

UDK 621.18

## Parni kotli s kurjavami na premogov prah — z dogorevalnimi rešetkami ali brez njih?

LEOPOLD ANDRÉE

### 1. UVOD

O vgradnji dogorevalnih rešetk v parne kotle s kurjavami na premogov prah so mnenja različna. Eni zagovarjajo vgradnjo takih rešetk, ker bi se sicer močno povečale izgube zaradi nezgorelega ostanka v izgorkih na dnu kurišča in bi se preveč poslabšal izkoristek kotla. Drugi pa imajo dogorevalno rešetko za enega najbolj pogostnih vzrokov obratovalnih motenj ter jo zaradi tega odklanjajo. Znano je njihovo stališče: »Raje imamo zanesljivo obratovanje kotla in kak procent slabši izkoristek kakor pa boljši izkoristek in nezanesljivo obratovanje kotla.«

Garancijski preizkusi velikih parnih kotlov se izvajajo po indirektni metodi, pri čemer se določajo posamezne toplotne izgube. Inštitut za strojništvo pri Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani je izvedel take preizkuse na enakih kotlih III in IV v TE Šoštanj ter na enakih kotlih K 1 in K 2 v Toplarni Ljubljana. Kapaciteta teh kotlov v TE Šoštanj je po 140 t/h in v TO Ljubljana po 180 t/h tj. enakega reda velikosti. Obe vrsti kotlov imata enakovrstni KSG — kurjavi na premogov prah.

Kotli v TE Šoštanj imajo dogorevalne rešetke (sl. 1), medtem ko jih kotli v TO Ljubljana nimajo (sl. 2). Ker so bili izvedeni garancijski preizkusi obeh vrst kotlov s praktično enakim velenjskim lignitom, dajejo dobljeni rezultati idealno možnost za primerjalno analizo.

Namen tega sestavka je, da s primerjalno analizo rezultatov garancijskih preizkusov kotlov v TE Šoštanj in kotlov v TO Ljubljana prikaže, da ni neogibno potrebno, da bi se povečale toplotne izgube kotlov, ki nimajo dogorevalnih rešetk. Na voljo so namreč konstrukcijski ukrepi, ki v takih primerih preprečujejo, da bi se povečevale toplotne izgube parnih kotlov.

Rezultati garancijskih preizkusov so objavljeni z dovoljenjem vodstev tako TE Šoštanj kakor tudi TO Ljubljana.

### 2. PRIMERJAVA OBEH VRST KOTLOV

Oba primerjana parna kotla v TE Šoštanj sta skoraj enaka ter sta zgrajena kot kotla na prisilni pretok sistema SULZER. Tudi kotla v TO Ljubljana sta praktično enake konstrukcije; delujeta pa na naravno cirkulacijo, tj. sta žarčilna kotla. Vendar ta razlika v delovanju cirkulacije obeh vrst kotlov ni bistvenega pomena za predvideno primerjavo.

Obe vrsti kotlov imata enakovrstni KSG — kurjavi na premogov prah s po štirimi ventilatorskimi mlini ter z direktnim vpihavanjem v po štiri tangencialno usmerjene registrske gorilnike. Izgorke

odvzemajo iz kurišč kotlov v neraztaljenem stanju, in sicer imajo kotli v TE Šoštanj dogorevalne rešetke (sl. 1), medtem pa ko so kotli v TO Ljubljana brez dogorevalnih rešetk (sl. 2).

Pomembna razlika je tudi ta, da imata kotla v TE Šoštanj cevne grelnike zraka, medtem ko imata kotla v TO Ljubljana grelnike zraka sistema LJUNGSTRÖM.

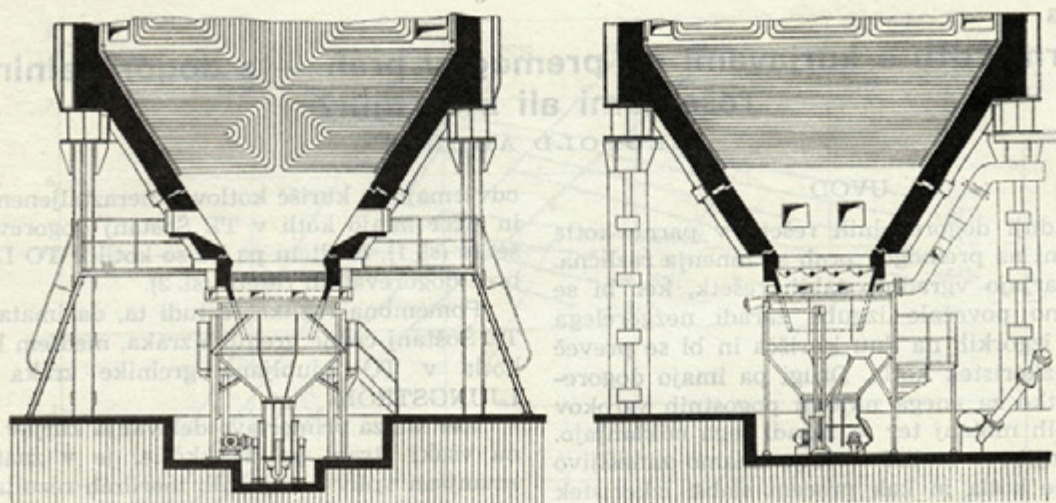
Ker sta za primerjavo delovanja kurjav na voljo na vsaki strani po dva kotla, je v znatni meri zmanjšan vpliv naključnih merilnih rezultatov.

