1,\dots,N-1$, $i=1,2,\dots,n$), tretira kao impulsni odziv ekvivalentnog diskretnog linearnog sustava, tzv. predikcijskog modela prema (2)

Postupak identifikacije zasniva se na minimizaciji kvadratne pogreške, odnosno kvadrata razlike odziva predikcijskog modela i skupa "mjeranja". Izlazni rezultat su svojstvene vrijednosti $\mathbf{Z}=[z_1 z_2 \dots z_n]^T$ odnosno spektar matrice diskretiziranog linearnog sustava te matrica pripadajućih kompleksnih amplituda $\mathbf{B}_{NA}=[\mathbf{b}_1 \mathbf{b}_2 \dots \mathbf{b}_n]$ dimenzije $n \times n$ gdje je \mathbf{b}_i i -ti stupac matrice \mathbf{B}_{NA} . Vremenski odziv predikcijskog modela $\mathbf{Y}_r=[y_{r1} y_{r2} \dots y_{rn}]$ definiran je za l -ti signal:

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_r &= [y_r(0) y_r(1) y_r(2) \dots y_r(k) \dots y_r(N-1)]^T, \\ y_r(k) &= \text{Re} \left\{ \begin{bmatrix} \bar{z}_1^k & \bar{z}_2^k & \dots & \bar{z}_n^k \end{bmatrix} \cdot \mathbf{b}_l \right\} = \text{Re} \left\{ \sum_{i=1}^n \bar{z}_i^k \bar{b}_{li} \right\}, \end{aligned} \quad (3)$$

$$k=0, 1, \dots, N-1$$

gdje je crtom iznad oznake naznačeno da se radi o kompleksnim brojevima;

- uz poznati korak diskretizacije T svojstvene vrijednosti $\mathbf{Z}=[\bar{z}_1 \bar{z}_2 \dots \bar{z}_n]^T$ diskretnog sustava prevode se u svojstvene vrijednosti ekvivalentnog kontinuiranog linearnog sustava $\mathbf{\ddot{E}}=[\bar{\lambda}_1 \bar{\lambda}_2 \dots \bar{\lambda}_n]^T$ jednostavnom relacijom:

$$\mathbf{\ddot{E}} = \frac{1}{T} \ln(\mathbf{Z}) \quad (4)$$

- dobivene svojstvene vrijednosti karakteriziraju modove gibanja slobodnog odziva lineariziranog kontinuiranog sustava; oscilatorni modovi $\lambda_{1,2} = \alpha \pm j\beta$ karakterizirani su prirodnom frekvencijom oscilacija $\omega_0 = 2\pi f_0 = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$ i relativnim koeficijentom prigušenja $\zeta = -\alpha/\omega_0$ koji je mjera relativne brzine porasta ili opadanja amplitude oscilacija, a za prigušene oscilatorne pojave je pozitivan; s obzirom na predmet istraživanja daljnje se razmatranje fokusiralo na konjugirano-kompleksne parove svojstvenih vrijednosti koji reprezentiraju oscilatorne

modove, i to posebno na one s frekvencijama u području elektromehaničkih oscilacija (nihanja), dakle od 0,1 do 3 Hz

- svaki vremenski odziv predikcijskog modela (signal) $y_{rl}(t)$ sastavljen je od vremenskih odziva pojedinih modova (modalnih odziva) koji su općenito kompleksni; svaki realni vremenski odziv $y_{rl,m}(t)$ pripada ili paru konjugirano-kompleksnih svojstvenih vrijednosti ako je oscilatorni, ili realnoj svojstvenoj vrijednosti ako je aperiodski; ako spektar diskretiziranog sustava Z sadrži podskup Z_c s n_c konjugirano-kompleksnih parova odnosno s $2n_c$ kompleksnih svojstvenih vrijednosti, i podskup Z_R s n_r realnih svojstvenih vrijednosti, onda se odziv $y_{rl}(t)$ sastoji od ukupno $n_c + n_r$ realnih vremenskih odziva koji se u diskretnom obliku mogu zapisati kao:

$$y_{rl}(k) = \sum y_{rl,m}(k), \quad k=0, 1, \dots, N-1$$

$$y_{rl,m}(k) = \begin{cases} \bar{b}_{1,2m-1} \bar{z}_{2m-1}^k + \bar{b}_{1,2m} \bar{z}_{2m}^k, & \text{za } \bar{z}_{2m-1}, \bar{z}_{2m} \in Z_c \\ \bar{b}_m \bar{z}_m^k, & \text{za } \bar{z}_m \in Z_R \end{cases} \quad (5)$$

a svojstvene vrijednosti su poredane tako da one u konjugirano-kompleksnom paru slijede jedna iza druge: $z_{2m-1} = z_{2m}^*$ i $b_{1,2m-1} = b_{1,2m}^*$ (konjugirano-kompleksna veličina naznačena je zvjezdicom);

- sada se za svaki odziv, odnosno signal $y_{rl}(t)$ može izračunati energija pojednog moda, odnosno modalne komponente $y_{rl,m}(t)$ u tom signalu, i to kao integral kvadrata realnog modalnog vremenskog odziva:

$$W_m = \int_{t_0}^{\infty} [y_{rl,m}(t)]^2 dt, \quad (6)$$

a modovi se zatim poredaju po padajućim energijama te odbace oni s energijom manjom od odabranog praga (npr. 10% najveće pojedinačne modalne energije u odzivu $y_{rl}(t)$), postupak se provodi za sve odzive $y_{rl}(t)$, $l=1, 2, \dots, n$, a skup značajnih modova bit će unija svih zadržanih modova u svim signalima; u provedbi ovog postupka u konkretnom slučaju pokazalo se da postoji jedan izrazito dominantan oscilatorni mod, karakterističan za južni dio hrvatskog EES-a i dijela EES-a BiH

- za svaki scenarij prikazani su radi kontrole vremenski odzivi kutova svih generatora dobiveni proračunom pomoću nelinearnog modela
- prigušenja i frekvencije dominantnih modova međupodručnih oscilacija iz više proračuna podvrgnuti su komparativnoj analizi kako bi se ocijenio utjecaj varijanti konfiguracija i stacionarnih stanja; pritom je za prihvatljiv iznos relativnog koeficijenta prigušenja uzet iznos = 0,05 [2].

3.2. Rezultati proračuna i analiza svojstava dominantnog moda međupodručnih oscilacija

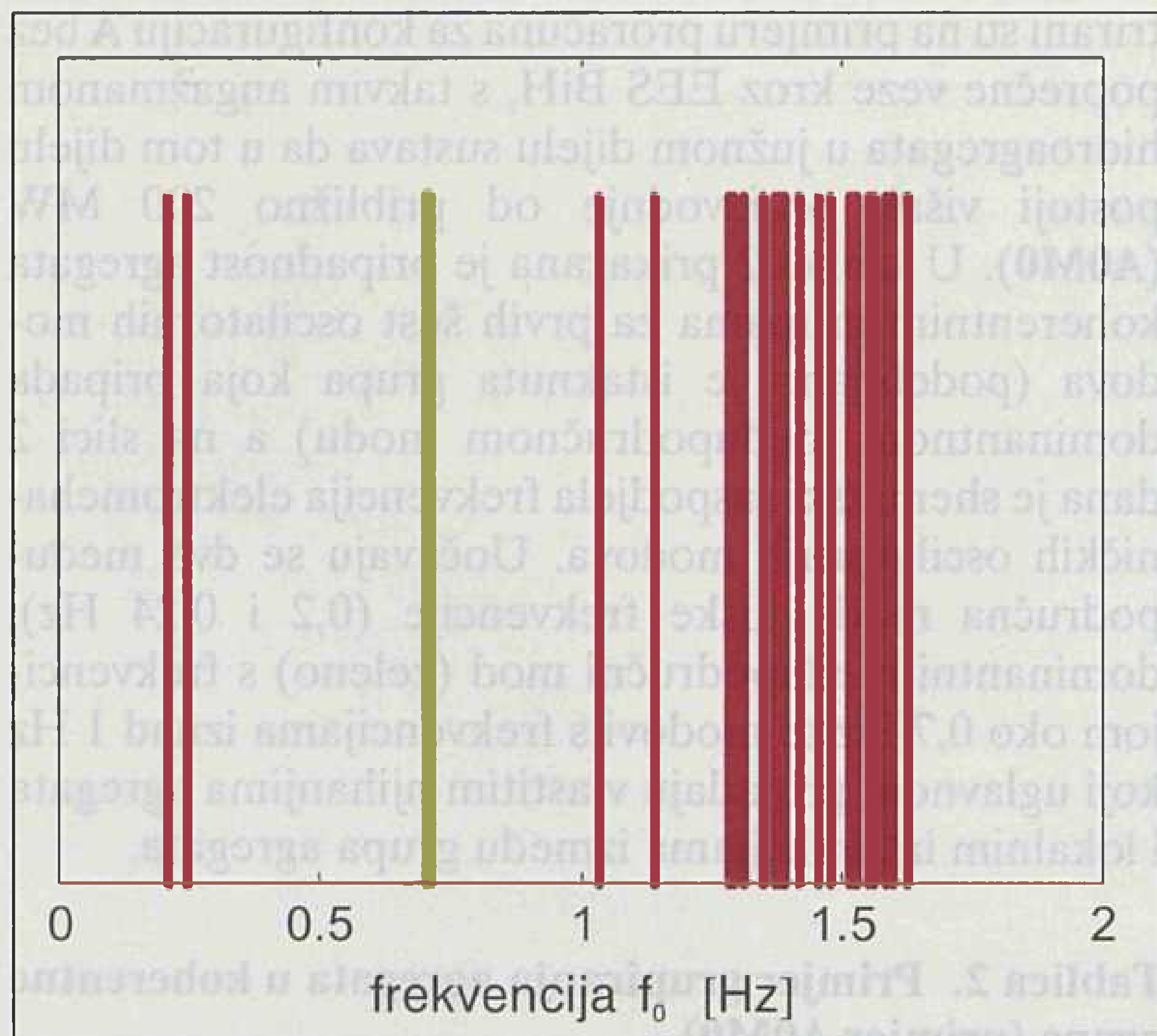
3.2.1. Preliminarna provjera rezultata identifikacije

