

UKLAPANJE NOVIH KOMBINIRANIH PLINSKO-PARNIH ELEKTRANA (KTE) U ELEKTROENERGETSKI SUSTAV (PRIJENOSNU MREŽU) REPUBLIKE HRVATSKE

Mr. sc. Davor BAJŠ, Zagreb

UDK 621.3.05:621.311.2
STRUČNI ČLANAK

U članku se prikazuju rezultati studija uklapanja novih kombi elektrana (KTE) u elektroenergetski sustav, odnosno prijenosnu mrežu Republike Hrvatske. Izgradnja novih kombi plinsko-parnih proizvodnih postrojenja aktualizirana je nakon izrade Master plana 1998. godine (noveliran 2001. godine) radi diversifikacije proizvodnje s obzirom na korištena goriva te ispunjavanja ekoloških i ekonomskih zahtjeva u proizvodnji električne energije. Tvrtka HEP-Proizvodnja posljednjih nekoliko godina obavlja pripreme aktivnosti na izgradnji nekoliko takvih proizvodnih postrojenja, a u sklopu tih aktivnosti određivana su i rješenja priključaka istih na visokonaponsku mrežu.

Ključne riječi: kombi elektrane, prijenosna mreža, priključak na mrežu

1 UVOD

Izradom Master plana razvoja elektroenergetskog sustava Republike Hrvatske [1] i [2] aktualizirano je korištenje plina kao goriva za nova termoenergetska postrojenja. Na temelju predviđanja cijene tog energenta u budućnosti, a time i proizvodne cijene električne energije iz suvremenih postrojenja koja koriste plin kao gorivo, ekološke prihvatljivosti njegova korištenja radi proizvodnje električne energije, željene diversifikacije proizvodnje električne energije u Republici Hrvatskoj s obzirom na korištena goriva, te očekivanog razvoja plinske mreže i osiguravanja više pravaca dobave dovoljnih količina plina, studije dugoročnog razvitka elektroenergetskog sustava ukazale su na potrebnu izgradnju novih termoelektrana koje koriste plin kao pogonsko gorivo.

Suvremena proizvodna postrojenja s plinom kao gorivom grade se isključivo kao kombinirana plinsko-parna postrojenja (kombi elektrane, eng. *Combined Cycle Gas Turbine – CCGT*), u kojima se vrući ispušni plinovi koji izlaze iz plinske turbine dovode u parni kotao čime se povećava stupanj djelovanja takvog postrojenja (oko 57%) u odnosu na klasična postrojenja samo s plinskom turbinom (oko 34%). Kombi elektrane su našle svoju široku primjenu u svijetu tako da su posljednjih desetak i više godina najviše zastupljene promatrajući izgradnju novih elektrana. Prednost kombi elektrana, izuzimajući ekološki aspekt, je u niskim investicijskim troškovima izgradnje postrojenja

(oko tri puta jeftiniji jedinični trošak izgradnje od TE na ugljen i oko četiri puta manji jedinični trošak izgradnje od nuklearnih elektrana) te kratko vrijeme potrebno za izgradnju (do dvije godine ovisno o veličini postrojenja, u odnosu na desetak godina potrebnih za izgradnju TE na ugljen i posebno nuklearnih elektrana).

Osnovni rezultat Master plana iz 1998. godine [1] je bila potrebna izgradnja dvije nove KTE snage 300 MW u elektroenergetskom sustavu Republike Hrvatske do 2010. godine, koje bi se s obzirom na tada očekivani porast potrošnje električne energije i opterećenja sustava gradile do 2002. i 2007. godine. U razmatranoj studiji je zaključeno da takve elektrane imaju ekonomsku i ekološku prednost u odnosu na TE na ugljen, ali se postavlja pitanje dostupnosti dovoljnih količina plina za njihov nesmetani pogon. Spominje se također da je naznakom projekta GEA (eng. *Gas Energy Adriatic*, projekt iskorištenja plina u sjevernom Jadranu te izgradnje plinovoda prema Italiji i unutar Hrvatske na potezu Pula-Karlovac-Zagreb) liberalizacijom i jačim otvaranjem tržišta plina u Europi, odnosno u užoj regiji gdje se nalazi Hrvatska, za očekivati da će postojati mogućnost nabave potrebnih količina plina, te da bi trebalo, u slučaju izgradnje ovih plinskih kombi elektrana, osigurati dobavu plina iz nekoliko različitih pravaca kako bi se osigurala pouzdana opskrba.

Novelirani Master plan iz 2001. godine [2] korigira očekivani porast potrošnje električne energije i opterećenja sustava, te dinamiku izgradnje elektrana, ali ne značajno

i njihovu strukturu. Prema tadašnjim planovima bilo je potrebno u razdoblju do 2010. godine izgraditi jednu KTE snage 300 MW (godina ulaska u pogon 2007.).

Nakon izrade Master plana, pogotovo njegove novelacije iz 2001. godine, tvrtka HEP-Proizvodnja d.o.o. krenula je u istraživanja mogućnosti izgradnje novih kombi elektrana. Kao dio pripremnih aktivnosti na njihovoj gradnji izrađeno je više studija uklapanja novih KTE u elektroenergetski sustav, ovisno o njihovoj lokaciji i snazi. Ispitivane varijante izgradnje novih KTE opisane su u idućem poglavlju.

2 PREGLED DOSADAŠNJIH PLANOVA IZGRADNJE NOVIH KTE U EES RH

Prvobitni planovi izgradnje KTE u elektroenergetskom sustavu Republike Hrvatske, od strane HEP-Proizvodnje d.o.o., bili su vezani za izgradnju kombi proizvodnog postrojenja snage 400 MW na lokaciji neke od postojećih termoelektrana. Studijski su razmatrane sljedeće lokacije s obzirom na uklapanje takvog bloka na mrežu:

- TE Sisak [3],
- TE-TO i PTE Osijek [4] i [5],
- TE-TO Zagreb [6].

U HEP-Proizvodnji d.o.o. postojala su razmišljanja koja nisu studijski elaborirana, tako ni s aspekta uklapanja kombi bloka(ova) na mrežu, još i o lokacijama TE Rijeka (vezano za projekt mala GEA) i RHE Obrovac (vezano za izgradnju plinovoda prema Dalmaciji), ali su ubrzo napuštena.

Na lokaciji postojećih TE Sisak i TE-TO Zagreb razmatrana je izgradnja jedne KTE snage 400 MW, dok je na lokaciji TE-TO i PTE Osijek uz KTE 400 MW razmatrana još i izgradnja KTE snage 150 MW. Očekivana godina ulaska u pogon nove KTE 400 MW u vrijeme studijskih istraživanja (2000. – 2001.) bila je 2007. godina.

Lokacija postojeće TE Sisak bila je posebno zanimljiva s aspekta izgradnje nove kombi elektrane pa je studijski istraženo uklapanje iste u nekoliko različitih varijanti izgradnje [7]: KTE 2x210 MW, KTE 2x160+160 MW te KTE (2x)3x70 MW.

Posljednjih godina ideja o izgradnji nove KTE 400 MW je zasad napuštena zbog nemogućnosti dobave dovoljnih količina plina za elektranu takve snage te usporene dinamike razvoja plinske mreže u Republici Hrvatskoj. Najnoviji planovi vezani su za izgradnju kombi bloka 100 MW u TE-TO Zagreb [8], te KTE snage 250 MW na lokacijama TE Sisak [9] i [10], i TE-TO i PTE Osijek [11]. Posljednje dvije KTE vezane su za pregovore o načinima vraćanja Klirinškog duga Ruske federacije Republici Hrvatskoj koji su u trenutku pisanja ovog članka (ožujak 2005.) još uvijek u tijeku. Posljednje tri kombi elektrane postavljene su i kao ciljevi rada uprave HEP-Grupe.

U nastavku članka prikazat će se sve ispitane varijante i rješenja priključka novih KTE na sustav prema analiziranim

lokacijama (TE Sisak, TE-TO i PTE Osijek, TE-TO Zagreb).

3 VRSTE ANALIZA I KRITERIJI ODREĐIVANJA PRIKLJUČKA KTE NA MREŽU

Rješenja priključka nove(ih) KTE na prijenosnu mrežu određivana su uvažavajući sljedeće:

- (n-1) kriterij sigurnosti plasmana maksimalne snage svih proizvodnih blokova sa razmatranih lokacija, u svim mogućim i očekivanim pogonskim stanjima,
- očekivane naponske prilike u mreži prije i nakon priključenja nove elektrane na sustav,
- razinu kratkospojnih prilika u okolnoj mreži, promatrano preko najvećih vrijednosti početnih struja tropskih i jednopolnih kratkih spojeva,
- stabilnost kuta agregata nove KTE pri velikim i malim poremećajima,
- troškove priključka za različite varijante izvedbe istih.

Kriterij sigurnosti (n-1) govori da rješenje priključka nove elektrane na sustav mora biti određeno tako da omogućava plasman maksimalne proizvodnje svih blokova sa razmatrane lokacije u slučaju neraspodivnosti jedne grane prijenosne mreže (vod, transformator).

S obzirom na očekivane naponske prilike u prijenosnoj mreži provjerava se ili određuje željeni $\cos \varphi$ generatora nove elektrane i postavljaju zahtjevi na sudjelovanje generatora u regulaciji jalove snage i napona (Q/U regulacija).

Nakon priključenja novih generatora na elektroenergetski sustav dolazi do povećanja razine kratkospojnih prilika u sustavu te je potrebno provjeriti da li oprema (prvenstveno prekidači) u postojećim transformatorskim stanicama zadovoljava s obzirom na očekivanu razinu kratkog spoja u mreži. Zadovoljenje karakteristika postojeće opreme provjerava se usporedbom rasklopnih moći prekidača s najvećim početnim strujama tropskih i jednopolnih kratkih spojeva.

Na osnovi dinamičkog ponašanja agregata nove elektrane pri velikim i malim poremećajima koji redovito nastaju u elektroenergetskom sustavu, provjeravaju se parametri generatora ili agregata u cjelini te postavljaju zahtjevi na sustave uzbude generatora i regulacije brzine vrtnje agregata.

U slučaju više različitih rješenja priključka generatora na mrežu promatraju se ukupni troškovi njihove izvedbe, te se u slučaju jednakih tehničkih karakteristika i zadovoljenja svih promatranih kriterija odabire ono rješenje s minimalnim troškovima.

Potrebno je spomenuti da će donošenje Mrežnih pravila, trenutno u proceduri usvajanja, definirati uvijete priključka novih generatora na sustav pa će se i rješenja priključaka određivati s obzirom na postavljene zahtjeve. U vrijeme studijskih istraživanja opisanih u ovome članku Mrežna

pravila nisu bila izrađena pa nisu služila kao osnovni dokument koji definira kriterije priključka generatora na sustav. Stoga sva predložena rješenja priključaka novih KTE na EES treba provjeriti nakon usvajanja Mrežnih pravila od strane mjerodavnih institucija.

U svim studijama priključka novih KTE na sustav uvažavani su gornji kriteriji izuzev u slučaju priključka KTE 100 MW u TE-TO Zagreb i KTE 250 MW u TE Sisak gdje nije promatran dinamički aspekt priključenja novih generatora na mrežu (stabilnost kuta rotora pri velikim i malim poremećajima).

U nastavku članka prikazuju se rezultati studija uklapanja novih KTE u EES Republike Hrvatske pri čemu se ne razmatra opravdanost njihove izgradnje i uopće mogućnosti izgradnje s obzirom na još uvijek nesigurnu opskrbu plinom i nerazvijenost plinske mreže na području Hrvatske.

4 DETALJNI PLANOVI UKLAPANJA NOVIH KTE NA EES

U ovom su poglavlju razrađeni planovi uklapanja svih varijanti izgradnje novih kombi elektrana kako bi se dobio kompleksniji pregled budućeg razvoja EES-a i izbjegle često skupe greške vezane za kratkoročna rješenja.