#### 2.1. Podatki primerjalnih parnih kotlov

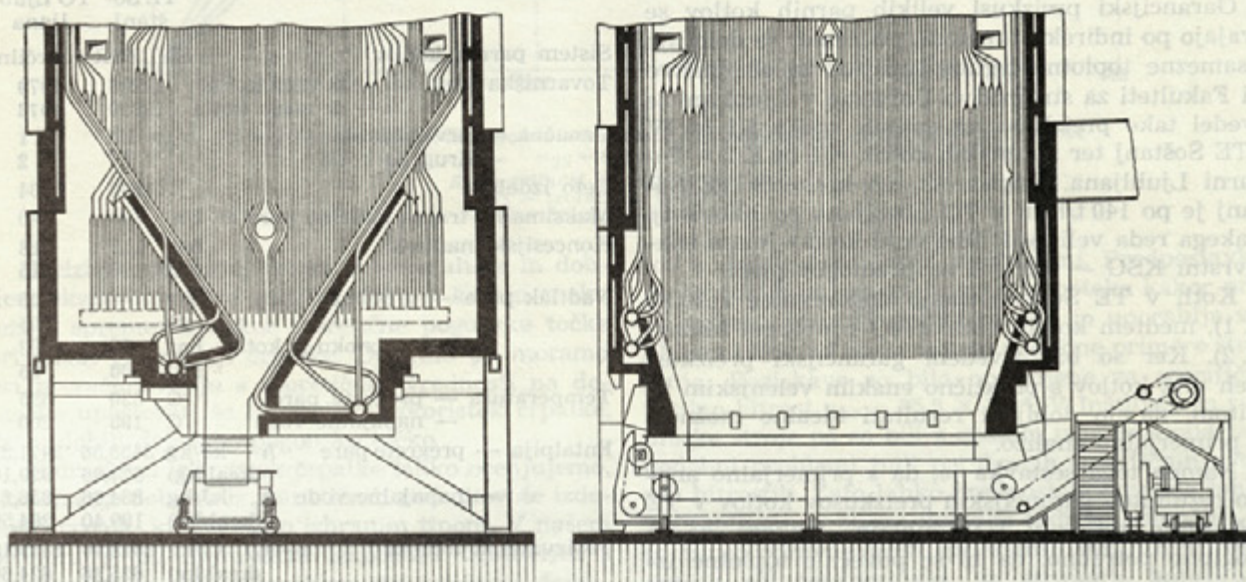
		TE Šoštanj	TO Ljubljana
Sistem parnih kotlov		SULZER	žarčilni
Tovarniška številka — prvega kotla		12208	4979
— drugega kotla		12209	4978
Označba — prvega kotla		III	K 1
— drugega kotla		IV	K 2
Leto izdelave		1960	1964
Maksimalna trajna količina pare D	t/h	140	180
Koncesijski nadtlak	bar	113	113
	(at)	115	115
Nadtlak pare — v bobnu	bar	—	103
	(at)	—	105
— na iztoku iz kotla	bar	98	93
	(at)	100	95
Temperatura — pregrete pare	°C	530	535
— napajalne vode	°C	195	200
Entalpija — pregrete pare	$h$ kJ/kg	3453,56	3471,31
	(kcal/kg)	824,86	829,10
— napajalne vode	$h_w$ kJ/kg	834,86	856,21
	(kcal/kg)	199,40	204,50
Proizvajalna toplota	$(h-h_w)$ kJ/kg	2618,70	2615,10
	(kcal/kg)	625,46	624,60
Zunanje mere kotelskega bloka:			
— širina	mm	8480	8925
— globina	mm	16190	16425
— višina	mm	30000	36000
Prostornina bloka	$V_b$ m <sup>3</sup>	4118,7	5277,4
Relativna prostornina bloka			
na 1 t/h pare	$V_b/D$ m <sup>3</sup> /t <sub>h</sub>	29,42	29,32
Ogrevalne površine			
— vsota ogrevalnih površin			
aktivnega dela kotla			
(grelnik vode + uparjalnik + pregrevalnik)	$A_{ak}$ m <sup>2</sup>	4947	6167
— grelnika zraka	m <sup>2</sup>	7600	18200
Relativna ogrevalna površina			
aktivnega dela kotla na			
1 t/h pare	$A_{ak}/D$ m <sup>2</sup> /t <sub>h</sub>	35,33	34,26

#### 2.2. Ugotovitve glede podatkov kotlov

— Ker sta proizvodnja toplote obeh vrst kotlov različni za manj ko 0,2 %, smemo upoštevati količino pare kot analogno veličino za toplotno moč obeh vrst kotlov.



Sl. 1. Kotel s kurjavo na premogov prah — z dogorevalno rešetko (1 : 150)



Sl. 2. Kotel s kurjavo na premogov prah — brez dogorevalne rešetke (1 : 150)

- Če vzamemo maksimalno trajno količino pare kotlov v TE Šoštanj za 100 %, znaša kapaciteta kotlov v TO Ljubljana okrog 129 %. Kapaciteti obeh vrst kotlov sta enakega reda velikosti ter ju zaradi tega smemo primerjati.
- Relativna prostornina blokov obeh vrst kotlov na 1 t/h pare je skoraj enaka.
- Razlika relativnih ogrevalnih površin aktivnega dela obeh vrst kotlov na 1 t/h pare je nekaj nad 3 %. Sumarno vzeto sta to torej podobni konstrukciji, pa ju zaradi tega smemo primerjati.

