

Analiza razmenjene količine toplote u ložištu i temperature produkata sagorevanja na kraju ložišta vrelovodnog kotla od 58 MW

Mr Đorđe Srnić, dipl. inž., MCS – Joint Venture of ABB & Local Companies,
Hadži Milentijeva 46, 11000 Beograd

U radu se analizira uticaj promene opterećenja vrelovodnog kotla, načina regulisanja kotla, konstrukcionih rešenja cirkulisanja vode kroz kotao i promena režima rada kotla na razmenjenu količinu toplote i temperaturu produkata sagorevanja na kraju ložišta. U ovoj analizi se pošlo od dimenzionisanog vrelovodnog kotla i pravljene su kontrolni proračuni ponašanja vrelovodnog kotla za tri načina regulacije, dve varijante cirkulacije vode kroz kotao i dva temperaturska režima rada vrelovodnog kotla, pri čemu za svaku kombinaciju gornjih faktora opterećenje kotla varira između 20 i 100%.

Vrelovodni kotlovi su velikim brojem zastupljeni u sistemima daljinskog grejanja. Tokom vremena razvio se veliki broj konstrukcija ovih kotlova, koje teže da zadovolje zahteve koje nameću sistemi daljinskog grejanja. Ova velika familija kotlova poseduje niz specifičnosti koje se moraju analizirati odvojeno od drugih vrsta kotlova. Iz spektra konstrukcija vrelovodnih kotlova, opredeliću se za jednu i u radu ću analizirati samostojeći membranski vrelovodni kotao maksimalnog kapaciteta 58 MW, proizvodnje "Minel Kotlogradnja". Posmatrani vrelovodni kotao spada u grupu kotlova sa malom akumulacionom toplotom [1]. Prema toplotnoj produkciji posmatrani kotao spada u grupu vrelovodnih kotlova velike snage.

Poslednjih godina kod nas se za potrebe grejanja sve više ugrađuju vrelovodni kotlovi velikih snaga. Oni zamenjuju veliki broj malih kotlarnica u najužim gradskim jezgrima i time utiču na smanjenje zagađenja okoline, povećanje efikasnosti sistema daljinskog grejanja, koncentraciju visokokvalifikovane radne snage na jednoj lokaciji i smanjivanje troškova održavanja [2]. Velike gradske toplane sa jednim ili više ovakvih kotlova u mnogome utiču na povećanje bezbednosti, pouzdanosti i pogonske spremnosti celokupnog vrelovodnog postrojenja [3].

Sve ovo postavlja pred dizajnera i konstruktora ovakvih kotlova zahtev da obezbede u svojim rešenjima vrelovodne kotlove koji će biti bezbedni, pouzdani, efikasni i maksimalno štiti čovekovu sredinu. U procesu dizajniranja i dimenzionisanja vrelovodnih kotlova, potrebno je veliku pažnju posvetiti ložištu kao centralnom i najuticajnijem delu kotla. Projektnim rešenjima ložišta direktno se utiče na procese sagorevanja i razmene toplote, kako u ložištu, tako i u konvektivnim površinama. U radu se analizira uticaj promene opterećenja vrelovodnog kotla, načina regulisanja vrelovod-

nog kotla, konstrukcionih rešenja cirkulisanja vode kroz kotao i promena režima rada kotla na razmenjenu količinu toplote i temperaturu produkata sagorevanja na kraju ložišta.

Rezultati termičkih proračuna ložišta su u ovom radu prikazani tabelarno i dijagramski. U svim proračunima je korišćena metoda termičkog proračuna kotla zasnovana na metodologiji naučno-istraživačke organizacije CKTI [4]. Analizirana su tri načina regulisanja vrelovodnog kotla: regulacija protoka vode kroz kotao, regulacija izlazne temperature izlazne vode i regulacija temperature ulazne vode, zatim dva rešenja cirkulacije vode kroz kotao [napojna voda se u jednoj varijanti uvodi u ložište, a u drugoj u zagrejač vode (ECO)] i dva režima rada vrelovodnog kotla 130–190 °C i 90–150 °C. Za sve navedene varijante napravljeni su termički proračuni kotla za opterećenje od 20 do 100% sa korakom od 10%. U svim proračunima je korišćeno gorivo zemni gas, toplotne moći 36 800 kJ/m³.

