

Tomislav Plavšić
HEP OPS d.o.o.
tomislav.plavsic@hep.hr

Mato Mišković
HEP Proizvodnja d.o.o.
mato.miskovic@hep.hr

Marija Mirošević,
Veleučilište u Dubrovniku
marina@unidu.hr

ANALIZA UTJECAJA NOVE TS PLAT NA STABILNOST AGREGATA HE DUBROVNIK

SAŽETAK

U referatu se analizira prijelazna stabilnost agregata HE Dubrovnik za slučaj postojeće konfiguracije prijenosne mreže u sklopu elektroenergetskog (EES) podsustava južne Hrvatske i konfiguracije mreže s novom transformatorskom stanicom (TS) Plat. Stabilnost agregata analizirana je putem modeliranja elemenata prijenosne mreže i proizvodnih generatora. Proračuni su izvedeni za dva slučaja bliskog mrežnog kvara, te su prikazani odzivi kuta opterećenja i djelatne snage generatora G1 i G2 u HE Dubrovnik. Rezultati su analizirani te je izveden zaključak u pogledu utjecaja TS Plat na stabilnost rada agregata HE Dubrovnik i dijela EES-a.

Ključne riječi: prijenosni sustav, prijelazna stabilnost, proizvodna jedinica, elektroenergetski sustav, tokovi snaga, mrežni kvar

ANALYSIS OF THE NEW SUBSTATION PLAT INFLUENCE ON THE HPP DUBROVNIK GENERATION UNITS' STABILITY

SUMMARY

Transient stability of generation units in HPP Dubrovnik is analysed in the paper, considering present network configuration and new configuration with substation Plat. Transient stability analyses are performed through modelling of transmission system elements and production units. Calculations are performed for two cases of close network failure, and responses of generation units G1 and G2 in HPP Dubrovnik angle and active power production are shown. Results are analysed, and conclusion regarding the influence of substation Plat on the stability of generation units and part of power system is drawn.

Key words: transmission system, transient stability, generation unit, power system, power flows, network failure

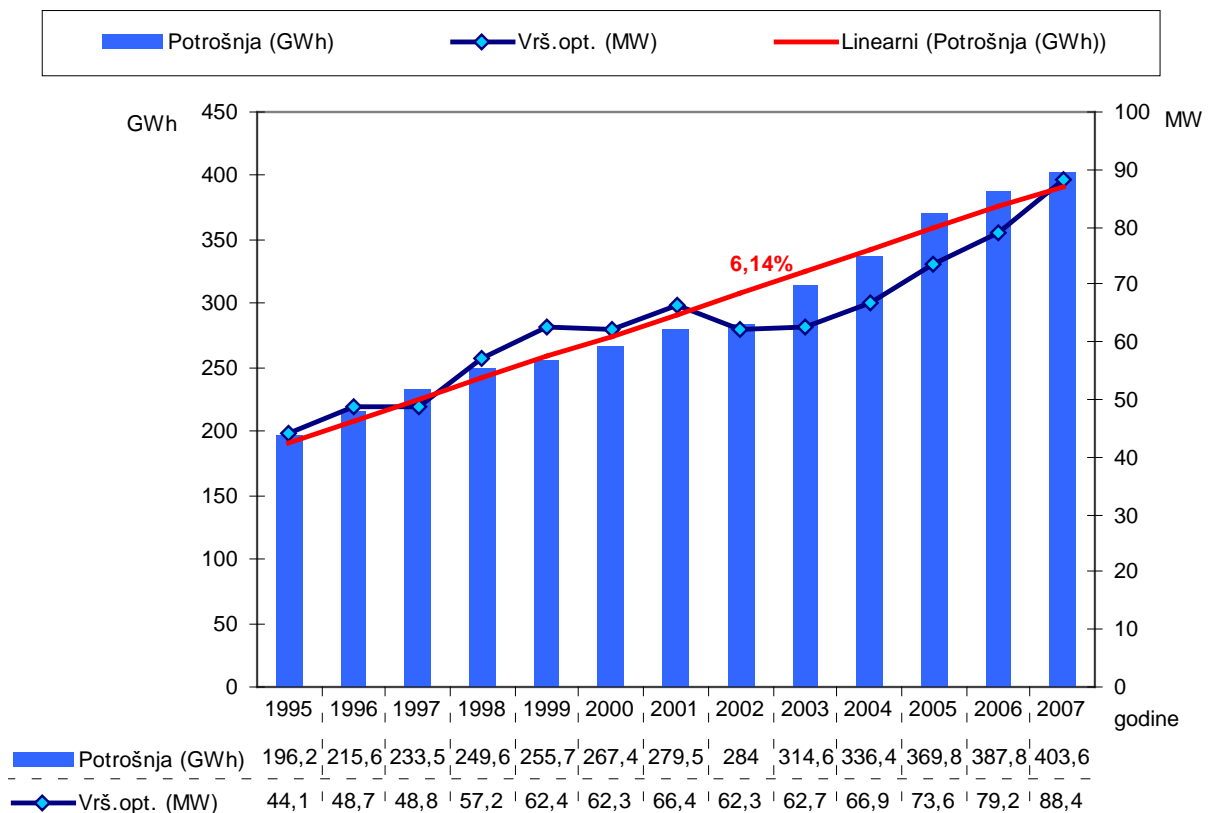
1. UVOD

Hydroelektrana Dubrovnik sadrži dva agregata istih tehničkih karakteristika, nazivne snage po 108 MW. Jedan agregat povezan je na EES Republike Hrvatske 110 kV zračnim vodom. Drugi agregat povezan je s EES BiH 220 kV zračnim vodom. Naponska razina i prijenosne mogućnosti dalekovoda 110 kV ne odgovaraju snazi agregata, tako se javljaju značajni gubici u prijenosu energije koji su pretežno usmjereni na dionicu Komolac - Ston. Uz gubitke u prijenosu energije, ovaj dalekovod ograničava i maksimalne iznose tokova snage, tako da je povremeno potrebno smanjiti snagu agregata u HE Dubrovnik.