### 2.3. Podatki kurjav primerjanih kotlov

	TE Šo- štanj	TO Ljub- ljana
Sistem ventilatorskih mlinov	KSG	KSG
Število mlinov enega kotla	4	4
Tip mlinov	N 40.100	N 60.100

		TE Šo- štanj	TO Ljub- ljana
Vrtilna hitrost	vrt/min	1000	1000
Moč elektromotorja	$P_m$ kW	230	320
Kapaciteta mlinov pri velenjskem lignitu ter 45...50 % ostanka na situ 0,09 mm	$M$ t/h	12	18
Kurišče — prostornina	$V_k$ m <sup>3</sup>	695,4	804,0
— prerez	$S_k$ m <sup>2</sup>	44,6	52,8
Površina področja gorilnikov (= obod kurišča × višina gorilnikov)	$A_g$ m <sup>2</sup>	88,9	130,9

### Relativne veličine mlinov in kurišče na 1 t/h pare:

	TE Šo- štanj	TO Ljub- ljana
$P_m/D$ kWh/t	1,643	1,778
$M/D$ t/t	0,086	0,100
$V_k/D$ m <sup>3</sup> /h/t	4,97	4,47
$S_k/D$ m <sup>2</sup> /h/t	0,319	0,293
$A_g/D$ m <sup>2</sup> /h/t	0,635	0,728

#### 2.4. Ugotovitve primerjave mlinov in kurišč

- Relativna moč mlinskega elektromotorja na 1 t/h pare je pri kotlih v TO Ljubljana nad 8 % večja, kakor pa je pri kotlih v TE Šoštanj.
- Relativna kapaciteta mlinov na 1 t/h pare je pri kotlih v TO Ljubljana nad 16 % večja, kakor pa je pri kotlih v TE Šoštanj.
- Relativna prostornina kurišč na 1 t/h pare je pri kotlih v TO Ljubljana nad 10 % manjša, kakor pa je pri kotlih v TE Šoštanj.
- Relativni prerez kurišč na 1 t/h pare je pri kotlih v TO Ljubljana skoraj 8 % manjši, kakor pa je pri kotlih v TE Šoštanj.
- Relativna površina področja gorilnikov na 1 t/h pare je pri kotlih v TO Ljubljana nad 14 % večja, kakor pa je pri kotlih v TE Šoštanj.

Kotli v TO Ljubljana imajo torej v primerjavi s kotli v TE Šoštanj bogato dimenzionirane mline ter šibko dimenzionirano kurišče, pač pa imajo relativno večjo površino področja gorilnikov. Dokaz, da so mlini kotlov v TO Ljubljana res bogato dimenzionirani, daje preizkus kotla K 2, ki je bil izveden pri okrog 109 odstotni obremenitvi s samo

tremi mlini, pa je bil izkoristek kljub temu razmeroma dober. Če bi bila pri kotlih TO Ljubljana zaradi šibko dimenzioniranega kurišča povečana nevarnost zažlindranja kurišča, se to nekako izravna s povečano površino področja gorilnikov.

#### 3. GARANCIJSKI PREIZKUSI OBEH VRST PARNIH KOTLOV

Garancijske preizkuse parnih kotlov III in IV v TE Šoštanj ter parnih kotlov K 1 in K 2 v TO Ljubljana je izvedel Inštitut za strojništvo po pravilih DIN 1942 za prevzemne preizkuse parnih kotlov. Iz zadevnih poročil o prevzemnih-garancijskih preizkusih povzemamo primerjalno preglednico glavnih merilnih in računskih rezultatov, in sicer le za maksimalne obremenitve kotlov. To je razumljivo zato, ker je problematika zgorevalnega procesa v parnih kotlih povezana z največjimi težavami prav pri maksimalnih obremenitvah kotlov.

Da bi bila primerjava bolj razvidna, so v preglednici navedeni poleg glavnih merilnih in računskih rezultatov za obe vrsti kotlov še dodatno potrebne veličine.

#### 3.1. Primerjalna preglednica glavnih merilnih in računskih rezultatov garancijskih preizkusov parnih kotlov v TE Šoštanj in TO Ljubljana, ki jih je opravil Inštitut za strojništvo pri Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani

Termoelektrarna oziroma toplarna: Kotel št.:	TE Šoštanj III	TE Šoštanj IV	TO Ljubljana K 1	TO Ljubljana K 2
1. Datum preizkusa	12. 4. 61	17. 4. 61	11. 7. 68	18. 7. 68
2. Začetek preizkusa	ob 7 <sup>00</sup>	8 <sup>00</sup>	12 <sup>00</sup>	12 <sup>00</sup>
3. Konec preizkusa	ob 13 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	17 <sup>00</sup>	17 <sup>00</sup>
4. Trajanje preizkusa	min 360	360	300	300
5. Obremenitev kotla	% 102,3	102,8	97,7	108,8
6. Število delujočih mlinov	— 4	4	4	3
7. Zunanja temperatura	°C 14,06	13,75	34,28	17,18
8. Barometriški tlak	mbar 973,2 (mm Hg) 730,0	970,8 728,2	978,0 733,6	978,0 733,6
<b>Gorivo: Velenjski lignit</b>				
9. Vlaga	% 42,2	43,7	38,62	39,56
10. Pepel	% 12,7	11,2	15,65	16,30
11. Kurilnost	kJ/kg 10007 (kcal/kg) 2390	10212 2439	10053 2401	9730 2324
12. Poraba goriva	kg/h 44456	44050	50550	58170
<b>Izgorki in leteči pepel</b>				
13. Količina izgorkov pod kuriščem	kg/h 32	8	1150,3	1353,4
14. Gorljivi deli v izgorkih	% 41,94	27,10	13,25	6,00
15. Kurilnost izgorkov	kJ/kg — (kcal/kg) —	—	3044 727	2005 479
16. Količina letečega pepela	kg/h 5778	5042	6989	8340
17. Gorljivi del letečega pepela	% 2,61	2,26	1,08	1,59