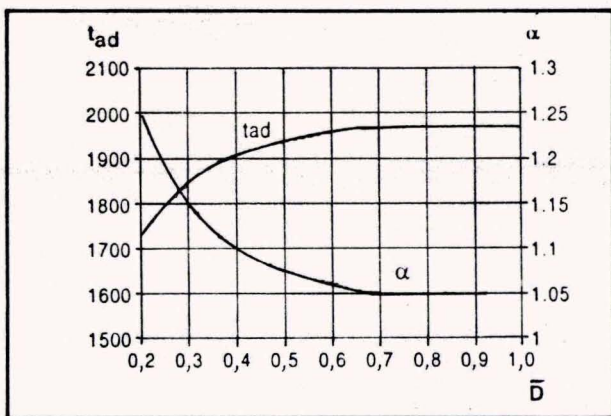
Tabela 1.

\bar{D}	Q_k	α	η_k	t_{ad}	t''	Q	%	B_r
1,0	58 000	1,050	91,00	1 970	1 176	28 113	48,47	1,732
0,9	52 200	1,050	91,24	1 970	1 138	26 389	50,55	1 556
0,8	46 400	1,050	91,52	1 970	1 093	24 573	53,12	1,378
0,7	40 600	1,050	91,78	1 970	1 042	22 602	55,67	1,202
0,6	34 800	1,060	91,97	1 956	981	20 424	58,69	1,028
0,5	29 000	1,075	92,13	1 921	926	17 777	61,30	0,855
0,4	23 200	1,100	92,17	1 904	846	15 062	64,92	0,864
0,3	17 400	1,150	92,07	1 842	756	11 924	68,53	0,514
0,2	11 600	1,250	91,50	1 731	647	8 440	72,76	0,345

U tabeli 1. su prikazani parametri iz termičkog proračuna ložišta za opterećenja kotla od 20 do 100%. Pritom se regulacija kotla vrši protokom vode kroz kotao, napojna voda se uvodi u ložište, a temperaturski režim je od 130 do 190 °C. Kolone u tabeli predstavljaju sledeće parametre:

- \bar{D} [-] – odnos analizirane snage kotla prema maksimalnoj,
- Q_k [kW] – snaga kotla, koeficijent viška vazduha na kraju ložišta,
- α [-] – stepen korisnosti kotla,
- η_k [%] – adijabatska temperatura u ložištu,
- t_{ad} [°C] – temperatura produkata sagorevanja na kraju ložišta,
- t'' [°C] – razmenjena količina toplote u ložištu,
- Q [kW] – procentualno izražen odnos razmenjene količine toplote u ložištu i nominalne snage kotla,
- B_r [kJ/m³] – potrošnja goriva.

Radi veće preglednosti, karakteristične veličine termičkog proračuna ložišta su date dijagramski na slikama od 1. do 5. Na slici 1. je zavisnost adijabatske temperature i koeficijenta



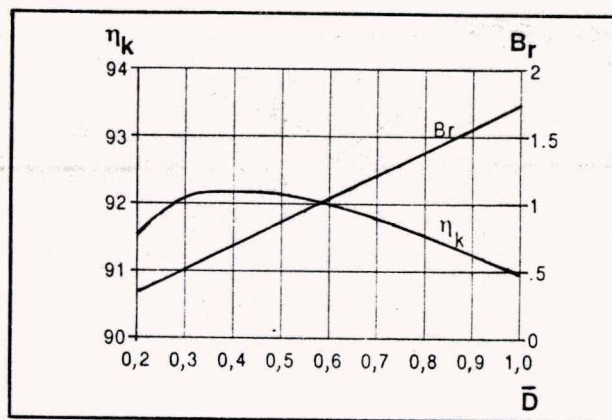
Slika 1.

viška vazduha u funkciji opterećenja kotla. Do zavisnosti promena koeficijenta viška vazduha na kraju ložišta u funkciji opterećenja kotla došlo se empirijski. Na oblik ove krive najviše utiču karakteristike gorionika. Smanjenjem opterećenja kotla opada adijabatska temperatura, ali ne u funkciji opterećenja kotla, već u funkciji koeficijenta viška vazduha, obezbeđeno je da ova veličina ne utiče na adijabatsku temperaturu.

Slika 2. pokazuje zavisnost adijabatske temperature u funkciji koeficijenta viška vazduha na kraju ložišta. Sa povećanjem viška vazduha na kraju ložišta dolazi do povećanja količine vazduha, koja se uvodi u ložište u odnosu na stehiometrijski potrebnu količinu. To izaziva pothlađenje gasne sredine u ložištu. Rezultat ovoga je smanjenje adijabatske temperature, odnosno teoretski maksimalne temperature produkta sagorevanja u ložištu prema metodi CKTI [4], sa povećanjem koeficijenta viška vazduha na kraju ložišta.

