

# ODREĐIVANJE CIJENE PARE I ELEKTRIČNE ENERGIJE

Vedran U r a n, Rijeka

UDK 697.34:338.52:621.3  
PRETHODNO PRIOPĆENJE

U radu je opisan način energetskeg i eksergetskog vrednovanja pare te iznesene prednosti i nedostaci tih dvaju različitih načina vrednovanja pare. Za određivanje cijene pare i električne energije, i po jedinici energije, i po jedinici eksergije izrađena je bilanca troškova najvažnijih sudionika energetskeg sustava. Kao primjer za izračunavanje cijene pare i električne energije uzet je energetskeg sustav na bazi protutlačnog parnoturbinskog postrojenja.

**Ključne riječi:** para, električna energija, jedinica energije, jedinica eksergije, bilanca troškova, energetskeg sustav, cijena, protutlačno parnoturbinskeg postrojenje.

## 1. UVOD

U praksi se prilikom analiziranja i optimiranja energetskeg procesa teži što racionalnijoj potrošnji energije, odnosno njezinoj štednji. Prema [1] odgovarajući pojam za potrošnju energije jest korištenje energije. Po istom izvoru [1] štedjeti se može samo u kvaliteti energije ili eksergiji<sup>1</sup> prilikom njene degradacije prema stanju okoline. Proces degradacije povezani su sa zakonitošću neizbježnog i stalnog povećanja entropije u okolini. Takva konstatacija odgovara drugom zakonu termodinamike. Prema literaturama [3 – 5] težnja je tu generiranu entropiju u energetskeg procesima umanjivati. Stoga se u tim literaturama prilikom oblikovanja i optimiranja energetskeg procesa isključivo primjenjuje pristup eksergetskog vrednovanja pare.

Cilj je ovog rada zbog različitih pristupa pri analiziranju energetskeg procesa opisati načine, i energetskeg i eksergetskog vrednovanja pare. Razlika vrednovanja s termodinamskeg stajališta najbolje se prikazuje kroz entalpijske i eksergetske odnos promjenjivog stanja pare s početnim stanjem pare<sup>2</sup>. Da bi ti opisi imali određenu težinu potrebno je ekonomski proanalizirati te različite načine vrednovanja pare. Pri tome se definira bilanca koja uključuje tekuće troškove struje, tvari energetskeg sustava te visinu tekućih troškova samog sustava. Na osnovi bilanci tekućih troškova te entalpijskeg i eksergetskog odnosa promjenjivoga stanja pare s početnim stanjem pare određena je cijena pare i električne energije posebno po jedinici energije, a posebno po jedinici eksergije.

<sup>1</sup> eksergija je pojam koji upućuje na kvalitetu pojedine vrste energije [1]

<sup>2</sup> u radu se entalpijske i eksergetske odnos pojavljuje kao entalpijske i eksergetske omjer

To će se vrednovanje pare i električne energije izvršiti na primjeru energetskeg sustava s protutlačnim parnoturbinskeg postrojenjem. Kod takovog sustava promjenjivo stanje pare odgovara promjeni stanja ekspanzirane pare, a početno stanje pare stanju svježih pare na ulasku u protutlačni parnoturbinskeg agregat.

Rezultat termoeekonomske (posebno energetske-ekonomske) analize i pristupa energetskeg, odnosno eksergetskom vrednovanju pare očitovat će se u prednostima i nedostacima takovih pristupa koji su navedeni pri kraju rada.

## 2. NAČINI TERMODINAMSKOG VREDNOVANJA PARE

Termodinamske analiza energetskeg sustava obuhvaća prvi i drugi zakon termodinamike. Prvi zakon termodinamike govori o neuništivosti energije, tj. ona se ne može ni stvoriti ni uništiti. Prema zakonu termodinamike suma svih oblika energije u nekom zatvorenom sustavu jest nepromijenjena. Vrijednost svih tih oblika energije (unutarnje, kinetičke, toplinske, električne itd) se izjednačava.

Prvim se zakonom termodinamike ne objašnjava kvaliteta energije. Objašnjenje je potrebno naći kroz drugi zakon termodinamike. Taj zakon inosi da se degradiranoj energiji može vratiti kvaliteta na početnu razinu ali samo uz razinu koja je veća od one koja se ponovo može iskoristiti u obrnutom postupku [1]. Kvaliteta energije je veća što se njeni veći dio može pretvoriti u koristan rad.

