



Prof. dr. sc. Branko Staniša, dipl. ing.
Tehnički fakultet, Rijeka
Božo Krivak, dipl. Ing.
Hrvatska elektroprivreda

ANALIZA MOGUĆNOSTI POVEĆANJA ENERGETSKE UČINKOVITOSTI SPOJNOG PROCESA EL-TO ZAGREB

Ključne riječi: energija, eksergija, anergija, spojni proces, KOMBI spojni proces, parni spojni proces, plinski spojni proces

SAŽETAK

U planiranju izgradnje novih proizvodnih kapaciteta za proizvodnju energije, pored ekonomičnosti, treba voditi računa o racionalnom korištenju primarnog energenta, te o utjecaju na okolinu. Posebno mjesto u tome može imati proizvodnja električne i toplinske energije u spojnom procesu. U pogonu EL-TO Zagreb analizirani su proizvodni kapaciteti spojnog procesa. Razmatrana je rekonstrukcija i revitalizacija postojećih jedinica, te izgradnja novih glede porasta potrošnje energije. Centralni toplinski sustav promatran je sa stajališta mogućnosti uštede goriva u spojnom procesu proizvodnje toplinske i električne energije. Za iznos uštede energije potrebna je manja eksploatacija prirodnih resursa, što na konačnu energetske opskrbu ima isti efekt kao da su povećani prirodni energetske izvori.

SUMMARY

In the erection planing of new generation capacity, beside the profitability, there is need to taken in account the rational consumption of primary energy, and the environmental protection. The main rules could have cogenerations of the heat and power. In power plant EL-TO Zagreb there are analysed generating capacity of the cogeneration process. There is considered reconstruction and revitalisation's of existing generating units, and erections of new one, all in the purpose to meet the growing heat demand. The district heating system is considered from the point as opportunity in energy saving capacity in the cogeneration of heat and power. For the amount of the energy saved there is need for less primary energy to be consumed, and this in finally means that for the some energy demands it has the some effect as the natural energy resources are expanded.

UVOD

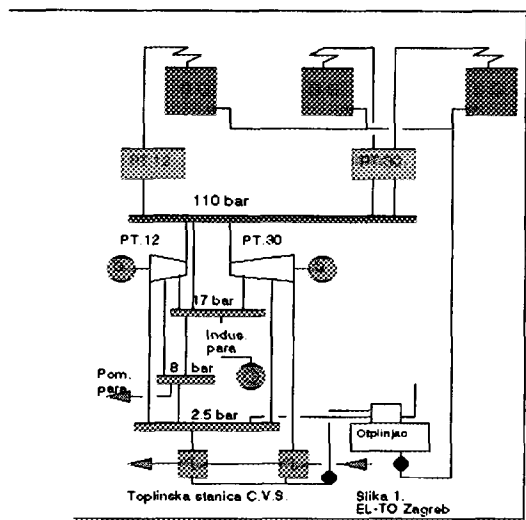
Grad Zagreb ima približno milijun stanovnika, te razvijenu procesnu industriju koja zahtijeva velike količine industrijske pare. Zagreb, se nalazi u klimatskom području srednje Europe, s prosječnom temperaturom 3 °C zimi, 20 °C ljeti i 12 °C preko cijele godine. Iz tih razloga, Zagreb se smatra pogodnim gradom za razvitak centralnog toplinskog sustava. U Zagrebu postoje dvije elektrane-toplane, u vlasništvu Hrvatske elektroprivrede (HEP). U obje elektrane proizvodi se električna i toplinska energija u spojnom procesu. Približno jedna trećina stambenih površina grada i oko jedna polovica potreba u industrijskoj pari opskrbljuje se toplinskom energijom putem centralnog toplinskog sustava.

Razvitak centralnog toplinskog sustava u Zagrebu započeo je početkom 50-tih godina, isporukom pare iz EL-TO obližnjoj industriji. Time je nekadašnja gradska elektrana postala gradska elektrana-toplana.

Prvo moderno postrojenje spojnog procesa električne snage po 2 x 32 MW_{eI} i po 110 MW_{tI} toplinske snage, pušteno je u pogon 1962. godine u TE-TO Zagreb u istočnom dijelu grada (1). To se smatra početak razvitka modernog centralnog toplinskog sustava u Zagrebu. U početku je gorivo za termoelektoranu-toplanu bio ugljen lignit iz Zagorskih ugljenokopa. Potkraj 60-tih godina postrojenje je rekonstruirano i ugljen je zamijenjen teškim loživim uljem. Potkraj sedamdesetih godina u Zagreb je dovedena mreža prirodnog plina, te se od tada u gradskim toplanama koriste paralelno i u približno jednakom omjeru prirodni plin i teško loživo ulje. Godine 1981. u TE-TO Zagreb puštena je još jedna jedinica spojnog procesa električne snage 110 MW_{eI} i 210 MW_{tI} toplinske snage u vrelovodnom grijanju.