Stepen korisnosti kotla (η_k) i potrošnje goriva (B_r) prikazani su na sl. 3. Sa smanjenjem opterećenja kotla stepen korisnosti kotla raste, zbog smanjene količine goriva koja se unosi u ložište. Smanjenje količine goriva u sistemu snižava temperaturu izlaznih gasova, a time se smanjuju gubici u izlaznim gasovima, što dovodi do povećanja stepena korisnosti kotla. Stepenn korisnosti kotla dostiže svoj maksimum na 40% opterećenja kotla.

Daljim snižavanjem opterećenja kotla smanjuje se efikasnost razmene toplote u kotlu, tako da se usporava snižavanje temperature izlaznih gasova [5]. Sa druge strane, smanjenje opterećenja dovodi do povećanja koeficijenta viška vazduha na kraju kotla i gubitka usled spoljašnjeg hlađenja. Uticaj ovih faktora na niskim opterećenjima kotla postaje veliki,

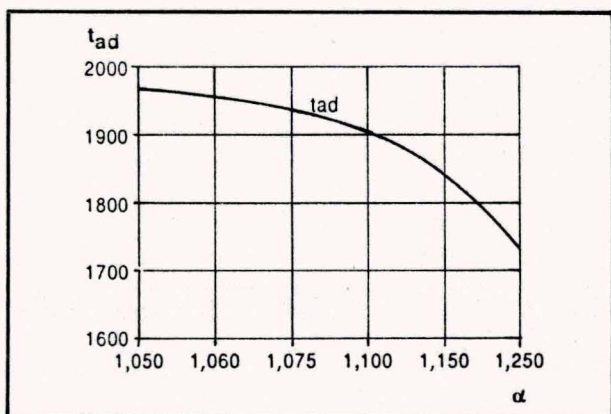


Slika 3.

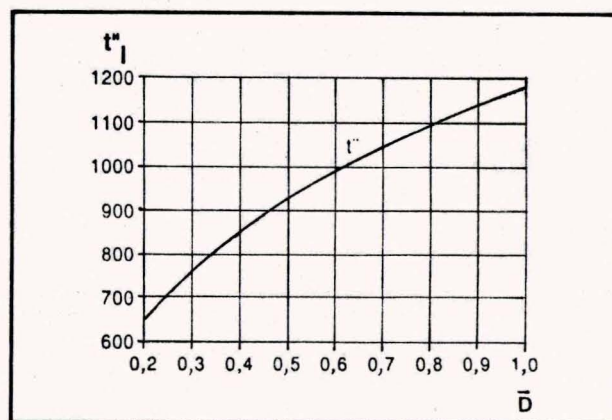
tako da stepen korisnosti kotla počinje da opada [5 i 6].

Zavisnost temperature produkata sagorevanja na kraju ložišta data je u funkciji od opterećenja kotla na slici 4. Po metodi CKTI, ova temperatura je funkcija adijabatske temperature, geometrije ložišta, koeficijenta viška vazduha na kraju ložišta, položaja i broja gorionika, potrošnje i vrste goriva. Kako smo ranije videli da je adijabatska temperatura zavisna veličina od vrste goriva i koeficijenta viška vazduha u ložištu, možemo uzeti da ova veličina ne utiče na temperaturu produkata sagorevanja na kraju ložišta. Karakteristika gorionika daje zavisnost između koeficijenta viška vazduha na kraju ložišta i opterećenja kotla. Potrošnja goriva je veličina zavisna od opterećenja kotla, toplotne moći goriva i stepena korisnosti. Na kraju i stepen korisnosti zavisi od geometrije kotla, karakteristika goriva i koeficijenta viška vazduha. U svim analizama je korišćena jedna geometrija ložišta, broj gorionika je 2, a položaj gorionika je bio definisan geometrijom ložišta i nije menjan u proračunima. Korišćena je ista vrsta goriva, tako da u ovim analizama temperatura produkata sagorevanja na kraju ložišta zavisi od opterećenja kotla. Temperatura produkata sagorevanja se na kraju ložišta smanjuje sa snižavanjem opterećenja kotla.