Termoelektrarna oziroma toplarna: Kotel št.:		TE Šoštanj III	TE Šoštanj IV	TO Ljubljana K 1	TO Ljubljana K 2
<b>Napajalna voda</b>					
18. Tlak (abs.)	bar	139,15	141,36	118,30	131,09
	(at)	141,85	144,10	120,59	133,63
19. Temperatura	°C	183,54	183,56	205,25	206,65
20. Količina	kg/h	150326	154547	175814	195918
21. Količina kaluže	kg/h	7057	10730	—	—
<b>Pregreta para</b>					
22. Tlak (abs.)	bar	97,62	97,41	91,13	93,22
	(at)	99,51	99,30	92,90	95,03
23. Temperatura	°C	530,04	530,56	526,44	526,38
24. Količina	kg/h	143269	143817	175814	195918
<b>Temperatura zraka</b>					
25. Zunanji zrak	°C	14,06	13,75	34,28	17,18
26. Vsesani zrak	°C	44,15	40,62	40,74	34,29
27. Ogreti zrak	°C	252	251	254,56	253,52
<b>Dimni plini na iztoku</b>					
28. Temperatura	°C	166,99	166,13	152,33	145,82
29. CO <sub>2</sub>	%	14,82	14,42	11,10	12,97
30. CO	%	—	0,12	—	0,11
31. CO <sub>2maks</sub>	%	19,66	19,66	19,55	19,59
32. Razmernik zraka	—	1,33	1,36	1,75	1,50
33. Vlek	mm H <sub>2</sub> O	114,1	121,3	131,9	118,9
<b>Specifične toplotne obremenitve</b>					
34. — prostornine kurišča	kW/m <sup>3</sup>	189,7	193,0	192,6	212,0
	(kcal/m <sup>3</sup> h)	163150	165990	165581	182327
35. — prereza kurišča	kW/m <sup>2</sup>	2959	3010	2932	3228
	(Gcal/m <sup>2</sup> h)	2,544	2,588	2,521	2,776
36. — področja gorilnikov	kW/m <sup>2</sup>	1484	1510	1183	1301
	(Gcal/m <sup>2</sup> h)	1,276	1,298	1,017	1,119
<b>Lastna poraba kotla</b>					
37. Moč lastne porabe brez napajalke	kW	918,5	932	1305,7	1420
38. Moč lastne porabe na 1 t/h pare	kWh/t	6,41	6,48	7,43	7,76
<b>Izgube</b>					
39. — zaradi nezgorelega dela izgorkov (x <sub>1</sub> )	%	0,10	0,02	0,69	0,48
40. — zaradi nezgorelega dela lete- čega pepela (x <sub>2</sub> )	%	1,13	0,84	0,49	0,78
41. — zaradi nezgorelih plinov (x <sub>p</sub> )	%	0,01	0,56	0,00	0,57
42. — s toploto žarečih izgorkov (x <sub>i</sub> )	%	0,01	0,00	0,17	0,18
43. Dimnične izgube (x <sub>d</sub> )	%	9,58	9,63	9,06	8,71
44. Sevalne izgube (x <sub>s</sub> )	%	—	—	0,56	0,51
45. 0,3 · x <sub>s</sub> (po DIN 1942: 3,92)	%	0,30	0,30	—	—
46. Vsota izgub	%	11,13	11,35	10,97	11,23

Termoelektrarna oziroma toplarna: Kotel št.:	TE Šoštanj III	TE Šoštanj IV	TO Ljubljana K 1	TO Ljubljana K 2
--	----------------------	---------------------	------------------------	------------------------

## Izkoristek

47. — ugotovljen po indirektni metodi	%	88,87	88,65	89,03	88,77
48. Merilna toleranca po DIN 1942 ±	%	1,01	1,03	1,10	0,97
49. Zgornja vrednost izkoristka	%	89,88	89,68	90,13	89,74
50. Spodnja vrednost izkoristka	%	87,86	87,62	87,93	87,80

## Primerjava izkoristkov pri enaki zunanji temperaturi

51. Garantirani izkoristek pri 100 odstotni obremenitvi	%	88	88	88	88
52. Garantirani izkoristek pri preračunani obremenitvi kotla	%	87,78	87,76	88,10	87,84
53. Izkoristek je garantiran pri zunanji temperaturi	°C	30	30	30	30
54. Temperatura dimnih plinov na izstopu iz kotla — po korekturnem diagramu pri 30 °C	°C	170,16	169,40	150,13	152,22
55. Dimnične izgube pri 30 °C	%	8,78	8,81	9,22	8,27
56. Vsota vseh izgub pri 30 °C	%	10,33	10,53	11,13	10,79
57. Izkoristek pri 30 °C	%	89,67	89,47	88,87	89,21
58. Presežek izkoristka nad garantiranim izkoristkom pri preračunani obremenitvi kotla	%	1,89	1,71	0,77	1,37