Elektrana-toplana (EL-TO) Zagreb smještena je u zapadnom dijelu grada i opskrbljuje taj dio grada vrelom vodom za centralni vrelovodni sustav (CVS) i industrijskom parom centralni parni sustav (CPS). EL-TO Zagreb je prvi puta puštena u pogon 1907. godine kao gradska elektrana. U 50-tim godinama počeo je razvitak centralnog toplinskog sustava (CPS). Godine 1969. u EL-TO Zagreb puštena je u pogon proizvodna jedinica spojnog procesa električne snage 12 MW_{eI} i toplinske 65 MW_{tI}. U 1980 godini puštena je u pogon druga jedinica spojnog procesa električne snage 30 MW_{eI} i toplinske snage 125 MW_{tI}. Objе proizvodne jedinice koriste se za proizvodnju topline za pokrivanja baznog toplinskog opterećenja. Za vršno opterećenje koriste se niskotlačni generatori pare i vrele vode.

OSNOVNI PODACI ZA ELEKTRANU-TOPLANU ZAGREB



Slika 1. Osnovna toplinska shema EL-TO Zagreb, postojeće stanje

U prvim počecima razvitka CTS-a određeni su parametri industrijske pare za centralni parni sustav (CPS) i vrele vode za centralni vrelovodni sustav (CVS), te se oni i danas koriste. Tlak na ulazu svježe pare u parne turbine je 11 MPa, a temperatura 515 °C. Sustav industrijske pare na polaznom parovodu ima tlak od 1,7 MPa, a temperaturu od 230 °C.

Centralni vrelovodni sustav projektiran je za temperaturu zraka okoliša $t_o = -15$ °C, kod te temperature zraka okoliša temperatura vode u sustavu je 150 °C u polaznom, a 70 °C u povratnom vodu. Osnovna shema postojećeg pogona EL-TO spojnog procesa prikazana je na slici 1. U proizvodnoj jedinici PT.12 proizvodi se 35 MW_t industrijske pare, 30 MW_t topline za vrelovodno grijanje i 12 MW električne energije. Proizvodna jedinica PT.30 daje 85 MW_t industrijske pare, 40 MW_t topline za vrelovodno grijanje i 30 MW električne energije. Postojeći kapaciteti proizvodnih jedinica u EL-TO dani su u tablici 1.

Tablica 1. Instalirani proizvodni kapaciteti u EL-TO Zagreb u MW i MW_t

Proizvodna jedinica	Industrijska para	Vrelovodno grijanje	Električna energija
PT.12	35	30	12
PT.30	85	40	30

RAZMATRANE VARIJANTE ZA POVEĆANJE ENERGETSKE UČINKOVITOSTI

Povećanjem energetske učinkovitosti postojećih blokova zadovoljava se porast potrošnje energije novih proizvodnih kapaciteta EL-TO Zagreb. Za povećanje energetske učinkovitosti potrebno je pronaći optimalno rješenje za rekonstrukciju i revitalizaciju jedinica spojnog procesa i pronaći najpovoljnije rješenje za budući razvitak pogona. Kod toga su postavljeni polazni zahtjevi:

- Potrebno je koristiti postojeću opremu u najvećoj mogućoj mjeri.
- Potrebno je proizvesti što je moguće više električne energije u protutlačnom radu.
- Proizvodnja električne energije u kondezacijskom radu treba biti što je moguće manja, zbog ograničenja lokacije.

Da bi se zadovoljili ovi zahtjevi razmatrana su tri osnovna varijantna rješenja,

V1; Rekonstrukcije postojećih jedinica,

V2; Dogradnja plinskih turbina na proizvodnu jedinicu PT.30;

V2.a; Dogradnja dviju manjih plinskih turbina ispred postojećih generatora pare K8 i K9,

V2.b; Izgradnja jedne plinske turbine i generatora pare na ispušne plinove, paralelno s postojećim generatorima pare.

V3; Izgradnje nove KOMBI proizvodne jedinice spojnog procesa;

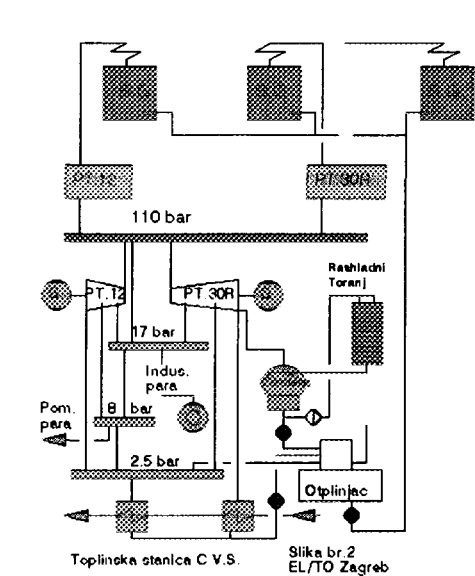
V3.a; KOPT.95,

V3.b; KOPT.165.

U varijanti V1 obavit će se rekonstrukcija postojećih proizvodnih jedinica spojnog procesa na sljedeći način:

Na jedinici broj 1 (PT.12) obavit će se generalni remont, čime će se produžiti njezin životni vijek za neko vrijeme, njezina osnovna shema i kapacitet proizvodnje topline i električne energije pri tome se neće mijenjati.