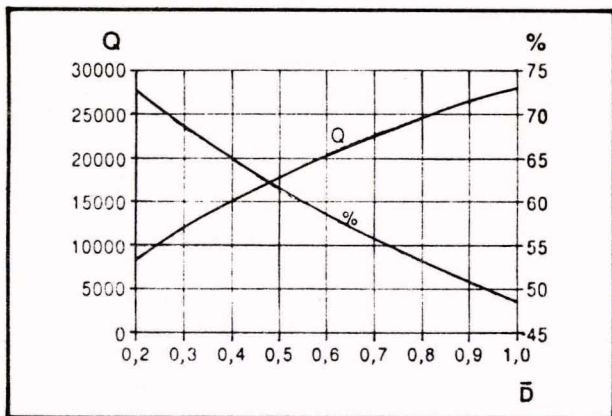
Slika 5. pokazuje uticaj opterećenja kotla na razmenjenu količinu toplote u ložištu i koeficijent koji predstavlja procentualno izražen odnos razmenjene količine toplote u ložištu i nominalne snage kotla. Kako je razmenjena količina toplote u ložištu funkcija adijabatske temperature, temperature produkata sagorevanja na kraju ložišta, potrošnje goriva i stepena izolovanosti kotla, možemo smatrati da u ovim analizama, razmenjena količina toplote zavisi samo od opterećenja kotla, s obzirom da se geometrija ložišta i karakteristike goriva ne menjaju.



Slika 2.



Slika 4.



Slika 5.

Karakteristično je da koeficijent koji predstavlja procentualno izražen odnos razmene toplote u ložištu i nominalne snage kotla (u daljem delu procenat razmenjene količine toplote u ložištu) raste sa smanjenjem opterećenja kotla. Ovaj efekat se objašnjava time da na smanjenim opterećenjima ložište prividno postaje veliko za analizirani kapacitet, odnosno toplotno opterećenje zapremine ložišta izlazi iz opsega preporučenih toplotnih opterećenja za datu vrstu kotlova. Vrednost toplotnog opterećenja zapremine ložišta postaje mala, tako da se u ložištu razmenjuje najveći deo toplote potrebne za razmenu u kotlu. Procenat razmenjene količine toplote je empirijski pokazatelj konstruktorima kotla u kakvom odnosu se nalaze geometrijske veličine ložišta i konvektivnih grejnih površina, što u mnogome olakšava dimenzionisanje.

Tabela 2.

\bar{D}	Q_k	t_{11}	t_{12}	t_{13}	t_{14}	t_{15}	t_{16}
1,0	58 000	1 176	1 176	1 176	1 169	1 172	1 169
0,9	52 200	1 138	1 138	1 138	1 132	1 134	1 131
0,8	46 400	1 093	1 092	1 093	1 087	1 089	1 085
0,7	40 600	1 042	1 040	1 042	1 037	1 038	1 033
0,6	34 800	981	979	981	978	976	974
0,5	29 000	926	924	926	919	921	914
0,4	23 200	846	844	847	839	840	834
0,3	17 400	756	755	757	750	750	745
0,2	11 600	647	646	649	641	641	635

Tabela 3.

\bar{D}	Q_k	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6
1,0	58 000	28 113	28 113	28 113	27 959	27 909	27 737
0,9	52 200	26 389	26 366	26 389	26 330	26 319	26 403
0,8	46 400	24 573	24 560	24 685	24 499	24 513	24 560
0,7	40 600	22 602	22 541	22 666	22 431	22 487	22 206
0,6	34 800	20 424	20 309	20 424	20 187	20 229	20 309
0,5	29 000	17 777	17 745	17 862	17 684	17 719	17 829
0,4	23 200	15 062	15 053	15 129	14 903	14 925	14 723
0,3	17 400	11 924	11 915	11 996	11 801	11 808	11 933
0,2	11 600	8 440	8 420	8 472	8 319	8 319	8 183

Tabela 2. donosi prikaz temperatura produkata sagorevanja na kraju ložišta, a tabela 3. količinu razmenjene toplote u ložištu, u funkciji opterećenja kotla za sledeće varijante načina regulisanja kotla, konstrukcionih rešenja cirkulacije vode kroz kotao i temperaturskih režima:

- 1) regulacija se vrši protokom vode kroz kotao; napojna voda se uvodi u ložište, a temperaturski režim je 130-90 °C; kolone t_{11} i Q_1 ;