4.1 Lokacija postojeće TE Sisak

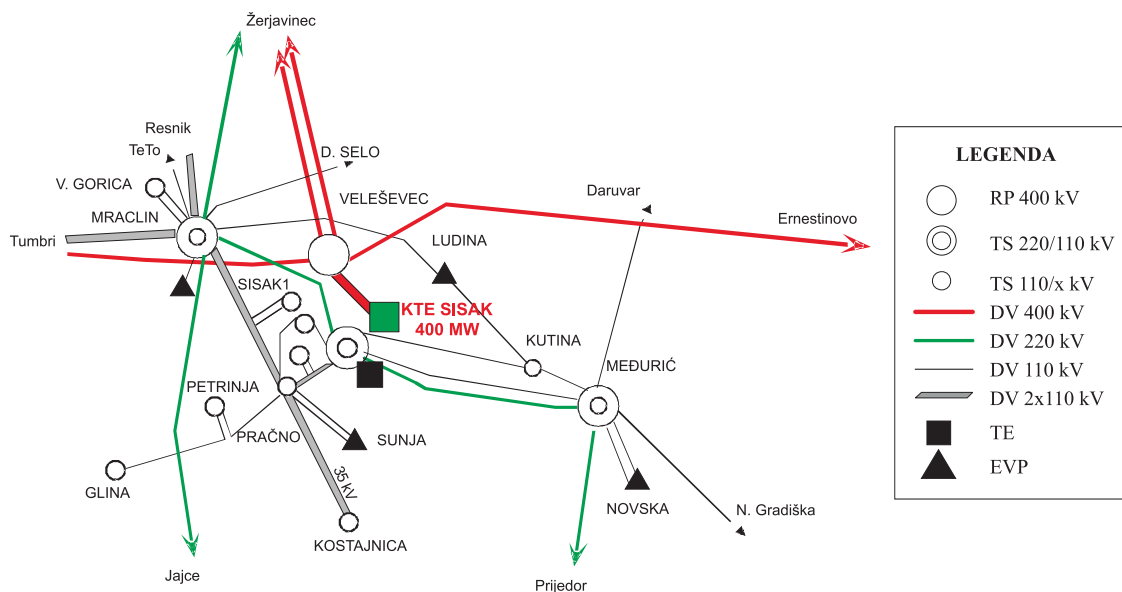
4.1.1 Priključak KTE 400 MW

Kako je navedeno u prethodnom poglavlju studijski je razmatran priključak kombi elektrane snage 400 MW

na prienosnu mrežu na lokacijama postojeće TE Sisak, TE-TO Zagreb te TE-TO i PTE Osijek. Iako se izgradnja takvih kombi elektrana u ovom trenutku više ne razmatra unutar HEP-Proizvodnje navodimo je budući da sigurni planovi izgradnje novih elektrana još uvijek ne postoje radi nesigurnosti u financiranju istih, mogućnostima dobave goriva (plina) i otpora javnosti te parlamentarne zabrane istraživanja i izgradnje TE na ugljen. Zbog veličine kombi elektrane i konfiguracije okolne mreže jednoznačno je određen priključak KTE u Zagrebu i Osijeku na 400 kV naponsku razinu, dok je rješenje priključka KTE Sisak 400 MW određeno ovisno o pogonu postojećih blokova 1 i 2 u TE Sisak.

U razmatranoj varijanti izgradnje nove KTE analiziran je priključak jedno-osovinskog kombi plinsko-parnog agregata sljedećih karakteristika: $S_n = 450$ MVA; $\cos \varphi_n = 0,85$; $P_n = 382,5$ MW, $Q_{nind} = 230$ MVA; $Q_{nkap} = -180$ MVA; $U_n = 22$ kV. Generator se priključuje na mrežu preko dvonamotnog blok transformatora 450 MVA, 22/400 kV; $u_k = 16$ %.

Izvršeni su proračuni tokova snaga za maksimalno i minimalno opterećenje EES “nazivne” 2007. godine ovisno o angažmanu elektrana (različita hidrološka stanja) i razmjenama snage sa susjednim EES, proračuni kratkog spoja za predložena rješenja priključka novog generatora, procijenjeni su troškovi izvedbe priključka, te je izvršena analiza stabilnosti kuta rotora novog generatora pri velikim (kratki spoj) i malim poremećajima u mreži (promjena referentnog signala u sustav uzbude generatora, kratkotrajni kratki spoj).



Slika 1 - Priključak KTE Sisak 400 MW na 400 kV mrežu

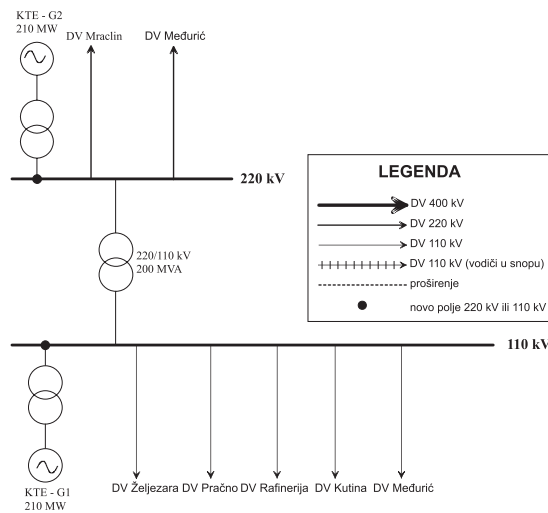
Izvršene analize pokazuju da je priključak nove KTE 400 MW na lokaciji postojeće TE Sisak moguće ostvariti na 400 kV i 220 kV mrežu. U slučaju priključka generatora na 400 kV mrežu nužno je izgraditi RP 400 kV u krugu elektrane, RP 400 kV Veleševac i DV 2x400 kV KTE Sisak – Veleševac u duljini od oko 30 km (slika 1). Ukupne investicije potrebne za priključak KTE Sisak na 400 kV mrežu procijenjene su na oko 20 milijuna eura.

Analiza tokova snaga u varijanti priključka nove KTE Sisak na 220 kV mrežu pokazuje da bi radi sigurnog plasmana snage nove elektrane bilo nužno na odgovarajući način pojačati 220 kV mrežu uvodom/izvodom postojećeg 220 kV DV Mraclin-Jajce u TE Sisak, pojačati 110 kV mrežu izgradnjom novog DV 110 kV TE Sisak-Pračno, te izvršiti revitalizaciju, odnosno rekonstrukciju 220 kV vodova TE Sisak-Mraclin, TE Sisak-Međurić, dijela voda Mraclin-Jajce i TS 220/110 kV Mraclin. Ovisno o porastu konzuma istodobno s gradnjom nove elektrane ili nekoliko godina poslije trebalo bi u TE Sisak ugraditi i drugi mrežni transformator 220/110 kV, 200 MVA, ili zamijeniti postojeći transformator i ugraditi dva od 150 MVA. U slučaju priključka nove KTE na 220 kV mrežu ukupne investicije usporedive su s investicijama u slučaju priključka na 400 kV mrežu. Prednost je stoga dana rješenju priključka na 400 kV mrežu.

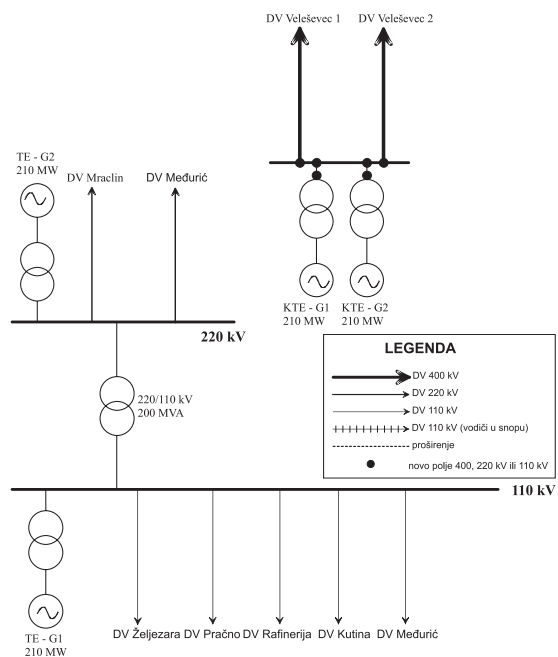
4.1.2 Priključak KTE 2x210 MW

Rješenje priključka KTE 2x210 MW u varijanti kada su agregati stare TE Sisak izvan pogona prikazuje slika 2. U prikazanom rješenju priključka jedan agregat nove KTE se priključuje na 220 kV, a jedan na 110 kV sabirnice elektrane. Nema dodatnih pojačanja mreže. Pouzdanost plasmana snage elektrane je upitna zbog visoke starosti priključnih vodova elektrane. Ukupni procijenjeni troškovi priključka iznose oko 14 milijuna eura, ukoliko se uključe troškovi zamjena i rekonstrukcija u 220 kV mreži.

Kao najpovoljnijem rješenju priključka nove KTE 2x210 MW u varijanti kada agregati TE Sisak ostaju u pogonu (slika 3), prednost je dana rješenju priključka na 400 kV mrežu (ispitane i varijante priključka na 220 kV mrežu), prvenstveno zbog sljedećih razloga: najmanji procijenjeni troškovi priključka (oko 19 milijuna eura); zadovoljavajuća sigurnost plasmana snage svih blokova na lokaciji Sisak; povećane mogućnosti sudjelovanja nove KTE u pomoćnim uslugama, prvenstveno regulaciji napona i jalove snage; očekivanim smanjenim gubicima energije u EES Hrvatske u odnosu na ostala moguća rješenja priključka; dalje moguće širenje elektrane, ali i prijenosne mreže (DV 400 kV prema BiH, buduća transformacija 400/110 kV).



Slika 2 - Priključak KTE 2x210 MW na 220 i 110 kV mrežu u varijanti kada su blokovi TE Sisak 1 i 2 van pogona

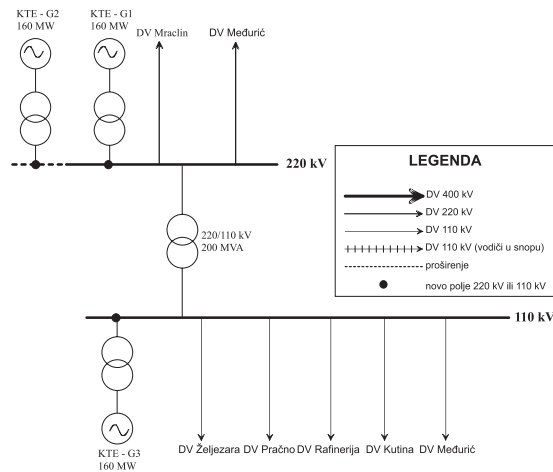


Slika 3 - Priključak KTE 2x210 MW na 220 i 110 kV mrežu u varijanti kada su blokovi TE Sisak 1 i 2 u pogonu

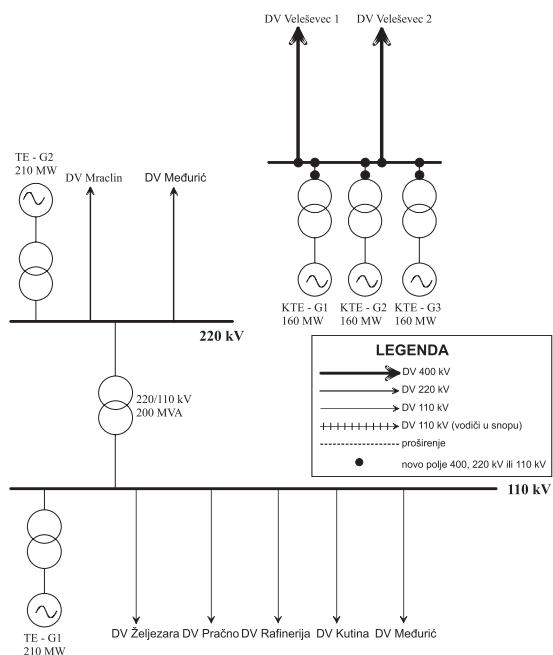
4.1.3 Priključak KTE 2x160+160 MW

Rješenje priključka KTE 2x160+160 MW u varijanti kada su agregati stare TE Sisak izvan pogona prikazuje slika 4. U prikazanom rješenju priključka dva generatora nove KTE se priključuju na 220 kV, a jedan na 110 kV sabirnice elektrane. Nema dodatnih pojačanja mreže. Pouzdanost

plasmata snage elektrane je upitna zbog visoke starosti priključnih vodova elektrane. Ukupni procijenjeni troškovi priključka iznose oko 14 milijuna eura, uključujući zamjene i rekonstrukcije u 220 kV mreži.