Na osnovi razmotrenog potrebno je dakle u termodinamske analize energetskeg procesa uvesti veličinu koja upućuje na kvalitetu pojedine vrste energije.

Takva je veličina definirana prema poznatom slovenskom termodinamičaru prof. dr. Zoranu Rantu koju je nazvao eksergija. A definicija eksergije jest: to je maksimalno iskoristiv rad koji se može izvesti iz nekog raspoloživog oblika energije pod određenim uvjetima okoline [1 – 3, 5].

Što je veći udio eksergije u nekoj energiji, veća je i kvaliteta te energije. Suprotna definicija eksergiji jest anergija. Što je udio anergije u nekoj energiji veći to je kvaliteta te energije manja. Prema tome vrijedi slijedeće:

$$\text{Energija} = \text{Eksergija} + \text{Anergija}$$

Neki se oblici energije (poput električne, potencijalne i kinetičke) mogu u idealnim uvjetima u potpunosti pretvoriti u druge oblike energije jer cjelokupan udio tih oblika energije čini eksergija. Kod unutarnje energije, tj. topline eksergija čini samo jedan njezin dio. Preostali dio energije se ne može iskoristiti za pretvorbu u koristan rad. Taj dio energije predstavlja anergija.

Objašnjenje prvog i drugog zakona termodinamike te pojava kvaliteta energije potrebno je radi utvrđivanja energetske i eksergetske vrijednosti pare. Te će vrijednosti pare odrediti razliku između cijene pare po jedinici energije te cijene pare po jedinici eksergije.

### 2.1. Energetsko vrednovanje pare

Promjena energetske vrijednosti pare najbrže se utvrđuje na temelju omjera količine topline (entalpije) ekspanzirane pare koja se predaje toplinskim potrošačima i količine topline (entalpije) svježe pare na ulazu u protutlačni parnoturbinski agregat. Ta je promjena energetske vrijednosti pare prikazana u tablici 1.

**Tablica 1. Promjena stanja ekspanzirane pare prema početnom stanju svježe pare na ulazu u protutlačni parnoturbinski agregat**

Tlak bar	Temperatura °C	Entalpija kJ/kg	Entalpijski omjer	Jedinična električna snaga kW
40	450	3328	1	0
30	405	3238	0,97	90
20	345	3125	0,94	203
10	255	2945	0,88	383
5	175	2800	0,84	528
2	zas.	2630	0,79	698
1	zas.	2520	0,76	808
0,2	zas.	2290	0,69	1038
0,1	zas.	2200	0,66	1128
0,04	zas.	2090	0,63	1238

Iz tablice 1 je vidljivo da entalpijski omjer relativno sporo opada u širokom rasponu tlaka pare koja ek-

spandira u protutlačnom parnoturbinskom agregatu. Što je omjer manji to je jedinična električna snaga postrojenja veća. Ta snaga jednaka je razlici entalpiji svježe pare i entalpiji ekspanzirane pare. Ovako vrednovanje pare ima karakteristike prvog zakona termodinamike jer jednako vrednuje »kvalitetu« toplinske i električne energije. U ovom slučaju toplinsku energiju predstavlja ekspanzirana para koja se predaje toplinskim potrošačima.

Iz ovakve se analize zaključuje da se relativnom sporirom promjenom energetske vrijednosti pare procjenjuje vrijednost pare niskih tlakova, odakle proizlazi i onovni nedostatak takvog vrednovanja pare.

### 2.2. Eksergetsko vrednovanje pare

Promjena eksergetske vrijednosti pare utvrđuje se na analogan način kao i energetska vrijednost pare. Pri tome treba imati na umu da para u otvoreni strujni proces ulazi s nekim početnim stanjem (entalpija  $h$ , entropija  $s$ , temperatura  $T$ ), a iz njega izlazi sa stanjem okoline (entalpija  $h_0$ , entropija  $s_0$ , temperatura  $T_0$ ). Dobiveni tehnički rad odgovara jediničnoj eksergiji pare u strujanju, koja iznosi:

$$e = h - h_0 - T_0 (s - s_0) \quad (1)$$

iz čega proizlazi jedinična anergija

$$a = h_0 - T_0 (s - s_0). \quad (2)$$

U tablici 2 je prikazana promjena eksergetske vrijednosti ekspanzirane pare u odnosu na eksergetsku vrijednost svježe pare na ulazu u protutlačni parnoturbinski agregat.