3.2. Izgube zaradi nezgorelega dela izgorkov ( $x_1$ )

Tu so mišljeni izgorki, ki jih odvezemamo iz jaška kurišča, bodisi prek dogorevalne rešetke, ali pa neposredno iz zapornega vodnega korita. Prvi način je uporabljen pri kotlih v TE Šoštanj, drugi pa pri kotlih v TO Ljubljana. Pri preizkusih kotlov je treba zajeti te izgorki tako količinsko kakor tudi kakovostno, tj. glede na še gorljive sestavine. V jašek kurišča padajo debelejši delci premogovega prahu, ki jih tok dimnih plinov ne more odnašati navzgor po kurišču. V prvem primeru padajo ti debelejši delci na dogorevalno rešetko, kjer se praktično konča njihov zgorevalni proces.

V drugem primeru pa zgore ti debelejši delci samo toliko, kolikor jim je to mogoče še med letom. Brž ko pa padejo v zaporno vodno korito, se pogase in zgorevalni proces je prekinjen.

Glede na to razliko je treba uporabljati ustrezne obrazce za izračun teh izgub, in sicer za prvi primer:

$$x_1 = B_1 \cdot c_1 \cdot 33285 / (B \cdot H_i) \quad \%$$

Tu pomenijo:

- $B_1$  — količino teh izgorkov [kg/h];
- $c_1$  — gorljive ostanke v izgorkih [%];
- $B$  — količino goriva [kg/h];
- $H_i$  — kurilnost goriva [kJ/kg].

V drugem primeru pa moramo upoštevati kurilnost izgorkov, ker sicer ne bi bilo znano, pri kateri stopnji je bil s pogašenjem prekinjen zgorevalni proces teh izgorkov.

$$x_1 = B_1 \cdot H_{it} \cdot 100 / (B \cdot H_i) \quad \%$$

Tu pomeni:  $H_{it}$  = kurilnost izgorkov [kJ/kg].

Pomen drugih označb je kakor prej.

3.3. Izgube zaradi nezgorelega dela letečega pepela ( $x_2$ )

Leteči pepel se nabira pri preizkušanih kotlih v zbiralnih jaških na več mestih, npr.: pod pregrevalniki, pod grelniki vode oziroma zraka, pred elektrofiltrir ter pod vsemi deli elektrofiltrir. Pri preizkušanih kotlih v TE Šoštanj se pojavlja leteči pepel npr. na petih odzemnih mestih. Na vseh teh mestih smo pri preizkusih zajeli leteči pepel tako po količini kakor tudi po kakovosti. Količine posameznih vrst letečega pepela smo potem še povečali po načelu **balance čistega pepela**, tj. količina čistega pepela v letečem pepelu je enaka razliki količine čistega pepela v gorivu in količine čistega pepela v izgorkih pod kuriščem.

Izgube zaradi nezgorelega dela letečega pepela izračunamo po obrazcu:

$$x_2 = B_2 \cdot c_2 \cdot 33285 / (B \cdot H_i) \quad \%$$

To pomenijo:

- $B_2$  — količino letečega pepela [kg/h];
- $c_2$  — gorljivi del letečega pepela [%];
- $B$  — količino goriva [kg/h];
- $H_i$  — kurilnost goriva [kJ/kg].

Po tem obrazcu smo izračunali izgube zaradi nezgorelega dela letečega pepela pri preizkusih v TE Šoštanj posebej na vsakem od **petih mest**, kjer se nabira leteči pepel.

Pri preizkusih kotlov v TO Ljubljana pa se je nabiral leteči pepel na devetih mestih. Na vsakem od teh devetih mest smo odvzeli le vzorec za določitev gorljivega dela letečega pepela. Po vnaprej ugotovljeni količinski porazdelitvi letečega pepela (100 %) na vsako posamezno od devetih odvzemnih mest smo potem izračunali količinsko poprečje še gorljivega, tj. nezgorelega dela v vsem letečem pepelu. Količine letečega pepela na posameznih odvzemnih mestih nismo ugotavljali; pač pa smo ugotovili količino vsega letečega pepela po načelu bilance čistega pepela. S temi podatki smo potem dobili izgube zaradi nezgorelega dela letečega pepela v samo enem podatku, ki pa zajema te izgube na vseh odvzemnih mestih.

Da bi dobili primerljive veličine, smo izračunali iz rezultatov preizkusov kotlov v TE Šoštanj količinsko poprečje nezgorelega dela vseh petih vzorcev letečega pepela. Ugotovili smo tudi količino vsega letečega pepela tako, da smo potem dobili v enem samem podatku izgubo zaradi nezgorelega dela vsega letečega pepela.

#### 3.4. Dimnične izgube ( $x_d$ )

Ker so bili izvedeni posamezni garancijski preizkusi vseh primerjanih kotlov pri različnih temperaturah zunanega zraka, smo dobili takó dimnične izgube, ki se med seboj ne dajo primerjati.