Na jedinici broj 2 (PT.30) također će se obaviti generalni remont, pri čemu će se rekonstruirati niskotlačni dio parne turbine i ugraditi uštrcni kondezator kapaciteta 48 MJ/s. Time će se povećati protok pare u niskotlačni dio parne turbine i električna snaga jedinice, te omogućiti njezin pogon tijekom čitave godine. Ovako dograđena proizvodna jedinica PT.30 označavat će se oznakom PT.30R.

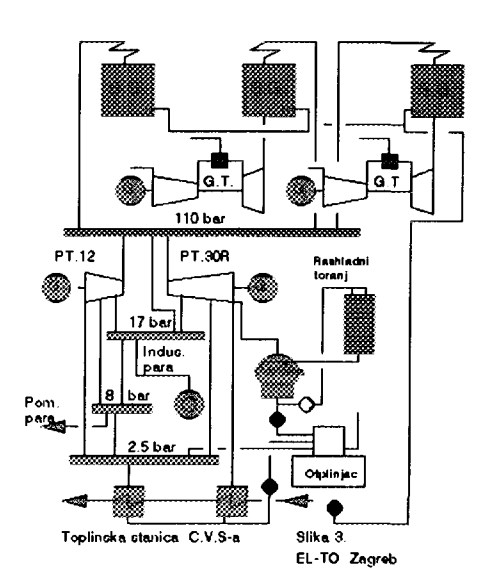


Slika 2. Osnovna toplinska shema EL-TO Zagreb, varijanta V1

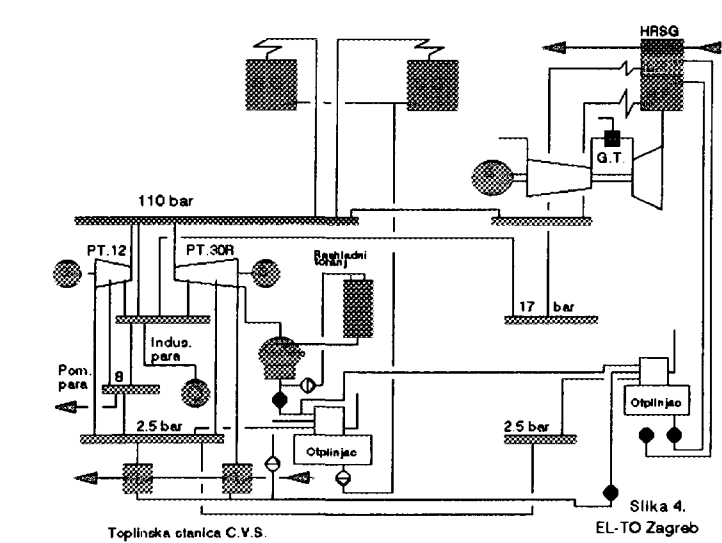
U varijantnom rješenju V2, pored rekonstrukcije niskotlačnog dijela parne turbine proizvodne jedinice broj 2 i izgradnje uštrcnog kondezatora, dogradit će se jedna ili dvije plinske turbine, čime će se povećati električna snaga jedinice spojnog procesa PT.30R (3).

Varijantom V2a predviđaju se dvije manje plinske turbine ispred postojećih generatora pare K8 i K9. Tom izgradnjom povećava se električna snaga jedinice za oko 80%, dok toplinska snaga jedinice ostaje gotovo nepromijenjena.

U varijantnom rješenju V2b predviđa se, umjesto izgradnje dviju manjih plinskih turbina ispred postojećih generatora pare, izgradnja jedne plinske turbine i jednog generatora pare na ispušne plinove (HRSG) paralelno s postojećim generatorima pare. U ovom rješenju povećava se električna snaga za više od 200% i kapacitet proizvodnje topline više od oko 20%. Osnovni shematski prikaz rekonstrukcije i dogradnje plinskim turbinama u varijanti V2 prikazani su na slikama 3 i 4.