Osim gubitaka u prijenosu energije i ograničenja u snazi dalekovod 110 kV Ston - Komolac dominantno doprinosi visokom iznosu ekvivalentne reaktancije spoja generatora G1 do krute mreže. Za tipičnu konfiguraciju mreže iznos ekvivalentne reaktancije generatora G1 u HE Dubrovniku veći je od 50%. Veliki iznos ekvivalentne reaktancije rezultira slabim prigušenjem elektromehaničkih njihanja koja se javljaju u mreži. Postojeća veza generatora G1 u HE Dubrovnik na EES preko dalekovoda 110 kV, koju karakterizira veliki iznos ekvivalentne reaktancije do krute mreže, može rezultirati i pojavom slabo prigušenih njihanja koja se javljaju u prijenosu energije između ovog područja i ostatka elektroenergetskog sustava.

TS 220/110/35/20(10) kV Plat pokazala se kroz niz studija [1 - 7], rađenih u razdoblju od 1977. godine pa sve do zadnjih studija izrađenih 2007. godine, ključnim prijenosnim objektom na krajnjem geografskom i električkom jugu Hrvatske. Uloga i značaj TS Plat je višestruka, a tiče se i sustavne i lokalne problematike. Osnovni razlozi izgradnje TS Plat su:

1. Očekivani visok porast opterećenja (slika 1),
2. Potreba dovršenja projekta izravnog povezivanja proizvodnje proizvodnje, prijenosa i distribucije koji je započet izgradnjom voda 2x110 kV HE Dubrovnik - TS Komolac te formiranja elektroenergetskog podsustava na području Dubrovnika,
3. Potreba za transformacijom 220/110 kV u TS Plat (HE Dubrovnik) sa svrhom spajanja EES Hrvatske i generatora G2 HE Dubrovnik,
4. Potreba za transformacijom 110/35 kV u TS Plat (HE Dubrovnik) i osiguranjem dodatne točke napajanja distribucijske mreže,
5. Potreba za jačim povezivanjem sa matičnim dijelom elektroenergetskog sustava 220 kV vodom prema planiranoj TS Zagvozd (HE Zakučac).



Slika 1. Godišnja potrošnja električne energije i vršno opterećenje DP Elektrojug u razdoblju 1995.-2007. godine.

U radu je istražen utjecaj TS Plat na stabilnost agregata (G1 i G2) u HE Dubrovnik. U drugom poglavlju opisane su značajke interpolacije nove TS Plat u elektroenergetski podsustav južne Hrvatske, dok su u trećem poglavlju pokazani rezultati analize stabilnosti agregata u HE Dubrovnik. U četvrtom je poglavlju opisana buduća uloga i značaj HE Dubrovnik u okviru EES-a Hrvatske.

2. INTERPOLACIJA TS PLAT U ELEKTROENERGETSKI PODSUSTAV JUŽNE HRVATSKE

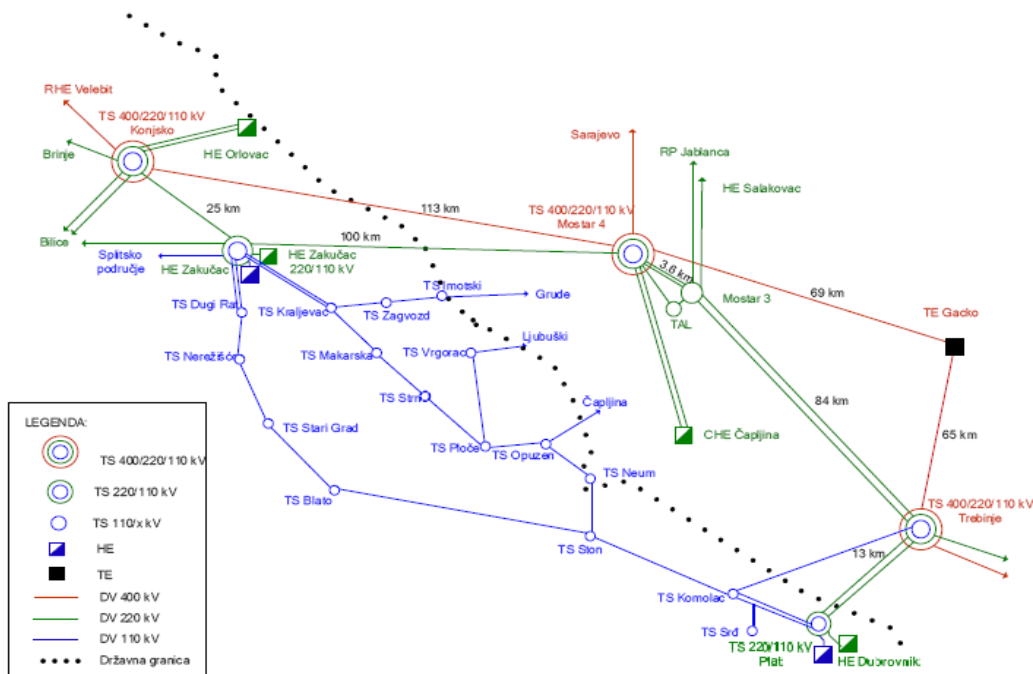
S ciljem da se poboljša pouzdanost i kvaliteta napajanja Dubrovačkog područja te smanje gubici u prijenosu energije donesena je odluka o izgradnji TS Plat. Dodatni razlozi za izgradnju TS Plat su:

- nedovoljna izgrađenost prijenosne i distribucijske mreže na širem području Dubrovnika,
- veliki broj prekida napajanja i količine neisporučene energije,
- veliki gubici električne energije zbog čestih preopterećenja vodova,
- nesiguran i ograničen plasman proizvodnje iz HE Dubrovnik,
- izloženost probalnih dalekovoda posolici, požaru, buri i sl.

