

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/329907435>

# Condensation Technology Boilers

Conference Paper · December 2018

CITATIONS

0

READS

22

4 authors, including:



Dejan Ivezić

University of Belgrade

44 PUBLICATIONS 140 CITATIONS

SEE PROFILE



Marija Živković

University of Belgrade

34 PUBLICATIONS 70 CITATIONS

SEE PROFILE



Dejan Brkić

VŠB-Technical University of Ostrava

147 PUBLICATIONS 1,015 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Flow friction calculation - Colebrook equation [View project](#)



Bioenergy Villages (BioVill) – Increasing the Market Uptake of Sustainable Bioenergy [View project](#)

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

622.22/.26(082)  
622.6(082)  
621.86/.87(082)

**МЕЂУНАРОДНИ симпозијум Механизација и  
аутоматизација у рударству и енергетици (7 ;  
2006 ; Београд)**

Zbornik radova = Proceedings / VII  
međunarodni simpozijum Mehanizacija i  
automatizacija u rudarstvu i energetika -  
MAREN 2006 = VII International Symposium  
Mechanization and Automatization in Mining  
and Energetics, Beograd, septembar 2006. ; u  
organizaciji Smera za mehanizaciju u  
rudarstvu = organized by Department of  
Mining Mechanization Engineering ; [urednik  
Slobodan Ivković]. - Beograd :  
Rudarsko-geološki fakultet, 2006 (Beograd  
: Gorapress). - VIII, 425 str. : ilustr. ;  
24 cm

Radovi na srp. i engl. jeziku. - Na vrhu  
nasl. str.: Univerzitet u Beogradu, Rudarski  
odsek. - Tiraž 120. - Abstracts. -  
Bibliografija uz svaki rad.

ISBN 86-7352-175-0

1. Рударско-геолошки факултет (Београд).  
Смер за механизацију у рударству  
а) Рударске машине - Зборници б)  
Транспортна средства - Рудници - Зборници  
COBISS.SR-ID 134053388



VII MEĐUNARODNI SIMPOZIJUM  
MEHANIZACIJA I AUTOMATIZACIJA  
U RUDARSTVU I ENERGETIKA

**MAREN 2006**

Beograd, 27. i 28. septembar 2006.

**KOTLOVI KONDENZACIONE TEHNOLOGIJE**  
**CONDENSATION TECHNOLOGY BOILERS**

**Toma Tanasković, Dejan Ivezić, Marija Živković, Dejan Brkić**  
RUDARSKO-GEOLOŠKI FAKULTET, BEOGRADJUŠINA 7, tel. 3243-457, 3219-110, 3219-159

**Rezime:** *Kotlovi, bazirani na kondenzacionoj tehnologiji osvajaju tržište širom sveta, pa i kod nas. Najsavremenija tehnologija, ekološki aspekt, ekonomičnost, kao i široka paleta kotlova, različitih koncepcija i snaga su razlog za ovakav trend.*

**KLJUČNE REČI:** KONDENZACIONA TEHNOLOGIJA, KOTLOVI, GREJANJE.

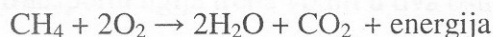
**Abstract:** *Boilers, based on the condensation technology are conquering the markets around the world as well as in our country. The most contemporary technology, ecologic aspect, cost-effectiveness as well as a wide spectrum of boilers with various concepts and strenghts are the main reason for this rising trend.*

**KEY WORD:** CONDESATION TECHNOLOGY, BOILERS, HEATING.

## 1. UVOD

Kondenzaciona tehnologija je efikasan metod konverzije prirodnog gasa i tečnih goriva u korisnu energiju putem sagorevanja. Dokle se kod niskoteperaturnih kotlova, kondenzovanje toplih gasova izbegava zbog vlaženja grejnih površina, kondenzaciona tehnologija radi na sasvim drugi način: kondenzovanje gasova je veoma poželjno i ono je potrebno da bi se izdvojila latentna energija sadržana u vodenoj pari, i dodatno senzibilna energija iz dimnih gasova, u upotrebljivu toplotu. Istovremeno zaostala toplota dimnih gasova je značajno smanjena i u poređenju sa niskotemperaturnim kotlovima. Putem reakcije sa kiseonikom ( $O_2$ ), komponentom iz vazduha, sagorevanjem tečnog goriva ili prirodnog gasa, koji primarno sadrže jedinjenja ugljenika (C) i vodonika (H), stvara se ugljendioksid ( $CO_2$ ) i voda ( $H_2O$ ).