**Tablica 2. Promjena eksergije ekspanzirane pare prema eksergiji svježe pare na ulazu u protutlačni parnoturbinski agregat**

Tlak bar	Temperatura °C	Entalpija kJ/kg	Entalpijski omjer	Jedinična električna snaga kW
40	450	1265	1	0
30	405	1175	0,93	90
20	345	1062	0,84	203
10	255	882	0,70	383
5	175	737	0,58	528
2	zas.	567	0,45	698
1	zas.	457	0,36	808
0,2	zas.	227	0,18	1038
0,1	zas.	137	0,11	1128
0,04	zas.	27	0,02	1238

Iz tablice 2 ustanovljuje se da eksergetski omjer relativno brzo opada u odnosu na entalpijski omjer u istom rasponu tlakova pare koja ekspankira. To je iz razloga što ovakva vrijednost pare postaje jednaka ničtici kada se njeni parametri izjednačuju sa stanjem okoline.

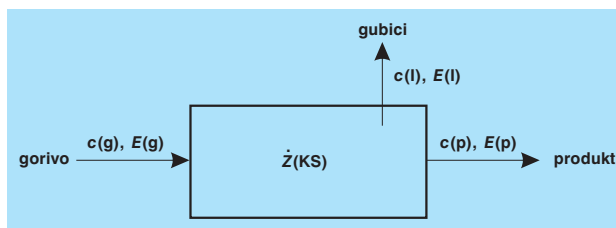
Takva postavka odgovara drugom zakonu termodinamike. Isto tako jedinična električna snaga ostaje nepromijenjena jer je električna energija po veličini jednaka kvaliteti električne energije. Zaključak je da se eksergetskim vrednovanjem pare kvalitetnije vrednuje proizvodnja toplinske i električne energije.

### 3. TERMOEKONOMSKA ANALIZA ENERGETSKOG SUSTAVA

Cijena proizvedene toplinske i električne energije iskazuje se posebno kroz cijenu energije, a posebno kroz cijenu eksergije pojedinih struja tvari koje ulaze i izlaze iz nekog energetskog sustava. Ta se cijena određuje na temelju bilance troškova izraženih u jedinici vremena. Takva bilanca uključuje cijenu pojedinih struja tvari unutar energetskog sustava, cijene produkta te cijene sastavnih dijelova razmatranog energetskog sustava. Pošto su cijene izražene u dvama različitim veličinama, energiji i eksergiji, posebno će se obrađivati energetsko-ekonomska analiza, a posebno eksergetsko-ekonomska analiza energetskog sustava.

#### 3.1. Energetsko-ekonomska analiza energetskog sustava

Bilanca tekućih troškova goriva, produkta i gubitaka energetskog sustava prikazana je na slici 1.



Slika 1. Shema za određivanje bilanci tekućih troškova  $E$  energija po jedinici vremena (energetski tok),  $c$  cijena struje tvari po jedinici energije

Može se napisati jednadžba za bilancu tekućih troškova:

$$c_g E_g \dot{Z}_{KS} \quad c_p E_p \quad c_l E_l \quad (3)$$

gdje se redom sa lijeve strane jednadžbe (3): tekući troškovi za gorivo ( $c_g, E_g$ ), visina tekućih troškova za energetski sustav, u ovom slučaju sustav za zajedničku

proizvodnju toplinske i električne energije ( $\dot{Z}_{KS}$ ). S desne strane jednadžbe (3) slijede redom: tekući troškovi za produkt energetskog sustava ( $c_p E_p$ ) i tekući troškovi za gubitke nastale u energetskom sustavu većinom nastale zbog nepotpune iskoristivosti unutarnje energije goriva ( $c_l E_l$ ).

Produkt energetskog sustava predstavlja toplinska i električna energija. Tekući troškovi produkta jednaki su zbroju tekućih troškova toplinske ( $c_l E_l$ ) i električne energije ( $c_w E_w$ ), tj.

$$c_p E_p \quad c_l E_l \quad c_w E_w \quad (4)$$

Ako se (4) uvrsti u (3) dobiva se sljedeći oblik bilance tekućih troškova energetskog sustava:

$$c_g E_g \dot{Z}_{KS} \quad c_l E_l \quad c_w E_w \quad c_l E_l \quad (5)$$

Na slici 2 prikazana je načelna shema bilance tekućih troškova energetskog sustava na bazi protutlačnog parnoturbinskog postrojenja.