U sklopu interpolacije TS Plat u elektroenergetski podsustav južne Hrvatske planira se izgradnja slijedećih objekata:

- TS 220/110/35/20(10) kV Plat
 - Sabirnički sustavi i vodna polja 220, 110 i 35/20(10) kV
 - Transformacija 220/110 kV, 2x150 MVA
 - Transformacija 110/35/20(10) kV, 2x40 MVA
- Priključni nadzemni vodovi
 - DV 2x220 kV / uvod 2 DV 220 kV iz TS Trebinja u TS Plat
 - Uvod DV 110 kV iz TS Komolac u TS Plat
 - Uvod DV 110 kV iz TS Srđ u TS Plat
- Priključni kabelski vodovi
 - KB 220 kV / uvod DV 220 kV iz HE Dubrovnik u TS Plat
 - KB 110 kV / uvod DV 110 kV iz HE Dubrovnik u TS Plat
 - Rasplet KB/DV 35 i 20(10) kV iz TS Plat

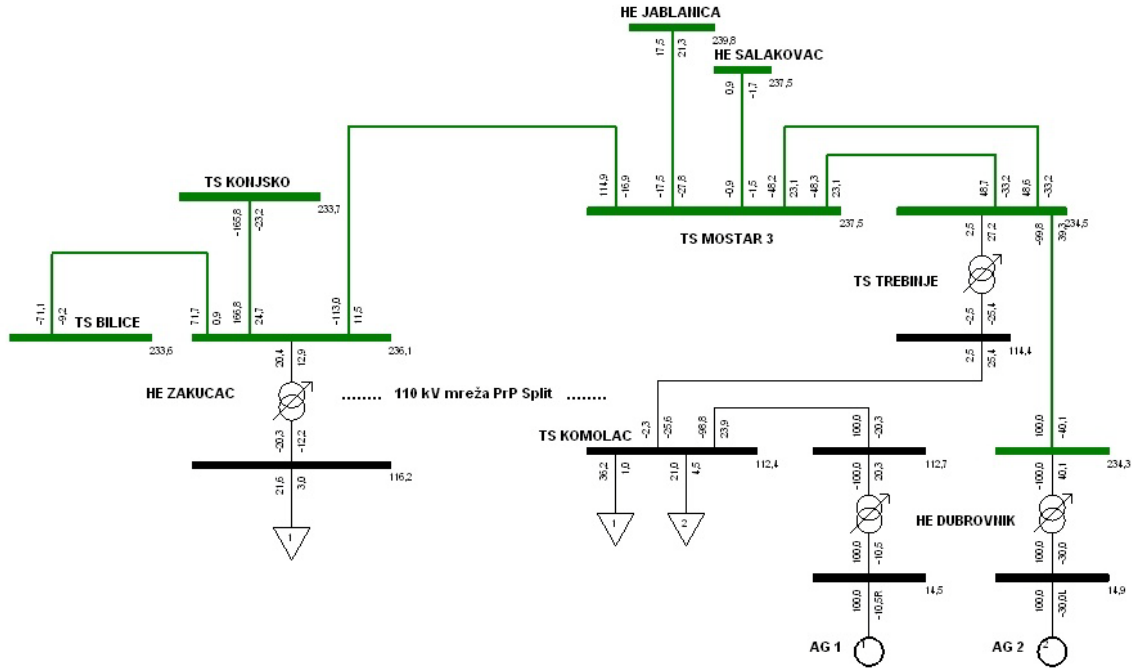
Prikaz šire prijenosne mreže s ucrtanom planiranom interpolacijom TS Plat i TS Srđ dan je na slici 2.



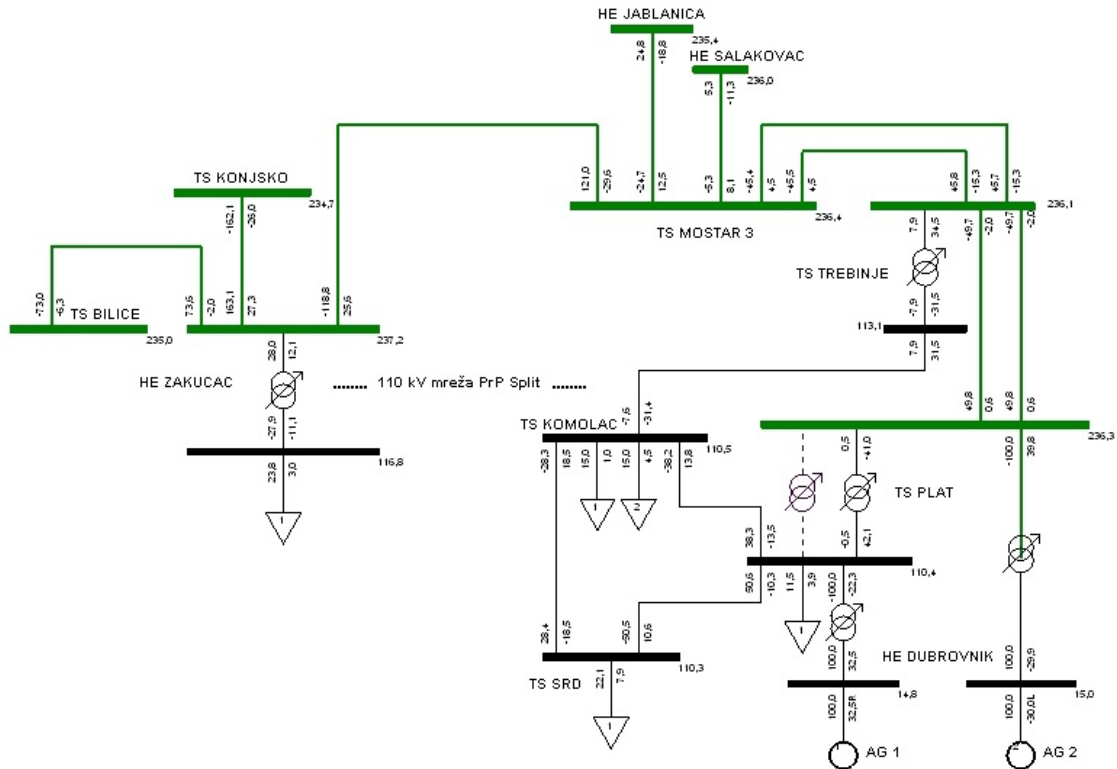
Slika 2. Shematski prikaz šire prijenosne mreže s planiranom interpolacijom TS Plat i TS Srđ