Slika 3. Osnovna toplinska shema EL-TO Zagreb, varijanta V2a

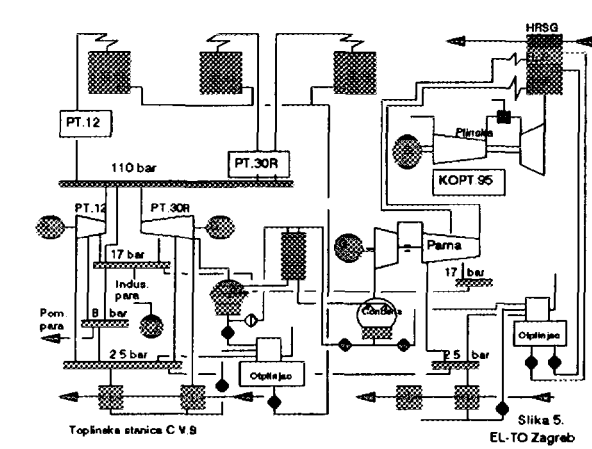


Slika 4. Osnovna toplinska shema EL-TO Zagreb, varijanta V2b

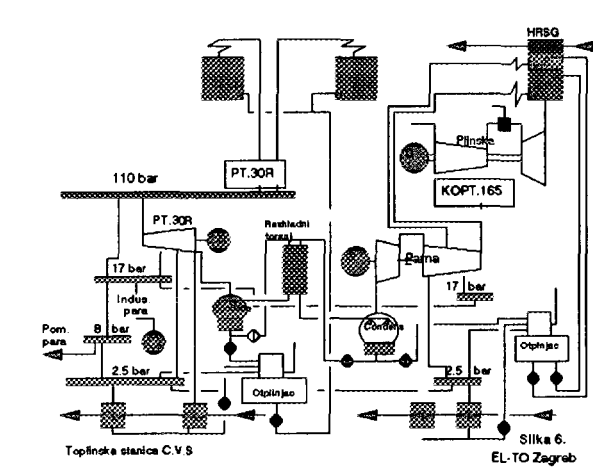
U varijantnom rješenju V3 razmatrana su dva osnovna rješenja, izgradnja jedne KOMBI proizvodne jedinice spojnog procesa električne snage 95 MW_{el} i 165 MW_{el} .

Varijanta V3a, električne snage 95 MW (KOPT.95): proizvodna jedinica KOMBI spojnog procesa sastoji se od jedne plinske turbine električne snage od oko 70 MW_{el}, jednog generatora pare na ispušne plinove (HRSG) i jedne kondenzacijsko oduzimne parne turbine odgovarajuće snage. Proizvodna će jedinica spojnog procesa broj 1 ostati u pogonu.

U varijanti V3b, električne snage 165 MW_{el} (KOPT.165): proizvodna jedinice KOMBI spojnog procesa sastoji se od jedne ili dvije plinske turbine električne snage 120 MW_{el}, te odgovarajućih HRSG i jedne kondenzacijsko/oduzimne parne turbine. U ovom rješenju proizvodna jedinica broj 1 neće ostati u pogonu. Osnovni shematski prikaz KOMBI proizvodnih jedinica varijanti V3 s jednom plinskom turbinom prikazan je na slikama 5 i 6. Osnovni tehnički podaci za sva razmatrana varijantna rješenja dani su u tablici 2.



Slika 5. Osnovna toplinska shema EL-TO KOPT. 95 varijanta V3a



Slika 6. Osnovna toplinska shema EL-TO KOPT.165 varijanta V3b

Tablica 2. Kapacitet proizvodnje toplinske i električne energije jedinica spojnog procesa u EL-TO

Varijanta	Jedinice spojnog procesa	Električna snaga			Toplinska snaga	
		Protutak	Kondenzacija	Industrijska para	Ogrjevana toplina	
		MW	MW	MW _i	MW _t	
Postojeće stanje	PT.12+PT.30	42	-	120	70	
V1	PT.12+PT.30R	46	36	90	100	
V2.a.	PT.12+(PT.30R+2.GT.13)	72	62	95	100	
V2.b.	PT.12+(PT.30R+GT.70)	112	102	100	115	
V3.a.	PT.12+PT.30R+KOPT.95	136	134	110	175	
V3.b.	PT.30R+KOPT.165	179	200	115	180	

PROIZVODNJA TOPLINSKE ENERGIJE

Toplinska energija za pokrivanje baznog dijela dijagrama toplinskog opterećenja proizvodi se u jedinicama spojnog procesa, dok se vršna energija proizvodi u vršnim generatorima pare i vrele vode. Proizvodnja toplinske energije izračunava se pomoću dijagrama trajanja toplinskog opterećenja za vrelvodni i parni sustav. Princip redoslijeda angažiranja jedinica je takav da je jedinica koja za istu količinu proizvedene toplinske energije proizvede veću količinu električne energije prva bazna jedinica, a ona s manjom proizvodnjom električne energije zauzima gornji dio dijagrama trajanja opterećenja. U tablici 3. prikazana je prosječna godišnja proizvodnja toplinske energije za jedinice spojnog procesa i vršne jedinice za razmatrana varijantna rješenja.

Tablica 3. Proizvodnja toplinske energije na pragu EL-TO u TJ/g

Razmatrana varijanta	Jedinice spojnog procesa	PT.12	PT.30	KOPT	Vršne jedinice	UKUPNO
Postojeće stanje	PT.12+PT.30	900	2770	-	1000	4670
V1.	PT.12+PT.30R	960	2710	-	1000	4670
V2.a.	PT.12+(PT.30R+2.GT.13)	960	2720	-	990	4670
V2.b.	PT.12+(PT.30R+GT.70)	860	3100	-	710	4670
V3.a.	PT.12+PT.30R+KOPT.95	620	1610	2180	260	4670
V3.b.	PT.30R+KOPT.165	-	830	3640	200	4670

Koeficijent spojnog procesa α

Koeficijent spojnog procesa jest odnos instalirane snage u kapacitetu proizvodnje topline jedinica spojnog procesa prema toplinskoj snazi konzuma na pragu toplane. Koeficijent u proizvodnji industrijske pare označava se sa α_i , a u ogrjevnoj toplini sa α_o . Koeficijent računa se prema izrazu:

$$\alpha = Q_{t.sp.} / Q_t \text{ (MW}_t \text{ / MW}_t \text{)} \quad (1)$$

gdje je $Q_{t.sp.}$ instalirana snaga spojnog procesa, Q_t toplinska snaga konzuma na pragu toplane. Prosječne vrijednosti koeficijenta α_i i α_o dane su u tablici 4.