- 2) regulacija se vrši temperaturom izlazne vode; napojna voda se uvodi u ložište, a temperaturski režim je 130-190 °C; kolone t_{12} i Q_2 ;
- 3) regulacija se vrši temperaturom ulazne vode; napojna voda se uvodi u ložište, a temperaturski režim je 130-190 °C; kolone t_{13} i Q_3 ;
- 4) regulacija se vrši protokom vode kroz kotao; napojna voda se uvodi u ložište, a temperaturski režim je 90-150 °C; kolone t_{14} i Q_4 ;
- 5) regulacija se vrši protokom vode kroz kotao; napojna voda se uvodi u zagrejač vode, a temperaturski režim je 130-190 °C; kolone t_{15} i Q_5 ;
- 6) regulacija se vrši protokom vode kroz kotao; napojna voda se uvodi u zagrejač vode, a temperaturski režim je 90-150 °C; kolone t_{16} i Q_6 ;

Analizom temperatura produkata sagorevanja na kraju ložišta (tabela 2) i razmenjene količine toplote u ložištu (tabela 3), dolazimo do zaključka da ova dva parametra ložišta praktično ne zavise od načina regulisanja, načina uvođenja vode u kotao (ložište ili zagrejač vode) i temperaturskih režima sa kojima kotao radi. To se objašnjava činjenicom da CKTI metoda proračuna ložišta zanemaruje temperaturu primaoca toplote u ložištu, a svi gore navedeni načini upravo deluju na primaoca toplote u ložištu. Kada bi se koristila metoda proračuna ložišta koja ne bi zanemarivala temperaturu primaoca toplote, tada bi razlike temperatura zida cevi ložišta, koje bi nastale zbog različitih načina regulisanja, različitih načina uvođenja vode u kotao i različitih režima rada, bile male u odnosu na razliku četvrtih stepena temperature produkata sagorevanja u ložištu i temperature zida cevi. Ovaj uticaj bi bio mali i praktično ne bi doveo do promene temperature na kraju ložišta i razmenjene količine toplote.

Način regulisanja vrelovodnog kotla, konstrukciona rešenja cirkulacije vode kroz kotao i temperaturski režimi rada vrelovodnog kotla imaju znatan uticaj na razmenjenu količinu toplote u konvektivnom delu vrelovodnog kotla. Ti faktori zajedno sa opterećenjem kotla utiču na stepen korisnosti kotla i pravilnim izborom gore navedenih faktora mogu se ostvariti značajna povećanja stepena korisnosti [5. i 6].

Zaključak

Prilikom dizajniranja i dimenzionisanja ložišta, ne sme se pustiti iz vida da karakteristike goriva, geometrijske karakteristike ložišta i položaj gorionika imaju veliki uticaj na toplotni proračun. U ovoj analizi se pošlo od dimenzionisanog vrelovodnog kotla i pravljeno su kontrolni proračuni ponašanja vrelovodnog kotla za tri načina regulacije kotla, dve varijante cirkulacije vode kroz kotao i dva temperaturska režima rada vrelovodnog kotla, pri čemu se za svaku kombinaciju gornjih faktora opterećenje kotla variralo od 20 do 100%. Primenom kontrolnih toplotnih proračuna kotla, kada su geometrija kotla i karakteristike goriva poznate i nepromenljive, kao u ovom slučaju, kada je korišćen vrelovodni kotao kapaciteta 58 MW, namenjen da koristi dve vrste goriva – zemni gas i mazut – može se zaključiti da opterećenje kotla ima najveći uticaj na rezultate toplotnog proračuna ložišta kada se kao gorivo koristi zemni gas.

Literatura

- [1] GULIĆ, Miloš: *U kom pravcu razvijati kotlove za rejonske toplane*, "Minel," br. 3, Beograd, 1972.
- [2] ĐURIĆ, Vojislav: *Parni kotlovi – posebna poglavlja*, Beograd, 1973.
- [3] SRNIĆ, Đorđe: *Analiza pouzdanosti sistema za proizvodnju vrele vode za potrebe grejanja pomoću stabla otkaza*, "Procesna tehnika" br. 1, Beograd, 1988.

- [4] BRKIĆ, Ljubiša i Živanović Titoslav: *Termički proračun parnih kotlova*, Beograd, 1981.
- [5] SRNIĆ, Đorđe: *Analiza stepena korisnosti vrelovnog kotla u funkciji temperaturske razlike izlazne i napojne vode*, Osmo savetovanje toplana Jugoslavije, Maribor, 1990.

- [6] SRNIĆ, Đorđe: *Possibility of increasing a hot water boiler efficiency*, The Second World Congress On Heating, Ventilating, Refrigerating and Air Conditioning - CLIMA 2000, Sarajevo, 1989.