3. REZULTATI ANALIZE PRIJELAZNE STABILNOSTI AGREGATA U HE DUBROVNIK

Prijenosna mreža Hrvatske s okruženjem modelirana je za dva slučaja. U prvom slučaju modelirano je postojeće stanje gdje je generator G1 spojen na EES Hrvatske preko 110 kV voda Plat-Komolac i generator G2 na EES BiH preko 220 kV voda Plat – Trebinje. U drugom slučaju, modelirana je mreža s novom TS Plat gdje su generatori G1 i G2 izravno (kabelom) spojeni na TS Plat. Proračuni su izrađeni pomoću programskog paketa PSS/E [8]. Na slici 3 prikazana je modelirana prijenosna mreže za prvi slučaj s izračunatim tokovima snaga. Model prijenosne mreže za drugi slučaj, s novom TS Plat, pokazan je na slici 4. Za izračun tokova snaga, u oba slučaja, korišteni su podatci dobiveni na temelju stanja u zimskom maksimumu EES-a Hrvatske iz 2008. godine.



Slika 3. Model prijenosne mreže s tokovima snaga – sadašnje stanje



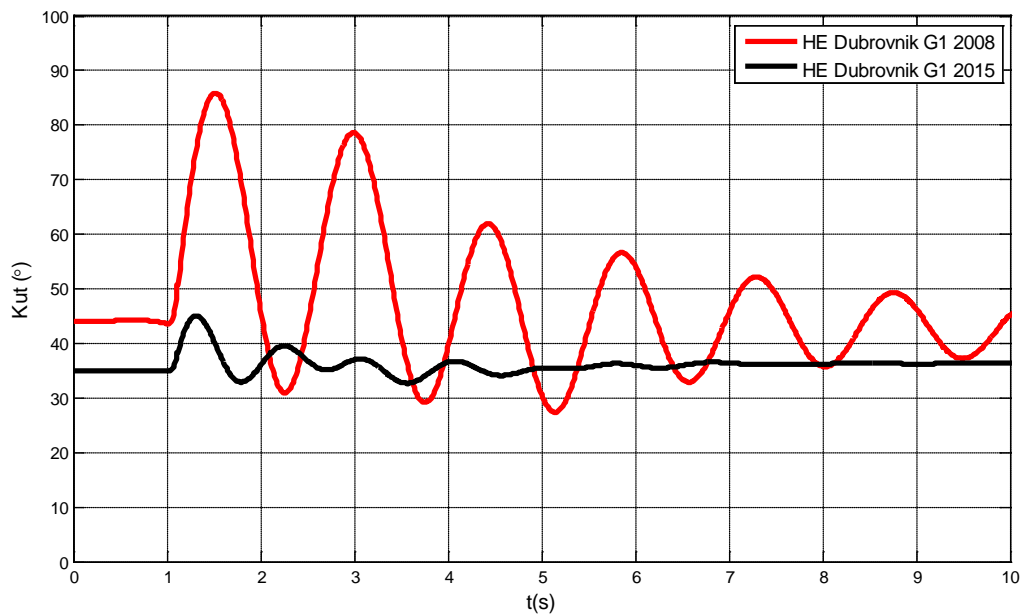
Slika 4. Model prijenosne mreže s tokovima snaga – s novom TS Plat

S ciljem analize utjecaja nove TS Plat na prijelaznu stabilnost generatora HE Dubrovnik, za oba navedena modela prijenosne mreže, učinjena su po dva proračuna za slučaj bliskog trolejnog mrežnog kvara:

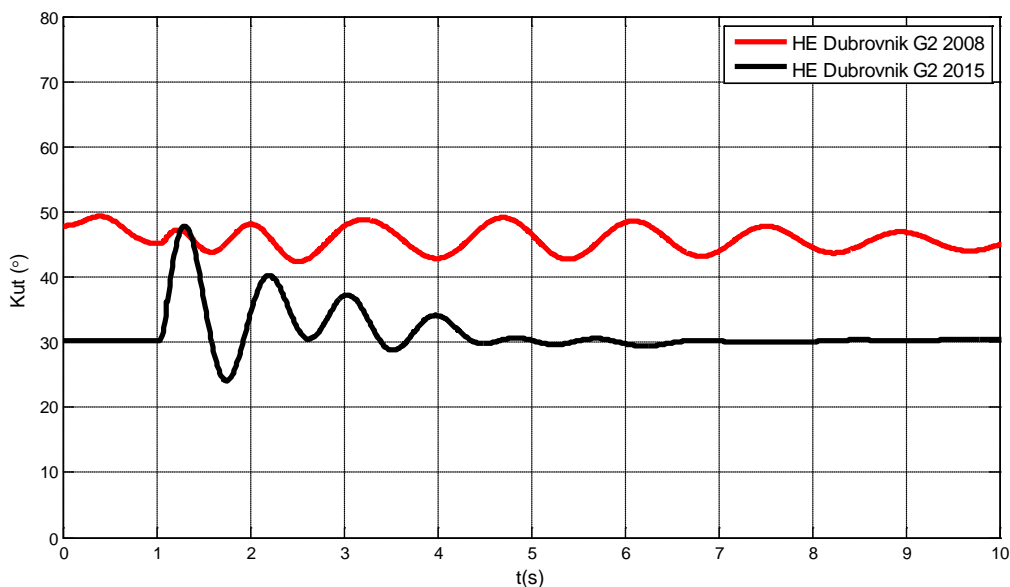
Proračun 1: Trolejni kratki spoj na 110 kV vodu Komolac – Trebinje u trajanju 100 ms uz isključenje voda,

Proračun 2: Trolejni kratki spoj na 110 kV vodu Komolac – Plat u trajanju 100 ms uz isključenje voda.