Bilanca tekućih troškova prema shemi na slici 2 može se podijeliti u dvije grupe: jedna se grupa odnosi na bilancu tekućih troškova dijela postrojenja s generatorom pare, a druga na bilancu tekućih troškova dijela postrojenja s protutlačnim parnoturbinskim agregatom.

Može se napisati jednadžba bilance tekućih troškova dijela postrojenja s generatorom pare:

$$c_g E_g \dot{Z}_{GP} \quad c_{sp} E_{sp} \quad c_{dp} E_{dp} \quad (6)$$

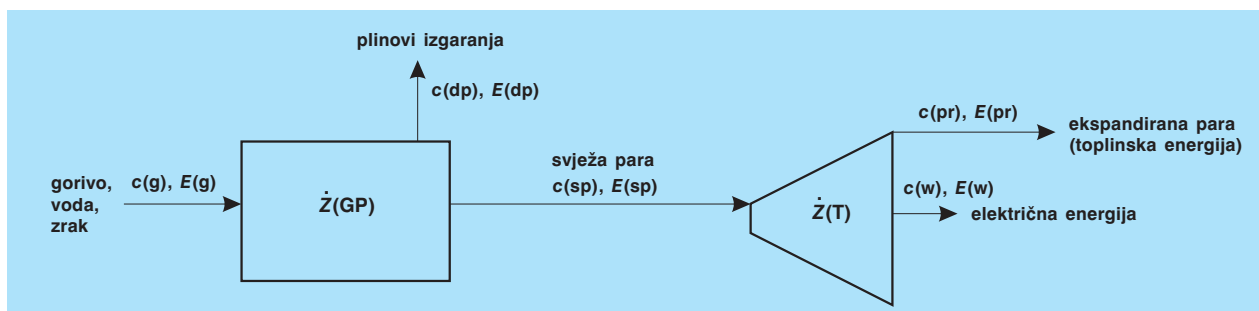
gdje su redom  $c_g E_g$  tekući troškovi za gorivo  $\dot{Z}_{GP}$  visina tekućih troškova za generator pare,  $c_{sp} E_{sp}$  tekući troškovi svježe pare,  $c_{dp} E_{dp}$  tekući troškovi plinova izgaranja.

Jednadžba bilance tekućih troškova dijela postrojenja s protutlačnim parnoturbinskim agregatom izgleda na sljedeći način:

$$c_{sp} E_{sp} \dot{Z}_t \quad c_{pr} E_{pr} \quad c_w E_w \quad (7)$$

gdje su redom  $c_{sp} E_{sp}$  tekući troškovi svježe pare,  $\dot{Z}_t$  visina tekućih troškova za protutlačni parnoturbinski agregat,  $c_{pr} E_{pr}$  tekući troškovi ekspanzirane pare (toplinske energije),  $c_w E_w$  tekući troškovi električne energije.

Prema [3] cijena svježe pare po jedinici energije jednaka je cijeni ekspanzirane pare po jedinici energije. Cijena bi se mijenjala samo ako bi se svježoj pari za



Slika 2. Načelna shema energetskog sustava na bazi protutlačnog parnoturbinskog postrojenja

vrijeme ekspanzije u parnoturbinskom agregatu dodavala energija. Stoga je:

$$c_{sp} = c_{pr} \cdot \quad (8)$$

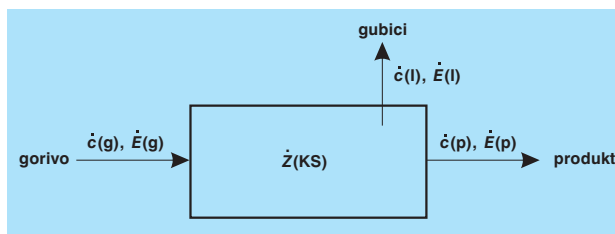
Ako se uvjet (8) uvrsti u jednadžbu (7) tada se može odrediti cijena električne energije po jedinici energije (ili energetskom vrednovanju pare):