Rezultati prethodne ocjene koherencije gibanja agregata dobivene pomoću pojednostavljenog modela ilus-

trirani su na primjeru proračuna za konfiguraciju A bez poprečne veze kroz EES BiH, s takvim angažmanom hidroagregata u južnom dijelu sustava da u tom dijelu postoji višak proizvodnje od približno 200 MW (A0M0). U tablici 2 prikazana je pripadnost agregata koherentnim grupama za prvih šest oscilatornih modova (podebljano je istaknuta grupa koja pripada dominantnom međupodručnom modu) a na slici 2 dana je shematski raspodjela frekvencija elektromehaničkih oscilatornih modova. Uočavaju se dva međupodručna moda niske frekvencije (0,2 i 0,24 Hz), dominantni međupodručni mod (zeleno) s frekvencijom oko 0,7 Hz te modovi s frekvencijama iznad 1 Hz koji uglavnom pripadaju vlastitim nihanjima agregata i lokalnim interakcijama između grupa agregata.

Tablica 2. Primjer grupiranja agregata u koherentne grupe (primjer A0M0)

R.br. moda	f_0 [Hz]	Participacijski faktor	OBJEKT
1.	0.2078	0.08957	BOSACA 4
	0.2078	0.03852	VELKY D_UR 4
2.	0.2457	0.05609	BOSACA 4
	0.2457	0.11520	BYSTRICANY 2
	0.2457	0.24470	VEL KAPUSA 4
3.	0.7046	0.15500	H_DUBROV1 14
	0.7046	0.03606	H_PERUC12 10
	0.7046	0.09154	H_ZAKUCA1 16
	0.7046	0.06592	H_ZAKUCA2 16
	0.7046	0.11100	H_ZAKUCA3 16
	0.7046	0.04114	JABLANICA110
	0.7046	0.03582	MOSTAR 110
	0.7046	0.04652	H_RAMAG1 16
	0.7046	0.04013	PAKS 4
	4.	1.0360	0.04748
1.0360		0.08540	N_KRSKO 21
1.0360		0.07401	T_SOSTAN2 16
1.0360		0.04407	DRAVA_EKV 10
1.0360		0.10080	T_SISAK1 16
1.0360		0.10510	T_SISAK2 16
1.0360		0.04271	T_PLOMIN2 14
1.0360		0.21910	H_DUBROV1 14
1.0360		0.04554	PAKS 4
5.		1.1390	0.07016
	1.1390	0.04807	H_ZAKUCA2 16
	1.1390	0.07145	H_ZAKUCA3 16
6.	1.2860	0.10550	DUNAMENTI A2
	1.2860	0.04837	PAKS 4
	1.2860	0.04515	TISZA 4



Slika 2. Raspodjela frekvencija međupodručnih modova i modova između grupa agregata (primjer A0M0) - dominantni mod istaknut zelenom bojom

Na sličan način načinjena je za sve proračune prethodna ocjena koherencije gibanja agregata i potom uspoređene frekvencije dominantnog moda dobivenog iz pojednostavljenog modela s onima iz identifikacije. Rezultati su prikazani u tablici 3 za 15 proračuna odziva u raznim konfiguracijama i stacionarnim stanjima.

Tablica 3. Usporedba frekvencija dominantnog moda iz prethodne ocjene koherencije s frekvencijom dobivenom iz identifikacije

R.b.	Proračun	f_{01} (Hz) Preth. ocjena	f_{02} (Hz) Identifik.	f_{02}/f_{01}
1.	P0M0KU1	0.6744	0.6895	1.0224
2.	P1M0KU1	0.6129	0.6266	1.0224
3.	P2M0KU1	0.6928	0.7067	1.0201
4.	A0M0KU1	0.7064	0.7150	1.0122
5.	A1M0KU1	0.6594	0.6746	1.0231
6.	A2M0KU1	0.7257	0.7454	1.0271
7.	A2MAKU1	0.7229	0.7437	1.0288
8.	A0VBKU1	0.5767	0.6136	1.0640
9.	A2VDKU0	0.6181	0.6496	1.0510
10.	B1M0KU1	0.6522	0.6636	1.0175
11.	B0M0KU1	0.6866	0.6956	1.0131
12.	C0M0KU1	0.6822	0.6910	1.0129
13.	B2M0KU1	0.7189	0.7355	1.0231
14.	B060KU1	0.5918	0.6261	1.0580
15.	B260KU1	0.6501	0.6663	1.0249

Uočava se da u se svim primjerima, osim u tri slučaja s većim angažmanom agregata u južnom dijelu sustava (A0VBKU1, A2VDKU0 i B060KU1), frekvencije dominantnog moda dobivene na dva načina razlikuju za manje od 3%, pri čemu su iz postupka prethodne

ocjene dobiveni nešto niži iznosi. U spomenuta tri slučaja s većom razlikom frekvencija iz identifikacije i preliminarnog proračuna odziv sustava je nestabilan (raspirujuće oscilacije, čak s gubitkom sinkronizma u dva slučaja) pa su nelinearni efekti u odzivu znatno izraženiji (iako je identifikacija načinjena samo iz prvog dijela odziva) pa strogo linearna predodžba sustava više ne vrijedi. S obzirom na zanemarenja u pojednostavljenom modelu to je veoma dobro slaganje, posebno stoga što varijante proračuna (konfiguracija, stacionarno stanje, angažman agregata ...) na isti način utječu na promjenu frekvencije dominantnog moda dobivenog jednim i drugim načinom.

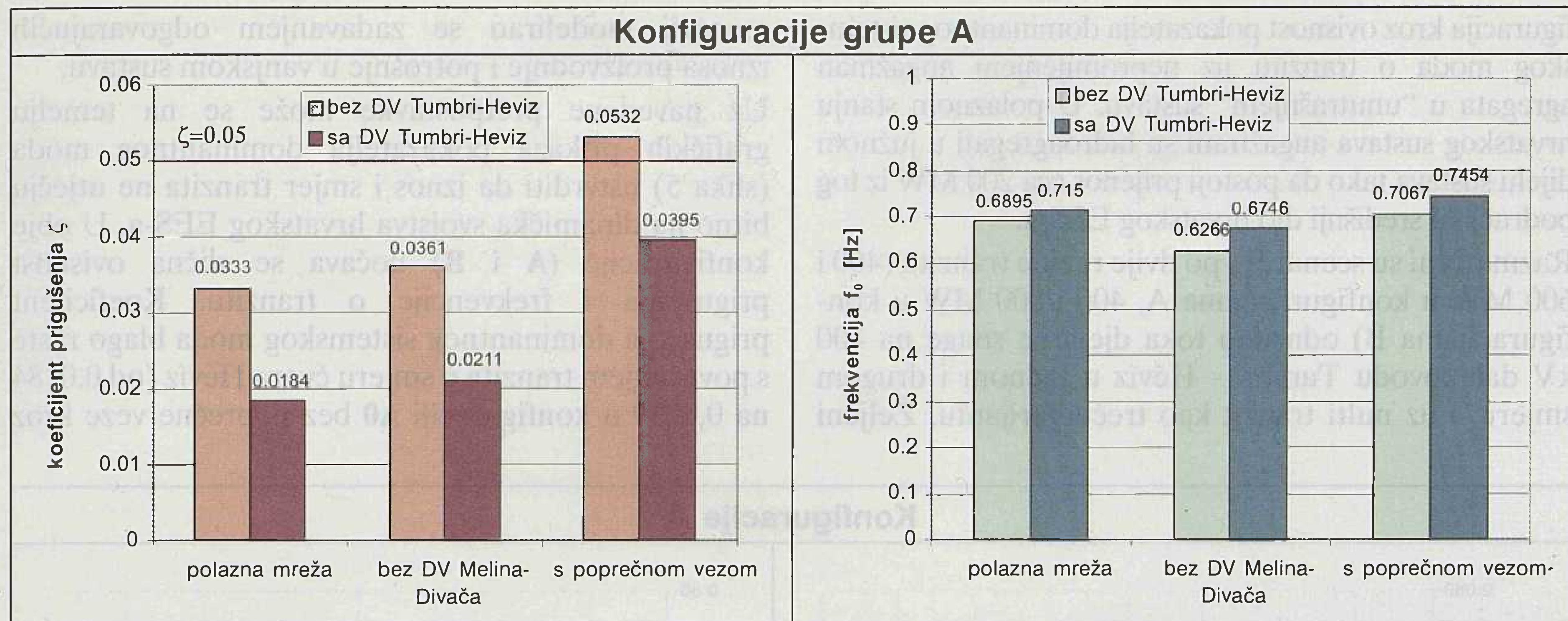
3.2.2. Utjecaj varijanti konfiguracije

Za konfiguraciju A prvo je razmatran odziv sustava u varijantama s poprečnom vezom kroz EES BiH i bez te veze, te odzivi uz 400 kV DV Melina-Divača u pogonu i izvan pogona. Radi lakše usporedbe u svim je varijantama proračuna postavljano stacionarno stanje sa snagom razmjene na vodu Tumbri - Hévíz približno jednakom nuli te s viškom od približno 200 MW u južnom dijelu hrvatskog EES-a. Sintetizirani rezultati su prikazani na slici 3. Dani su osnovni pokazatelji dominantnog moda - relativni koeficijent prigušenja i frekvencija.