Odziv kuta opterećenja generatora G1 u slučaju prolaznog trolejnog kratkog spoja na 110 kV vodu Komolac – Trebinje u trajanju 100 ms, za oba modeliranja stanja prijenosne mreže, prikazan je na slici 5, dok je na slici 6 prikazan odziv kuta opterećenja generatora G2.



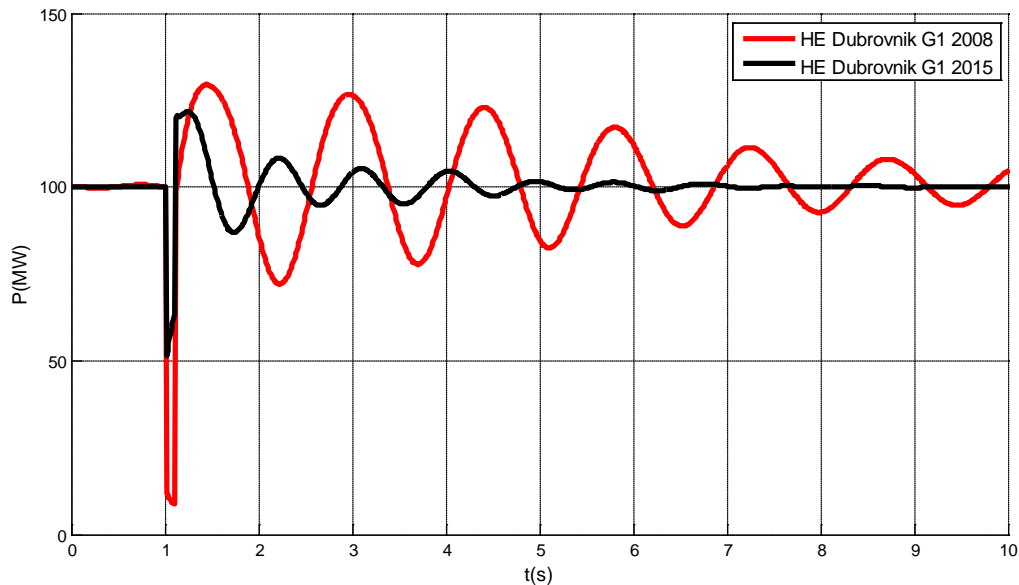
Slika 5. Odziv kuta opterećenja generatora G1 za oba modeliranja stanja prijenosne mreže u slučaju prolaznog trolejnog kratkog spoja na 110 kV vodu Komolac – Trebinje u trajanju 100 ms



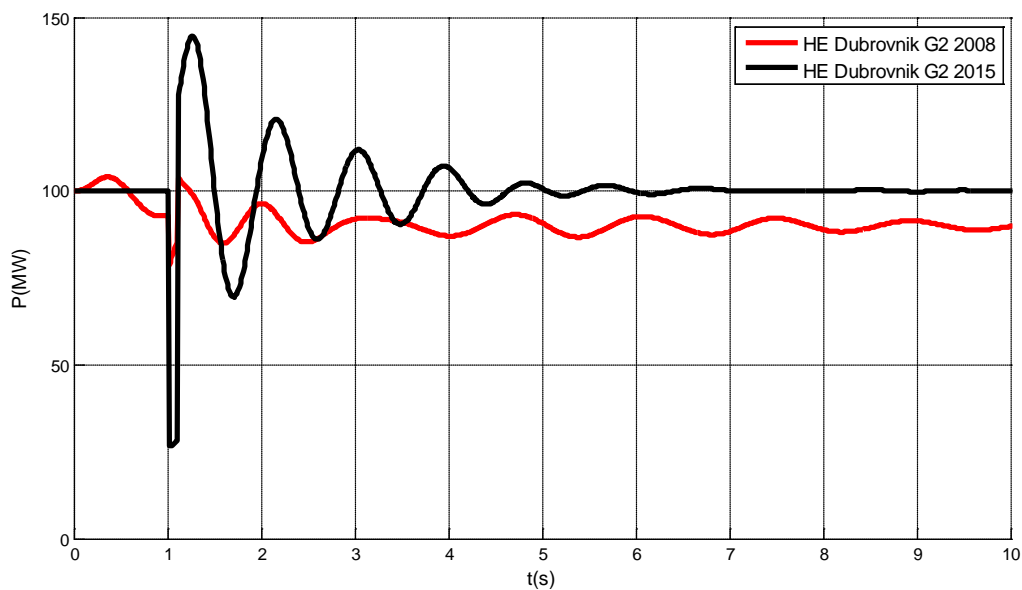
Slika 6. Odziv kuta opterećenja generatora G2 za oba modeliranja stanja prijenosne mreže u slučaju prolaznog trolejnog kratkog spoja na 110 kV vodu Komolac – Trebinje u trajanju 100 ms

Sa slike 5 je vidljivo da je maksimalna vrijednost kuta opterećenja generatora G1 na simulirani poremećaj u mreži znatno manja za slučaj mreže s novom TS Plat nego što je to za postojeće stanje. Usporedbom trajanja prijelazne pojave za oba slučaja (slika 5) vidljivo je bolje prigušenje u odzivu kuta opterećenja generatora za slučaj mreže s novom TS Plat. U postojećoj konfiguraciji oscilacije kuta opterećenja generatora G1 ne prigušuju se niti 9 s nakon isključenja voda u kvaru. Odziv kuta opterećenja generatora G2 nešto je veće amplitude za novo priključno stanje, zbog električkog spoja generatora G2 na hrvatski EES preko TS Plat umjesto postojećeg spoja na EES BiH preko TS Trebinje, no vidljivo je bolje prigušenje u odzivu kuta opterećenja generatora za slučaj mreže s novom TS Plat, kao i kod generatora G1.

Odzivi djelatne snage generatora G1 na isti poremećaj, prikazani su na slici 7, a odzivi djelatne snage generatora G2 na slici 8.