Slika 4 - Priključak KTE 2x160+160 MW na 220 i 110 kV mrežu u varijanti kada su blokovi TE Sisak 1 i 2 van pogona



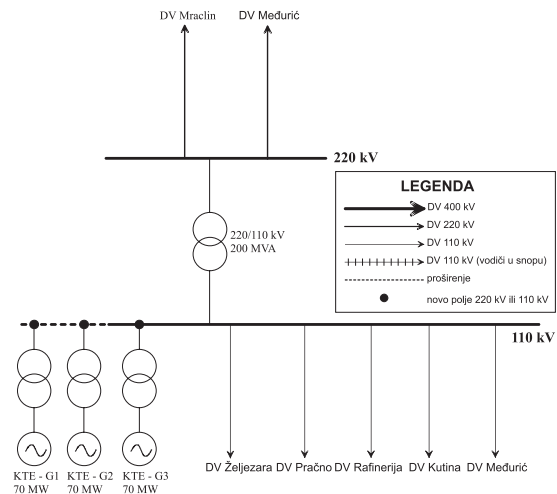
Slika 5 - Priključak KTE 2x160+160 MW na 400 kV mrežu u varijanti kada su blokovi TE Sisak 1 i 2 u pogonu

Od ispitane dvije mogućnosti priključka nove KTE u varijanti kada su postojeći blokovi TE Sisak u pogonu (priključak na 400 kV mrežu i priključak na 220 kV mrežu),

kao povoljnijem rješenju priključka nove KTE 2x160+160 MW prednost se dala rješenju priključka na 400 kV mrežu, iz istih razloga kao i kod priključka blokova 2x210 MW na najvišu naponsku razinu. Rješenje priključka pokazuje slika 5. Ukupni procijenjeni troškovi priključka iznose oko 20 milijuna eura.

4.1.4 Priključak KTE (2x)3x70 MW

Rješenje priključka KTE 3x70 MW u varijanti kada su agregati stare TE Sisak izvan pogona prikazuje slika 6. U prikazanom rješenju sva tri generatora nove KTE se priključuju na 110 kV sabirnice elektrane. Nema dodatnih pojačanja mreže. Ukupni procijenjeni troškovi priključka iznose oko 1,4 milijuna eura.

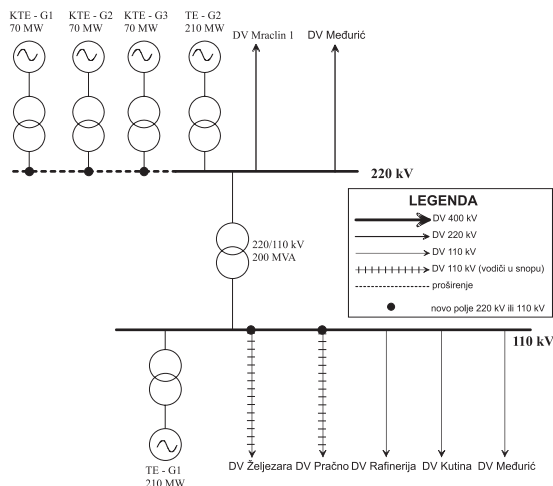


Slika 6 - Priključak KTE 3x70 MW na 110 kV mrežu u varijanti kada su blokovi TE Sisak 1 i 2 izvan pogona

U varijanti kada blokovi TE Sisak 1 i 2 ostaju u pogonu, predložena su dva rješenja priključka nove KTE 3x70 MW: 1) priključak svih generatora na 220 kV mrežu - slika 7; 2) priključak dva generatora na 220 kV, a jednog na 110 kV mrežu. Za oba rješenja koja izazivaju gotovo iste troškove priključka (oko 16,5 milijuna eura) nužna su pojačanja 110 kV mreže, i to električkim kompaktiranjem postojećeg DV 2x110 kV Sisak – Pračno (vodiči 2xAl/Č 240/40 mm²), kompletiranjem novog DV Pračno – Željezara (teški vod, vodiči 2xAl/Č 240/40 mm²), kao i DV Sisak – Željezara (teški vod, vodiči 2xAl/Č 360/57 mm²), te zamjenom aparata u odnosnim 110 kV poljima i u rasklopištima TE Sisak i TS Pračno. Pouzdanost plasmata snage elektrane je upitna zbog visoke starosti priključnih vodova elektrane.

Sva prikazana rješenja priključka nove KTE 3x70 MW omogućavaju priključak i nove grupe 3x70 MW, nakon izlaska postojećih blokova TE Sisak 1 i 2 iz pogona. Konačno rješenje priključka bi tada bilo izvedeno na način da se na 220 kV sabirnice priključuju tri generatora

(3x70 MW), a na 110 kV sabirnice još tri generatora (3x70 MW).



Slika 7 - Priključak KTE 3x70 MW na 220 kV mrežu u varijanti kada su blokovi TE Sisak 1 i 2 u pogonu

4.1.5 Priključak KTE 250 MW

U ovom poglavlju opisuju se rezultati statičkih analiza (tokovi snaga, n-1 kriterij) priključka novog kombi postrojenja oznake 1V94.2 na prijenosnu mrežu te su procijenjeni troškovi priključka elektrane na EES. Rješenje priključka je provjereno s obzirom na kriterij sigurnosti plasmana maksimalne proizvodnje novog kombi bloka imajući u vidu moguću neraspodivost jedne grane kojom je razmatrana elektrana povezana s ostatkom elektroenergetskog sustava. Imajući u vidu očekivani smanjeni i povremeni angažman bloka TE Sisak 2 koji ostaje u pogonu (blok TE Sisak 1 se smatra trajno izvan pogona, konzerviran), određena je maksimalna snaga TE Sisak 2 koju je moguće istodobno plasirati u mrežu uz maksimalnu proizvodnju novog bloka, a imajući u vidu definirani kriterij sigurnosti pogona (n-1). Analize su provedene na modelu EES "nazivne 2010. godine" i nadovezivale su se na dotadašnja ispitivanja priključka nove KTE na lokaciji TE Sisak. Priključak je provjeren na osnovi statičkih analiza pa je naknadno nužno provesti dinamičke analize kako bi se ustanovilo ponašanje agregata pri određenim poremećajima u mreži (kratki spojevi, promjena referentnog signala u uzbuđenom krugu generatora i sl.).

Parametri generatora i željeno rješenje priključka KTE Sisak na EES

Parametri generatora i rješenje priključka nove KTE Sisak na EES dobiveni su od strane HEP-Proizvodnje d.o.o. Podaci su se odnosili na postrojenje oznake 1V94.2, a sadržavali

su opis i tehničke podatke generatora plinske turbine, opis generatora parne turbine (bez tehničkih podataka), opise i tehničke podatke o sustavima uzbude generatora te jednopolnu shemu elektrane. Pojednostavljena jednopolna shema nove KTE Sisak 250 MW prikazana je na slici 8. Osnovni podaci generatora plinske i parne turbine koji se smatraju mjerodavnima za provjeru rješenja priključka na EES prikazani su tablicom 1.

Tablica 1 - Tehnički podaci generatora KTE Sisak (postrojenje 1V94.2)

Parametar	Generator plinske turbine (GGT)	Generator parne turbine (GST)
Nazivna snaga (MVA)	207	95
Faktor snage	0.75	0.85
Nazivni napon na stezaljkama generatora (kV)	15.75±5 %	10.5±5 %

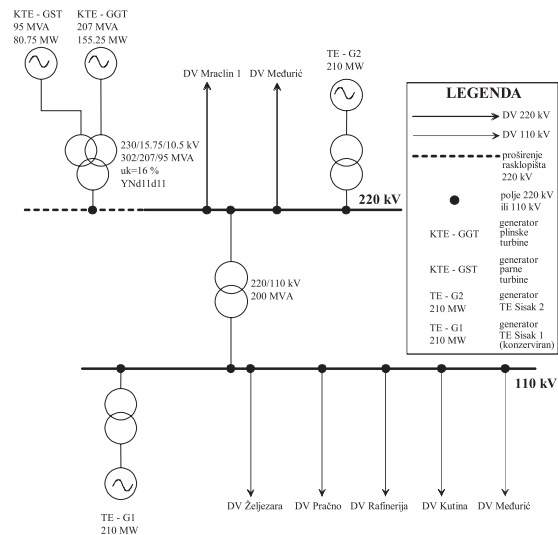
Parametri tronamotnog blok transformatora kojim se oba generatora priključuju na 220 kV sabirnice elektrane su sljedeći:

Nazivna snaga: 302 MVA/207 MVA/95 MVA

Nazivni napon: 230 ±9x1,25 %/15,75 kV/10,5 kV

Napon kratkog spoja u_k (%): 16 %

Grupa spoja: YNd11d11



Slika 8 - Pojednostavljena jednopolna shema KTE Sisak – postrojenje 1V94.2

Plasman maksimalne proizvodnje i sigurnost plasmana proizvodnje KTE Sisak na EES

Pri angažmanu maksimalnom snagom nove KTE Sisak (232 MW na pragu, vlastita potrošnja elektrane procijenjena na 2

% P_n) opterećenja priključnih vodova elektrane (u odnosu na njihove termičke granice) pri potpunoj raspoloživosti grana se kreću oko sljedećih iznosa (promatrano stanje maksimalnog opterećenja EES bez i s razmjenama sa susjednim sustavima):

DV 220 kV Sisak – Mraclin	22 % I_t
DV 220 kV Sisak – Međurić	22 % I_t
Trafo 220/110 kV	50 % S_n
DV 110 kV Sisak – Rafinerija	30 % I_t
DV 110 kV Sisak – Pračno	20 % I_t
DV 110 kV Sisak – Željezara	23 % I_t
DV 110 kV Sisak – Međurić	11 % I_t
DV 110 kV Sisak – Kutina	16 % I_t

Angažman nove KTE Sisak je omogućen i pri neraspoloživosti jedne priključne grane što znači da je kriterij statičke sigurnosti pogona zadovoljen.

Pri angažmanu maksimalnom snagom nove KTE Sisak (232 MW) te angažmanu maksimalnom snagom bloka TE Sisak 2 (198 MW), opterećenja priključnih vodova elektrane (u odnosu na njihove termičke granice) pri potpunoj raspoloživosti grana se kreću oko sljedećih iznosa:

DV 220 kV Sisak – Mraclin	56 % I_t
DV 220 kV Sisak – Međurić	38 % I_t
Trafo 220/110 kV	68 % S_n
DV 110 kV Sisak – Rafinerija	30 % I_t
DV 110 kV Sisak – Pračno	35 % I_t
DV 110 kV Sisak – Željezara	31 % I_t
DV 110 kV Sisak – Međurić	15 % I_t
DV 110 kV Sisak – Kutina	22 % I_t

U slučaju ostanka u pogonu bloka 1 rasterećuje se transformacija 220/110 kV pri čemu se dodatno opterećuju (i ugrožavaju) 220 kV vodovi prema Mraclinu i Međuriću.

Kritični događaji za plasman maksimalne proizvodnje KTE Sisak i TE Sisak 2 su pojedinačni ispadi DV 220 kV Sisak – Mraclin kada može doći do preopterećenja transformacije 220/110 kV u TE Sisak (oko 105 % S_n) i ispad DV 220 kV Sisak – Međurić kada se preopterećuje DV 220 kV prema Mraclinu. Da bi se izbjeglo moguće preopterećenje mrežnog transformatora ili DV 220 kV Sisak – Mraclin, a time i moguća lančana preopterećenja te ispadi u mreži, nužno je tada ograničiti angažman TE Sisak 2 na manje od 130 MW, ovisno o prilikama u sustavu (opterećenje, angažman utjecajnih elektrana poput TETO Zagreb, uklopno stanje mreže, razmjene sa susjednim EES i dr.). Očito će tada ispunjenje kriterija sigurnosti omogućavati rad TE Sisak 2 samo oko tehničkog minimuma generatora.

Moguća pojačanja mreže radi povećanja sigurnosti plasmata maksimalne proizvodnje KTE Sisak i TE Sisak 2 na EES

Moguća pojačanja u mreži vezana su prvenstveno za sigurnost istodobnog plasmata proizvodnje nove KTE Sisak i starog bloka TE Sisak 2 budući da prethodne analize

pokazuju kako će uz maksimalan angažman KTE Sisak trebati ograničavati angažman TE Sisak 2 radi očuvanja (n-1) kriterija koji se uzima u obzir pri planiranju pogona EES. Autori su sagledavali sljedeća moguća pojačanja mreže:

1. uvod/izvod DV 220 kV Mraclin – Jajce/Prijedor u TE Sisak,
2. izgradnja novog voda Sisak – Mraclin 2,
3. ugradnja paralelnog transformatora 220/110 kV, 200 MVA (ili zamjena postojećeg transformatora 220/110 kV – 200 MVA s dva transformatora 150 MVA).

Rješenja pod 1 i 2 (pojedinačno) omogućavaju siguran plasman maksimalne proizvodnje KTE, te oba bloka TE Sisak, dok rješenje pod 3 omogućava isto u slučaju pogona KTE i bloka 2 TE Sisak.

Sigurnost plasmata maksimalne proizvodnje samo novog bloka u Sisku je omogućena uz priključak na postojeću mrežu, pa s tog aspekta nisu nužna nikakva pojačanja mreže 220 kV ili 110 kV.