Tablica 4. Vrijednosti koeficijenta α

Varijanta	Jedinice spojnog procesa	α_j	α_o
Postojeće stanje	PT.12+PT.30	0,75	0,23
V1.	PT.12+PT.30R	0,56	0,32
V2.a.	PT.12. + (PT.30R+2.GT.13)	0,59	0,32
V2.b.	PT.12+ (PT.30R+GT.70)	0,62	0,37
V3.a.	PT.12+PT.30R+KOPT.95	0,69	0,56
V3.b.	PT.30R+KOPT.165	0,72	0,58

PROIZVODNJA ELEKTRIČNE ENERGIJE

Centralni toplinski sustav opremljen proizvodnim jedinicama spojnog procesa ima stanoviti kapacitet proizvodnje električne energije sa stupnjem korisnog djelovanja koji je približno jednak onom u proizvodnji topline. To znači da se u spojnom procesu može iz jedinice energije dovedene primarnim energentom proizvesti više toplinske i električne energije nego u dva ekvivalentna toplinska procesa, posebno za proizvodnju toplinske, a posebno električne energije.

Koeficijent protutlačne proizvodnje električne energije

Količina proizvedene električne energije u spojnom procesu po jedinici proizvedene topline označava se koeficijentom n u $kW_{el,p}/kW_{t,sp}$. Koeficijent n čini količinu proizvedene električne energije po jedinici proizvedene toplinske energije u spojnom procesu. Ovaj koeficijent ovisi o temperaturnim razinama i dijelovima toplinskih procesa. Općenito, n se u proizvodnji industrijske pare označava s n_i , a u proizvodnji ogrjevne topline s n_o .

Ovisno o vrsti postrojenja spojnog procesa, može se faktor proizvodnje električne energije podijeliti i posebno određivati u plinskom, parnom ili KOMBI spojnom procesu.

Kod parnog spojnog procesa faktor n je odnos proizvedene električne energije i topline u pari na oduzimanjima na parnoj turbini. On se mijenja ovisno o tome na kojem se tlaku oduzimanje pare odvija. Tehnički govoreći, ima toliko raznih n -ova na koliko se tlakova vrši oduzimanje pare. On je također ovisan i o režimima rada, tj. o ekspanzijskoj krivulji pare u parnoj turbini. Vrijednost koeficijenta n za parni spojni proces prikazana je izrazom:

$$n = P_{el.} / Q_t, (kW_{el} / kW_t) \quad (2)$$

gdje su $P_{el,p.}$ i $Q_{t.sp.}$ odgovarajuća električna i toplinska snaga jedinica u spojnom procesu, na pragu jedinice.

U KOMBI spojnom procesu faktor n je odnos proizvedene električne energije u plinskoj i parnoj turbini i topline dobivene na oduzimanjima pare na parnoj turbini i

iskoristive topline iz ispušnih plinova. KOMBI toplinski proces čini više odvojenih toplinskih procesa, pa se suglasno s time pojavljuje više veličina faktora n. U tablici 5. dane su prosječne vrijednosti za faktore n_i i n_o , posebno za plinski dio spojnog procesa, a posebno za parni i KOMBI dio spojnog procesa.

Tablica 5. Prosječne vrijednosti za koeficijente n za jedinice spojnog procesa EL-TO Zagreb

Proizvodna jedinica	Za parni i KOMBI proces		Za plinski proces
	" n_i "	" n_o "	" n_i " = " n_o "
PT.12	0,095	0,200	-
PT.30	0,155	0,370	-
PT.30R	0,155	0,370	-
(PT.30R+2.GT.13)	0,305	0,550	-
(PT.30R+GT.70)	0,535	0,825	0,630
KOPT.95	0,800	1,00	0,630
KOPT.165	0,800	1,00	0,645

Kapacitet proizvodnje električne energije u protutlačnom režimu rada spojnog procesa

Kapacitet protutlačne proizvodnje spojnog procesa je umnožak zbroja koeficijenata n pa se proizvodnja toplinske energije u spojnom procesu izračunava prema sljedećem izrazu.

$$W_{el.p.} = \sum W_{t.i} \times n_i + \sum W_{t.o} \times n_o, \quad (GWh/g) \quad (3)$$

gdje su $W_{t.i}$ i $W_{t.o}$. odgovarajuće proizvodnje industrijsku pare i ogrjevne topline u spojnom procesu, a n_i i n_o odnosni koeficijenti protutlačne proizvodnje električne energije.

U tablici 6. dane su moguće proizvodnje električne energije u protutlačnom radu promatranih varijantnih rješenja.