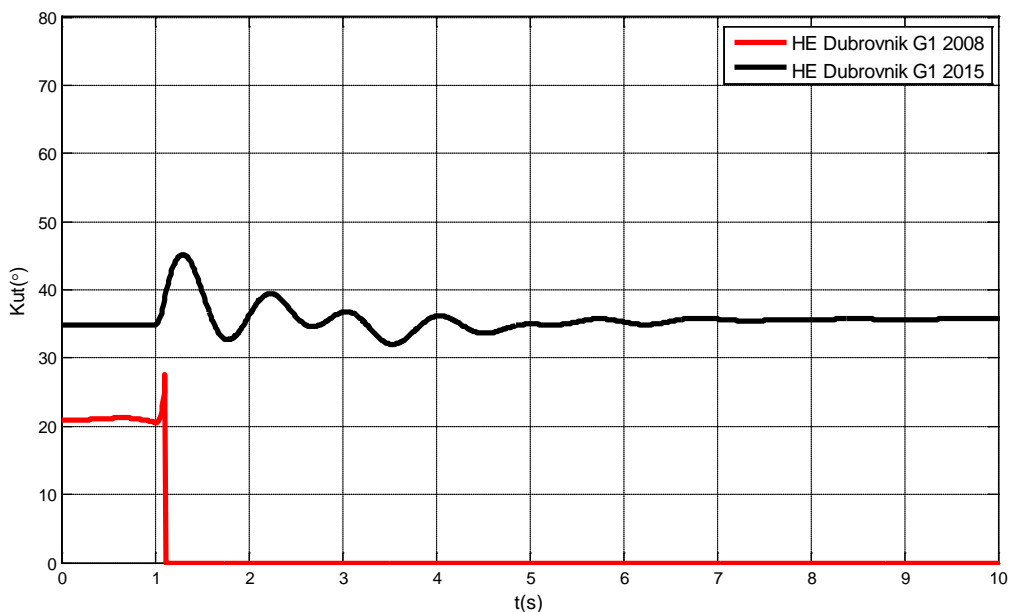
Slika 7 Odziva djelatne snage generatora G1 za oba modeliranja stanja prijenosne mreže u slučaju prolaznog trolnog kratkog spoja na 110 kV vodu Komolac – Trebinje u trajanju 100 ms



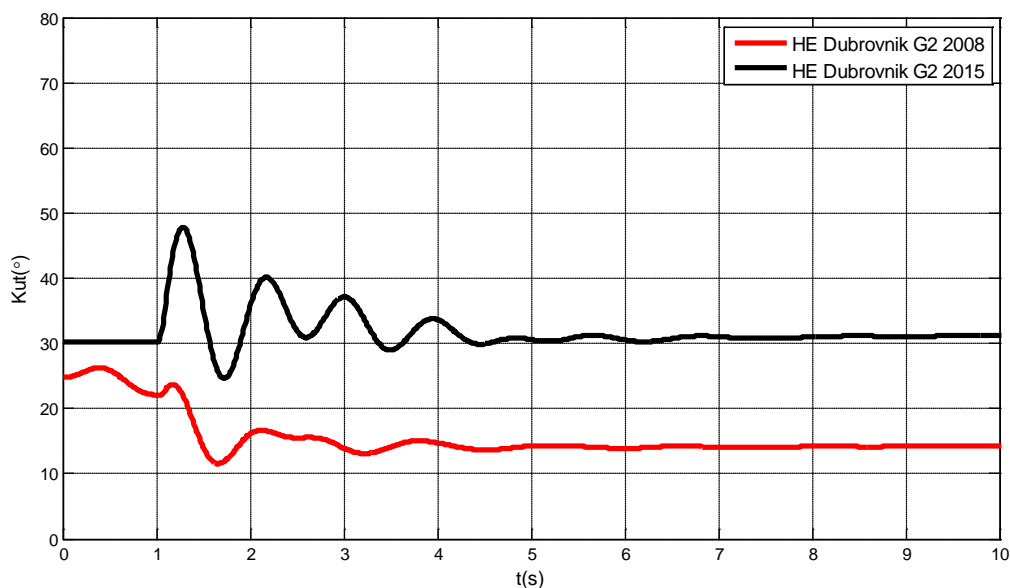
Slika 8. Usporedba odziva djelatne snage generatora 2 za oba modeliranja stanja prijenosne mreže u slučaju prolaznog trolnog kratkog spoja na 110 kV vodu Komolac – Trebinje u trajanju 100 ms

Maksimaln iznos promjene djelatne snage generatora G1 je znatno manji za model prijenosne mreže s novom TS Plat, a trajanje prijelazne pojave na simulirani poremećaj također je znatno kraće za modelu prijenosne mreže s novom TS Plat. Amplituda odziva djelatne snage generatora G2 je očekivano veća za novo priključno stanje, no ovaj utjecaj nije značajan te se može zaključiti da nema negativnog utjecaja interpolacije TS Plat na stabilnost generatora G2 u HE Dubrovnik.

Rezultati proračuna odziva kuta opterećenja generatora za simulirani trolni kratki spoj na 110 kV vodu Komolac – Plat u trajanju 100 ms uz isključenje voda (Proračun 2) pokazani su na slici 9 za generator G1, dok su odzivi kuta opterećenja generatora G2 pokazani na slici 10.