Starost mreže 220 kV i 110 kV u okolini TE Sisak

U studijama [3] i [7] obrađeni su aspekti starosti mreže 220 kV i 110 kV te okolnih TS 220/110 kV, TS 110/x kV i samog postrojenja 220/110 kV TE Sisak. Ocijenjeno je da je starost postojećih vodova i transformatorskih stanica, a od utjecaja za plasman proizvodnje KTE Sisak, kritičan u odnosu na njihovu očekivanu životnu dob. Priključni 220 kV vodovi TE Sisak izgrađeni su 1970. godine, a priključni 110 kV vodovi u razdoblju između 1960. i 1971. godine. U godini očekivanog puštanja nove KTE Sisak u pogon (2007.) starost njenih priključnih vodova će iznositi između 36 i 47 godina. Očekivana životna dob alučelnih vodiča i pripadne električke opreme (zaštitna užad, izolatori) se kreće u rasponu od 40 do preko 60 godina, ovisno o održavanju voda, pogonskim uvjetima i okruženju (klimatske prilike, zagađenje). Starost okolnih transformatorskih stanica bitnih za plasman proizvodnje KTE Sisak (Mraclin 1965., Međurić 1962., Pračno 1962. i dr.) također je kritičan s obzirom na očekivanu životnu dob ugrađene opreme (prekidači, energetske i mjerni transformatori, rastavljači – 40 godina).

Procijenjeni troškovi priključka nove KTE Sisak 250 MW

Uz željeno rješenje HEP Proizvodnje priključka KTE Sisak na postojeću mrežu bez dodatnih ulaganja vezanih za povećanje sigurnosti plasmata proizvodnje nove KTE i stare TE Sisak 2, te troškova nužnih zamjena i rekonstrukcija u mreži, ukupna ulaganja odnose se samo na opremanje jednog 220 kV trafo polja. Ti se troškovi mogu procijeniti na iznos od oko 286 000 € (oko 2 150 000 kuna).

Zaključno o priključku nove KTE Sisak 250 MW

Novo postrojenje KTE Sisak u definiranoj varijanti (1V94.2) moguće je priključiti na postojeću mrežu pri čemu je zadovoljen kriterij (n-1) sigurnosti pogona kod plasmana maksimalne snage elektrane.

Uz angažman KTE Sisak maksimalnom snagom neće biti moguće angažirati stari blok TE Sisak 2 punom snagom zbog mogućeg narušavanja kriterija (n-1) u pogonu.

Mogući angažman stare TE Sisak 2 uz maksimalan angažman nove KTE, imajući u vidu traženu sigurnost pogona, ovisi o pogonskim uvjetima (uklopno stanje mreže, opterećenja u sustavu, angažman okolnih TE), a kreće se u granicama između 90 MW (tehnički minimum) do najviše 130 MW (s obzirom na maksimalno opterećenje "nazivne" 2010. godine).

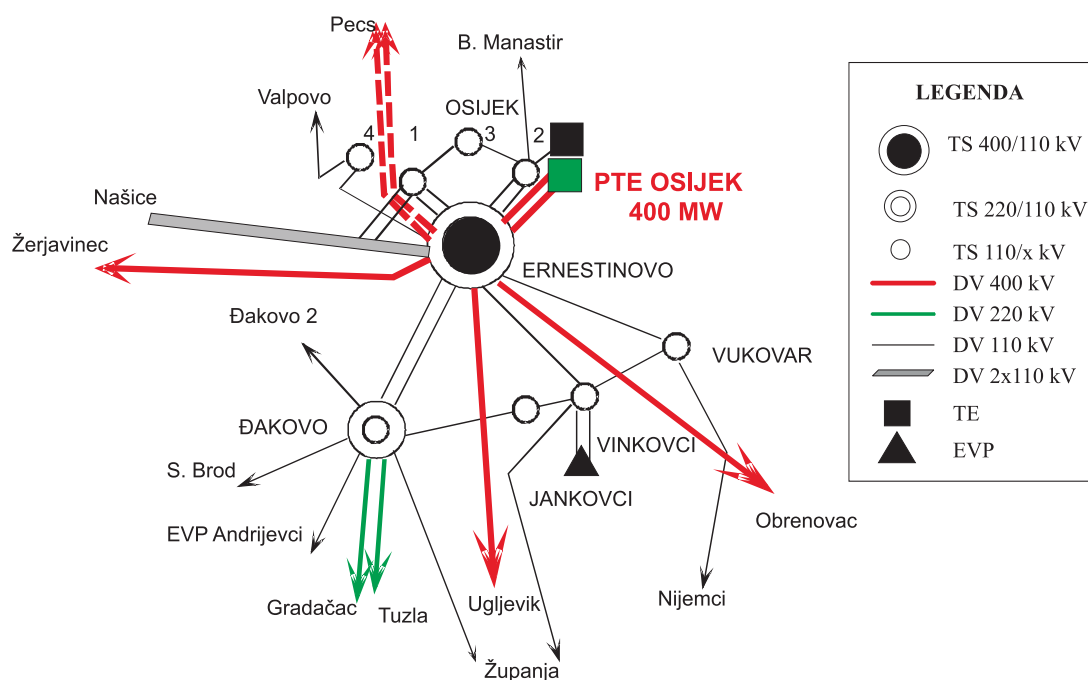
Uz postojeće stanje mreže nakon priključka nove KTE Sisak na EES, operator sustava će morati ograničavati angažman starog bloka TE Sisak 2 ovisno o traženoj sigurnosti pogona. Imajući u vidu mali očekivani broj sati rada godišnje starog bloka TE Sisak 2, i njegov očekivani izlazak iz pogona 2018. godine, takvo rješenje se ocjenjuje zadovoljavajućim, a rizik od ograničenja rada bloka 2 TE Sisak snosit će HEP-Proizvodnja. Važno je napomenuti da je nakon izgradnje TS 400/220/110 kV Žerjavinec sistemski značaj tog bloka svakako minimiziran.

Starost mreže u okolini TE Sisak bit će kritična s aspekta pouzdanosti i sigurnosti plasmana proizvodnje blokova na lokaciji TE Sisak. U srednjoročnom razdoblju (>5 godina od puštanja elektrane u pogon) mogu se očekivati povećan broj ispada priključnih vodova i njihova veća neraspoloživost, što bi moglo ugrožavati sigurnost plasmana proizvodnje nove KTE ukoliko se ne poduzmu aktivnosti na zamjenama i rekonstrukcijama u električki bliskim dijelovima mreže.

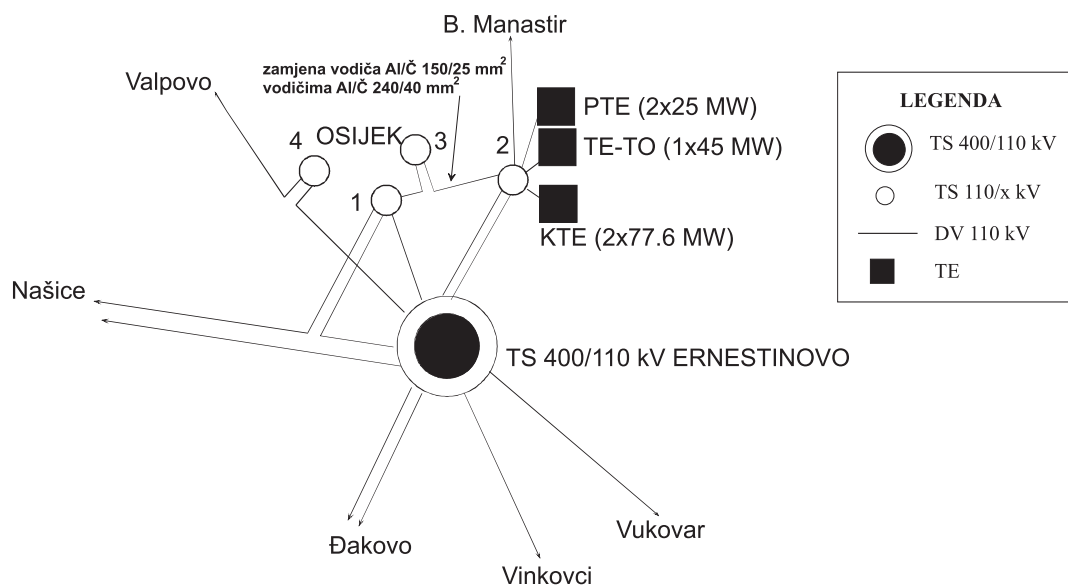
4.2 Lokacija postojeće TE-TO i PTE Osijek

4.2.1 Priključak KTE 400 MW

Provedene su analize pokazale da je priključak nove KTE Osijek potrebno ostvariti na 400 kV naponsku razinu, za što je potrebno formirati RP 400 kV u krugu elektrane, izgraditi dvosistemski 400 kV vod KTE Osijek-Ernestinovo, te ugraditi treći transformator 400/110 kV (300 MVA) u TS Ernestinovo (slika 9). Druga mogućnost priključka elektrane je direktnim spojem generatora na 400 kV sabirnice TS Ernestinovo pomoću jednog 400 kV voda, što se zbog njegove relativno male duljine (oko 12 km) ocjenjuje kao dovoljno pouzdano rješenje. Ukupne investicije potrebne za priključak KTE Osijek na EES procijenjene su na oko 12 milijuna eura u varijanti priključka dvosistemskim vodom, odnosno 8 milijuna eura u varijanti priključka jednim vodom na 400 kV sabirnice u Ernestinovu.



Slika 9 - Priključak KTE Osijek 400 MW na 400 kV mrežu



Slika 10 - Priključak KTE Osijek 150 MW na 110 kV mrežu

4.2.2 Priključak KTE 150 MW

Analize tokova snaga i (n-1) sigurnosti pokazuju da je priključak nove KTE Osijek snage oko 150 MW (dva jednoosovinska sustava s generatorima plinske i parne turbine snage 2x97 MVA) potrebno ostvariti na 110 kV naponsku razinu u TS Osijek 2, za što je nužno zamijeniti vodiče Al/C 150/25 mm² (5,73 km) na dionici postojećeg 110 kV voda Osijek 2 – Osijek 3 s vodičima od Al/C 240/40 mm². Takvo rješenje zadovoljava uvijete sigurnog plasmana maksimalne snage svih elektrana priključenih na TS Osijek 2 (KTE, TE-TO i PTE Osijek) u svim očekivanim pogonskim stanjima u godini ulaska nove KTE u pogon. Ukupne investicije potrebne za priključak KTE Osijek 150 MW na EES procijenjene su na oko 1 milijun eura.

4.2.3 Priključak KTE 250 MW

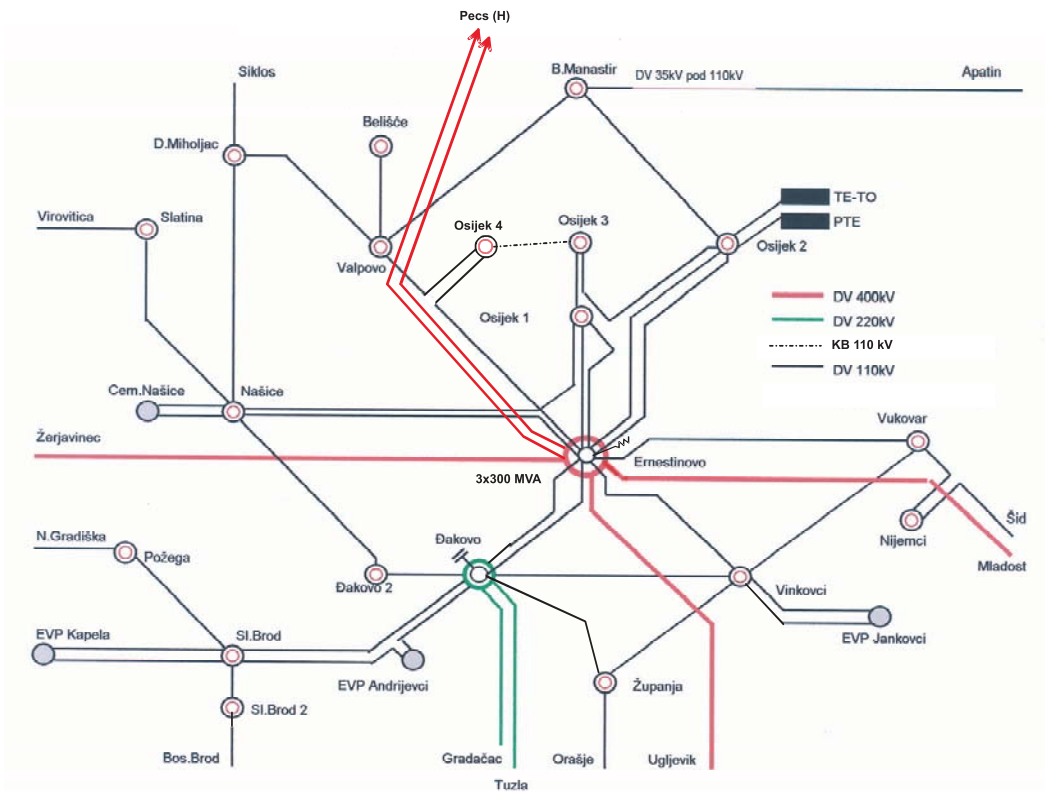
U [11] analiziran je priključak nove kombi plinsko-parne elektrane snage oko 250 MW (u nastavku teksta KTE Osijek 250 MW) na lokaciji postojećih TE-TO i PTE Osijek. Prema zahtjevu HEP-Proizvodnje priključak razmatrane elektrane je potrebno ostvariti na 110 kV naponskoj razini preko TS 110/35 kV Osijek 2. Očekivana godina ulaska u pogon nove KTE Osijek 250 MW je 2010., a očekivanu konfiguraciju okolne mreže prikazuje slika 11. Očekuje se da će do razmatranog vremenskog presjeka na razmatranu lokaciju biti moguće dopremiti dovoljne količine plina za rad nove KTE te postojećih blokova TE-TO i PTE Osijek.