$$c_w = \frac{c_{pr} (E_{sp} - E_{pr})}{E_w} Z_t \quad (9)$$

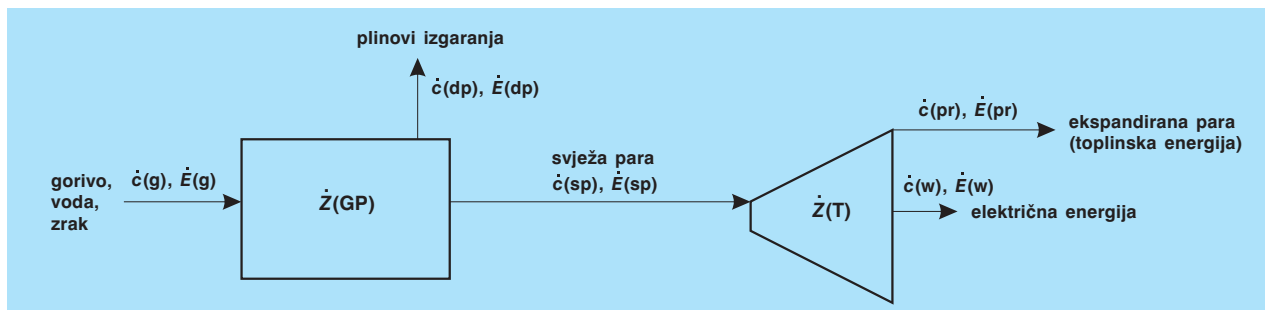
gdje je  $E_{sp}$  energetski tok svježe pare,  $E_{pr}$  energetski tok ekspanzirane pare, a  $E_w$  električna snaga postrojenja.

### 3.2. Eksergetsko-ekonomska analiza energetskog sustava

Bilanca tekućih troškova goriva, produkta i gubitaka energetskog sustava prikazana je na slici 3.



Slika 3. Shema za određivanje bilance tekućih troškova  $E$  eksergija po jedinici vremena (eksergetski protok)<sup>3</sup>,  $c$  cijena struje tvari po jedinici eksergije



Slika 4. Načelna shema energetskog sustava na bazi protutlačnog parnoturbinskog postrojenja

Može se napisati jednadžba za bilancu tekućih troškova:

$$\dot{c}_g \dot{E}_g + \dot{Z}_{KS} = \dot{c}_p \dot{E}_p + \dot{c}_l \dot{E}_l \quad (10)$$

gdje su redom s lijeve strane jednadžbe 10: tekući troškovi za gorivo ( $\dot{c}_g \dot{E}_g$ ), visina tekućih troškova za energetski sustav, u ovom slučaju sustav za zajedničku proizvodnju toplinske i električne energije ( $\dot{Z}_{KS}$ ). S desne strane jednadžbe (3) slijede redom: tekući troškovi za produkt energetskog sustava ( $\dot{c}_p \dot{E}_p$ ) i tekući troškovi za gubitke nastale u energetskom sustavu većinom nastale zbog nepotpune iskoristivosti unutarnje energije goriva ( $\dot{c}_l \dot{E}_l$ ).

Produkt energetskog sustava predstavlja toplinska i električna eksergija<sup>4</sup>. Tekući troškovi produkta jednaki

su zbroju tekućih troškova toplinske eksergije ( $\dot{c}_t \dot{E}_t$ ) i električne energije ( $\dot{c}_w \dot{E}_w$ ), tj.

$$\dot{c}_p \dot{E}_p = \dot{c}_t \dot{E}_t + \dot{c}_w \dot{E}_w \quad (11)$$

Ako se (11) uvrsti u (10) dobiva se sljedeći oblik bilance tekućih troškova energetskog sustava:

$$\dot{c}_g \dot{E}_g + \dot{Z}_{KS} = \dot{c}_t \dot{E}_t + \dot{c}_w \dot{E}_w + \dot{c}_l \dot{E}_l \quad (12)$$

Na slici prikazana je načelna shema bilance tekućih troškova energetskog sustava na bazi protutlačnog parnoturbinskog postrojenja.

Bilanca tekućih troškova prema shemi na slici 4 može se podijeliti u dvije grupe: jedna se grupa odnosi na bilancu tekućih troškova dijela postrojenja s generatorom pare, a druga na bilancu tekućih troškova dijela postrojenja s protutlačnim parnoturbinskim agregatom.

Može se napisati jednadžba bilance tekućih troškova dijela postrojenja s generatorom pare:

$$\dot{c}_g \dot{E}_g + \dot{Z}_{GP} = \dot{c}_{sp} \dot{E}_{sp} + \dot{c}_{dp} \dot{E}_{dp} \quad (13)$$

gdje su redom  $\dot{c}_g \dot{E}_g$  tekući troškovi za gorivo,  $\dot{Z}_{GP}$  visina tekućih troškova za generator pare,  $\dot{c}_{sp} \dot{E}_{sp}$  tekući troškovi svježe pare,  $\dot{c}_{dp} \dot{E}_{dp}$  tekući troškovi plinova izgaranja.

