

# PRIMENA KONVEKTIVNOG REKUPERATORA ZA KORIŠĆENJE OTPADNE TOPLOTE STAKLARSKE PEĆI

Karamarković V., Gašić M., Marašević M., Karamarković R.\*

## ABSTRACT

*U radu je prikazano toplotno postrojenje za korišćenje otpadne toploće koja nastaje u procesu proizvodnje staklenih vlakana.*

*Rezultati materijalnog i topotnog bilansa dobijenih na osnovu eksperimenta pokazuju da se korišćenjem fizičke toplome može smanjiti topotnog gubitka sadržan u topoti produkata za 63%.*

**KLJUČNE REČI:** otpadna topota, staklarska peć, stepen korisnosti, koeficijent prelaza topote.

## 1. UVOD

U prvoj fazi procesa proizvodnje staklenih vlakana koja se obavlja u staklarskoj peći nastaje topljenje sirovine. Proizvedena tečna staklena masa izvodi se iz peći preko dve predpećnice, u kojima se sagorevanjem gasovitog goriva (propan – butan) održava tehnološki definisana temperatura staklene mase. Održavanje stalne temperature staklene mase u sledećoj fazi procesa omogućava izvlačenje, odnosno stvaranje staklenih vlakana. Postojeće postrojenja za topljenje sirovine i definisani tehnološki parametri procesa uslovjavaju visoku specifičnu potrošnju topote po jedinici proizvoda. Korišćenje otpadne topote predpećnice za zagrevanje vazduha, isparivačku stanicu gasovitog goriva i proizvodnju sanitarnе tople vode, omogućava potpunu zamenu rada postojećeg kotla u letnjem periodu i smanjenje topotnog gubitka sadržanog u fizičkoj topoti gasovitih produkata predpećnice za 62%.

Za određivanje količine topote koja se može iskoristiti sa predpećnice izvršeno je određivanje materijalnog i topotnog bilansa termičkog postrojenja.

## 2. MATERIJALNI I TOPOTNI BILANS STAKLARSKE PEĆI

Eksperimentalna ispitivanja neophodna za određivanje materijalnog i topotnog bilansa izvršena su na industrijskom postrojenju topotnog kapaciteta 5 MW.

Količina i sastav produkata su određeni korišćenjem bilansnih jednačina sirovine, goriva i vazduha za sagorevanje. Pri određivanju količina oksida i drugih jedinjenja u staklu, korišćen je izraz:

$$g_i = G_i \cdot \frac{X_i}{100} \cdot \frac{Y_i}{100}, \quad (1)$$

\*)

Prof. dr. Vladan Karamarković, dipl. mas. ing., Mašinski fakultet, Kraljevo

Prof. dr. Milomir Gašić, dipl. mas. ing., Mašinski fakultet, Kraljevo

Mr. Miljan Marašević, dipl. mas. ing., Mašinski fakultet, Kraljevo

Karamarković Rade, dipl. mas. ing., Mašinski fakultet, Kraljevo

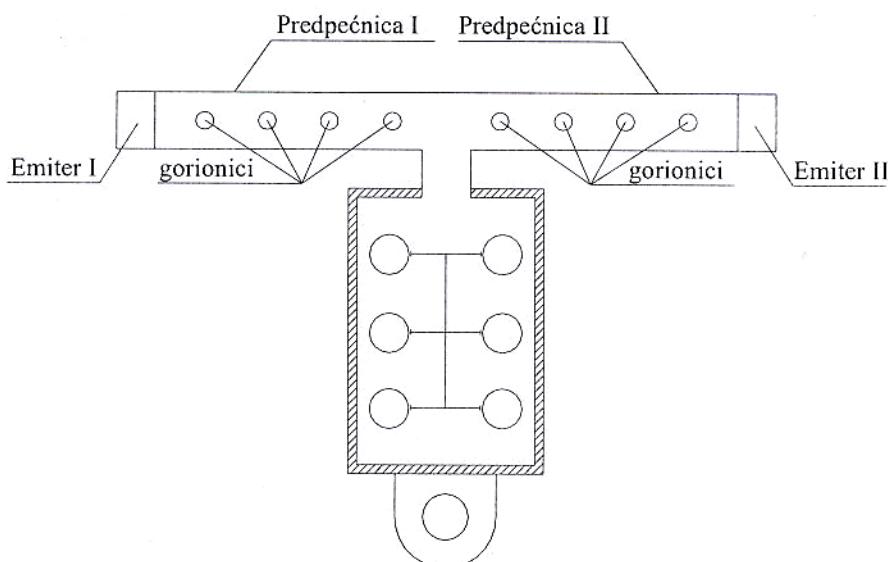
pri čemu su:

$G_i(\%)$  – težinsko procentualno učešće "i-te" komponente u sirovini,

$X_i(\%)$  – procentualni sadržaj oksida u "i-toj" komponenti sirovine ili složenom oksidu,

$Y_i(\%)$  – procentualni sadržaj složenog oksida u "i-toj" komponenti sirovine.