Tablica 6. Proizvodnja električne energije u protutlačnom radu na pragu EL-TO u GWh/g

Promatrana varijanta	Jedinice spojnog procesa	PT.12	PT.30	KOPT	UKUPNO
Postojeće stanje	PT.12+PR.30	40	160	-	200
V1.	PT.12+PT.30R	38	180	-	218
V2.a.	PT.12+(PT.30R+2.GT.13)	38	330	-	368
V2.b.	PT.12+(PT.30R+T.70)	34	616	-	650
V3.a.	PT.12+PT.30R+KOPT.95	20	93	577	690
V3.b.	PT.30R+KOPT.165	-	50	835	885

STUPANJ KORISNOG DJELOVANJA TOPLINSKIH PROCESA

Dobro je poznato da se energetske potrebe mogu zadovoljiti manjim utroškom primarnih energenata na više različitih načina, kao što su:

- boljim korištenjem energije na mjestu potrošnje,
- eliminacijom proizvodnih i transportnih gubitaka energije,
- ± izborom toplinskog procesa s većim stupnjem korisnog djelovanja.

U ovom radu analizirano je nekoliko točaka koje će pokazati stupanj efikasnosti ukupnog gospodarenja energijom. Općenito govoreći, potrošači se opskrbljuju toplinom za ogrjev, industrijskom parom, te električnom energijom za električne potrebe, a sve vrste energije proizvode se iz fosilnih goriva u termoenergetskim postrojenjima. Postavlja se pitanje kako najbolje iskoristiti primarnu energiju dovedenu gorivom u dobivanju najpovoljnijih energetskih rezultata.

Stupanj korisnog djelovanja direktnog toplinskog procesa proizvodnje topline

Pretvaranjem energije goriva u toplinu pojavljuju se stanoviti toplinski gubici, a također se troši neka pomoćna energija za pumpanja, ventiliranja itd. Stupanj korisnog djelovanja prikazan je izrazom:

$$\eta_t = Q_t / Q_g \times 100 \quad (\%) \quad (4)$$

gdje su Q_t toplinska snaga, Q_g toplinska snaga energije dovedene gorivom.

Proizvedena toplina manja je od topline dovedene gorivom za razne gubitke energije, te za iznos energije utrošene za pomoćna energetska napajanja. Ovaj odnos prikazan je izrazom:

$$Q_t = Q_g - (Q_{gub.} + Q_{pom.}) \quad (MW_t) \quad (5)$$

gdje su u $Q_{gub.}$ izraženi svi gubici u procesu proizvodnje, $Q_{pom.}$ uključuje sva pomoćna napajanja izražena u gorivu.

Stupanj korisnog djelovanja direktnog toplinskog procesa proizvodnje električne energije

Proizvodnja električne energije u termoenergetskom postrojenju u kondenzacijskom radu također je popraćena gubicima. Ona, pored gubitaka energije u proizvodnji topline, ostvaruje još i gubitke pretvorbe topline u električnu energiju. Osnovni izraz stupnja korisnog djelovanja toplinskog procesa u kondenzacijskom radu dan je u izrazu:

$$\eta_{el.} = P_{el.} / Q_g \times 100(\%) \quad (6)$$

Električna snaga $P_{el.}$ na pragu proizvodne jedinice, manja je od snage energije dovedene gorivom za: gubitke u proizvodnji topline, te gubitke u pretvorbi toplinske energije u električnu.

Toplinski gubici i energetske potrebe za pomoćna napajana čine iste gubitke kao i kod proizvodnje topline, uvećane za gubitke ostvarene na postrojenju turbogenera- tora. Ali pored tih gubitaka postoje još mehanički i električni gubici $Q_{gub.el}$, te gubici kondenzacije Q_k . Gubici u procesu proizvodnje električne energije, izraženi u energiji goriva, prikazani su u izrazu:

$$Q_{gub.el} = Q_g - (Q_{gub.t.} + Q_{gub.el.} + Q_{pom.} + Q_k) \text{ (MJ/s)} \quad (7)$$

Stupanj korisnog djelovanja spojnog procesu proizvodnje toplinske i električne energije

Proizvodnja električne energije u kondenzacijskom toplinskom procesu zahtijeva predaju topline u okolinu (hladni toplinski rezervoar), što je uzrokovano prirodnim stanjem procesa u proizvodnji mehaničkog rada. Ti energetske gubici razlikuju se od drugih gubitaka energije i mogu se nazvati "anergija".

Spojni proces je takav toplinski proces u kojem se "anergija" predaje rashladnom mediju na višoj temperaturi od temperature okoline, te se koristiti kao toplina. U spojnog procesu odabire se takav put vođenja toplinskog procesa da se razmjenjuje relativno malo smanjenje proizvodnje električne energije, umjesto koje se proizvodi relativno više topline.

Stupanj korisnog djelovanja spojnog procesa proizvodnje topline i električne ener- gije određen je tako da se proizvedena električna energija podijeli razlikom topline dovedene gorivom i onog dijela topline koji se utroši za proizvodnju topline. Stupanj korisnog djelovanja spojnog procesa prikazan je izrazom:

$$\eta_{el.p.} = \frac{W_{el.p.}}{Q_g - Q_t / \eta_{t.sp}} \times 100 \quad (\%) \quad (8)$$

Vrijednosti stupnja korisnog djelovanja na pragu proizvodnih jedinica spojnog pro- cesa u EL-TO prikazane su u tablici 7.