Jednadžba bilance tekućih troškova dijela postrojenja s protutlačnim parnoturbinskim agregatom izgleda na sljedeći način:

$$\dot{c}_{sp} \dot{E}_{sp} + \dot{Z}_t = \dot{c}_{pr} \dot{E}_{pr} + \dot{c}_w \dot{E}_w \quad (14)$$

gdje su redom  $\dot{c}_{sp} \dot{E}_{sp}$  tekući troškovi svježe pare,  $\dot{Z}_t$  visina tekućih troškova za protutlačni parnoturbinski agregat,  $\dot{c}_{pr} \dot{E}_{pr}$  tekući troškovi ekspanzirane pare (toplinske eksergije!),  $\dot{c}_w \dot{E}_w$  tekući troškovi električne energije.

Prema [2] cijena svježe pare po jedinici eksergije jednaka je cijeni ekspanzirane pare po jedinici eksergije. Cijena bi se mijenjala samo ako bi se svježoj pari za vrijeme ekspanzije u parnoturbinskom agregatu dodavala eksergija. Stoga je:

$$\dot{c}_{sp} = \dot{c}_{pr} \quad (15)$$

Ako se uvjet (15) uvrsti u jednadžbu (14) tada se može odrediti cijena električne energije po jedinici eksergije (ili eksergetskom vrednovanju pare):

<sup>3</sup> po autoru iz literature [2] eksergija po jedinici vremena nosi naziv ergenija

<sup>4</sup> pojam električne eksergije poistovjećuje se s pojmom električne energije čije su vrijednosti jednake

$$\dot{c}_w \frac{\dot{c}_{pr} (\dot{E}_{sp} - \dot{E}_{pr}) \dot{Z}_t}{\dot{E}_w} \quad (16)$$

gdje je  $\dot{E}_w$   $E_w$ .

#### 4. ODREĐIVANJE CIJENE PARE I ELEKTRIČNE ENERGIJE

Na osnovi poznatih entalpijskih omjera iz tablike 1 i eksergetskih omjera iz tablice 2 određuje se cijena pare po jedinici energije, odnosno cijena pare po jedinici eksergije. Cijena pare po jedinici energije iznositi će:

$$c_{pr} \quad c_{sp} \quad EO \quad (17)$$

gdje je  $\dot{c}_{pr}$  cijena ekspanzirane pare po jedinici energije,  $\dot{c}_{sp}$  cijena svježih pare po jedinici energije,  $EO$  entalpijski omjer.

Cijena pare po jedinici eksergije će biti jednaka:

$$\dot{c}_{pr} \quad \dot{c}_{sp} \quad EO \quad (18)$$

gdje je  $\dot{c}_{pr}$  cijena ekspanzirane pare po cijeni eksergije,  $\dot{c}_{sp}$  cijena svježih pare po jedinici eksergije,  $EO$  eksergetski omjer.

Kod određivanja cijena pare u obzir će se uzeti sljedeće vrijednosti svježih pare:

Entalpija svježih pare,  $h_{sp} = 3328$  kJ/kg,

Eksergija svježih pare,  $e_{sp} = 1265$  kJ/kg,

Cijena svježih pare,  $c_{sp} = \dot{c}_{sp} = 10$  kn/GJ

Maseni protok svježih pare i ekspanzirane pare,  $\dot{m}_{sp} \quad \dot{m}_{pr} \quad 1$  kg/s

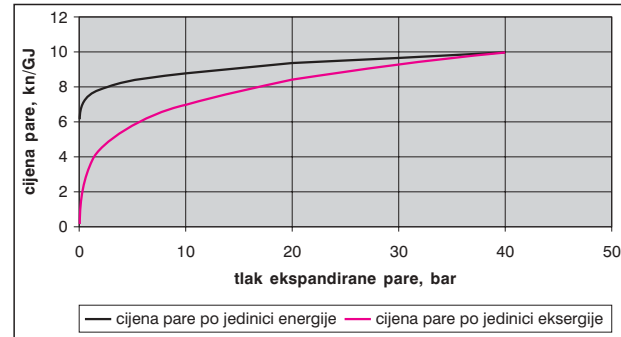
Specifična cijena protutlačnog parnoturbinskog agregata,  $\dot{Z}_t \quad 0,28$  kn/s  $\frac{\dot{E}_w}{1000 \text{ kW}}$  (kn/s).