Rezultati materijalnog bilansa predstavljeni su u tabelama 1 i 2.



Slika 1. Staklarska peć sa predpećnicama

Tabela 1. Sastav gasovitih produkata svedenih na 100(kg) sirovine, 100(kg) proizvedenog stakla i 1(kg) stakla

	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	F <sub>2</sub>	SiF <sub>4</sub>	BF <sub>3</sub>
(kg/100kg <sub>sir</sub> )	12.13	8.13	0.14	0.03	0.69	0.52	0.45
(kg/100kgs)	17.58	11.79	0.20	0.04	1.00	0.75	0.65
(kg/kgs)	0.176	0.118	0.002	0.00	0.01	0.008	0.007

Tabela 2. Sastav vlažnih gasovitih produkata

	(%)	(m <sup>3</sup> N/kg <sub>s</sub> )	(kg/kg <sub>s</sub> )
CO <sub>2V</sub>	13.12	1.085	2.131
O <sub>2V</sub>	0.11	0.009	0.025
SO <sub>2V</sub>	11.70	0.968	0.778
H <sub>2</sub> O <sub>V</sub>	72.87	6.023	7.528
N <sub>2V</sub>	2.06	0.170	0.243
F <sub>2V</sub>	0.07	0.006	0.010
SiF <sub>4V</sub>	0.03	0.002	0.008
BF <sub>3V</sub>	0.04	0.003	0.007
	Σ 100.00	Σ 8.266	Σ 10.730

Na osnovu rezultata toplotnog bilansa (tabela 3) može se zaključiti da su najizraženiji:

- toplotni gubitak sadržan u fizičkoj toploti produkata(34.43% gorivom unešene energije),

- toplotni gubitak usled spoljašnjeg rashlađivanja(31.91% gorivom unešene energije),
- toplotni gubitak sadržan u fizičkoj toploti predpećnice(13.18% gorivom unešene energije).

Tabela 3. Toplotni bilans staklarske peći

	(kJ/kgs)	(%)
Otpadna toplota predpećnice	3846.84	13.18
Toplota gasovitih produkata procesa	10068.40	34.43
Fizička toplota stakla	1630.00	5.57
Toplota stvaranja stakla	1361.71	4.66
Toplota zagrejanog vazduha	(5858.40)	(20.02)
Toplota atomizirajućeg vazduha	(54.65)	(0.18)
Toplota sušenja sirovine	15.26	0.05
Toplotni gubitak u okolinu	6410.17	21.91
	$\Sigma$ 29245.40	$\Sigma$ 100

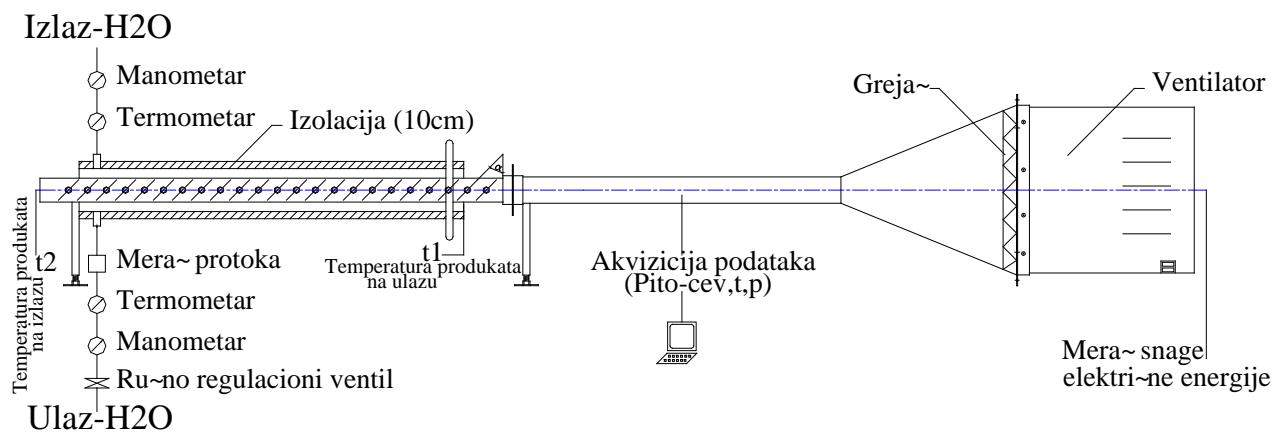
### 3. ZAVISNOST KOEFICIJENTA PRELAZA TOPLOTE OD UGLA NASTRUJAVANJA GASOVITOG FLUIDA