Tablica 7. Stupanj korisnog djelovanja u proizvodnji topline i električne energije na pragu proizvodnih jedinica spojnog procesa

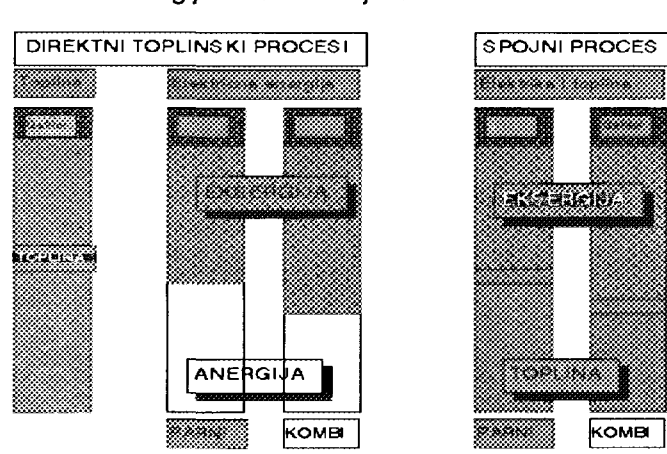
Proizvodna jedinica	Stupanj korisnog djelovanja (%)		
	Toplina	Električna energija	
		Protutlačna	Kondenzacijska
PT.12	88,5	80,0	-
PT.30	88,5	82,0	-
PT.30R	88,5	84,0	28,5
(PT.30R+2.GT.13)	88,5	85,5	35,5
(PT.30R+GT.70)	88,5	85,5	40,5
KOPT.95	88,5	86,0	51,0
KOPT.165	88,5	86,0	51,0

U daljnjoj analizi pretpostavljeno je da je stupanj korisnog djelovanja u svim jedinicama i svim procesima jednak. On se u stvarnosti vrlo malo mijenja, te ova pretpostavka omogućuje da se rezultati uspoređuju jednodimenzionalno. Tj. mijenja se samo stupanj korisnog djelovanja u proizvodnji električne energije.

Iz tablice 7. vidljivo je da je stupanj korisnog djelovanja proizvodnje električne energije u spojnom procesu približno jednak onom za toplinu, te da je za sve jedinice spojnog procesa približno isti. Naime, on ovisi prije svega o toplinskim gubicima i potrošnji energije za pomoćna napajanja. Tj. ne ovisi o tipu toplinskog procesa već o kvaliteti izvedbe postrojena. Zbog toga, da bi se odredila efikasnost ili *dobrota* spojnog procesa, koristi se eksergetska analiza.

EKSERGETSKA ANALIZA

Na slici 7. prikazana je eksergetska analiza parnog i KOMBI spojnog procesa s dva odvojena direktna toplinska procesa u kojima se proizvodi odvojeno toplina i električna energija u kondenzacijskom radu.

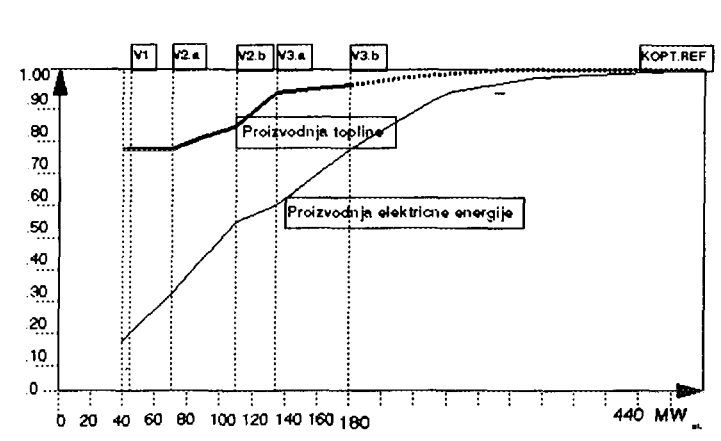


Slika 7. Usporedni dijagramski prikaz proizvodnje toplinske i električne energije u spojnom procesu i dva odvojena toplinska procesa

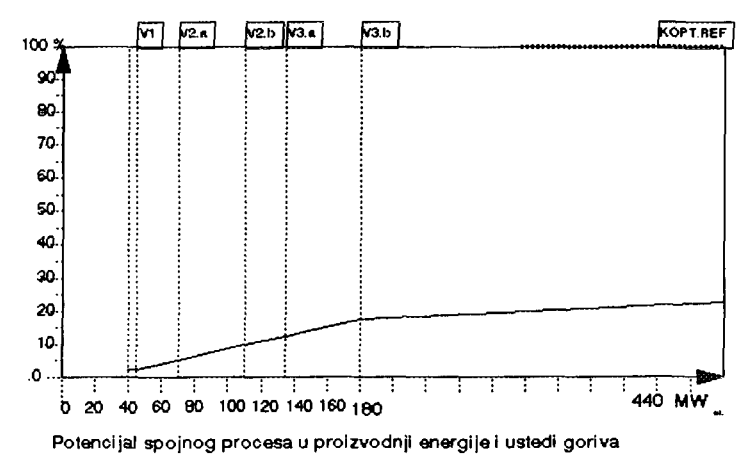
U eksergetskoj analizi za određivanje dobrote spojnog procesa koristilo se, pored stupnja korisnog djelovanja, i ostale faktore. Iz slike 7. koristi se činjenica da je proizvodnje električne energije u kondenzacijskom radu uvijek povezana s gubicima kondenzacije. Ne ulazeći u druge načine smanjenja gubitaka, kao što je povećanje početne temperature procesa, spojni proces omogućuje da se za maleni eksergetski potencijal pare na oduzimanju proizvodi znatna količina topline. Na taj se način obilaznim putem povećava eksergetski potencijal energetskog izvora.