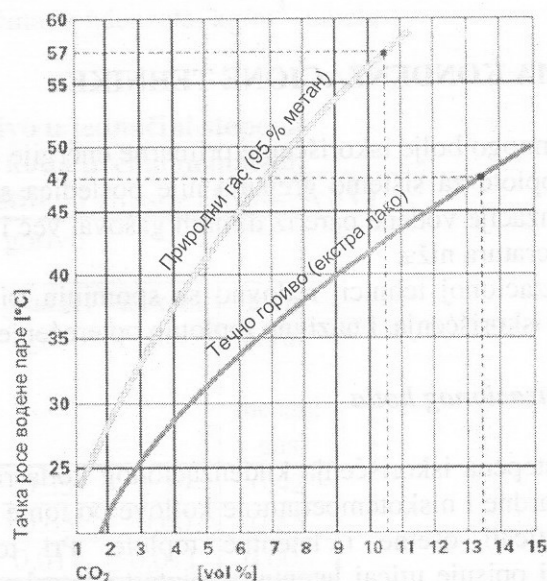
Za prirodni gas (metan  $CH_4$ ), primenjuje se sledeća uprošćena formula sagorevanja:



Kondenzat će se formirati od pare u produktima sagorevanja, ako temperatura zidova na strani toplih gasova padne ispod tačke temperature kondenzacije vodene pare.

Različit hemijski sastav prirodnog gasa i lož ulja rezultuje različitom temperaturom isparavanja vode pri kojoj kondenzuje vodena para gasova sagorevanja. Tačka rose vodene pare za prirodan gas iznosi aproksimativno 57 °C, za ekstra lako tečno gorivo aproksimativno 47 °C. (Sl.1). Teoretski energija se

uveća u odnosu na nisko-temperaturnu tehnologiju, za 11%. Za lož ulja primenom kondenzacione tehnologije teoretski se poveća za oko 6%.



Sl. 1. Tačka rose vodene pare u funkciji sadržaja CO<sub>2</sub> u produktima sagorevanja

### Donja i gornja toplotna moć

Donja toplotna moć ( $H_i$ ) se opisuje kao energija oslobođena tokom potpunog sagorevanja, i da se voda nastala u procesu izdvoji kao para.

Gornja toplotna moć ( $H_s$ ) određuje energiju oslobođenu tokom potpunog procesa uključujući toplotu isparavanja sadržanu u vodenoj pari toplih gasova. Tabela 1 obezbeđuje pregled karakteristika goriva, koje su relevantne za korišćenje kondenzacione tehnologije.

Tabela 1. Toplotne moći i teoretske količine kondenzata za nekoliko najvažnijih goriva

| dodaci          | gornja toplotna moć $H_g$<br>kWh/m <sup>3</sup> | dornja toplotna moć $H_d$<br>kWh/m <sup>3</sup> | $H_g / H_d$ | $H_g - H_d$<br>kWh/m <sup>3</sup> | teoretska količina kondenzata<br>$V_{k, teo}$ kg/m <sup>3</sup> (*) |
|-----------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| prirodni gas LL | 9,78                                            | 8,83                                            | 1,11        | 0,95                              | 1,53                                                                |
| prirodni gas E  | 11,46                                           | 10,35                                           | 1,11        | 1,11                              | 1,63                                                                |
| propan          | 28,02                                           | 25,8                                            | 1,09        | 2,22                              | 3,37                                                                |
| gradski gas     | 5,48                                            | 4,87                                            | 1,13        | 0,61                              | 0,89                                                                |
| lož ulje (**)   | 10,68                                           | 10,08                                           | 1,06        | 0,6                               | 0,88                                                                |

Napomena:

(\*) – vrednosti su određene u odnosu na količinu goriva

(\*\*) – vrednosti za lož ulje su date po litru.