Zbog nedovoljnog prostora za smeštaj standardnog razmenjivača toplote koji bi koristio otpadnu toplotu gasovitih produkata predpećnice staklarske peći, izvršeno je projektovanje razmenjivača toplote sa povećanim koeficijentom prolaza toplote. Prethodno, eksperimentalno je na laboratorijskom postrojenju (slika 2) određena zavisnost između koeficijenta prelaza toplote i ugla nastrujavanja gasovitog fluida. Cilj eksperimenta je određivanje ugla nastrujavanja gasovitih produkata koji omogućava razmenu ukupne raspoložive otpadne toplote predpećnice.

Osnovne geometrijske karakteristike eksperimentalnog postrojenja su:

- Poprečni presek za strujanje vazduha  $a \times b = 0.05 \times 0.35$  (m).
- Poprečni presek za strujanje vode  $a_1 \times b_1 = 0.014 \times 0.35$  (m).
- Debljina lima  $\delta = 2$  mm.
- Karakteristična dužina  $l = 0.975$  m.

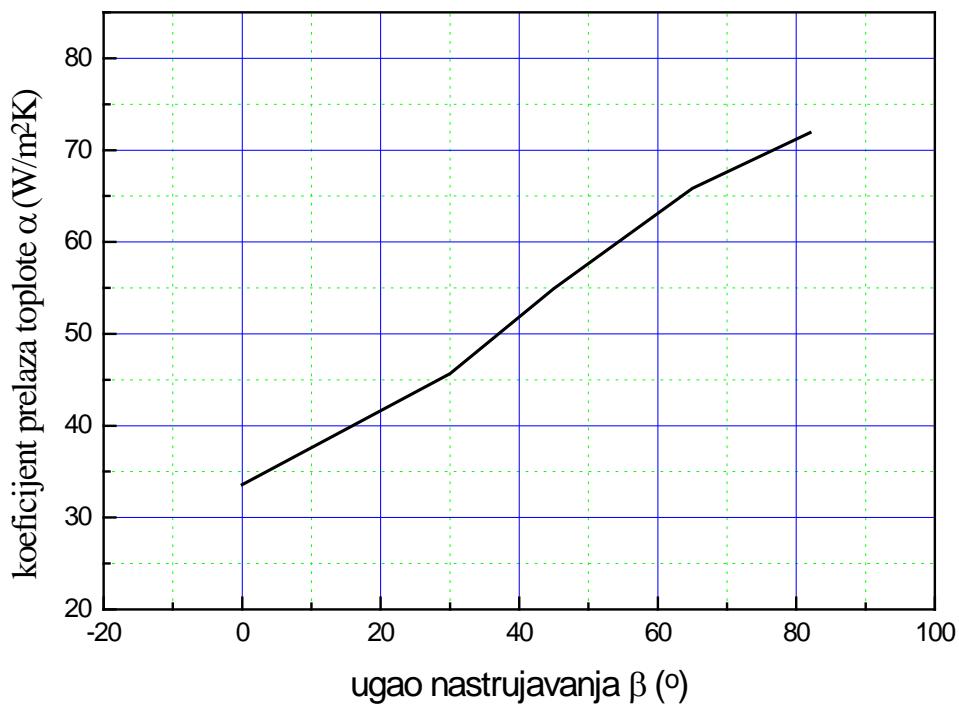
Eksperimentalni rezultati su pokazali da se u zavisnosti odугла nastrujavanja gasovitih produkata, u poređenju sa ravanskim strujanjem koeficijent prelaza toplote povećava od 1.22 do 2.14 puta . Na osnovu eksperimentalno dobijenih rezultata definisan je ugao nastrujavanja od  $38^\circ$ . Navedeno povećanje koeficijenta prelaza toplote omogućava korišćenje ukupne otpadne toplote i smeštaj rekuperatora u postojeći gabarit predpećnice.