Da bi dobili primerljive dimnične izgube, smo s pripadajočimi korekturnimi diagrami določili temperature dimnih plinov na izstopu iz kotla, ki pripadajo enakim temperaturam zunanega zraka. Izbrali smo temperaturo zunanega zraka 30 °C, pri kateri so tudi garantirani izkoristki vseh preizkušanih kotlov.

S temi temperaturami dimnih plinov na izstopu iz kotlov smo potem preračunali dimnične izgube pri enaki temperaturi zunanega zraka 30 °C, ki pa se dajo medsebojno primerjati.

#### 3.5. Upoštevanje sevalnih izgub ( $x_s$ )

Pri preizkusih kotlov v TE Šoštanj so odsesavali ventilatorji zgorevalni zrak samo iznad kotlov. Ker pa se je pri tem zrak ogrel od temperature zunanega zraka do temperature vsesanega zraka za več, kakor to ustreza vrednosti 0,7 ·  $x_s$ , smo v smislu toč. 3.92 DIN 1942 upoštevali kot sevalne izgube pri teh kotlih le 0,3 ·  $x_s$ .

Pri preizkusih parnih kotlov v TO Ljubljana so odsesavali ventilatorji zgorevalni zrak deloma iznad kotlov in deloma od zunaj. Zato je bila temperatura vsesanega zraka ustrezno nižja, kakor pa bi bila, če bi odsesavali ventilatorji zgorevalni zrak samo iznad kotlov. Zato tudi ni bilo upoštevano sicer možno zmanjšanje sevalnih izgub. Kljub temu različnemu postopku smo upoštevali pri primerjavi izgub sevalne izgube v tolikšnem iznosu, kolikor so bile upoštewane v poročilu o garancijskih preizkusih.

#### 3.6. Specifične toplotne obremenitve

V primerjalni preglednici je navedena poleg specifičnih toplotnih obremenitev prostornine kurišča in prereza kurišča dodatno še: specifična toplotna obremenitev področja gorilnikov  $b_{pg}$ , ki jo poročila o garancijskih preizkusih še ne vsebujejo, podana pa je z obrazcem:

$$b_{pg} = \Phi_k / A_g \quad [\text{MW/m}^2 - (\text{Gcal/m}^2\text{h})]$$

Tu pomenita:

$\Phi_k$  — toplotno moč kurišča [MW — (Gcal/h)] in

$A_g$  — površino področja gorilnikov, tj. obod kurišča ob gorilnikih krat njihova višina [m<sup>2</sup>].

Da bi preprečevali zažlindranje kurišča pri gorivih, ki so sicer nagnjena k žlindranju, ne sme biti specifična toplotna obremenitev področja gorilnikov večja od okrog 1,163 MW/m<sup>2</sup> (= 1 Gcal/m<sup>2</sup> h). Da bi obdržali specifično toplotno obremenitev področja gorilnikov v zahtevanih mejah, razdelimo pri konstrukciji kotla gorilnike po višini na dva dela ter ju ustrezno razmaknemo po višini.

#### 3.7. Lastna poraba kotelskih pogonov

Preizkusi kotlov v TE Šoštanj so bili izvedeni z eslektronapajalkami (glavna in rezervna napajalka imata obe električni pogon); preizkusi kotlov v TO Ljubljana pa so bili izvedeni s turbo napajalkama (glavna napajalka je gnana s parno turbino, rezervna napajalka pa ima električni pogon). Da bi dobili primerljive podatke, smo od moči lastne porabe kotelskih pogonov v TE Šoštanj odšteli moč elektromotorja napajalke.

### 4. PRIMERJALNA ANALIZA REZULTATOV GARANCIJSKIH PREIZKUSOV

Ker imamo na voljo od vsake vrste primerjanih kotlov po dva garancijska preizkusa, sodimo, da bo primerjava najbolj objektivna, če bomo izvedli primerjavo med srednjimi vrednostmi rezultatov vsake vrste kotlov. Preizkusa obeh kotlov v TE Šoštanj sta bila izvedena pri približno enaki obremenitvi: srednja vrednost obremenitve je znašala 102,55 %. Preizkus prvega kotla v TO Ljubljana je bil izveden pri nekoliko manjši obremenitvi, drugega pa pri nekoliko večji obremenitvi. Vendar je znašala srednja vrednost obremenitve 103,25 %, tj. skoraj enako kakor pri preizkusih kotlov v TE Šoštanj.

Primerjalno analizo bomo izvedli med smiselno izbranimi skupinami rezultatov garancijskih preizkusov.

#### 4.1. Za preizkuse uporabljeno gorivo

Za izvedbo garancijskih preizkusov je bil sicer uporabljen v vseh primerih velenjski lignit, vendar z nekoliko različnimi sestavinami, kakor prikazuje to primerjalna preglednica:

		TE Šo- štanj	TO Ljub- ljana
Vlaga	%	42,95	39,09
Pepel	%	11,95	15,975
Vsota balastnih sestavin	%	54,90	55,065
Kurilnost $H_i$			
	kJ/kg	10109,13	9891,41
	(kcal/kg)	2414,5	2362,5
	%	(100)	(97,8)

Kurilnost goriva za preizkuse kotlov v TO Ljubljana je bila za manj ko 3% nižja kakor pri gorivu, ki je bilo uporabljeno za preizkuse kotlov v TE Šoštanj. Kakovostna razlika pa se je pokazala v tem, da je imelo gorivo za preizkuse kotlov v TO Ljubljana za okrog eno tretjino več pepela, kakor pa ga je imelo gorivo za preizkuse kotlov v TE Šoštanj. Znano pa je, da več pepela v gorivu povzroča pri sicer enakih okoliščinah proporcionalno večje izgube zaradi nezagorelega ostanka v izgorkih in v letečem pepelu. Zato ugotavljamo, da je bilo pri preizkusih kotlov v TO Ljubljana uporabljeno slabše gorivo kakor pri preizkusih kotlov v TE Šoštanj.