Uočava se da je u istim uvjetima prigušenje u konfiguraciji s novim dalekovodom nešto niže a frekvencija oscilacija nešto viša (dinamičko ukrućivanje sustava), i to u svim varijantama, kako se može uočiti na prikazu stupčanim grafovima (slika 2). Bez dalekovoda Tumbri - Hévíz prigušenje iznosi od 0,0333 do 0,0532 (ovisno o uključenosti DV Melina-Divača i DV Đakovo-Tuzla), a s tim dalekovodom od 0,0184 do 0,0395. Prema očekivanju, s poprečnom vezom kroz EES BiH se prigušenje dominantnog međupodručnog moda znatno poboljšava. Uključenost dalekovoda Melina-Divača neznatno utječe na prigušenje (0,0333 uz uključen DV i 0,0361 uz isključen taj DV u konfiguraciji bez DV Tumbri - Hévíz odnosno 0,0184 sa DV Melina-Divača i 0,0211 bez njega u konfiguraciji s DV Tumbri - Hévíz)

Iznos relativnog koeficijenta prigušenja pozitivan je u svim slučajevima kad je uključen 400 kV DV Tumbri - Hévíz (vidi sliku 3 dolje lijevo), ali je manji od željene vrijednosti (0,05).

Za usporedbu utjecaja nove 400 kV veze hrvatskog EES prema sustavu UCTE s utjecajem postojeće veze 400 kV DV Melina-Divača izvršeni su proračuni s uključenim i isključenim vodom Melina-Divača. Frekvencija dominantnih oscilacija bez tog je dalekovoda niža za približno 0,063 Hz ili 9% u konfiguraciji bez DV Tumbri - Hévíz, odnosno za samo 0,0149 Hz ili 2,2% u konfiguraciji s tim dalekovodom. Na temelju ove usporedbe može se zaključiti da je u promatranj konfiguraciji i stacionarnom stanju utjecaj 400 kV DV Tumbri - Hévíz u smislu ukrućenja veze "unutrašnjeg" i "vanjskog" sustava osjetno veći.



Slika 3. Utjecaj varijanti konfiguracije u scenarijima grupe A na dominantni mod njihanja

Rezultati ispitivanja koherencije gibanja agregata na pojednostavljenom lineariziranom modelu sustava potvrđuju zaključak o utjecaju 400 kV DV Tumbri - Hévíz na porast frekvencije dominantnog moda međupodručnih oscilacija - od 0,6744 Hz u varijanti bez novog DV na 0,7046 Hz u varijanti s novim DV. U oba slučaja u dominantnom modu u najvećoj mjeri sudjeluju hidroelektrane iz južnog dijela sustava (HE Dubrovnik, HE Zakućac, HE Rama, HE Jablanica ...) što je razumljivo s obzirom na postavljenu konfiguraciju i stacionarno stanje. Frekvencije dominantnog moda dobivene iz pojednostavljenog linearnog modela dobro se slažu s frekvencijama dobivenim identifikacijom iz odziva potpunog nelinearnog modela (približno unutar 2%).

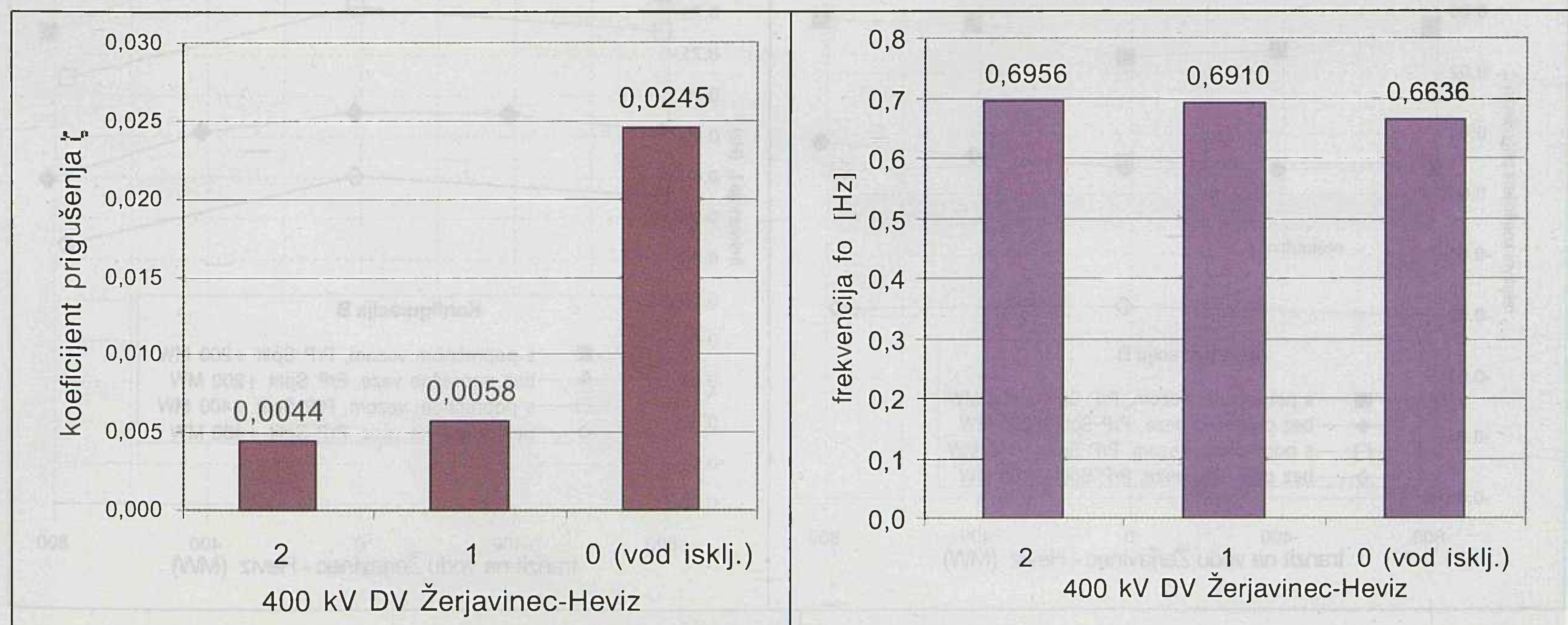
U konfiguracijama B interesantno je razmotriti kako na pokazatelje dominantnog moda utječe broj paralelnih grana novog 400 kV interkonekcijskog dalekovoda Žerjavinec - Hévíz u pogonu. Na slici 4 prikazani su rezultati za konfiguraciju bez poprečne veze kroz EES BiH. Relativni koeficijent prigušenja neznatno raste, a

frekvencija oscilacija neznatno pada s isključenjem jedne trojke tog voda. Zamjetniji porast prigušenja i pad frekvencije oscilacija nastupa tek s isključenjem voda. U svim slučajevima bez poprečne veze kroz EES BiH relativni koeficijent prigušenja manji je od poželjnog iznosa ($=0,05$), a u scenarijima s uključenim novim dalekovodom čak je blizu teoretske granice stabilnosti, odnosno granice prigušenja $= 0$.

Zaključno, novi 400 kV DV Tumbri - (Žerjavinec) - Hévíz dodatno ukrućuje hrvatski EES i razmatrani dio EES-a BiH u odnosu na UCTE interkonekciju, odnosno povećava frekvenciju i smanjuje prigušenje dominantnog moda međupodručnih oscilacija.