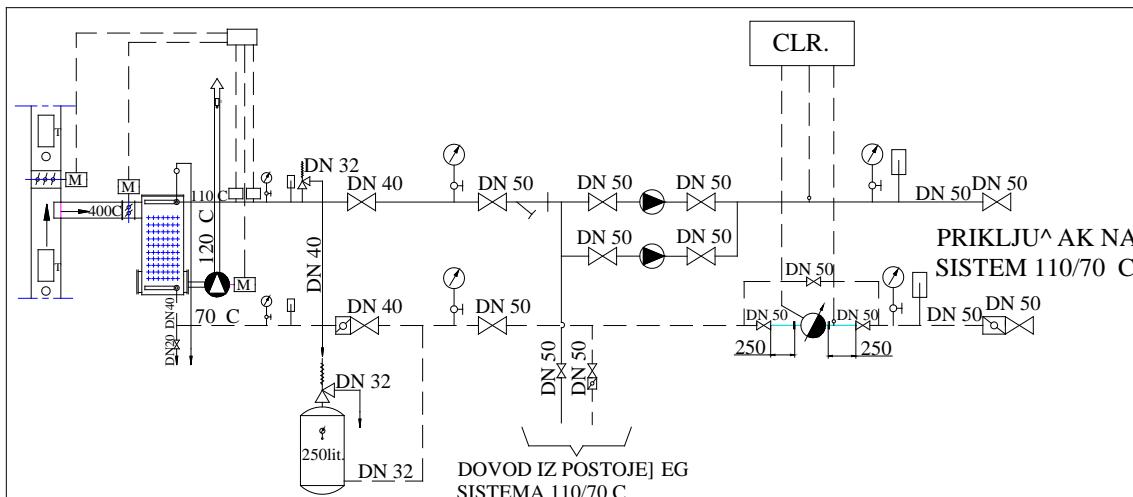
Slika 2. Laboratorijsko postrojenje za određivanje koeficijenta prelaza toplove

Tabela 4. Zavisnost koeficijenta prelaza topline od ugla nastrujavanja

$\beta$ (°)	0	30	45	65	82
$\alpha_{vaz}$ W/m <sup>2</sup> K	33.6	40.99	57.8	65.85	71.9
$\alpha_{vod}$ W/m <sup>2</sup> K	134	135	136	137	138
$k$ W/m <sup>2</sup> K	26.7	31.44	40.56	44.47	47.27
$\Delta t_m$ K	35.27	35.08	34.53	34.2	34.1



Slika 3. Zavisnost koeficijenta prelaza topline od ugla nastrujavanja



Slika 4. Postrojenje za korišćenje otpadne toplote predpećnice

#### 4. POSTROJENJE ZA KORIŠĆENJE OTPADNE TOPLOTE.

Za korišćenje otpadne toplote na predpećnici 2 projektovano je termičko postrojenje i razmenjivač topline suprotosmernog toka sa koridornim rasporedom cevi.

Šema termičkog postrojenja predstavljena je na slici br.4. Projektovani sistem je u letnjem periodu autonoman, a u toku zime spregnut sa postojećim kotлом koji proizvodi vrelu vodu istih parametara.

#### 5. ZAKLJUČAK

U prethodnom radu su predstavljeni rezultati istraživanja na projektu pod nazivom "Primena konvektivno- zračnog rekuperatora za korišćenje otpadne topline staklarske peći" koji je finansiran sredstvima Ministarstva za nauku tehnologije i razvoj, i sredstvima korisnika, u periodu od 01. 04. 2002 do 31. 03. 2003 godine. Rezultati istraživanja su omogućili izradu tehničke dokumentacije rekuperativnog razmenjivača topline i projekta za korišćenje otpadne topline predpećnica staklarske peći.

Time je stvorena osnova za izradu demonstracionog postrojenja koji će omogućiti smanjenje toplotnog gubitka sadržanog u fizičkoj toploti produkata za 63%.

#### 6. LITERATURA

- [1] Đurić, V., M. Bogner,: *Parni kotlovi*, Građevinska knjiga, Beograd, 1980.
- [2] Buharkin E. N.: *K metodike teplovogopastepla uho djaših gaz* ov, Teploenergetika br.2., 1997. god.
- [3] Karamarković V., Gašić M.: *Primena rekuperativnih i regenativnih razmenjivača topline*. Racionalno korišćenje toplotne energije, Kopaonik 1996. god.
- [4] Karamarković V., Gašić M.: *Increase of degree of utilization of water heating boiler by using upper heat power of fuel*, Four International Conference Heavy Machinery – HM'02, Kraljevo, 27-30 Jun 2002.