U prošlosti, toplota isparavanja nije mogla biti iskorišćena, od relevantnih tehnologija koje to nisu omogućavale. Dakle, donja toplotna moć ( $H_i$ ) je korišćena kao referentna vrednost za sve kalkulacije efikasnosti. Uzimanjem  $H_i$  kao referentne vrednosti, a iskorišćenjem dodatno toplote

isparavanja, može prema tome dovesti da standardna efikasnost pređe 100%. Jer se smernice, za standardne efikasnosti u tehnologiji grejanja, i dalje u kontinuitetu odnose na donju toplotnu moć ( $H_i$ ).

## 2. TRI OSNOVNA POJMA KONDENZACIONE TEHNIKE

Efikasnost rada, odnosno mnogo bolje iskorišćenje primarne energije goriva kod kondenzacionih nego kod drugih izvora toplote za sisteme grejanja nije posledica samo mogućnosti dodatnog iskorišćenja toplote kondenzacije vodene pare iz dimnih gasova, već i smanjenih gubitaka putem dimnih gasova čija je temperatura niža.

Kada se govori o kondenzacionoj tehnici, redovno se spominju tri najvažnija pojma: stepen iskorišćenja, srednji stepen iskorišćenja, i nazivno toplotno opterećenje kotla.

### *Stepen iskorišćenja kondenzacionog kotla*

Jednačina za određivanja stepena iskorišćenja kondenzacionog kotla razlikuje se od one koja se uobičajeno koristi za standardne i niskotemperaturne kotlove po tome što se sastoji od dva člana kojima su obuhvaćeni uticaji osetne i latentne toplote. Pri tome se u latentnom ili kondenzacionom članu koji opisuje uticaj latentne toplote toplote kondenzacije vodene pare iz dimnih gasova uz uobičajene donju i gornju toplotnu moć goriva pojavljuje i dodatna varijabla - stepen kondenzacije  $\alpha$ . Ona predstavlja odnos stvarne i teorijski moguće količine kondenzata, pri čemu važi da je kotao efikasniji što je vrednost  $\alpha$  veća. Uz to što je temperatura dimnih gasova niža, to je količina kondenzata veća, pa je veći i stepen kondenzacije a time su gubici dimnih gasova manji.

Jednačina za određivanja stepena iskorišćenja kondenzacionih kotlova je:

$$\eta_{KK} = 1 - \frac{q_{DG} - q_{IZ}}{100} + \alpha \frac{H_g - H_d}{H_d}$$

pri čemu su:

$\eta_{KK}$  stepen korisnosti kondenzacionog kotla

$\frac{q_{DG} - q_{IZ}}{100}$  član koji se odnosi na osetnu toplotu

$\alpha \frac{H_g - H_d}{H_d}$  član koji se odnosi na latentnu toplotu

$q_{DG}$  gubici dimnim gasovima, %

$q_{IZ} = (t_{DG} - t_v) \left( \frac{A_1}{CO_2} + B \right)$  gubitak usled zračenja kotla u neposrednu okolinu %

$t_{DG}$  temperatura dimnih gasova, °C

$t_v$  temperatura vazduha, °C

A,B dodaci za gorivo-tabela 2

$CO_2$  učešće  $CO_2$  u dimnim gasovima (pokazatelj kvaliteta sagorevanja koji zavisi od konstrukcije plamenika), %

$H_g$  gornja toplotna moć goriva

$H_d$  donja toplotna moć goriva



$$\alpha = \frac{V_{Kmer}}{V_{Kteor}} \quad \text{stepen kondenzacije (zavisi od konstrukcije kotla i instalacije)}$$