#### 4.2. Izgube zaradi nezagorelih ostankov in s toploto izgorkov

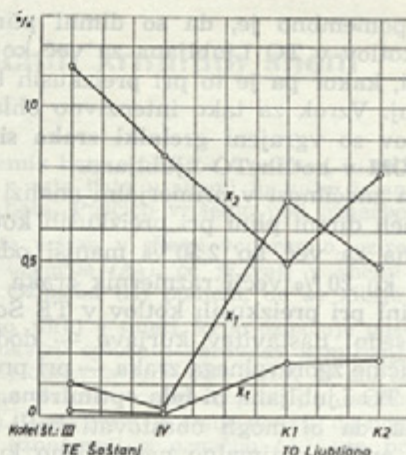
V tej skupini rezultatov primerjamo tiste izgube, ki so neposredno odvisne od finosti mletja mlinov in od nastavitve kurjave, in sicer:

		TE Šo- štanj	TO Ljub- ljana
Izgube zaradi nezagorelega dela izgorkov	%	0,060	0,585
Izgube zaradi nezagorelega dela letečega pepela	%	0,985	0,635
Izgube s toploto izgorkov	%	0,005	0,175
Vsota izgub te skupine	%	1,050	1,395

Glede na to, da kotli v TO Ljubljana nimajo dogorevalnih rešetk, je povsem razumljivo, da so izgube zaradi nezagorelega dela izgorkov in izgube s toploto izgorkov v tem primeru nekaj večje, kakor pa so te izgube pri preizkusih kotlov v TE Šoštanj.

Ta razlika pa bi bila še večja, če bi ne bil premog pri preizkusih kotlov v TO Ljubljana bolj fino zmlat, kakor pa je bil pri preizkusih kotlov v TE Šoštanj. Dokaz za to so prav izgube zaradi nezagorelega dela letečega pepela, ki dosegajo pri preizkusih kotlov v TO Ljubljana le manj od 2/3 teh izgub pri preizkusih kotlov v TE Šoštanj.

Zelo značilna je primerjava izgub: pri preizkusih kotlov v TO Ljubljana so se povečale izgube zaradi nezagorelega dela izgorkov ( $x_1$ ) in izgube s toploto izgorkov ( $x_2$ ), medtem ko so se izgube zaradi nezagorelega dela letečega pepela ( $x_3$ ) zmanj-



Slika 3

šale, če jih primerjamo s podobnimi izgubami pri preizkusih kotlov v TE Šoštanj (glej sliko 3).

Vsota izgub te skupine je pri preizkusih kotlov v TO Ljubljana le za okrog eno tretjino večja, kakor pa so te izgube pri preizkusih kotlov v TE Šoštanj. Razlog za tako majhno povečanje vsote izgub te skupine pri preizkusih kotlov v TO Ljubljana je v tem, da imajo kotli v TO Ljubljana v primerjavi s kotli v TE Šoštanj bolj bogato dimenzionirane mline (glej pogl. 2.4!).

#### 4.3. Dimnične izgube in izgube zaradi nezagorelih plinov

V tej skupini primerjamo tiste izgube, ki so neposredno odvisne od ohlaiditve dimnih plinov in od nastavitve kurjav, in sicer:

		TE Šo- štanj	TO Ljub- ljana
Dimnične izgube	%	8,795	8,745
Izgube zaradi nezagorelih plinov	%	0,285	0,285
Vsota izgub te skupine	%	9,08	9,03

Izgube zaradi nezagorelih plinov so malenkostne in so v obeh primerih popolnoma enake. Dimnične izgube znašajo okrog 80% vseh izgub ter so absolutno vzeto pri preizkusih kotlov v TO Ljubljana nekaj manjše od teh izgub pri preizkusih kotlov v TE Šoštanj.

Za olajšanje analize dimničnih izgub so podane v naslednji razpredelnici temperature in analize dimnih plinov ter razmernik zraka pri preizkusih kotlov v TE Šoštanj in TO Ljubljana:

		TE Šo- štanj	TO Ljub- ljana
Temperatura dimnih plinov pri zunanji temperaturi 30 °C	°C	169,78	151,175
Analiza dimnih plinov:	CO <sub>2</sub> %	14,62	12,035
	CO %	0,060	0,055
Razmernik zraka	—	1,345	1,625

Izredno pomembno je, da so dimni plini pri preizkusih kotlov v TO Ljubljana za več ko 18 °C bolj ohlajeni, kakor pa je to pri preizkusih kotlov v TE Šoštanj. Vzrok za tako intenzivno ohladitev dimnih plinov so vgrajeni **grelniki zraka sistema LJUNGSTRÖM** v kotlih TO Ljubljana.

Nadaljnja značilnost v primerjalni analizi pa je ta, da so imeli dimni plini pri preizkusih kotlov v TO Ljubljana za več ko 2,50 % manjši odstotek CO<sub>2</sub> ter več ko 20 % večji razmernik zraka kakor pa dimni plini pri preizkusih kotlov v TE Šoštanj. Z drugo besedo: nastavev kurjave — dodelitev ustrezne količine zgorevalnega zraka — pri preizkusih kotlov v TO Ljubljana **ni bila optimirana**.