Rješenje priključka nove KTE Osijek 250 MW na 110 kV mrežu bilo je potrebno odrediti uvažavajući sljedeće:

- (n-1) kriterij sigurnosti plasmana maksimalne snage svih proizvodnih blokova sa razmatrane lokacije, u svim mogućim i očekivanim pogonskim stanjima,
- očekivane naponske prilike u mreži prije i nakon priključenja nove elektrane na sustav,
- razinu kratkospojnih prilika u okolnoj mreži, promatrane preko najvećih vrijednosti početnih struja trolejnih i jednopolnih kratkih spojeva,
- stabilnost kuta agregata nove KTE pri velikim i malim poremećajima.

Posebno su izvršene analize očekivanog strujnog opterećenja 110 kV sabirnica TS Osijek 2 preko kojih se plasira proizvodnja nove KTE u mrežu budući da su iste ocijenjene kritičnim za priključak nove KTE (dispozicija istih prikazana je slikom 12). Jedan dio postrojenja 110 kV (polja E1 do E8) sastoji se od jednog sustava glavnih sabirnica presjeka Al/Če 450/40 mm² i pomoćnih sabirnica presjeka Al/Če 240/40 mm². Drugi dio postrojenja 110 kV (polja E9 do E14) sadrži dva sustava glavnih sabirnica presjeka Al/Če 490/65 mm². Trenutno se u postrojenju nalazi dva slobodna 110 kV polja (E3 i E4), a postoji dovoljno prostora za proširenje postrojenja 110 kV za još tri polja iza završnog postojećeg polja E14. S obzirom na postojeću izvedbu postrojenja 110 kV TS Osijek 2, radi veće fleksibilnosti pogona bit će nužno izvesti dva sustava glavnih sabirnica duž čitavog postrojenja produljenjem glavnih sabirnica W2.

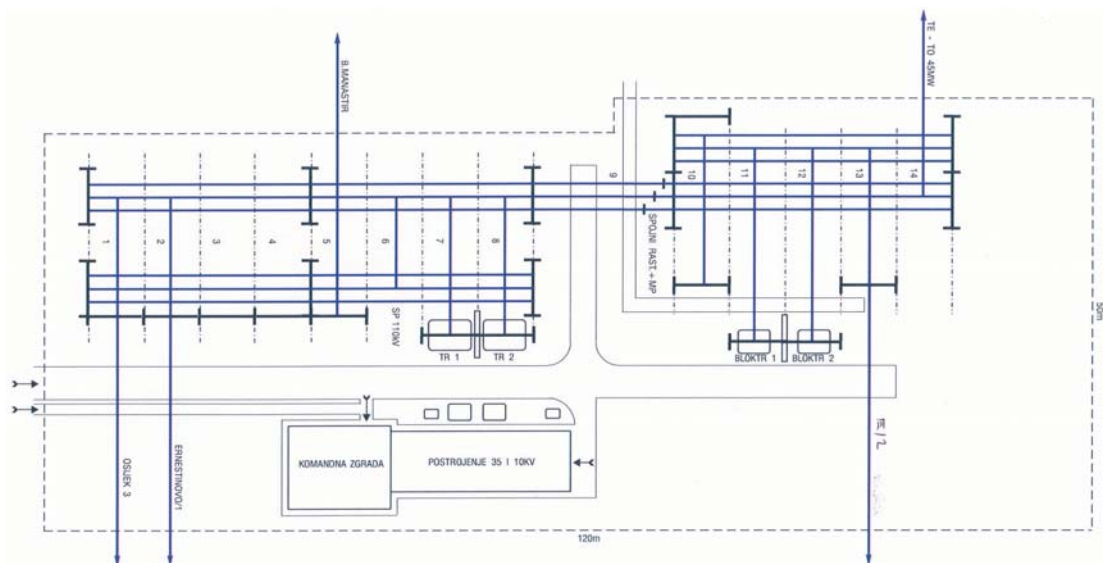
Nova elektrana u Osijeku bit će iste izvedbe kao i KTE 250 MW na lokaciji postojeće TE Sisak. Radi se o dvoosovinskom kombi postrojenju oznake 1V94.2 čiji su osnovni parametri prikazani u prethodnom poglavlju (tablica 1).



Slika 11 - Mreža 400, 220 i 110 kV na području PrP Osijek – očekivano stanje 2010.

Izvršene analize pokazuju da će nakon izgradnje nove KTE Osijek 250 MW i njenog priključka na 110 kV sabirnice TS Osijek 2, biti nužno pojačati mrežu 110 kV radi

osiguravanja sigurnog plasmana proizvodnje nove KTE, te postojećih TE-TO i PTE Osijek.



Slika 12 - 110 kV postrojenje TS Osijek 2 (dispozicija)

Ukoliko se mreža dimenzionira po kriteriju neraspoloživosti jedne grane sustava pri čemu opterećenja ostalih grana moraju ostati unutar dozvoljenih granica bez smanjenja angažirane snage elektrana koje utječu na opterećenja razmatranih vodova, moguća su četiri rješenja pojačanja mreže 110 kV u okolini TS Osijek 2 koja osiguravaju siguran plasman proizvodnje nove KTE Osijek 250 MW:

- 1) povećanje prijenosne moći DV 110 kV Osijek 2 – Osijek 3 zamjenom vodiča Al/Č 150/25 mm² (po potrebi i stupova) vodičima Al/Č 240/40 mm², na dionici duljine 5,73 km, ili
- 2) izgradnja novog DV 110 kV Osijek 1 – Osijek 2, ili
- 3) izgradnja novog DV 110 kV Osijek 2 – Ernestinovo /3, ili
- 4) polaganje novog KB 110 kV Osijek 2 – Osijek 4.

Rješenja pojačanja mreže su poredana prema rastućim troškovima (investicijama), a omjer investicija u 110 kV mreži je otprilike 1 / 2,15 / 2,65 / 15,5 (490 000 € za rješenje pod 1; 1 050 000 € za rješenje pod 2; 1 300 000 € za rješenje pod 3; 7 550 000 € za rješenje pod 4).

Sva četiri rješenja pojačanja mreže mogla bi ograničavati plasman proizvodnje PTE Osijek uz angažman maksimalnom snagom KTE i TE-TO Osijek. Snaga kojom je moguće angažirati PTE Osijek prvenstveno ovisi o opterećenju distributivnog konzuma koji se napaja preko TS Osijek 2 u promatranom trenutku.

Rješenja pod rednim brojevima 2, 3 i 4 pružaju veću sigurnost plasmana proizvodnje nove KTE Osijek budući da je opterećenje priključnih 110 kV vodova, pri

neraspoloživosti jednog od njih, znatno manje od njihove termičke granice. U slučaju rješenja pod 1, u izvanrednim su okolnostima moguća opterećenja 110 kV vodova prema TS Osijek 3 i TS Ernestinovo u blizini gornjih dopuštenih vrijednosti. Potrebno je spomenuti da trajno isključenje KB 110 kV Osijek 3 – Osijek 4, predviđenog za izgradnju u kratkoročnom razdoblju, u normalnom pogonu bitno rasterećuje kritični vod Osijek 2 – Osijek 3.

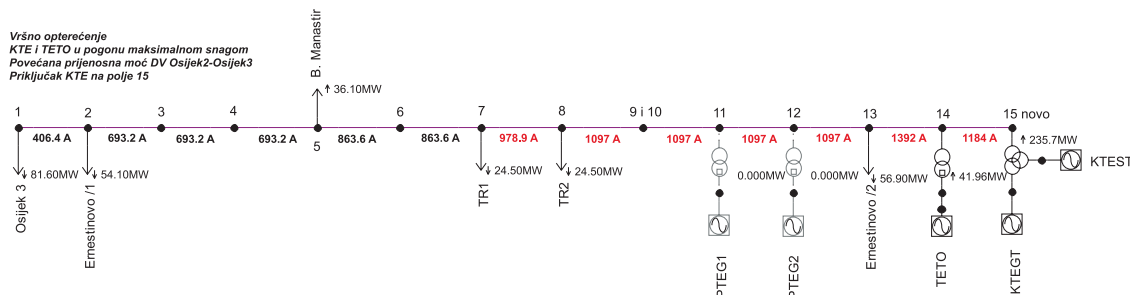
Bez obzira na odabrano rješenje pojačanja 110 kV mreže nakon izgradnje KTE Osijek 250 MW, postojeći presjek 110 kV sabirnica TS Osijek 2 ne zadovoljava s obzirom na maksimalna strujna opterećenja u normalnom pogonu, neovisno o prostornom priključku nove KTE (produženje sabirnica iza polja E14 ili priključak na rezervna polja E3 ili E4, ili izmještaj voda Ernestinovo /1 na polje E3 i priključak blok trafoa nove KTE na polje E2 ili E4), ukoliko oba generatora nove KTE budu spojena na mrežu preko jednog tronamotnog blok transformatora (slika 13).

Ukoliko se zadrži rješenje s jednim tronamotnim blok transformatorom, isti će biti potrebno priključiti u polje E3, novi vod (Ernestinovo /3, Osijek 1 ili Osijek 4) u polje E4 (slika 14), a sabirnice pojačati s obzirom na izračunate maksimalne struje u normalnom pogonu koje iznose:

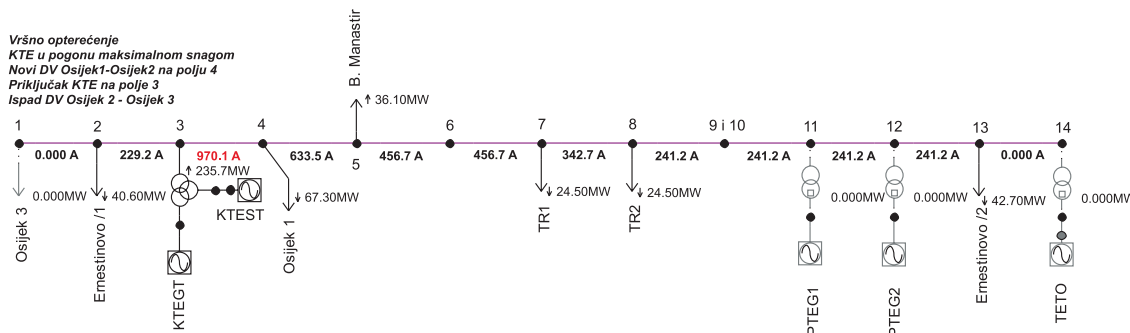
$I_{\max} = 970$ A u slučaju izgradnje novog voda Osijek 1 – Osijek 2,

$I_{\max} = 926$ A u slučaju izgradnje novog voda Osijek 2 – Ernestinovo /3, te

$I_{\max} = 1060$ A u slučaju polaganja kabela Osijek 2 – Osijek 4.



Slika 13 - Preopterećenje 110 kV sabirnica TS Osijek 2 u slučaju priključka nove KTE u polje E15 proširenog dijela



Slika 14 - Preopterećenje 110 kV sabirnica TS Osijek 2 u slučaju priključka nove KTE u polje E3 i izgradnje DV 110 kV Osijek 1 – Osijek 2

U slučaju pojačanja mreže 110 kV zamjenom vodiča na vodu Osijek 2 – Osijek 3, tronamotni blok trafo nove KTE treba priključiti u polje E2, s kojeg se izmješta vod Osijek 2 – Ernestinovo /1 u polje E3, a sabirnice treba pojačati s obzirom na izračunatu maksimalnu struju u normalnom pogonu ne manju od 1200 A.