U tablici 3 su prikazane cijene pare i električne energije posebno po jedinici energije a posebno po jedinici eksergije.

Tablica 3. Cijena ekspanzirane pare i električne energije po jedinici energije i po jedinici eksergije

Entalpija ekspanzirane pare kJ/kg	Eksergija ekspanzirane pare kJ/kg	Cijena pare po jedinici energije kn/GJ	Cijena pare po jedinici eksergije kn/GJ	Jedinična električna snaga kW	Cijena električne energije po jedinici energije kn/kWh	Cijena električne energije po jedinici eksergije kn/kWh
3328	1265	10	10	0	0	0
3238	1175	9,7	9,3	90	1,042	1,0406
3125	1062	9,4	8,4	203	1,044	1,0403
2945	882	8,8	7,0	383	1,036	1,0302
2800	737	8,4	5,8	528	1,038	1,0291
2630	567	7,9	4,5	698	1,033	1,0212
2520	457	7,6	3,6	808	1,033	1,0191
2290	227	6,9	1,8	1038	1,033	1,0147
2200	137	6,6	1,1	1128	1,031	1,0115
2090	27	6,3	0,2	1238	1,031	1,0090

Iz tablice 3 vidljivo je da se cijena pare, i po jedinici energije, i po jedinici eksergije smanjuje usporedo sa smanjivanjem entalpije i eksergije (tlaka i temperature) ekspanzirane pare. Dijagramski su te promjene cijena prikazane na slici 5.

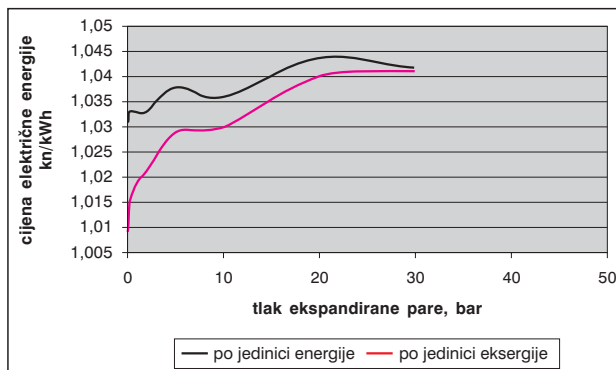


Slika 5. Primjena cijene pare po jedinici energije i po jedinici eksergije u ovisnosti o tlaku ekspanzirane pare

Iz tablice 3 je također vidljivo da je cijena električne energije po jedinici energije viša od cijene električne energije po jedinici eksergije. Cijena električne energije po jedinici energiji mijenja se nepravilno dok se cijena električne energije po jedinici eksergije smanjuje paralelno sa smanjivanjem cijene ekspanzirane pare po jedinici eksergije.

Navedene cijene električne energije ovise i o visini tekućih troškova za protutlačni parnoturbinski agregat čija je jedinična cijena u funkciji električne snage tog agregata. Dijagramski su promjene cijene električne energije prikazane na slici 6.

Dijagrami sa slike 5 i slike 6 prikazuju prednosti i nedostatke energetskog i eksergetskog vrednovanja pare. Krivulja koja opisuje promjenu cijene ekspanzirane pare po jedinici energije (sliku 5) otkriva sve više iracionalno trošenje ekspanzirane pare pri sve nižim tlakovima. No, takvo trošenje ekspanzirane pare jest poticajno jedino u slučaju rekuperacije izlazne topline



Slika 6. Promjena cijene električne energije po jedinici energije i po jedinici eksergije u ovisnosti o tlaku ekspandirane pare

iz procesa radi proizvodnje srednjetačne pare. To stimulatивно utječe na korištenje protutlačno parno-turbinskog agregata.

Poticaј rekuperacije otpadne topline nije moguć kod eksergetskog vrednovanja pare. Kod takvog načina vrednovanja pare tehnički se kvalitetnije vrednuje proizvodnja toplinske i električne energije. Promjene cijene ekspandirane pare po jedinici eksergije opisane krivuljom na slici 6 izražene su kod različitih nivoa tlakova. Iz toga proizlazi da ovakav način vrednovanja pare potencira tehničke onove za optimalan izbor radnih parametara, osobito razine tlaka pare u pojedinim dijelovima procesa pa se može zaključiti da s termodinamskog gledišta pruža najpovoljnije rezultate [1].