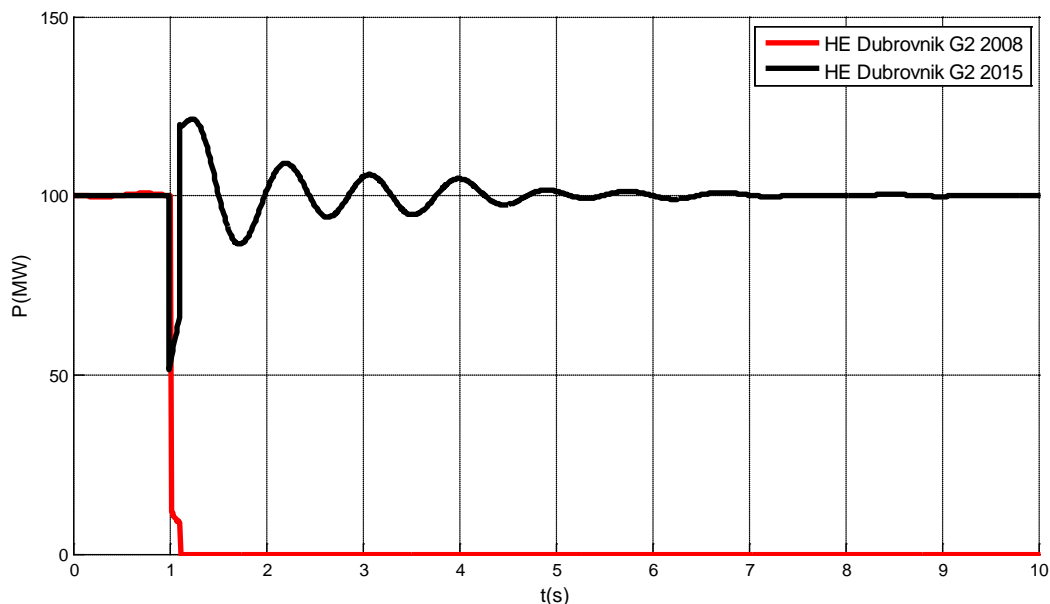


Slika 9. Kuta opterećenja generatora G 1 za oba modeliranja stanja prijenosne mreže za slučaj trolnog kratkog spoj na 110 kV vodu Komolac – Plat u trajanju 100 ms s isključenjem voda

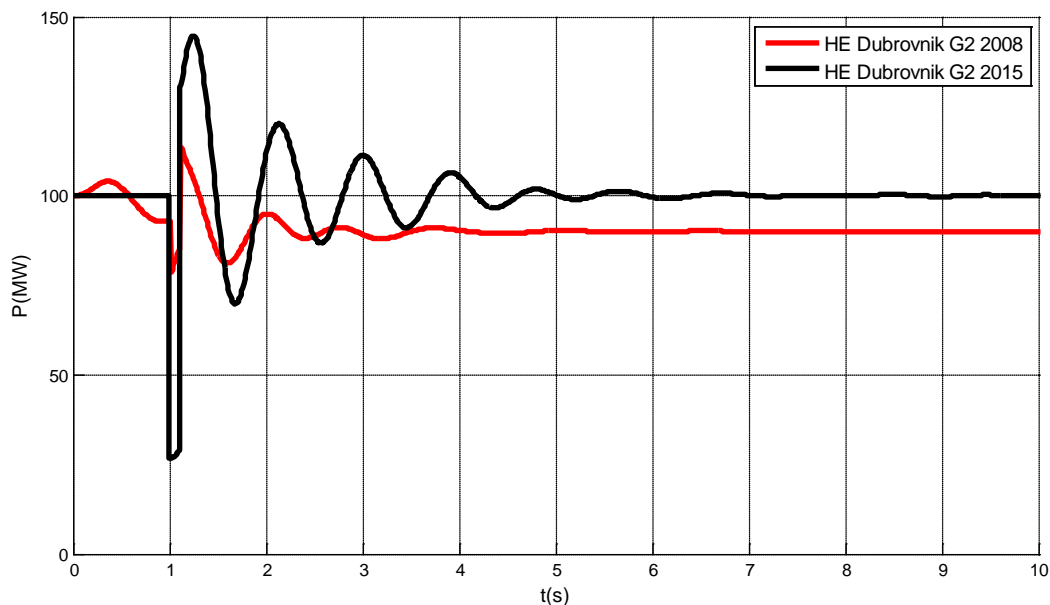


Slika 10. Usporedba odziva kuta generatora 2 za oba modeliranja stanja prijenosne mreže za slučaj za slučaj trolnog kratkog spoj na 110 kV vodu Komolac – Plat u trajanju 100 ms s sključenjem voda

Kut opterećenja generatora G1 za novo priključno stanje iznosio je u stacionarnom pogonu $\sim 35^\circ$, a za vrijeme poremećaja postigao je maksimalni iznos od $\sim 45^\circ$, dok se za model postojeće mreže kut opterećenja generatora G1 naglo povećao nakon čega generator G1 ispada iz pogona, što je očekivano s obzirom na konfiguraciju mreže gdje je generator G1 radijalno povezan s EES-om Hrvatske. Maksimalni iznos kuta opterećenja generatora G2 veći je za slučaj modela prijenosne mreže s novom TS Plat, što je posljedica smanjenja reaktancije između generatora G2 i mjesta kvara odnosno povećanja električke blizine. Odzivi djelatne snage generatora G1 za simulirani trolpolni kratki spoj na 110 kV vodu Komolac – Plat (Proračun 2) prikazani su na slici 11, a odzivi djelatne snage generatora G2 na slici 12.



Slika 11. Djelatne snage generatora G1 za oba modeliranja stanja prijenosne mreže za slučaj trolpolnog kratkog spoj na 110 kV vodu Komolac – Plat u trajanju 100 ms s isključenjem voda



Slika 12. Djelatne snage generatora G2 za oba modeliranja stanja prijenosne mreže za slučaj trolpolnog kratkog spoj na 110 kV vodu Komolac – Plat u trajanju 100 ms s isključenjem voda

Analizom dobivenih rezultata vidljiva je znatno veća stabilnost EES u okolici priključka HE Dubrovnik na mrežu, za slučaj kada se u prijenosnu mrežu interpolira nova TS Plat. Povezivanjem oba generatora na zajedničke sabirnice 110 kV i 220 kV koje se uz potrebnu transformaciju formiraju u TS Plat i poboljšanjem vodnih veza postignuto je značajno smanjenje ekvivalentne reaktancija do krute mreže generatora G1 zbog čega je povećano prirodno prigušenje elektromehaničkih oscilacija koje se javljaju pri poremećajima u mreži.