Ni dvoma, da bi mogli obratovati kotli v TO Ljubljana z enako optimalno nastavljenostjo kurjave kakor kotli v TE Šoštanj, saj imajo enak sistem kurjave. Če pa bi bila naravnana kurjava kotlov v TO Ljubljana na enake odstotke (CO<sub>2</sub> + CO), kakor je bila pri kotlih v TE Šoštanj, bi dobili pri dejanski ohladitvi dimnih plinov dimnične izgube namesto 8,745 % samo 7,20 %. S tem bi torej imeli možnost **povečati izkoristek kotlov v TO Ljubljana za okrog 1,50 %**.

Dejansko stanje pri preizkusih kotlov v TO Ljubljana glede dimničnih izgub je bilo torej tako: Kolikor bi lahko zmanjšali dimnične izgube zaradi bolj ohlajenih dimnih plinov, smo to možnost zapravili z neoptimalno nastavljenostjo kurjave.

#### 4.4. Sevalne izgube kotlov

Te izgube so praktično neodvisne od načina obratovanja oziroma od nastavitve kurjav kotlov ter znašajo:

	TE Šoštanj	TO Ljubljana
Upoštewane sevalne izgube %	0,300	0,535

#### 4.5. Izkoristki kotlov

Pri izvedenih garancijskih preizkusih so bili doseženi izkoristki:

	TE Šoštanj	TO Ljubljana
Vsota izgub 4.2. skupine %	1,050	1,395
Vsota izgub 4.3. skupine %	9,080	9,030
Sevalne izgube %	0,300	0,535
Vsota vseh izgub %	10,43	10,96
Doseženi izkoristki %	89,57	89,04

Razlika med poprečnim izkoristkom kotlov v TE Šoštanj in kotlov v TO Ljubljana je: 89,57 — 89,04 = 0,53 % oziroma izkoristek kotlov v TO Ljubljana je za 0,60 % manjši od izkoristka kotlov v TE Šoštanj.

Glede na to, da bi z optimalno nastavitvijo kurjave imeli možnost zmanjšati dimnične izgube pri kotlih v TO Ljubljana celo za 1,50 %, sodimo, da bi obe vrsti kotlov mogle obratovati z enakimi izkoristki. To pa bi bilo mogoče doseči kljub temu, da

je imelo gorivo za preizkuse kotlov v TO Ljubljana nad eno tretjino več pepela, kakor pa ga je imelo gorivo za preizkuse kotlov v TE Šoštanj.

#### 4.6. Relativna moč lastne porabe kotelskih pogonov

V tej skupini moramo upoštevati predvsem lastne porabe velikih motornih pogonov, in sicer: 4 elektromotorjev za mline, 2 elektromotorjev za ventilatorja zraka in 2 elektromotorjev za ekshaustorja.

	TE Šoštanj	TO Ljubljana
Moč lastne porabe na 1 t/h pare:	kWh/t 6,445	7,595
	(%) 100	117,8

V primerjavi s kotli v TE Šoštanj so kotli v TO Ljubljana imeli pri preizkusih torej skoraj 18 % večjo moč lastne porabe na 1 t/h pare. To povečanje lastne porabe kotlov v TO Ljubljana ima svoj vzrok v bolj finem mletju goriva ter v povečanju obremenitev elektromotorjev ventilatorjev zraka in ekshaustorjev zaradi povečanja razmernika zraka za več ko 20 %.

Medtem ko je prvi del povečanja utemeljen in potreben, bi drugi del povečanja obremenitve elektromotorjev lahko povsem odpadel, če bi bila kurjava kotlov v TO Ljubljana optimalno nastavljena, kakor je to bilo pri preizkusih kotlov v TO Šoštanj.

#### 5. SKLEP

Izvedena primerjalna analiza obratovanja kotlov v TE Šoštanj in v TO Ljubljana je po rezultatih garancijskih preizkusov pokazala, da namestitev dogorevalnih rešetk pri kotlih na premogov prah velikosti 100...200 t/h **ni neogibno potrebna**.

Pogoja, da bi se izkoristek takih kotlov na premogov prah brez dogorevalnih rešetk ne zmanjšal, sta dva, in sicer:

— bogato dimenzionirani mlinci, ki omogočajo bolj fino mletje goriva tudi pri maksimalni obremenitvi kotlov;

— namestitev grelnikov zraka sistema LJUNGSTRÖM, ki z izdatno ohladitvijo dimnih plinov povzročajo, da se dimnične izgube ne povečajo preveč v primerih, ko kurjava ne bi bila optimalno nastavljena.

Posledica izpolnitve prvega pogoja pa je, da se nekoliko poveča lastna poraba zaradi večje obremenitve mlinskih elektromotorjev in seveda tudi, da se ustrezno poveča obraba mlinov.

Če pa bi pri izpolnitvi drugega pogoja tudi optimalno nastavili kurjavo, bi se lastna poraba kotelskih pogonov ustrezno zmanjšala zaradi zmanjšanja obremenitve elektromotorjev za ventilatorje zraka in ekshaustorje.

Avtorjev naslov:

prof. ing. Leopold André, Fakulteta za strojništvo Univerze v Ljubljani