3.2.3. Utjecaj razine tranzita na 400 kV dalekovodu Tumbri (Žerjavinec) - Hévíz

Utjecaj smjera i iznosa tranzita na 400 kV dalekovodu Tumbri (Žerjavinec) - Hévíz na dinamičko ponašanje modeliranog sustava promatran je u obje grupe kon-



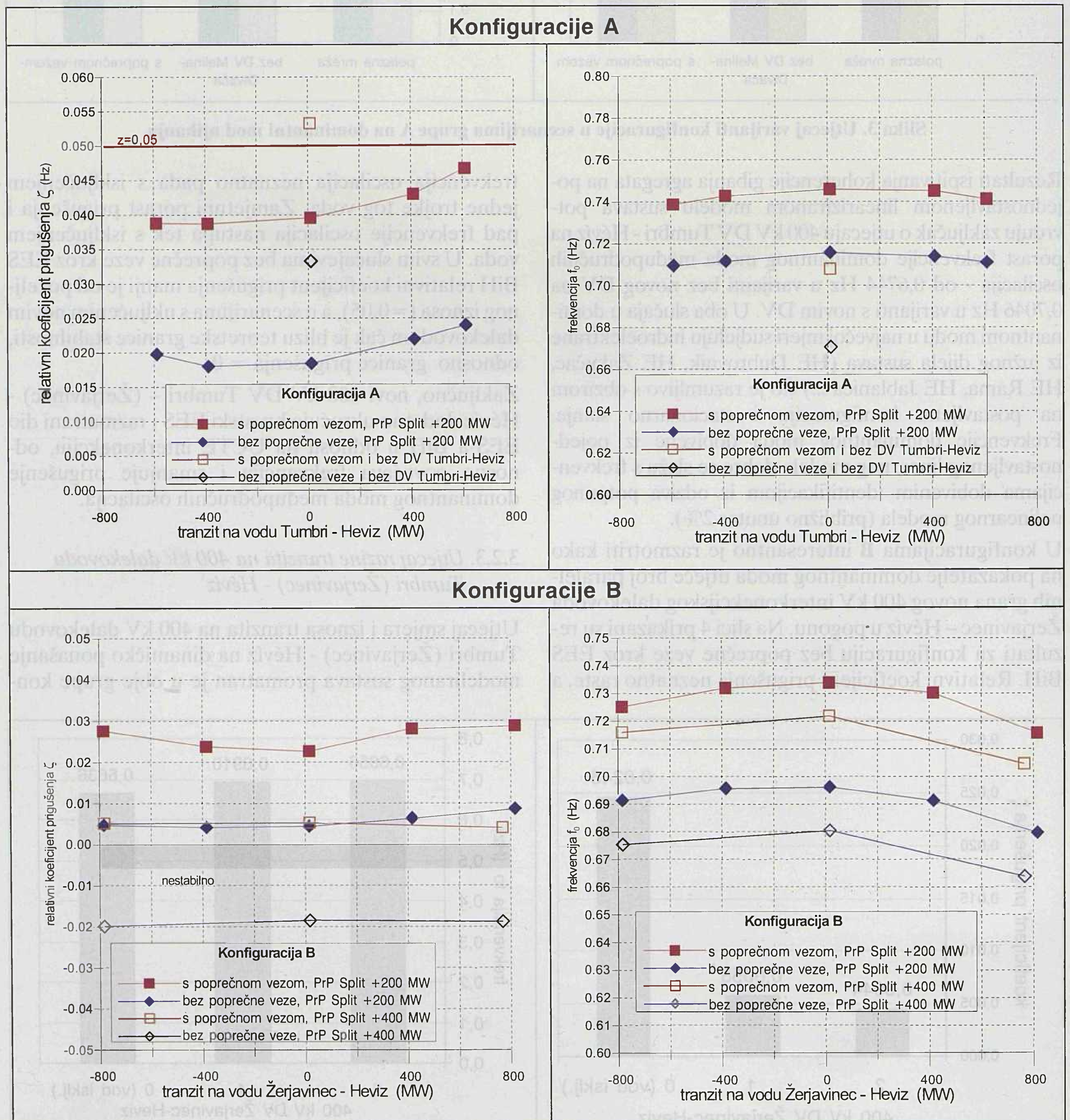
Slika 4. Utjecaj varijanti konfiguracije u scenarijima grupe B na dominantni mod njihanja

figuracija kroz ovisnost pokazatelja dominantnog sistemskog moda o tranzitu uz nepromijenjeni angažman agregata u "unutrašnjem" sustavu. U polaznom stanju hrvatskog sustava angažirani su hidroagregati u južnom dijelu sustava tako da postoji prijenos cca 200 MW iz tog područja u središnji dio hrvatskog EES-a.

Razmatrani su scenariji s po dvije razine tranzita (400 i 600 MW u konfiguracijama A, 400 i 800 MW u konfiguracijama B) odnosno toka djelatne snage na 400 kV dalekovodu Tumbri - Hévíz u jednom i drugom smjeru, i uz nulti tranzit kao treću varijantu. Željeni

scenarij modelirao se zadavanjem odgovarajućih iznosa proizvodnje i potrošnje u vanjskom sustavu.

Uz navedene pretpostavke može se na temelju grafičkih prikaza pokazatelja dominantnog moda (slika 5) ustvrditi da iznos i smjer tranzita ne utječu bitno na dinamička svojstva hrvatskog EES-a. U obje konfiguracije (A i B) uočava se slična ovisnost prigušenja i frekvencije o tranzitu. Koeficijent prigušenja dominantnog sistemskog moda blago raste s povećanjem tranzita u smjeru čvora Hévíz (od 0.0184 na 0,0239 u konfiguraciji A0 bez poprečne veze kroz



Slika 5. Ovisnost dominantnog međupodručnog moda za različite predznake i razine tranzita na vodu Tumbri (Žerjavinec) –Hévíz za različite konfiguracije i stacionarna stanja

EES BiH), dok frekvencija sasvim neznatno opada. Očigledan je pozitivan utjecaj poprečne veze kroz EES BiH uz koju se prigušenje praktično udvostručuje, a frekvencija oscilacija neznatno poraste za približno 0,03 Hz ili 4%. Štoviše, u konfiguraciji **B0** bez poprečne veze i uz povećani angažman hidroagregata u južnom dijelu sustava (višak 400 MW) prigušenje dominantnog moda postaje negativno, odnosno sustav je dinamički nestabilan pri čemu iznos prigušenja praktično uopće ne ovisi o iznosu i predznaku tranzita.

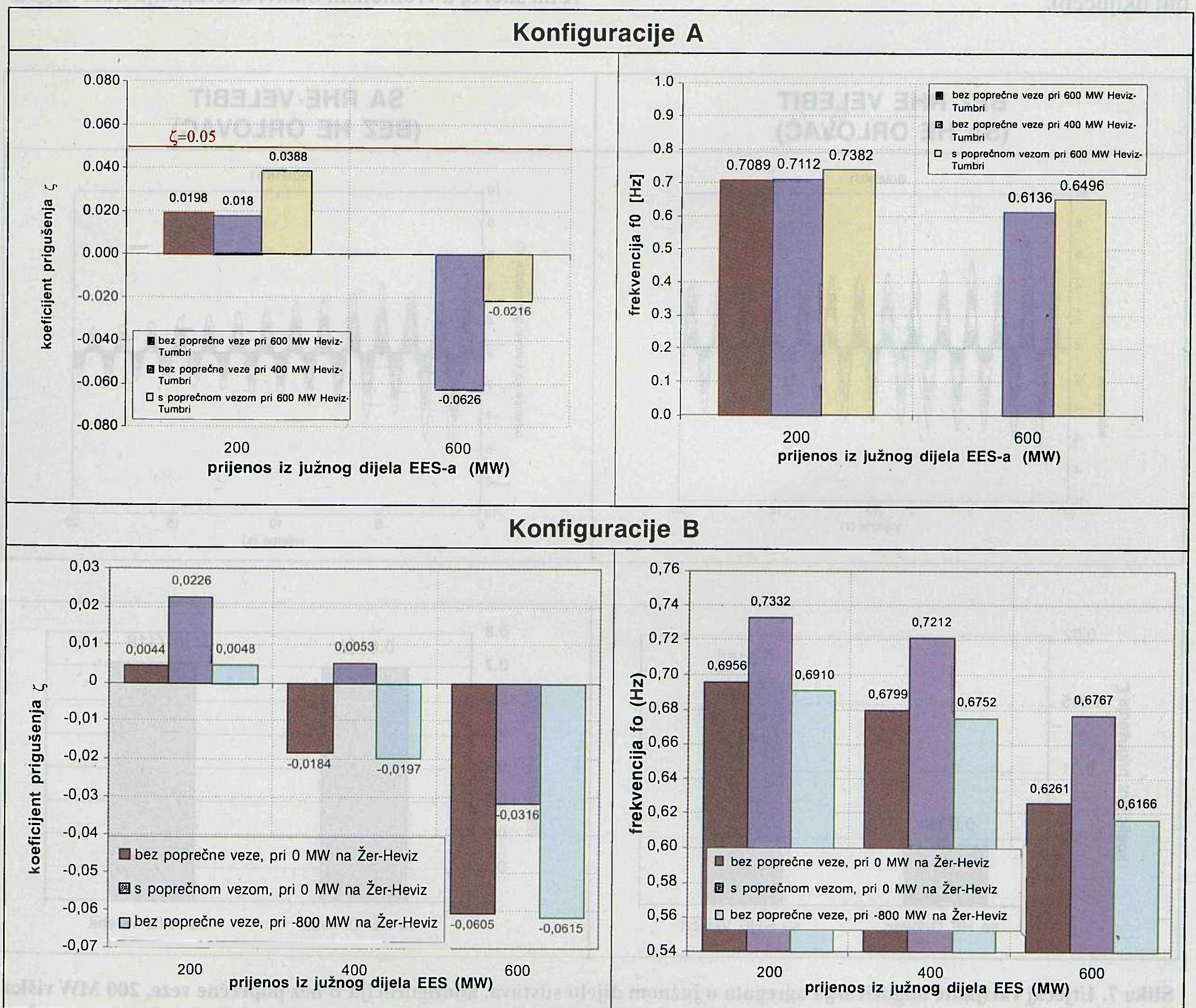
Zaključno, predznak i iznos tranzita na novom 400 kV DV Tumbri - Hévíz u razmatranim konfiguracijama i stacionarnim stanjima nema znatnijeg utjecaja na karakteristične pokazatelje dominantnog moda međupodručnih oscilacija.