Ovdje je bitno za napomenuti da ispadom iz pogona DV 110 kV Ston – Komolac pri današnjoj konfiguraciji prijenosne mreže čitavo konzumno područje Dubrovnika, kao i HE Dubrovnik (agregat 1, priključen na 110 kV) ostaje bez osnovne veze na hrvatski EES. U tom slučaju su potrošnja grada Dubrovnika i okolice, te proizvodnja HE Dubrovnik oslonjeni na rezervnu vezu 110 kV iz TS Komolac prema TS Trebinje (BiH). Opisano stanje biti će izbjegnuto pri budućoj konfiguraciji prijenosne mreže s interpoliranim TS Plat. Također, današnja radijalna veza agregata 1 u HE Dubrovnik putem 110 kV zračnog voda s TS Komolac, te radijalna veza agregata 2 putem 220 kV zračnog voda s TS Trebinje uzrok je ispada s mreže agregata u slučaju kvara na 110 kV vodu odnosno 220 kV vodu. U slučaju ozbiljnijeg kvara i duže neraspoloživosti zračnih vodova, posljedica je dugotrajni gubitak proizvodnje. Opisano stanje biti će izbjegnuto pri budućoj konfiguraciji prijenosne mreže s interpoliranim TS Plat, a sigurnost evakuacije proizvodnje iz HE Dubrovnik biti će povećana.

4. ULOGA HE DUBROVNIK U OKVIRU EES-A HRVATSKE

Postojeća konfiguracija prijenosne mreže u okolici grada Dubrovnika, te stanje agregata i opreme u HE Dubrovnik onemogućuje kvalitetnije iskorištenje HE Dubrovnik u pružanju pomoćnih usluga i osiguranju stabilnosti elektroenergetskog podsustava južne Hrvatske, kao i povećanju sigurnosti opskrbe potrošača električne energije šireg dubrovačkog područja. Geografska i električka pozicija HE Dubrovnik, na krajnjem jugu Hrvatske, čini ga izuzetno važnom točkom pri ponovnoj uspostavi sustava nakon poremećaja. Stoga je potrebno HE Dubrovnik opremiti s mogućnošću otočnog pogona i pokretanja iz beznaponskog stanja, kako bi ova elektrana, primjereno svojoj poziciji i važnosti, mogla sudjelovati u Planu obrane elektroenergetskog sustava od velikih poremećaja [6], kojeg priprema i provodi Operator prijenosnog sustava temeljem Mrežnih pravila elektroenergetskog sustava [9].

Nadalje, HE Dubrovnik sposobna je sudjelovati u automatskoj sekundarnoj regulaciji djelatne snage i frekvencije, za što je potrebno revitalizirati sustav turbinske regulacije oba agregata. Današnje regulacijske sposobnosti hrvatskog EES-a vrlo su ograničene, što je jedna od prepreka šire integracije obnovljivih izvora energije u EES Hrvatske. Stoga je pitanje uključivanja HE Dubrovnik u sekundarnu P-f regulaciju, od izuzetnog značaja kako za sigurnost EES-a tako i za provedbu Strategije energetskeg razvoja Republike Hrvatske [10].

Navedeni nedostaci otkloniti će se obnovom HE Dubrovnik koja je u pripremi i izgradnjom TS Plat koja je u tijeku.

5. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenih proračuna u kojima su uspoređeni odzivi dobiveni za poremećaje u postojećoj prijenosnoj mreži i prijenosne mreži s novom TS Plat može se zaključiti da će se znatno poboljšati stabilnost elektroenergetskog podsustava južne Hrvatske, na koji je priključena HE Dubrovnik. Povezivanjem generatora G1 i G2 u HE Dubrovnik na sabirnice 110 kV i 220 kV u TS Plat, međusobno povezane transformacijom 2x150 MVA, povećat će se fleksibilnost pogona prijenosne mreže i sigurnost evakuacije električne energije iz HE Dubrovnik. Prelazak s jednostrukog dalekovoda DV 110 kV Plat - Komolac na dvostruki ostvariti će se bolja povezanost HE Dubrovnik s EES Hrvatske, sigurnije napajanje dubrovačkog područja i manji gubici u prijenosu energije. Ponovno stavljanje u pogon dvostrukog 220 kV dalekovoda Plat – Trebinje ostvariti će se bolja povezanost s EES BiH i povećanje prekograničnih prijenosnih kapaciteta na sučelju Hrvatske i BiH. Obnovom HE Dubrovnik planira se povećanje instalirane snage turbina i generatora, te bolje iskorištenje raspoložive vode, što su dodatni razlozi za izgradnju TS Plat. Zamjenom opreme upravljanja ostvariti će se pretpostavke za pružanje pomoćnih usluga od strane HE Dubrovnik.

6. LITERATURA

- [1] Osnovno rješenje mreže 10 kV, 35 kV i 220 kV i osnovno rješenje mreže 20(10) kV, 110 kV i 220 (380) kV na području Elektroprivrede Split, te usporedbe i izbor optimalne opreme - II dio mreža 110 kV, 220 kV i 380 kV, Studija, Institut za elektroprivredu Zagreb, svibanj 1977. godine
- [2] Dugoročni razvoj prijenosne mreže na području južne Hrvatske, Studija, Institut za elektroprivredu, Zagreb, veljača 1989. godine
- [3] Mreža 220-110 kV Dubrovnik, Studija, Institut za elektroprivredu, Zagreb, lipanj 1991. godine
- [4] Mreža 220-110 kV Dubrovnik incidencija sa "HE Dubrovnik", Studija, Institut za elektroprivredu, Zagreb, svibanj 1992. godine
- [5] Osnovno rješenje prijenosne mreže šireg područja Dubrovnika, Studija, Institut za elektroprivredu, Zagreb, studeni 1992. godine
- [6] Povećanje sigurnosti napajanja električnom energijom južne Hrvatske, Studija, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, Prosinac 2003. godine
- [7] Utjecaj plana izgradnje novih elektrana (HE i VE) na varijante razvoja podsustava južne Hrvatske , Studija, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, prosinac 2007. godine
- [8] Siemens PTI Power System Simulator for Engineers PSS/E, Manual, October 2010.
- [9] Mrežna pravila elektroenergetskog sustava, NN 36/06
- [10] Plan obrane hrvatskog EES-a od velikih poremećaja, HEP OPS, 2010.
- [11] Strategija energetskeg razvoja Republike Hrvatske, Narodne novine br. 130/2009