$V_{Kmer}$  izmerena količina kondenzata, kg/m<sup>3</sup>  
 $V_{Kteor}$  teorijska količina kondenzata, kg/m<sup>3</sup> - tabela 1

**Tabela 2**

**Vrednosti dodataka za gorivo u jednačini stepena korisnosti kondenzacionog kotla prema nemačkoj Prvoj saveznoj uredbi o zaštiti od emisije (1. BlmSchV)**

| dodaci         | gorivo               |              |             |            |                           |
|----------------|----------------------|--------------|-------------|------------|---------------------------|
|                | ekstra lako lož ulje | prirodni gas | gradski gas | koksni gas | tečni naftni i mešani gas |
| A <sub>1</sub> | 0,5                  | 0,37         | 0,35        | 0,29       | 0,42                      |
| A <sub>2</sub> | 0,68                 | 0,66         | 0,63        | 0,60       | 0,83                      |
| B              | 0,007                | 0,009        | 0,011       | 0,011      | 0,008                     |

### **Srednji-normativni stepen iskorišćenja kondenzacionog kotla**

Za poređenje iskoristivosti energije u savremenim kotlovima za grejanje u DIN 4702-8 uveden je pojam Srednji (normativni) stepen iskorišćenja. *On je određen kao odnos korisne toplote koju predaje izvor toplote i količine toplote koja se dovodi sagorevanjem goriva (na osnovu donje toplotne moći goriva) u toku godine.* Istom normom utvrđen je postupak kojim se na ispitnim stanicama dobijaju uporedivi podaci.

Ukupno vreme sezone grejanja može se podeliti na pet razdoblja sa različitim vrednostima opterećenja postrojenja, pri čemu za svaku tu vrednost i vreme trajanja sledi približno jednaka površina na dijagramu (Slika 2). Prema DIN 4702-8, za pet tako određenih perioda i dva para temperatura (jedan za radijatorsko grejanje koje se zasniva na temperaturama 75/60°C, a drugi za podno grejanje koje se zasniva na razlici temperatura 40/30°C prema EN 677) u ispitnoj stanici određuju se stepeni iskorišćenja pri delimičnim opterećenjima, a zatim se srednji stepen iskorišćenja računa kao njihova srednja vrednost.

Prema DIN 4702-8, na raspolaganju je postupak ispitivanja s kojim se na osnovu standardnih programa ispitivanja, mere stepeni iskorišćenja kod delimičnog opterećenja, uz definisanje stepena opterećenja. Iz pet izmerenih delimičnih stepena iskorišćenja u tom slučaju izračunava se srednji stepen iskorišćenja. Time je na raspolaganju definitivna karakteristična veličina, kako bi se međusobno uporedilo energetske iskorišćenje kotlova različitih vrsta konstrukcije

### **Izračunavanje srednjeg stepena iskorišćenja**

Tabela 3 pokazuje na primeru kondenzacionog kotla Vitocrossal 300 kako se može izračunati, srednji stepen iskorišćenja krugova grejanja i temperatura grejnog fluida, predhodno zadatih u DIN 4702-8, i kod toga izmerenih srednjih stepena iskorišćenja pri delimičnom opterećenju.