3.2.4. Utjecaj angažmana agregata i razine prijenosa iz južnog u središnji dio hrvatskog EES-a

U prethodnim razmatranjima već je istaknuto da je dominantni oscilatorni mod u hrvatskom EES-u za-

pravo međupodručni mod kojim niže grupa hidroagregata u južnom dijelu hrvatskog EES-a i EES-a BiH prema ostatku sustava. Stoga se može zaključiti da angažman tih agregata (njihov broj i angažirana snaga) u velikoj mjeri utječe na svojstva dominantnog međupodručnog moda, što je za obje konfiguracije (**A** i **B**) ilustrirano na slici 6.

U konfiguraciji **A** bez poprečne veze kroz EES BiH prigušenje je pozitivno uz angažman HE u južnom dijelu hrvatskog EES-a takav da ukupni višak u tom području iznosi približno 200 MW. Povećanjem angažmana ovih hidroagregata i porastom viška na 600 MW prigušenje postaje negativno i dinamička stabilnost hrvatskog EES-a nije sačuvana. Poprečna veza kroz EES BiH značajno pridonosi povećanju prigušenja, ali u scenariju s viškom od 600 MW nije dostatna da osigura dinamičku stabilnost (slika 6 gore lijevo). Frekvencija dominantnog oscilatornog moda opada povećanjem angažmana i nešto je viša s poprečnom vezom kroz EES BiH (slika 6 gore desno).



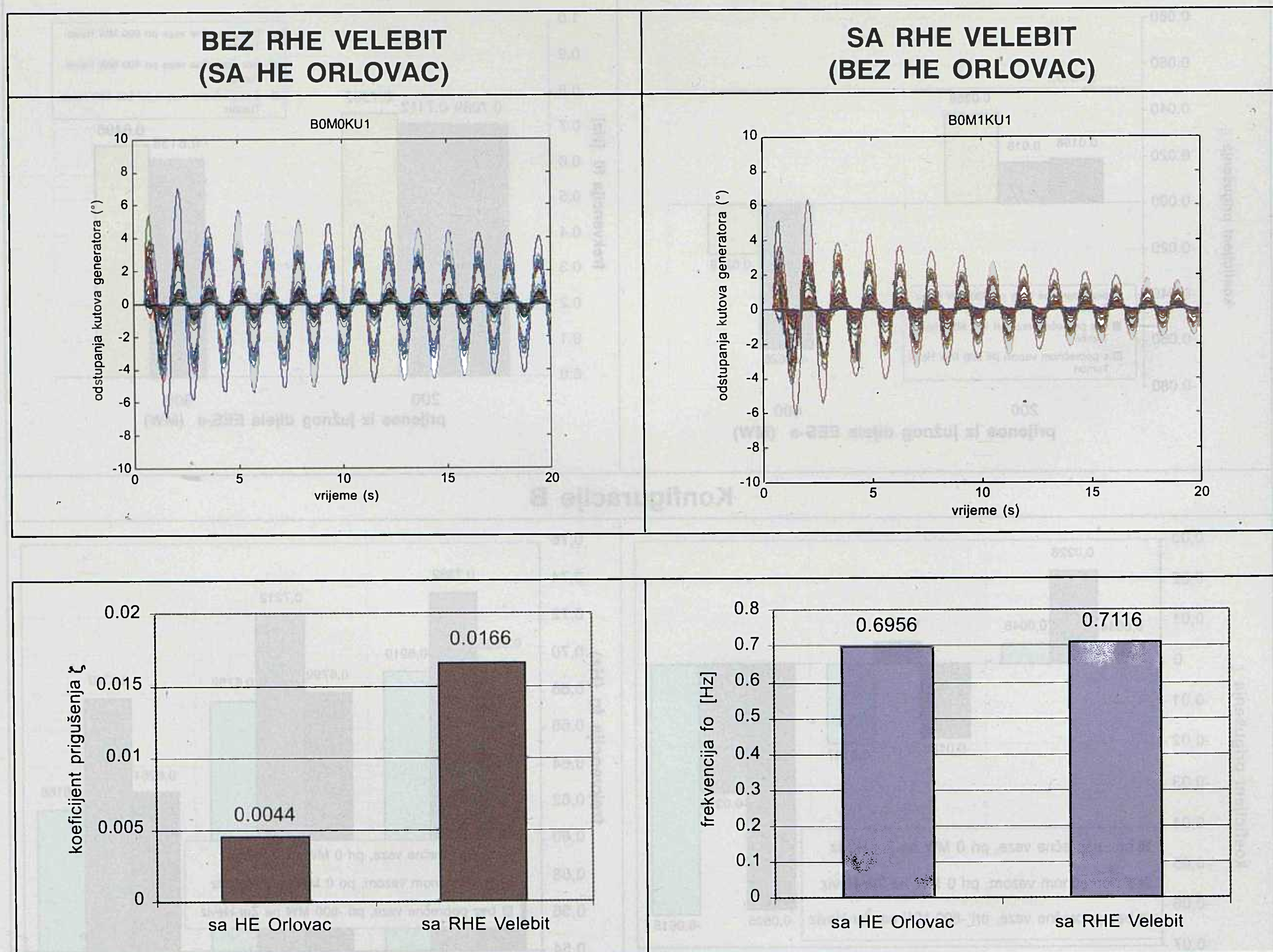
Slika 6. Utjecaj angažmana hidroagregata u južnom dijelu sustava

U konfiguraciji **B** simulirana su tri scenarija: s viškom od 200, 400 i 600 MW u južnom dijelu sustava. Pokazatelji dominantnog međupodručnog moda prikazani su na slici 5 dolje. Prigušenje je pozitivno za scenarij s viškom od 200 MW s poprečnom vezom i bez nje te za scenarij s viškom od 400 MW u konfiguraciji s poprečnom vezom, a negativno je za sve slućajeve s viškom od 600 MW u južnom dijelu sustava (slika 6 dolje lijevo). I ovdje je iz porasta frekvencije dominantnog moda oscilacija (slika 6 dolje desno) uočljivo kako poprećna veza kroz EES BiH ukrućuje sustav.

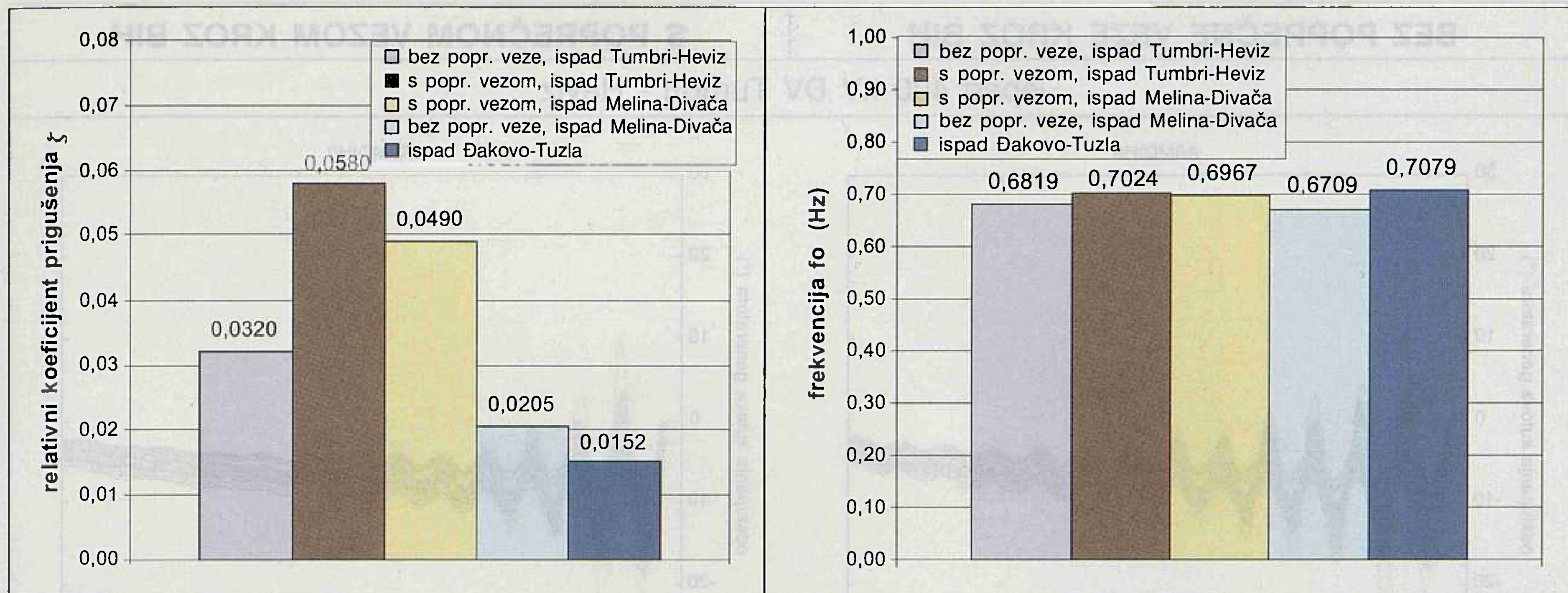
U svim razmatranim scenarijima bili su angažirani agregati u HE Orlovac. Interesantno je na jednom primjeru pokazati kako se mijenjaju pokazatelji dominantnog međupodručnog moda ako se umjesto tih agregata s istom ukupnom snagom angažiraju agregati u RHE Velebit (slika 7). Zahvaljujući činjenici da su agregati u RHE Velebit elektrićki «bliže» središnjem dijelu sustava prigušenje se povećalo dok je frekvencija oscilacija neznatno viša. U konkretnom primjeru stabilizatori EES-a na agregatima u RHE «Velebit» nisu bili uključeni.