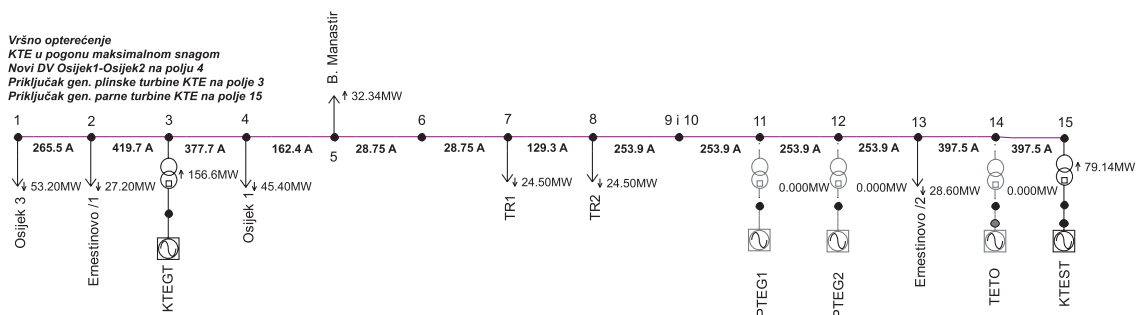
Zamjena sabirničkog užeta TS Osijek 2 se može izbjeći ukoliko se svaki generator nove KTE priključi na mrežu preko zasebnog blok transformatora. U tom slučaju blok transformator generatora plinske turbine treba priključiti u polje E3, blok transformator generatora parne turbine u polje E15 (proširenje postojećih sabirnica), a novi vod (Osijek 1, Ernestinovo /3 ili Osijek 4) u polje E4 (slika 15). Ukoliko se mreža pojačava zamjenom vodiča na vodu Osijek 2 – Osijek 3, blok trafo generatora plinske turbine se smješta u polje E2 s kojeg se izmješta vod prema Ernestinovu /1 u polje E3, a blok transformator generatora parne turbine se priključuje u polju E4 (slika 16).

Ukoliko KTE bude imala transformator opće potrošnje priključen na 110 kV sabirnice TS Osijek 2, potrebno je proširiti sabirnice 110 kV za jedno ili dva polja, ovisno o broju blok transformatora nove KTE i odabranom rješenju pojačanja mreže 110 kV.

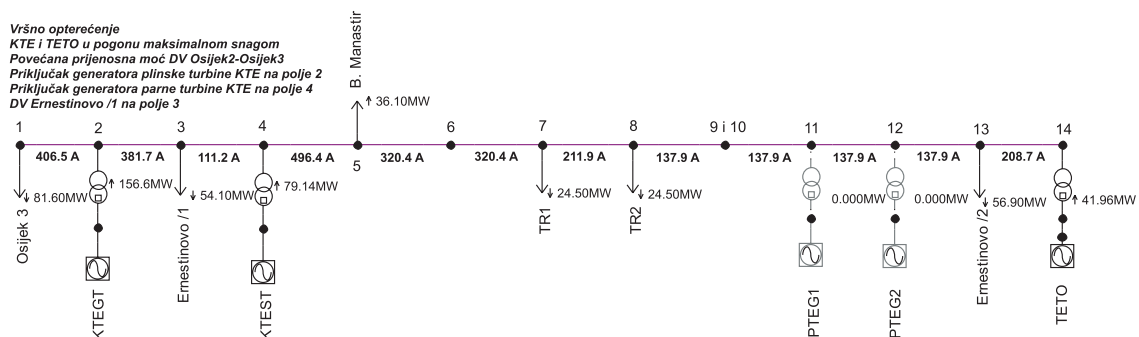
Neovisno o izvedbi i načinu priključka nove KTE na sabirnice 110 kV TS Osijek 2 povoljno je produžiti glavni

sustav sabirnica W2 duž čitavog postrojenja. TS Osijek 2 tako bi bila izvedena s dva sustava glavnih sabirnica.

Priključak generatora nove KTE preko tronamotnog blok transformatora na 110 kV sabirnice TS Osijek 2 (bez dodatnih kompenzacijskih shema) nije povoljan s aspekta pružanja pomoćne usluge regulacije jalove energije i napona, te ravnomjernog opterećenja generatora jalovom snagom (proizvodnje jalove snage/energije) za različita pogonska stanja. Dok se očekivana potreba za pružanjem usluge Q/U regulacije nove KTE uglavnom svodi na finiju kontinuiranu regulaciju, imajući u vidu mjesto njenog priključka i postojanje uređaja za kompenzaciju jalove energije u tom dijelu EES-a, neravnomjerno opterećenje generatora jalovom snagom (tzv. "hunting efekt") dovodi do situacija da je istodobno radna točka generatora plinske turbine u kapacitivnom dijelu pogonske karte dok je radna točka generatora parne turbine u induktivnom dijelu pogonske karte i obratno. Uravnoteženije opterećenje generatora jalovom snagom (proizvodnja jalove snage/energije) te veće mogućnosti regulacije jalove energije i napona postižu se u slučaju priključka generatora nove KTE na 110 kV sabirnice TS Osijek 2 preko zasebnih blok transformatora. Nakon definiranja točnih i potpunih parametara generatora i blok transformatora, uključujući pogonske karte generatora, razmatranu problematiku bit će nužno detaljnije analizirati ukoliko se zadrži rješenje



Slika 15 - Prostorni priključak KTE Osijek s dva dvonamotna blok transformatora u slučaju pojačanja mreže novim DV 110 kV Osijek 1 – Osijek 2



Slika 16 - Prostorni priključak KTE Osijek s dva dvonamotna blok transformatora u slučaju pojačanja mreže povećanjem prijenosne moći DV 110 kV Osijek 2 – Osijek 3

priključka generatora preko jednog tronamotnog blok transformatora.

Komparativnom usporedbom dobivenih numeričkih rezultata proračuna stabilnosti elektroenergetskog sustava u uvjetima nakon priključenja planiranih agregata kombi-bloka na analiziranoj lokaciji zaključuje se da nema značajnijih elemenata koji bi ukazivali na poteškoće vezane uz kritično vrijeme trajanja trofaznog kratkog spoja, prigušenje elektromehaničkih njihanja u EES-u Hrvatske te prigušenje strojnih elektromehaničkih njihanja. Lokacija 'Osijek' zadovoljava minimalne kriterije kritičnog trajanja trofaznog kratkog spoja te koeficijenta prigušenja nakon uvođenja PSS-a u sustave regulacije uzbude sinkronih generatora agregata kombi-bloka. Dakle, stabilnost kuta rotora u EES-u Hrvatske ne bi bila ugrožena s planiranom izgradnjom novih agregata ukoliko bi njihovi parametri ostali u postavljenim okvirima.

Na ovoj se lokaciji procjenjuje da elektromehanička stabilnost kuta rotora ne predstavlja značajniji element prema kojem bi se trebalo dodatno definirati konfiguraciju vanjske 110 kV prijenosne mreže. Nakon izbora isporučitelja agregata i točnog poznavanja njihovih parametara, te konačnog odabira načina pojačanja mreže 110 kV, potrebno je ponovno izvesti proračune stabilnosti kuta rotora te točnije procijeniti ulogu planiranih agregata u regulaciji napona i frekvencije.

4.3 Lokacija postojeće TE-TO Zagreb

4.3.1 Priključak KTE 400 MW

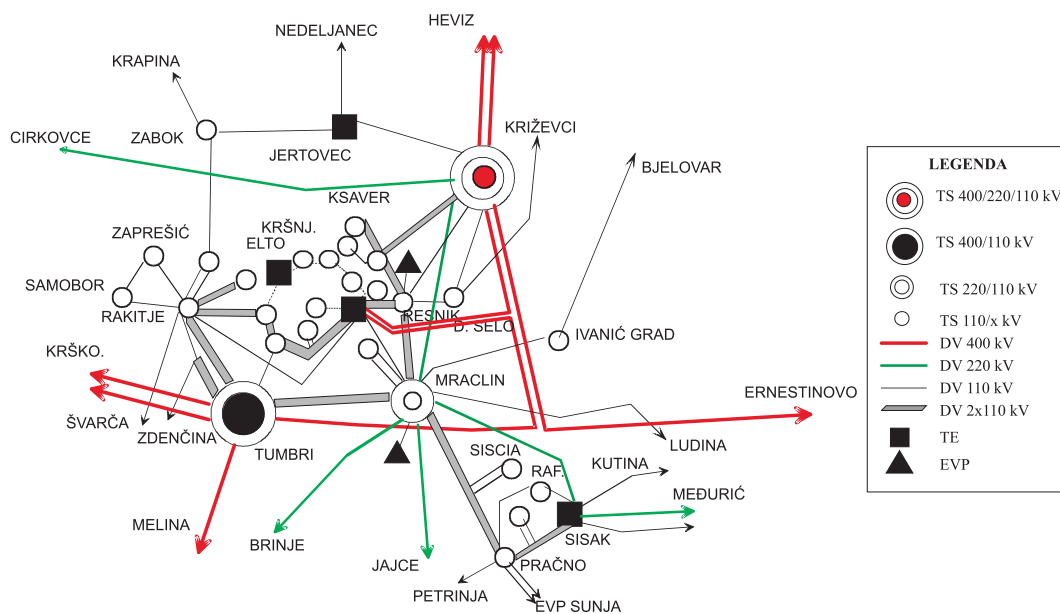
Provedene analize pokazale su da je priključak nove KTE Zagreb potrebno ostvariti na 400 kV naponsku razinu, za

što je potrebno formirati RP 400 kV u krugu elektrane, te uvesti 400 kV vod Tumbri-Žerjavinec (odnosno jednu trojku 2x400 kV voda Veleševac-Žerjavinec) u RP 400 kV KTE Zagreb (slika 17). Ukupne investicije potrebne za priključak KTE Zagreb na EES procijenjene su na oko 8,5 milijuna eura. Upitnom je ostala mogućnost izgradnje DV 2x400 kV do lokacije TE-TO budući da isti nije planiran u prostornom planu RH.

4.3.2 Priključak KTE 100 MW

TE-TO Zagreb smještena je u istočnom dijelu grada Zagreba (Žitnjak), a kao gorivo koristi loživo ulje i prirodni plin. Termoelektrana toplana služi za opskrbu potrošača grada Zagreba toplinskom i električnom energijom. U elektrani se nalaze proizvodne jedinice 32 MW (blok A) i 110 MW (blok C), a nedavno je u pogon ušlo novo kombi kogeneracijsko plinskoparno postrojenje ukupne električne snage 260 MVA (221 MW na generatorima). Na razmatranoj lokaciji TE-TO danas se nalaze blokovi ukupno instalirane snage u iznosu od 337 MW na pragu.

Svi blokovi TE-TO Zagreb priključeni su na 110 kV sabirnice TS 110/30 kV koja se nalazi u krugu elektrane. U TS se nalaze i tri transformatora 60 MVA za napajanje distribucijskih potrošača. Transformatorska stanica TE-TO Zagreb priključena je na 110 kV mrežu grada Zagreba preko pet vodova 110 kV, od kojih su dva dvosistemska 2x110 kV. Vodiči svih priključnih 110 kV vodova TE-TO Zagreb izvedeni su od Al/Č 240/40 mm² prijenosne moći 120 MVA. Dionica voda TETO-Rakitje izvedena je od vodiča Al/Č 150/25 mm² koja ograničava njegovu prijenosnu moć. Vod



Slika 17 - Priključak KTE Zagreb 400 MW na 400 kV mrežu

prema Mraclinu izveden je s dva vodiča Al/Č 240/40 mm² po fazi (prijenosna moć 240 MVA), a prema TS Trpimirova je položen kabel 110 kV od Al 1000 mm².

Za priključak navedenih proizvodnih blokova, odvod proizvedene električne energije, napajanje distribucije (DP "Elektra" Zagreb), kao i vlastite potrošnje elektrane, izgrađeno je (a 2001. godine i rekonstruirano) 110 kV rasklopno postrojenje s 19 polja i to:

- polja za priključak proizvodnih blokova,
- 1 polje za transformator opće vlastite potrošnje,
- 1 spojno polje glavnih sabirnica,
- 1 mjerno polje,
- 3 polja transformatora 110/30 kV, 60 MVA,
- polja zračnih vodova 110 kV (DV Sopot, Botinec, Rakitje, Mraclin, Resnik I i II),
- 1 polje kabelskog voda 110 kV Trpimirova.