## 5. ZAKLJUČAK

U radu su prikazana dva načina termodinamskog vrednovanja pare. Prvi je način energetska vrednovanje pare po kom se utvrdio entalpijski omjer. Drugi je način eksergetsko vrednovanje pare po kom se utvrdio eksergetski omjer. Ti omjeri predstavljaju odnos entalpije, odnosno eksergije pare (koja se mijenja sa promjenom tlaka i temperature) i entalpije, odnosno eksergije pare početnog stanja.

Nakon određivanja entalpijskog i eksergetskog omjera dana je posebno energetska-ekonomska analiza, a posebno eksergetsko-ekonomska analiza koje uključuju bilance tekućih troškova. Te su dvije različite analize primjenjene prvo na energetskom sustavu za kombiniranu proizvodnju toplinske i električne energije u općem obliku, a zatim konkretno na primjeru energetskog sustava na bazi protutlačnog parnoturbinskog postrojenja. Na tom su se primjeru energetskog sustava odredile cijene ekspandirane pare i električne energije, posebno po jedinici energije, a posebno po jedinici eksergije. Svrishodno određivanju cijena izrađene su odgovarajuće tablice i dijagrami koji opisuju promjene tih navedenih tipova cijena.

Na osnovi cijena ekspandirane pare i električne energije vrednovanim po dvjema veličinama, energiji i eksergiji, ustanovile su se prednosti i nedostaci tih dvaju različitih pristupa.

Osnovna prednost kod energetske vrednovanja pare jest to što se stimulatивно utječe na korištenje rekuperativne otpadne topline radi proizvodnje srednjetačne i niskotlačne pare. Kod ovakvog vrednovanja pare procjenjuje se vrijednost pare niskih tlakova, a podcjenjuje vrijednost električne energije, što destimulatивно utječe na njezino racionalno korištenje. Osnovna prednost kod eksergetskog vrednovanja pare jest mogućnost optimalnog izbora radnih parametara, osobito razine tlaka u pojedinim dijelovima procesa što je s termodinamskog stajališta najpovoljnije. Nedostatak ovakvog vrednovanja pare jednak je osnovnoj prednosti energetske vrednovanja pare.

## LITERATURA

- [1] Z. PRELEC, "Energetika u procesnoj industriji", Školska knjiga, Zagreb, 1994.
- [2] V. BRLEK, "Termodinamika", Tehnička enciklopedija, Svezak 13, Leksikografski zavod »Miroslav Krleža«, Zagreb, 1997., str. 1-43
- [3] A. BEJAN, G. TSATSARONIS, M. MORAN, "Thermal Design And Optimization", A Wiley-Interscience Publication, New York, USA, 1996.
- [4] T. J. KOTAS, "The Exergy Method of Thermal Plant Analysis", Krieger, Melbourne, FL, 1995.
- [5] M. J. MORAN, H. N. SHAPIRO, "Fundamentals of Engineering Thermodynamics", 3rd ed., A Wiley-Interscience Publication, New York, USA, 1995.
- [6] K. RAŽNJEVIĆ, "Termodinamičke tablice", Školska knjiga, Zagreb, 1975.

## PRICE DETERMINATION FOR STEAM AND ELECTRIC ENERGY

The paper describes energy and exergy valorisation of steam as well as advantages and disadvantages of these two different valorisation ways. For price determination of steam and electric energy, by energy unit and by exergy unit, the balance of costs of most important participants in the energy system is done. As an example of cost evaluation of steam and electric energy, the energy system based on back-pressure steam turbine facility is given.

## DIE BESTIMMUNG DES DAMPF- UND STROMPREISES

Im Artikel ist die energetische und die exergetische Bewertung des Dampfes dargestellt und Vor- sowie Nachteile beider unterschiedlicher Zutritte der Bewertung beschrieben. Für die Bestimmung des Einheitspreises für Dampf und Strom ist die Kostenbilanz wichtigster Anteile im energetischen System sowohl für Energie, als auch für Exergie angefertigt. Als Beispiel der Preisberechnung von Dampf und Strom ist ein energetisches System genommen. Dieser System gründet auf einem Dampfturbinen-Gegendrucksatz.

Naslov pisca;

**Vedran Uran, dipl. ing.**  
**"CASE" d.o.o.**  
**Šetaliste XIII. divizije 28**  
**51000 Rijeka, Hrvatska**

Uredništvo primilo rukopis:  
 2003 – 01 – 13.