3.2.5. Dinamićko ponašanje sustava pri ispadima dalekovoda

Planirano iskljućenje ili ispad dalekovoda bez prethodnog kvara vjerojatni su scenariji koji u smislu stabilnosti dvojako utjeću na EES: prvo, nakon ispada promijenjena je konfiguracija i drugo, sam ispad ili iskljućenje je skokoviti poremećaj koji izvodi sustav iz stanja ravnoteže. Stoga je interesantno razmotriti kako se dinamićki ponaša EES nakon takvih poremećaja, posebno kad se radi o znaćajnim dalekovodima nazivnih napona 220 i 400 kV. U tu svrhu simulirani su u polaznim konfiguracijama **A** scenariji ispada 400 kV DV Tumbri – Hévíz, 400 kV DV Melina – Divaća te 220 kV DV Đakovo – Tuzla u varijanti s poprećnom vezom kroz EES BiH, a u polaznim konfiguracijama **B** simuliran je ispad 400 kV DV Źerjavinec – Hévíz (obje trojke) i ispad 220 kV DV Đakovo – Tuzla. Rezultati analize dinamićke stabilnosti u obliku svojstava dominantnog međupodručnog moda hrvatskog sustava prikazani su za razne varijante proraćuna u konfiguraciji **A** na slici 8, a vremenski odzivi odstupanja kutova gen-



Slika 7. Utjecaj varijante angažiranja agregata u južnom dijelu sustava, konfiguracija B bez poprećne veze, 200 MW viška u južnom dijelu hrvatskog EES-a, odstupanja kutova svih generatora u sustavu (gore) i pokazatelji dominantnog moda međupodručnih oscilacija (dolje)



Slika 8. Pokazatelji dominantnog moda međupodručnih oscilacija za slućajeve ispada voda u konfiguraciji A, pri višku od 200 MW u južnom dijelu sustava

eratora u sustavu od njihovih stacionarnih vrijednosti prikazani su na slici 9. Na isti naćin prikazani su rezultati simulacijskih proraćuna ispada voda u konfiguraciji B na slikama 10 (pokazatelji dominantnog međupodručnog moda) i 11 (usporedna ilustracija vremenskih odziva kutova generatora nakon iskljućenja 400 kV DV Źerjavinec – Héviz odnosno 220 kV DV Đakovo – Tuzla iz istog polaznog stacionarnog stanja). Nakon ispada 400 kV DV Tumbri – Héviz u konfiguraciji A u stacionarnom stanju s približno 200 MW viška u južnom dijelu sustava prigušenje dominantnog međupodručnog moda oscilacija je prigušeno (0,032 bez poprećne veze i 0,058 s poprećnom vezom). U istom polaznom stacionarnom stanju ispad 400 kV DV Melina – Divaća rezultira nešto nižim iznosima prigušenja (0,02 bez poprećne veze i 0,049 s poprećnom vezom). Ispad 220 kV DV Đakovo – Tuzla najnepovoljniji je slućaj jer je prigušenje nakon ispada tog voda samo 0,0152. U konfiguracijama s poprećnom vezom i uz ovakav angažman agregata u južnom dijelu sustava prigušenje dominantnog međupodručnog moda nakon ispada bilo kojeg od dva interkonektivna 400 kV dalekovoda ima praktićno prihvatljiv iznos oko 0,05.

U konfiguraciji B razmatrane su varijante stacionarnih stanja s viškom 200 MW i 400 MW u južnom dijelu sustava i s tokom djelatne snage na 400 kV DV Źerjavinec – Héviz od približno 800 MW. U konfiguraciji bez poprećne veze pri 400 MW viška u južnom dijelu sustava ispad 400 kV DV Źerjavinec – Héviz rezultira raspirujućim međupodručnim oscilacijama (<0) dok je uz poprećnu vezu prigušenje tog moda pozitivno ali ipak nedovoljnog iznosa ($?=0,0193$). Uz manji angažman hidroagregata u južnom dijelu EES-a prigušenje je nakon ispada 400 kV DV Źerjavinec – Héviz zadovoljavajuće ($>0,05$) no nakon ispada 220 kV DV Đakovo – Tuzla u istoj situaciji prigušenje je pozitivno, ali znatno niže od prihvatljive granice. Frekvencija dominantnog međupodručnog moda najviša je u potonjem slućaju, što je u skladu sa zapažanjem da 400 kV DV Źerjavinec

– Héviz «ukrućuje» hrvatski sustav prema UCTE/CENTREL interkonekciji.

Iz provedene usporedbe slijedi da je u razmatranim scenarijima ispad 400 kV DV Tumbri (Źerjavinec) – Héviz u smislu dinamićke stabilnosti manje kritićan poremećaj od ispada 220 kV DV Đakovo – Tuzla. U konfiguraciji nakon ispada tog 400 kV dalekovoda veće je prigušenje dominantnog međupodručnog moda nego u konfiguraciji prije kvara, kako je već uoćeno u prethodnim razmatranjima.

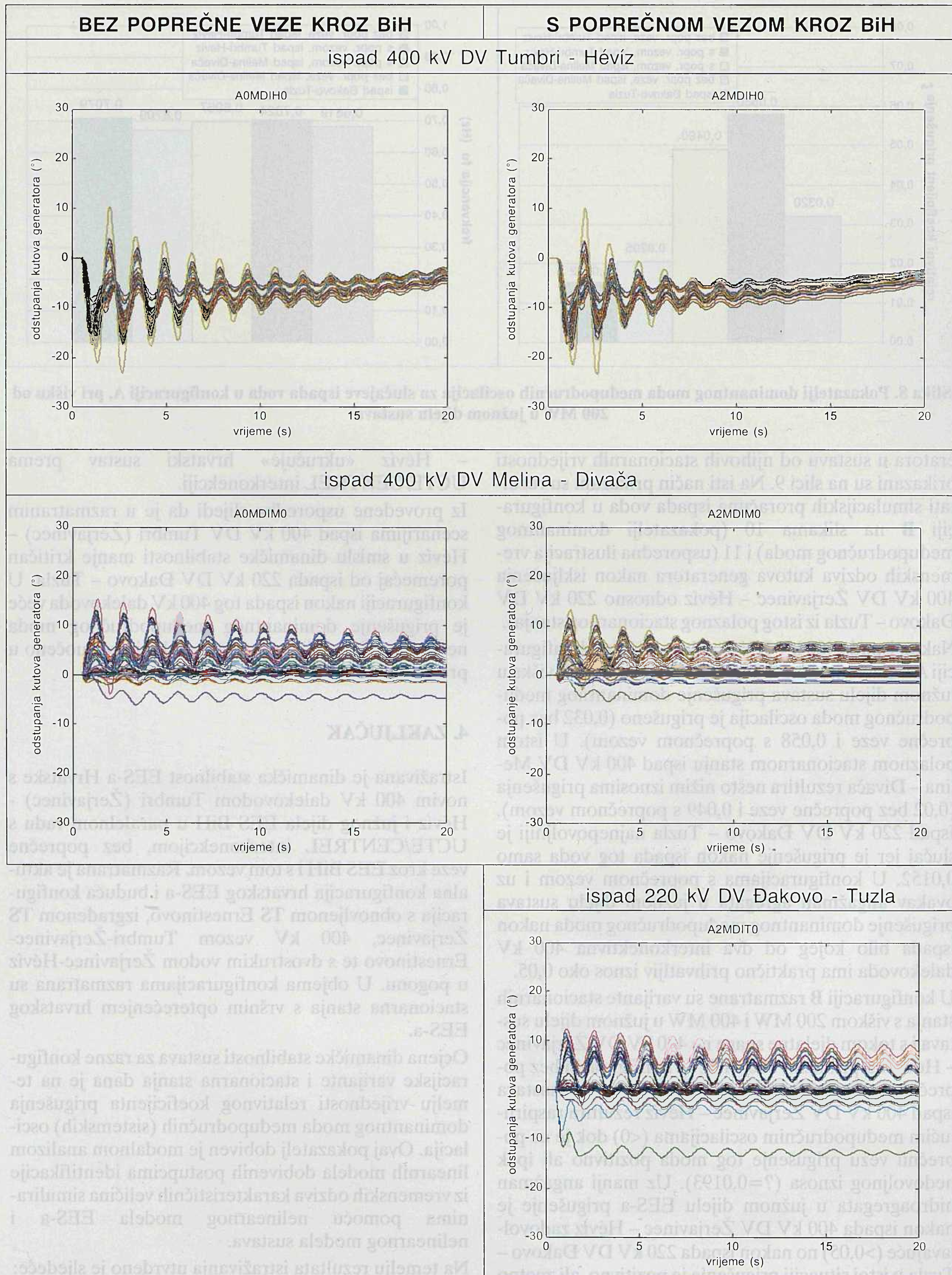
4. ZAKLJUĆAK

Istraživana je dinamićka stabilnost EES-a Hrvatske s novim 400 kV dalekovodom Tumbri (Źerjavinec) – Héviz i južnog dijela EES BiH u paralelnom radu s UCTE/CENTREL interkonekcijom, bez poprećne veze kroz EES BiH i s tom vezom. Razmatrana je aktualna konfiguracija hrvatskog EES-a i buduća konfiguracija s obnovljenom TS Ernestinovo, izgrađenom TS Źerjavinec, 400 kV vezom Tumbri-Źerjavinec-Ernestinovo te s dvostrukim vodom Źerjavinec-Héviz u pogonu. U objema konfiguracijama razmatrana su stacionarna stanja s vršnim opterećenjem hrvatskog EES-a.