Sabirnice 110 kV (Al cijev ϕ 120 x 8 mm) dimenzionirane su na $I_k'' = 40$ kA, no rasklopna moć većine prekidača je manjeg iznosa (31,5 i 34,1 kA). Samo novoizgrađena polja 110 kV (agregati bloka K i spojka) imaju prekidače rasklopne moći 40 kA.

Za lokaciju postojeće TE-TO Zagreb istraživala se mogućnost priključka novog kogeneracijskog plinskoparnog kombi bloka u dvoosovinskoj izvedbi, snage 1x70 + 1x35 MW, na postojeću 110 kV mrežu Zagreba i to s aspekta:

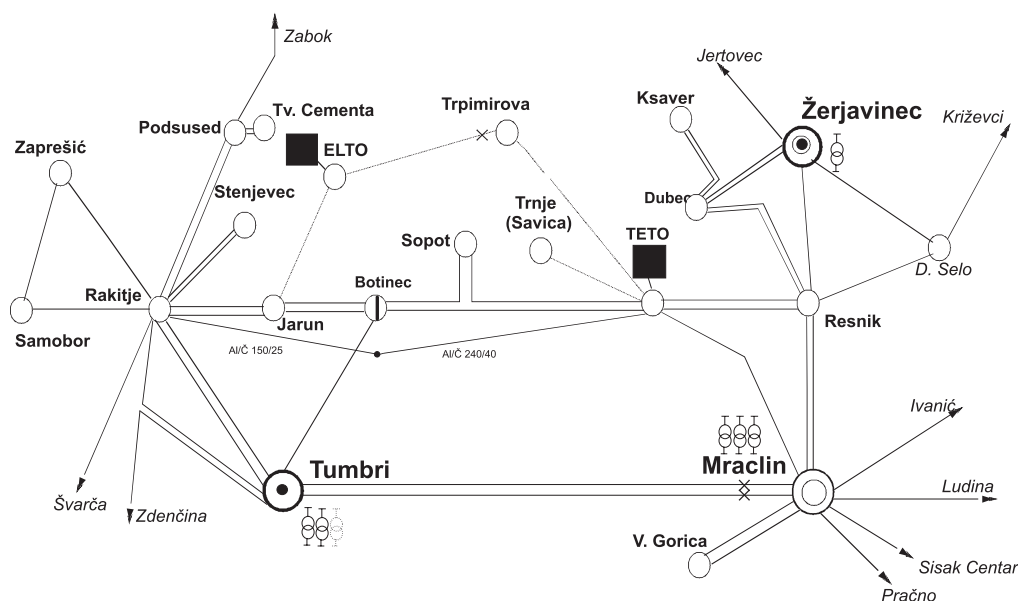
- sigurne evakuacije proizvodnje razmatrane KTE uz kriterij raspoloživosti mreže od (n-1) kritičnih elemenata, a u doba visokog opterećenja sustava i same mreže, te u vrijeme nižih opterećenja na zagrebačkom području kada se dio proizvodnje TE-TO prenosi u ostale dijelove EES-a,

- razine struja kratkih spojeva u EES-u Hrvatske koje moraju biti unutar granica definiranih rasklopnom moći postojećih ili zamjenskih prekidača,
- rada postojećih blokova u TE-TO Zagreb.

Predviđeni kogeneracijski plinskoparni kombi blok zamjena je za postojeći parni blok A el. snage 32 MW, čija je dinamika izlaska iz pogona trebala biti 2002. godina, a planirano je da u rezervi ostaje do 2004. godine. Osnovne karakteristike razmatrane KTE su:

- dvoosovinsko kombi plinsko-parno postrojenje 1x70 + 1x35 MW
- nazivna radna snaga ~105 MW
- nazivni faktor snage 0,85 - 0,9
- nazivna prividna snaga ~117 - 125 MVA
- snaga vlastite potrošnje ~5 % od P_n , tj. ~5 MW
- nazivni napon priključne mreže 110 kV
- gotovost (pogon) do 2005. godine

Nakon izgradnje novog bloka i gašenja bloka A, s lokacije TE-TO Zagreb bit će nužno omogućiti siguran plasman u okolnu 110 kV mrežu, uz (n-1) raspoloživost priključnih grana, maksimalnih 415 MW umanjnih za trenutnu snagu potrošnje distribucije napajane sa sabirnicom 110 kV TE-TO Zagreb (maksimum 2004. je bio 82 MW [12]). Ukoliko se u obzir uzme i normalno uklopno stanje u kojem se sa 110 kV sabirnicom TE-TO Zagreb napaja TS Trpimirova (maksimum 2004. – 44 MW [12]), a u budućnosti i nove TS Trnje Savica, TS Sigečica i TS Ružmarinka predviđene za izgradnju od strane Elektro Zagreb [13], eventualno potrebna pojačanja mreže treba sagledati uzimajući u obzir preostalu očekivanu angažiranu snagu svih blokova TE-TO Zagreb koja se plasira dalje u sustav, odnosno zagrebačku mrežu (TS Resnik, TS Mraclin, TS Sopot, TS Botinec).



Slika 18 - Planirana konfiguracija 110 kV mreže Zagreba 2005. godine prema lit. [12]

Dodatni utjecajni faktor koji značajno određuje potrebna pojačanja mreže nakon izgradnje KTE 100 MW je i razina kratkog spoja [13, 14] ukazale na ugroženost 110 kV opreme (prekidača) u nekoliko TS 110/35 kV na području Zagreba, među ostalim i u TE-TO Zagreb. Na temelju prijeratnog stanja i rezultata studija [13, 14], priključak nove KTE 100 MW je u [8] bio sagledan uz pretpostavku poprečnog sekcioniranja zagrebačke 110 kV mreže (mreža razdvojena u TS Trpimirova, TS Botinec i TS Mraclin) pri čemu se ista razdvaja na dva dijela: zapadni dio napajan iz TS 400/110 kV Tumbri i EL-TO, te istočni dio napajan iz TS 400/220/110 kV Žerjavinec, TS 220/110 kV Mraclin i TE-TO (slika 18). Uz takvo uklopno stanje 110 kV mreže proizvodnja svih blokova u TE-TO Zagreb umanjuje se za snagu potrošnje distribucije napajane iz TE-TO, TS Trpimirova, TS Sopot i TS Botinec, te se ostatak plasira u sustav vodovima prema TS Resnik i TS Mraclin.

U međuvremenu su HNOSIT i HEP-Prijenos proveli sekcioniranje 110 kV zagrebačke mreže na način bitno drugačiji od pretpostavljenog pri određivanju priključka KTE 100 MW na mrežu (slika 19). Od studenog 2004. godine 110 kV sabirnice TE-TO Zagreb su električki odvojene te su na glavne sabirnice 1 priključeni agregati G6 80 MVA, G1 40 MVA, G3 150 MVA, KB 110 kV Trpimirova, DV 110 kV Resnik 1 i 2, DV 110 kV Mraclin, TR1 60 MVA i TR2 60 MVA, te opća potrošnja OP (32 MVA). Na drugi sustav glavnih sabirnica priključeni su agregati G4 i G5 svaki po 90 MVA, TR3 60 MVA, te DV 110 kV Rakitje, Botinec i Sopot.

U nastavku je opisano rješenje priključka KTE 100 MW na mrežu sekcioniranu prema polaznim pretpostavkama prethodno opisanim (poprečno sekcioniranje), a zatim se prikazuju rezultati ispitivanja na aktualno sekcioniranoj mreži.

A) Priključak KTE 100 MW na poprečno sekcioniranoj mreži

Kritičan kvar za plasman maksimalne proizvodnje TE – TO nakon izgradnje novog bloka 100 MW je ispad “teškog” voda TETO – Mraclin. Moguće preopterećenje DV 2x110 kV TETO – Resnik tada ovisi o angažmanu TETO (ispitivane su mogućnosti punog angažmana od 400 MW) i veličini okolnog konzuma (TETO, Trpimirova, Savica, Sopot, Botinec za 2005., još i Žitnjak 2010., te Sigečica i Ružmarinka 2015. godine).

Za planirana opterećenja TS u trenutku nastupa vršnog opterećenja EES-a 2005. godine, maksimalnu snagu svih blokova u TE – TO Zagreb pri razmatranom kvaru je moguće plasirati u mrežu uz 5 %-tno preopterećenje DV 2x110 kV TETO – Resnik s vodičima od Al/Č 240/40 mm². Budući da vršno opterećenje EES Hrvatske nastupa u zimskom razdoblju kada su temperature okoline niske, a imajući u vidu činjenicu da su dozvoljena termička opterećenja

vodova (pa tako i voda TETO – Resnik) definirana za temperaturu okoline od 40 °C, 5 %-no preopterećenje “kritične” grane je granično zadovoljavajuće s aspekta pogona razmatranog dijela sustava. Porastom “lokalnog” konzuma (2010. i 2015. godine) napajanoj iz TE – TO Zagreb u maksimumu opterećenja, više neće dolaziti do preopterećenja voda 2x110 kV TETO – Resnik/Žitnjak pri ispadu voda TETO – Mraclin.

Siguran plasman maksimalne proizvodnje svih blokova TE – TO Zagreb u pogonskim stanjima karakterističnim po smanjenom opterećenju u EES-u (odnosno smanjenom opterećenju lokalnog konzuma napajanoj iz TE – TO) bit će ograničen, budući da će preopterećenje voda TETO – Resnik, pri ispadu voda TETO – Mraclin, rasti kako je lokalni konzum manji. Budući da u ljetnom razdoblju (kada nema toplinskog konzuma) ne postoji potreba za punim angažmanom svih blokova u TE – TO Zagreb, poteškoće bi mogle nastati pri sniženim zimskim opterećenjima (noćna opterećenja, dani vikenda) kada zbog značajnog toplinskog konzuma postoji potreba za punim angažmanom svih blokova TE – TO Zagreb.

Ukoliko investitor novog bloka procijeni da je nužno osigurati plasman što veće snage TE – TO Zagreb u uvjetima sniženih opterećenja na zagrebačkom području, a imajući u vidu vjerojatna ograničenja u pronalaženju trasa za eventualno novi vod, bilo bi potrebno povećati prijenosnu moć voda 2x110 kV TETO – Resnik, zamjenom s vodičima većeg presjeka. To bi značilo izgradnju novog DV 2x110 kV s vodičima Al/Č 360/57 mm², prijenosne moći 2x150 MVA u duljini od ~9 km, ili jednog “teškog” DV 2x110 kV s vodičima u snopu 2xAl/Č 240/40 mm² prijenosne moći 2x230 MVA.

Rekonstrukcija voda TETO – Resnik bila bi povoljna s aspekta njegove starosti (izgrađen 1957. godine), budući da su električke komponente tog voda u blizini očekivanog životnog vijeka.

B) Priključak KTE 100 MW na aktualno sekcioniranoj mreži (razdvojenoj u TE-TO Zagreb)

Kada su glavni 110 kV sabirnički sustavi u TE-TO Zagreb odvojeni kako je to prethodno opisano, pojedine grupe agregata napajaju zapadne transformatorske stanice (Botinec, Sopot, Rakitje), a pojedine grupe napajaju radijalne TS Trpimirova i buduću TS Trnje Savica te ostatak proizvodnje daju u sustav prema Mraclinu i Resniku. Opterećenja pojedinih priključnih 110 kV vodova pri tom ovise osim o priključku i angažmanu pojedinih grupa agregata još i o trenutnoj snazi potrošnje distribucije napajanoj sa 110 kV sabirnice TE-TO Zagreb.

Ispitivanja tokova snaga na konfiguracijama mreže 2005., 2010. i 2015., sekcionirane u TE-TO Zagreb, pokazuju da je moguće izbjeći sva potencijalna preopterećenja u mreži pri ispadu neke grane, neovisno o opterećenju sustava i okolnih transformatorskih stanica, prebacivanjem pojedinih

agregata s jednog na drugi glavni sabirnički sustav, te da stoga nije potrebno okolnu 110 kV mrežu dodatno pojačavati izuzev predviđenog povećanja prijenosne moći DV 110 kV TETO-Rakitje i njegovog uvoda u TS Botinec.