**Tabela 3. Određivanje srednjeg stepena iskorišćenja na primeru gasnog kondenzacionog kotla Vitocrossal 300**

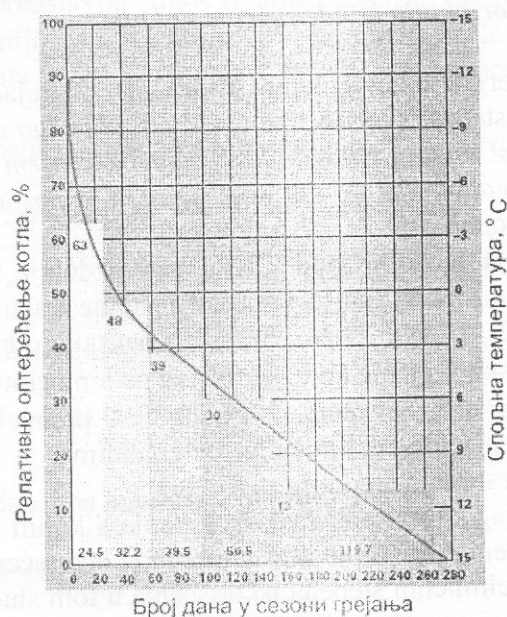
**Temperatura sistema grejanja 75 / 60 °C**

| Opterećenje<br>krugova<br>grejanja<br>$\varphi_{nk}$ [%] | Temperatura<br>grejnog<br>fluida<br>$t_{vl} / t_{rl}$ [°C] | Stepen<br>iskorišćenja<br>pri del.<br>opterećenju<br>$\eta_{\varphi,i}$ [%] | Računska<br>vrednost<br>$1 / \eta_{\varphi,i}$<br>[1 %] |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 13                                                       | 27 / 25                                                    | 109,5                                                                       | 0,009132                                                |
| 30                                                       | 37 / 32                                                    | 108,4                                                                       | 0,009225                                                |
| 39                                                       | 42 / 36                                                    | 107,2                                                                       | 0,009328                                                |
| 48                                                       | 46 / 39                                                    | 105,7                                                                       | 0,009461                                                |
| 63                                                       | 55 / 45                                                    | 103,0                                                                       | 0,009708                                                |

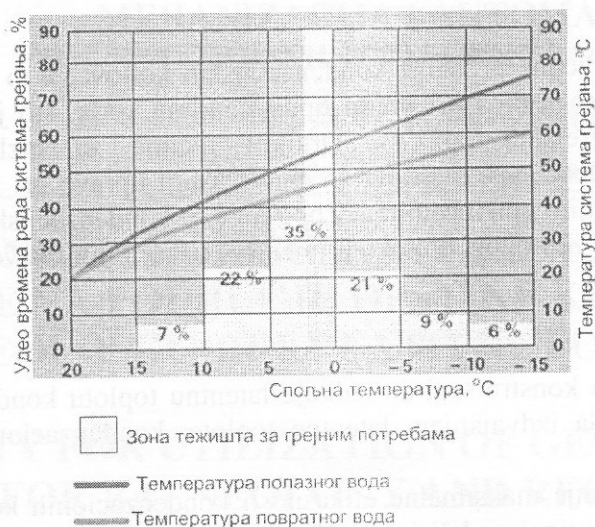
$$\Sigma = 0,046854$$

Srednji stepen iskorišćenja

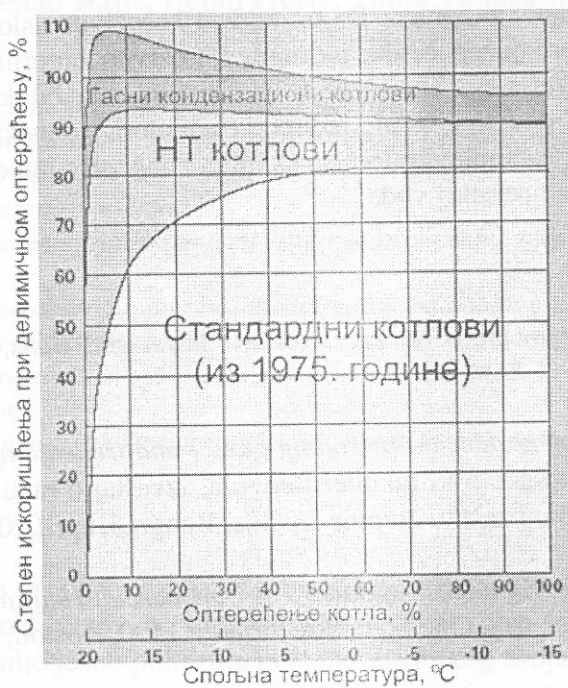
$$\eta_n = \frac{5}{\sum_{i=1}^5 (1/\eta_{\varphi,i})} = \frac{5}{0,046854} = 106,7\%$$