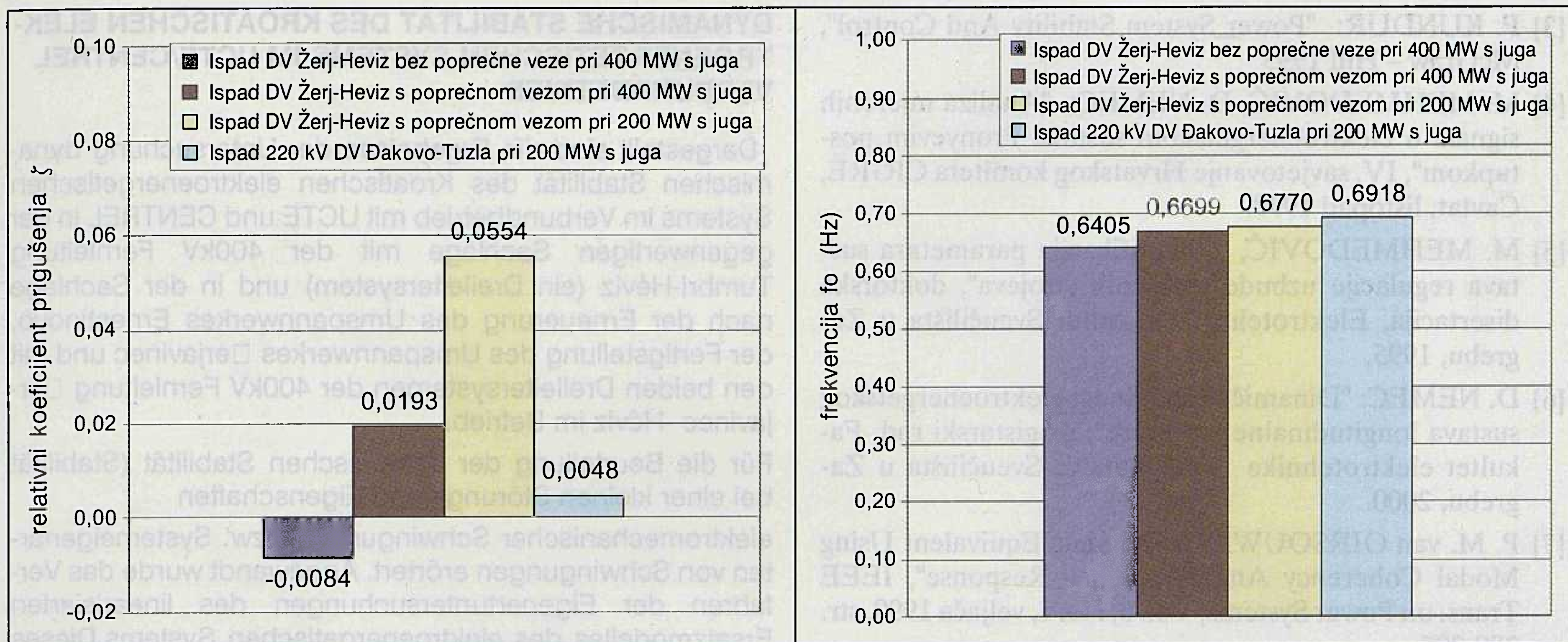
Oćjena dinamićke stabilnosti sustava za razne konfiguracijske varijante i stacionarna stanja dana je na temelju vrijednosti relativnog koeficijenta prigušenja dominantnog moda međupodručnih (sistemskih) oscilacija. Ovaj pokazatelj dobiven je modalnom analizom linearnih modela dobivenih postupcima identifikacije iz vremenskih odziva karakteristićnih velićina simuliranim pomoću nelinearnog modela EES-a i nelinearnog modela sustava.

Na temelju rezultata istraživanja utvrćeno je sljedeće:

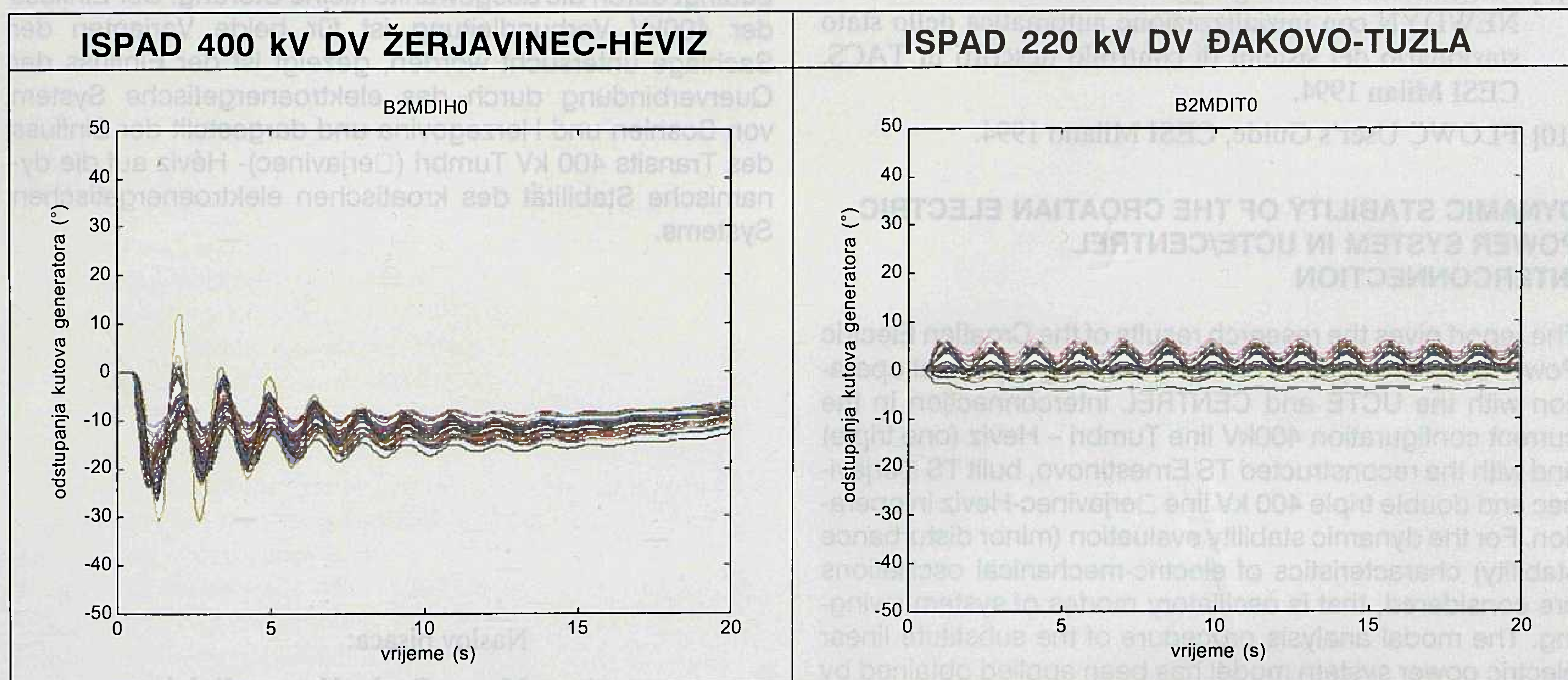
- U svim istraživanim stanjima pojavljuju se izraćene, slabo prirodno prigušene međupodručne oscilacije frekvencije u intervalu od 0.6 do 0.8 Hz.



Slika 9. Vremenski odzivi kutova svih generatora u simulacijskim proračunima s ispadom voda u konfiguraciji A, uz 200 MW viška u južnom dijelu sustava



Slika 10. Pokazatelji dominantnog moda međupodručnih oscilacija za slučajeve ispada voda u konfiguraciji B



Slika 11. Vremenski odzivi kutova svih generatora u simulacijskim proračunima s ispadom voda u konfiguraciji B s poprečnom vezom, uz 200 MW viška u južnom dijelu sustava i tranzitom na 400 kV DV Héviz - Žerjavinec iznosa 800 MW

- Karakter i parametri tih oscilacija u najvećoj mjeri ovise o angažmanu hidroagregata u južnom dijelu sustava, odnosno o razini prijenosa električne energije iz južnog dijela sustava (Dalmacija i južni dio EES-a BiH). U scenarijima sa znatnijim angažmanom tih proizvodnih jedinica hrvatski EES je bez dodatnih zahvata dinamički nestabilan.
- Uvođenjem novog 400 kV dalekovoda Tumbri (Žerjavinec) - Héviz povećava se frekvencija i smanjuje prigušenje međupodručnih oscilacija. Pogon s jednom ili s obje trojke tog voda, kao i iznos i smjer prijenosa djelatne snage tim vodom vrlo malo utječu na parametre dominantnog moda međupodručnih oscilacija.
- Poprečna veza kroz EES BiH znatno poboljšava dinamičku stabilnost sustava u svim razmatranim scenarijima.
- U budućim istraživanjima dinamičkih pojava u hrvatskom EES-u bilo bi nužno detaljnije modelirati susjedne elektroenergetske sustave, napose EES BiH, prikupiti za to potrebne podatke i po mogućnosti verificirati modele usporedbom s odzivima iz stvarnog sustava.