Teži ispadi za plasman proizvodnje TE-TO Zagreb su oni vodova prema TS Botinec ili TS Sopot (sada priključeni na GS2), kada se preostali od ova dva voda može preopterećivati ukoliko se generatori nove KTE priključe na sabirnički sustav s kojega se napajaju ti vodovi. Povoljnije je generatore KTE priključiti na GS1 s kojih se napaja dva distributivna transformatora 60 MVA, TS Trpimirova, TS Trnje Savica po njenoj izgradnji, dok se ostatak proizvodnje prenosi prema Resniku i Mraclinu. Ispad DV 110 kV TETO-Mraclin više nije kritičan s aspekta mogućeg preopterećenja DV 2x110 kV TETO-Resnik, pa prema tome isti ne treba pojačavati zamjenom stupova i vodiča veće prijenosne moći ili vodičima u snopu. Eventualno je potrebno taj DV revitalizirati (vodiči, izolatori, ovjesna i spojna oprema) ovisno o njegovom trenutnom stanju. Budući da je unutar investicijskog programa izgradnje KTE 100 MW na lokaciji TE-TO Zagreb za pojačanja mreže rezervirano oko 2 milijuna eura ta bi sredstva bilo povoljno iskoristiti na nužne zamjene i rekonstrukcije okolnih objekata 110 kV mreže, važnih za plasman proizvodnje TE-TO Zagreb (npr. TS Resnik, TS Mraclin).

5 TROŠKOVI PRIKLJUČKA NOVIH KTE

Izgradnja svake elektrane najčešće zahtijeva ulaganje određenih financijskih sredstava u pojačanja ili obnovu

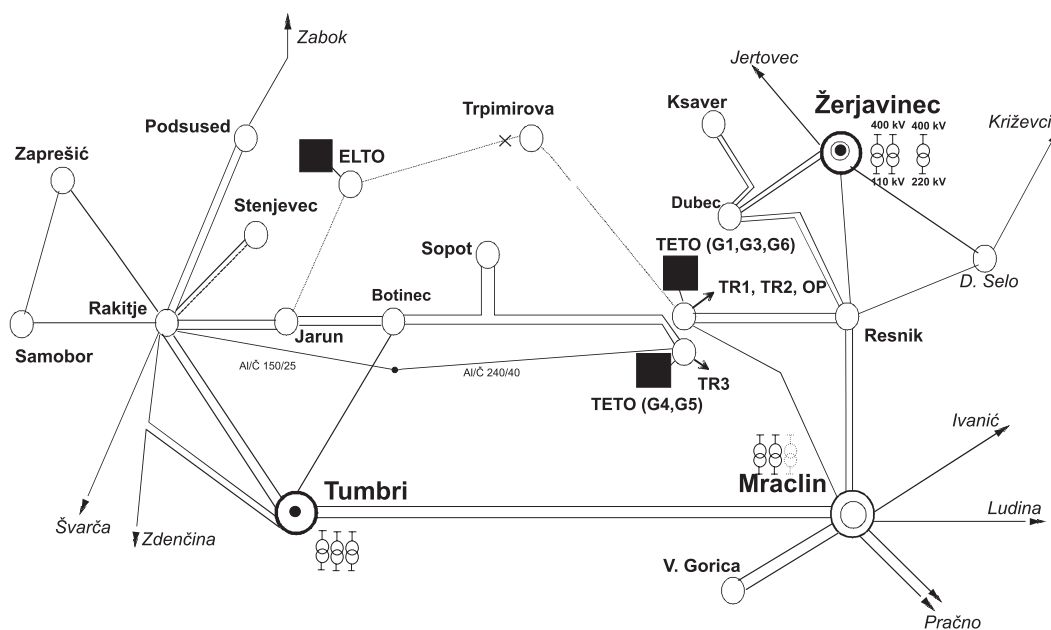
prijenosne mreže, budući da bez pouzdane mreže plasman proizvodnje nove elektrane može biti povremeno onemogućen čime bi se investitorima u elektranu prouzročili neplanirani i neželjeni dodatni troškovi (troškovi ispada elektrane s mreže i neplanirane nemogućnosti proizvodnje radi prisilnih zastoja, troškovi ponovnog puštanja u pogon). Tablica 2 prikazuje grubo procijenjene troškove priključka analiziranih KTE na mrežu s aspekta potrebnih pojačanja mreže, revitalizacije mreže, te izgradnje ili proširenja rasklopnog postrojenja odn. transformatorske stanice na koju se priključuje pojedina KTE.

6 ZAKLJUČNO

U članku su opisani rezultati analiza priključenja novih KTE (kombi elektrana) na elektroenergetski sustav (prijenosnu mrežu) na području Republike Hrvatske, pri čemu nije razmatrana opravdanost gradnje istih, te mogućnosti dobave dovoljnih količina plina.

Prethodnih godina izvršene su analize i određena rješenja priključka za više mogućih varijanti izgradnje i lokacija novih KTE. Prvobitni planovi o gradnji KTE 400 MW s predvidivim ulaskom u pogon 2007. godine na lokacijama Zagreb, Sisak ili Osijek trenutno su napušteni, a razmatra se izgradnja kombi elektrana snaga 250 MW na lokacijama postojećih TE Sisak te TE-TO i PTE Osijek i blok ukupne snage 100 MW na lokaciji TE-TO Zagreb kao zamjena za postojeći blok A snage 32 MW.

Rješenja priključka novih KTE na prijenosnu mrežu određivana su uvažavajući sljedeće:



Slika 19 - Aktualna konfiguracija 110 kV mreže Zagreba 2005. godine

Tablica 2 - Troškovi priključka pojedinih KTE na EES

Lokacija KTE	Snaga (MW)	Priključni napon (kV)	Trošak priključka (mil. €)	Napomena
Sisak	400 MW	400	20	Neovisno o pogonu bloka 1 i 2 TE Sisak
	2x210 MW	220	14	Blok 1 i 2 TE Sisak van pogona
		400	19	Blok 1 i 2 TE Sisak u pogonu
	2x160+160 MW	220	14	Blok 1 i 2 TE Sisak van pogona
		400	20	Blok 1 i 2 TE Sisak u pogonu
	(2)x3x70 MW	110	1.4	Blok 1 i 2 TE Sisak van pogona
		220	16.5	Blok 1 i 2 TE Sisak u pogonu
250 MW (1V94.2)*	220	0.29	Blok 2 TE Sisak u pogonu, bez pojačanja te zamjena i rekonstrukcija mreže	
	220	16.5	Blok 2 TE Sisak u pogonu, s pojačanjem te zamjenama i rekonstrukcijama mreže	
Osijek	400 MW	400	12	Priključak s DV 2x400 kV
		400	8	Priključak s DV 400 kV
	150 MW	110	1	-
	250 MW (1V94.2)*	110	0.49 – 7.5	4 varijante pojačanja mreže, prikazan raspon između najjeftinije i najskuplje, bez troškova rekonstrukcije 110 kV postrojenja TS Osijek 2
Zagreb	400 MW	400 kV	8.5	-
	100 MW	110 kV	2.2	-

* oznaka vrste analiziranog postrojenja

- (n-1) kriterij sigurnosti plasmana maksimalne snage svih proizvodnih blokova sa razmatrane lokacije, u svim mogućim i očekivanim pogonskim stanjima,
- očekivane naponske prilike u mreži prije i nakon priključenja nove elektrane na sustav,
- razinu kratkospojnih prilika u okolnoj mreži, promatranu preko najvećih vrijednosti početnih struja tropolnih i jednopolnih kratkih spojeva,
- stabilnost kuta agregata nove KTE pri velikim i malim poremećajima,
- troškove priključka za različite varijante izvedbe istih.

Potrebno je spomenuti da će donošenje Mrežnih pravila, trenutno u proceduri usvajanja, definirati uvijete priključka novih generatora na sustav pa će se i rješenja priključaka određivati s obzirom na postavljene zahtjeve. U vrijeme studijskih istraživanja opisanih u ovome članku Mrežna pravila nisu bila izrađena pa nisu služila kao osnovni dokument koji definira kriterije priključka generatora na sustav. Stoga sva predložena rješenja priključaka novih KTE na EES treba provjeriti nakon usvajanja Mrežnih pravila od strane mjerodavnih institucija.

LITERATURA

- [1] M. ZELJKO i grupa autora, Razvitak elektroenergetskog sustava hrvatske do 2030. godine – Master plan, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 1998.
- [2] M. ZELJKO i grupa autora, Potrebna izgradnja novih elektroenergetskih objekata i postrojenja u razdoblju od 2001. do 2020. godine (Master plan), Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2001.
- [3] D. BAJSI, B. RADMILOVIĆ, S. ALERIĆ, Studija uklapanja nove KTE snage 400 Mw na EES Republike Hrvatske (lokacija TE Sisak), Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2000.
- [4] D. BAJSI, B. RADMILOVIĆ, S. ALERIĆ, Studija uklapanja nove KTE snage 400 MW na EES Republike Hrvatske (lokacija PTE I TE-TO Osijek), Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2000.
- [5] D. BAJSI, B. RADMILOVIĆ, S. ALERIĆ, Studija uklapanja nove KTE snage 150 MW na lokaciji PTE – TE-TO Osijek u EES Republike Hrvatske, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2001.
- [6] D. BAJSI, B. RADMILOVIĆ, S. ALERIĆ, Studija uklapanja nove KTE snage 400 MW na EES Republike Hrvatske (lokacija TE-TO Zagreb), Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2000.
- [7] STATIČKA ANALIZA PRIKLJUČKA I ODVODA EL. ENERGIJE PLINSKOPARNOG KOMBI BLOKA U TE SISAK SNAGE 2x210 MW, D. Bajsi, B. Radmilović, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2003.
- [8] D. BAJSI, B. RADMILOVIĆ, Uklapanje kombi plinskog bloka snage 100 MV na EES Republike Hrvatske (lokacija TE-TO Zagreb), Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2003.
- [9] H. PETRIĆ i grupa autora, Studija izvodljivosti za Sisak CCGT 250 MW, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, lipanj 2004.
- [10] S. TEŠNJAK, I. PAVIĆ, Mogućnost priključka plinsko-parnog bloka snage 250 MW u TE Sisak u elektroenergetski sustav, FER, Zagreb, 2004.
- [11] D. BAJSI, N. DIZDAREVIĆ, G. MAJSTROVIĆ, M. MAJSTROVIĆ, Priključak KTE OSIJEK 250 MW na

elektroenergetski sustav, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2004.

- [12] MJESEČNO IZVIJEŠĆE – Prosinac 2004., HEP – Prijenos, PrP Zagreb, Zagreb, 2004.
- [13] R. SCHENNER, D. BAJŠ, Razvoj 110 kV mreže DP Elektra – Zagreb u razdoblju 2000.-2015. godine”, Energetski institut Hrvoje Požar, Zagreb, 2001.
- [14] D. NEVEČEREL, Proračun kratkog spoja u mreži Hrvatske 2005. i 2010. godine, Institut za elektroprivredu i energetiku, Zagreb, 1999.

CONNECTION OF NEW COMBINED GAS-STEAM POWER PLANTS INTO ELECTRIC POWER SYSTEM (TRANSMISSION NETWORK) OF THE REPUBLIC OF CROATIA

In this article results of studies on connection of new combined power plants into electric power system that is transmission network of the Republic of Croatia are given. The construction of additional combined gas-steam production plants has been renewed after the evaluation of the Master plan in 1998 (renewed in 2001) because of production diversification regarding fuels used as well as because of ecological and economic needs in electric power production. The company HEP Production has during the past few years undertaken preparation activities on construction of some of those production plants and within those activities also the connection solutions to the transmission grid have been evaluated.

DAS EINSCHALTEN NEUER GAS-DAMPF KOMBIKRAFTWERKE IN DAS ELEKTROENERGETISCHE SYSTEM DER REPUBLIK KROATIEN

Im Artikel werden Ergebnisse der Überlegungen bezüglich des Einschaltens neuer Kombikraftwerke in das elektroenergetische System der Republik Kroatien, bzw. in ihr Übertragungsnetz erörtert. Die Errichtung neuer Gas-Dampf Erzeugungsanlagen trat nach dem Entwurf des neuen Gesamtplans im Jahre 1998 (novelliert 2001) hervor. Der Grund dafür war die Einführung verschiedener Erzeugungsarten im Bezug auf Brennstoffe und die Erfüllung von umweltschutztechnischen und wirtschaftlichen Abverlangen in der Stromerzeugung. Die Abteilung Erzeugung der Kroatischen Elektrizitätswirtschaft hat in einigen letzten Jahren den Ausbau einiger solcher Erzeugungsanlagen vorbereitet und innerhalb dieser Tätigkeiten die Lösung der Anschlüsse in das Übertragungsnetz bestimmt.

Naslov pisca:

**Mr. sc. Davor Bajš, dipl. ing.
Energetski institut Hrvoje Požar
Savska 163, 10000 Zagreb, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:
2005 - 01 – 21.