Usporedba dobrote spojnog procesa za različita varijantna rješenja

Dvije ili više jedinica spojnog procesa mogu se međusobno uspoređivati prema udjelu energije koju svaki od njih može proizvesti prema nekom referentnom spojnom ili direktnom procesu proizvodnje iste količine toplinske i električne energije. U promatranoj eksergetskoj analizi uspoređivana je količina energije koja se proizvodi u pojedinom varijantnom rješenju u odnosu na određeni referentni spojni proces. Rezultati usporedbe utroška i uštede goriva za CVS EL-TO Zagreb dani su u dijagramu na slici 8 za proizvodnju energije i na slici 9 za uštedu u gorivu.



Slika 8. Dijagramski prikaz proizvodnje toplinske i električne energije u promatranim varijantnim rješenjima u odnosu na referentni spojni proces



Slika 9. Ušteda goriva u odnosu na referentni direktni proces

Iz slika 8 i 9 je vidljiva ušteda goriva u CTS EL/TO Zagreb. Najpovoljnija varijanta glede uštede goriva je varijanta V3b. Izgradnjom 50% kapaciteta u KOMBI spojnom procesu postiže se 85% učinkovitosti uštede primarnog energenta.

ZAKLJUČAK

Spojni se proces može smatrati prirodnim energetske resursom, budući da se ušteda goriva može izraziti u fizikalnim jedinicama. Potencijal uštede goriva ima relativnu fizikalnu vrijednost jer se odnosi na referentni proces, ali s ekonomskog gledišta on čini stvarnu uštedu primarnog energenta, odnosno on smanjuje za taj iznos potrebu eksploatacije prirodnih izvora i na taj način štedi postojeće izvore.

U ovoj analizi za EL-TO Zagreb, pokazuje se da najveći doprinos uštedi goriva daju plinske turbine, a tek u manjoj mjeri parne turbine. Uzimajući u obzir i ekonomske faktore, pokazalo se da se mogu postići značajne uštede u utrošku primarnog energenta ugradnjom plinskih turbina uz postojeće parne turbine. Na taj se način postižu, pored energetskih, i ekonomski efekti.

LITERATURA

- (1) Staniša B., *Dosadašnji razvoj i daljne mogućnosti proizvodnje parnih turbina za potrebe industrijskih energana i javnih toplana*. Tehničke informacije Jugoturbina i TPK 17 (2) 1983. str. 99-106.
- (2) Beg M. Spudić I., *KOMBI i kogeneracija postrojenja svjetski trend u proizvodnji električne i toplinske energije*. Forum: 2. dan energije u Hrvatskoj. Nove tehnologije i gospodarenje energijom. Zagreb. 1993. Zbornik radova. 243-251.
- (3) Staniša B., *Svojstva suvremenih kombiniranih plinsko-parnih turbinskih postrojenja*. Strojarsstvo 36(3/4). 1994. str. 169-182.
- (4) Vogel. M., *Gas Turbine the "prime movers" of modern power plant engineering*. ABBReview (5). 1994. str. 11-15.
- (5) Olhbovskij. G. G., *Razработка perspektivnih GTY SŠA*, Teploenergetika (9), 1994. 61-69.
- (6) Smith. D. J., *Combined Cycle gas turbines: The technology of choice for new power plants*,. Power engineering international 3(3), 1995. str. 21-25.
- (7) Heienschild. R., Jury. W., *Kombi-Kraftwerke mit hochsten Wirkungsgraden und niedrigsten Emissionen unter Einsatz der Gasturbine GT26*, VGB Kraftwerkstechnik 75(6). 1995, str. 487-493.
- (8) Farmer. B., Filten. K., *Design 60% net efficiency in Frame 7/9H steam-cooled CLGT*. Gas Turbine World 25(3), 1995. str. 12-20.
- (9) Mesarić, N., *Projekt rekonstrukcije EL-TO u kombi-proces*, Elektroprojekt. Zagreb 1992.

- (10) *Tehničko strojarski projekt dogradnje plinskih turbina ispred generatora pare K8 i K9 EL-TO Zagreb.*
- (11) Staniša. B., *Rekonstrukcija parnoturbinskog postrojenja snage 30 MW u EL-TO Zagreb u KOMBI proces.* Zbornik radova FSB XIX (1995).
- (12) Krivak. B., *Plinske turbine.* Savez energetičara Hrvatske. Zagreb 1988.