LITERATURA

- [1] D. NEMEC, M. MEHMEDOVIĆ, M. STOJSAVLJEVIĆ: "Istraživanje dinamičke stabilnosti elektroenergetskog sustava Hrvatske s novim 400 kV dalekovodom Tumbri (Žerjavinec) - Héviz" (studija), Institut za elektroprivredu i energetiku d.d. Zagreb, studeni 2000.
- [2] Analysis and Control of Power System Oscillations, CIGRE Report Task Force 07 of Advisory Group 01 of Study Committee 38, 1996.

- [3] P. KUNDUR: "Power System Stability And Control", McGraw - Hill 1993
- [4] M. MEHMEDOVIĆ, D. NEMEC: "Analiza mjerenih signala u elektroenergetskom sustavu Pronyevim postupkom", IV. savjetovanje Hrvatskog komiteta CIGRÉ, Cavtat, listopad 1999.
- [5] M. MEHMEDOVIĆ, "Identifikacija parametara sustava regulacije uzbude sinkronih strojeva", doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1995.
- [6] D. NEMEC: "Dinamička stabilnost elektroenergetskog sustava longitudinalne strukture", magistarski rad, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu, 2000.
- [7] P. M. van OIRSOUW: "A Dynamic Equivalent Using Modal Coherency And Frequency Response", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 5, No. 1, veljača 1990, str. 289-295
- [8] NEWDYN User's Guide, CESI Milano, 1990.
- [9] Integrazione del linguaggio di simulazione TACS in NEWDYN con inizializzazione automatica dello stato stazionario dei sistemi di controllo descritti in TACS, CESI Milan 1994.
- [10] FLOWC User's Guide, CESI Milano 1994.

DYNAMIC STABILITY OF THE CROATIAN ELECTRIC POWER SYSTEM IN UCTE/CENTREL INTERCONNECTION

The report gives the research results of the Croatian Electric Power System's dynamic stability working in parallel operation with the UCTE and CENTREL interconnection in the current configuration 400kV line Tumbri - Heviz (one triple) and with the reconstructed TS Ernestinovo, built TS Čerjavinec and double triple 400 kV line Čerjavinec-Heviz in operation. For the dynamic stability evaluation (minor disturbance stability) characteristics of electric-mechanical oscillations are considered, that is oscillatory modes of system swinging. The modal analysis procedure of the substitute linear electric power system model has been applied obtained by the identification of time response from a non-linear model on the chosen minor disturbance.

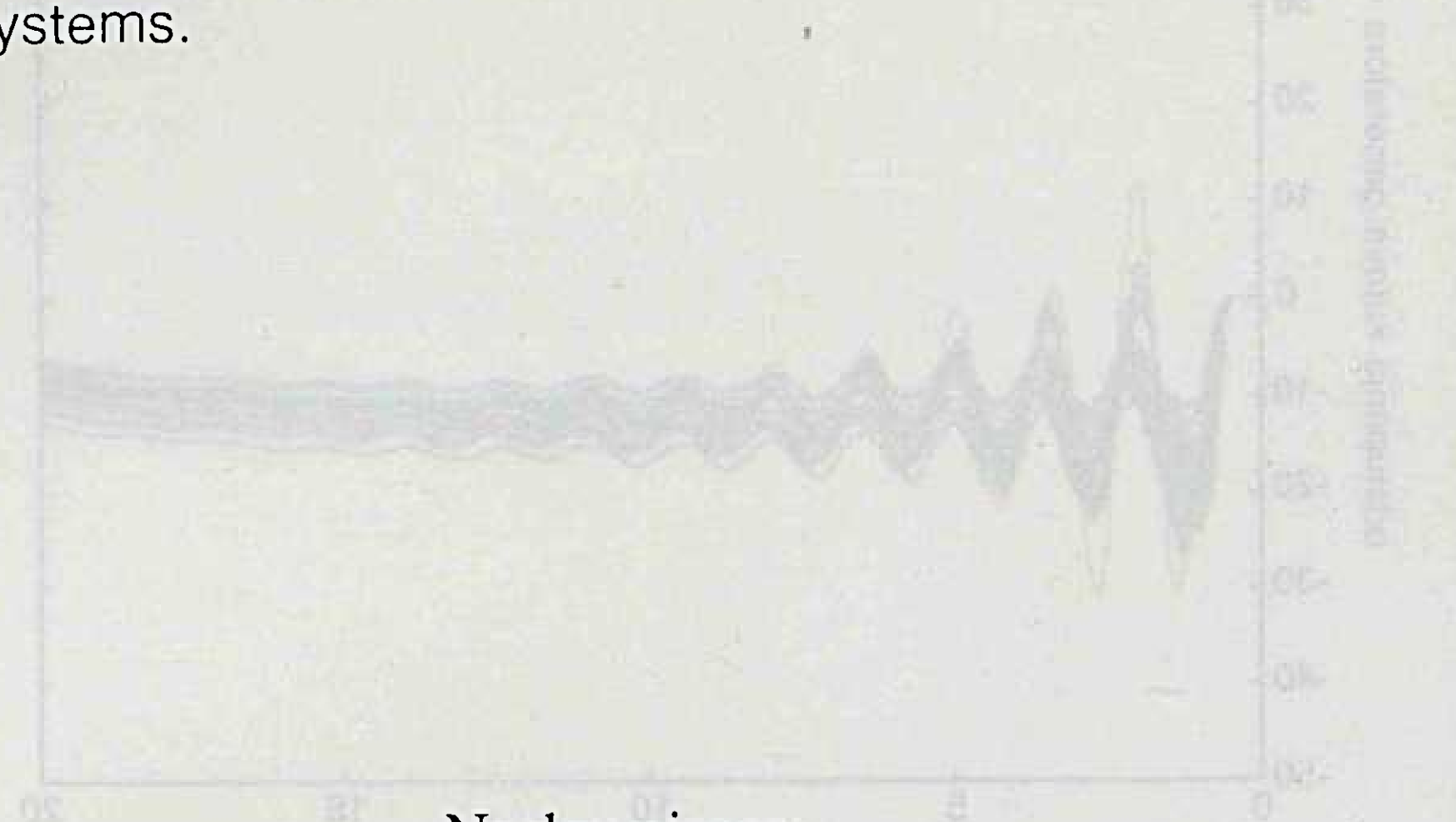
The influence of the 400kV interconnection in both configuration variants has been evaluated, the influence of lateral connection through Bosnia and Herzegovina shown and the transit influence through 400 kV line Tumbri (Čerjavinec) - Heviz on the dynamic stability of the Croatian System given.

DYNAMISCHE STABILITÄT DES KROATISCHEN ELEKTROENERGETISCHEN SYSTEMS IM UCTE/CENTREL VERBUNDBETRIEB

Dargestellt sind die Ergebnisse der Untersuchung dynamischen Stabilität des Kroatischen elektroenergetischen Systems im Verbundbetrieb mit UCTE und CENTREL in der gegenwertigen Sachlage mit der 400kV Fernleitung Tumbri-Héviz (ein Dreileitersystem) und in der Sachlage nach der Erneuerung des Umspannwerkes Ernestinovo, der Fertigstellung des Umspannwerkes Čerjavinec und mit den beiden Dreileitersystemen der 400kV Fernleitung Čerjavinec -Héviz im Betrieb.

Für die Beurteilung der dynamischen Stabilität (Stabilität bei einer kleinen Störung) sind Eigenschaften

elektromechanischer Schwingungen bzw. Systemeigenarten von Schwingungen erörtert. Angewandt wurde das Verfahren der Eigenartuntersuchungen des linearisierten Ersatzmodelles des elektroenergetischen Systems. Dieses Modell ist gewonnen mittels Identifikationsverfahren aus den zeitlichen Verzögerungen des nichtlinearen Modelles bedingt durch die ausgewählte kleine Störung. Der Einfluss der 400kV Verbundleitung ist für beide Varianten der Sachlage untersucht worden, gezeigt ist der Einfluss der Querverbindung durch das elektroenergetische System von Bosnien und Herzegovina und dargestellt der Einfluss des Transits 400 kV Tumbri (Čerjavinec)- Héviz auf die dynamische Stabilität des kroatischen elektroenergetischen Systems.



Naslov pisaca:

Mr. sc. Darko Nemec, dipl. ing.
mr. sc. Milan Stojsavljević, dipl. ing.
dr. sc. Muharem Mehmedović, dipl. ing.
Institut za elektroprivredu i energetiku
Ulica grada Vukovara 37
10000 Zagreb, Hrvatska

Uredništvo primilo rukpis:
 2001-07-09.