**Slika 2. Dijagram za određivanje srednjeg stepena iskorišćenja prema DIN 4702-8**



Slika 3. Dijagram rada kotla u zavisnosti od spoljne temperature (za sistem grejanja 75/60°C)



Slika 4. Dijagram zavisnosti stepena iskorišćenja od opterećenju kotla za tri različite vrste kotlova

### Nazivno toplotno opterećenje kotla

Kotao se dimenzioniše tako da se njegovim nazivnim toplotnim opterećenjem pri najnižim vrednostima spoljašnje temperature u celini mogu pokrivati toplotne potrebe. Ipak takve su vrednosti temperatura retke, pa kotao vrlo kratko u toku godine radi sa nazivnom snagom, dok su najveći deo grejne sezone potrebni mnogo manje snage. Kada se posmatra cela godina najveći deo potreba za toplotom je kada se temperaure kreću između 0 i +5°C (Slika 3). Iz toga sledi da je srednje opterećenje kotla za grejanje, posmatrajući celu godinu manje od 30%.



Iz tih činjenica sledi još jedna prednost kondenzacijskih kotlova, a to je mogućnost postizanja visokih stepena korisnosti upravo pri nižim opterećenjima kotla, što je slučaj koji prevladava najveći deo sezone grejanja (sl. 4). Drugim rečima za razliku od standardnih i niskotemperaturnih, kondenzacijski kotlovi su najefikasniji upravo pri najčešćem radu u sezoni grejanja, odnosno pri manjim opterećenjima. Zbog toga su kondenzacijski kotlovi popularniji, a u nekim zapadnoevropskim zemljama njihova primena će uskoro biti obavezna.

### 3. ZAKLJUČAK

Kondenzacioni kotlovi su konstruisani da izdvoje latentnu toplotu kondenzacije vodene pare iz produkata sagorevanja. Sa izdvajanjem latentne toplote, kondenzacioni kotlovi mogu postići visok stepen iskorišćenja.

Kritičan faktor za dostizanje maksimalne efikasnosti kondenzacionih kotlova jeste temperatura povratne vode, koja se u principu drži ispod 57 °C. Temperatura povratne vode određuje da li kotao radi u kondenzacionom režimu. Zbog potrebe da se izdviži što je više moguće latentne toplote i zbog visoke korozivnosti kondenzata iz produkata sagorevanja kondenzacioni kotlovi zahtevaju specijalne materijale za izradu. Da bi izdržali korozivne uslove kondenzacioni kotlovi moraju biti urađeni od nerđajućeg čelika i drugih korozivno otpornih (a samim tim skuljih) materijala. Oni zahtevaju prefinjeno upravljanje, i pažljivu instalaciju, kako bi se dostigle njihove potencijalne mogućnosti. I dodatno, ostale jedinice (radijatori, konvektori, spiralni izmenjivači) spojene u sistem sa kondenzacionim kotlom su skuplje, zbog veće izmenjivačke površine koja je potrebna za rad pri niskoj temperaturi vode.

### LITERATURA

[1] :*Condensing technology for improved economy and lower emissions*, Vessmann, [www.viessmann.com](http://www.viessmann.com)

[2] :*Istraživanje racionalnog korišćenja prirodnog gasa i unapređenje uređaja u domaćinstvima*, NPEE533-3B, Rudarsko-geološki fakultet Beograd, Izveštaj o radu na projektu – Elaborat I godine, Ministarstvo za nauku i zaštitu životne sredine, Beograd, april 2006.

[3] :*A Market Assessment for Condensing Boilers in Commercial Heating Applications*, Consortium for Energy Efficiency, One State Street, Suite 1400, Boston, MA 02109, [www.cee1.org](http://www.cee1.org), 2001