

DIMENSIONING THE BIOMASS-FURNACE GRATE OF INDUSTRIAL BOILERS ON WOOD BIOMASS

DIMENZIONIRANJE REŠETKE LOŽIŠTA INDUSTRIJSKIH KOTLOVA NA DRVNU BIOMASU

SERCER, Mario

Abstract: *The combustion chamber is one of the main components of wood biomass boilers, and its construction and size have a key role in the quality and level of fuel combustion. Fuel wood biomass whose calorific value and bulk density depends directly on moisture content, which certainly should be considered at dimensioning and construction of the furnace grate. This work presents all the relevant data required in the calculating of furnace heat capacity and clarifies the practical method used for dimensioning of traveling grate and the determination of its final shape depending on the moisture content of the used wood biomass.*

Key words: *wood biomass, renewable energy sources, grate duty, combustion chamber*

Sažetak: *Jedna je od osnovnih komponenti kotlova na drvnu biomasu jest ložište, a njegova konstrukcija i veličina imaju ključnu ulogu u kvaliteti i stupnju izgaranja goriva. Drvna biomasa gorivo je čija ogrjevna moć i nasipna gustoća direktno ovise o stupnju mokrine što svakako treba uzeti u obzir pri dimenzioniranju i konstrukciji rešetke ložišta. U ovom radu navedene su sve relevantne veličine potrebne za proračun opterećenja rešetke ložišta na drvnu biomasu te je prikazan u praksi korišten postupak dimenzioniranja pomične rešetke kao i određivanje njezinog konačnog oblika u ovisnosti o mokrini korištene drvne biomase.*

Ključne riječi: *drvna biomasa, obnovljivi izvori energije, opterećenje rešetke, ložište*



Author's data: Mario Šercer, dr. sc., Međimursko veleučilište u Čakovcu, Bana Josipa Jelačića 22a, Čakovec, mario.sercer@mev.hr

1. Uvod

Ukupna učinkovitost kotlova na drvenu biomasu ovisi o više čimbenika, a izgaranje ubačenog goriva čimbenik je kojem je potrebno posvetiti osobitu pozornost. Izgaranje drvene mase može biti potpuno i nepotpuno. Pri potpunom se izgaranju oslobađa najveća moguća količina energije sadržane u gorivu što pozitivno utječe na koeficijent iskoristivosti te samim time i na višu ukupnu učinkovitost. Najviši stupanj iskoristivosti goriva u ložištu postignut je kada dimni plinovi sadrže što je moguće viši sadržaj ugljičnog dioksida i što je moguće niži sadržaj kisika. Uzroci nepotpunog izgaranja različiti su, a do njega najčešće dolazi zbog nedovoljne količine kisika, tj. zraka (prenizak pretičak zraka), radi nedostatka vremena potrebnog za potpuno izgaranje ili pak gorivo s rešetke ložišta prijevremeno, s još djelomično ne izgorjelim ostatcima odlazi u sustav za odvođenje pepela što je posljedica previsokog opterećenja rešetke. Pravilnim oblikovanjem kao i dimenzioniranjem rešetke i ložišta ne samo da je omogućeno potpuno sagorijevanje goriva i izgaranje dimnih plinova već se na taj način produžuje i njegov radni vijek. U ovom radu pojašnjen je proračun opterećenja te konačno dimenzioniranje i oblikovanje pomične rešetke izdvojenih, vodno-hlađenih, izoliranih ložišta zasnovan na znanstvenim podlogama koje je u dugogodišnjoj praksi i na osnovu empirijski dobivenih vrijednosti njemački proizvođač postrojenja na drvenu biomasu „Bioflamm“ prilagodio određenom tipu rešetke izdvojenog ložišta.

2. Određivanje donje ogrjevne vrijednosti H_d drvene biomase

Donja ogrjevna vrijednost H_d predstavlja količinu topline koja se oslobađa pri potpunom izgaranju (oksidaciji) goriva bez uzimanja u obzir količine topline sadržane u vodenoj pari dimnih plinova, tj. količine topline koja se oslobodi kondenzacijom vodene pare iz dimnih plinova izgaranja [4]. Donju ogrjevnu vrijednost H_d moguće je odrediti na temelju kemijskog sastava, no uobičajeni način njezinog određivanja u praksi jest očitavanje s dijagrama u ovisnosti o sadržaju vlage, tj. (slika 1) ili iz odgovarajućih tablica. Valja napomenuti da se u praktičnoj primjeni kao jedinica ogrjevne vrijednosti drvene biomase uobičajeno koristi [kWh/kg] pri čemu formula za preračunavanje glasi:

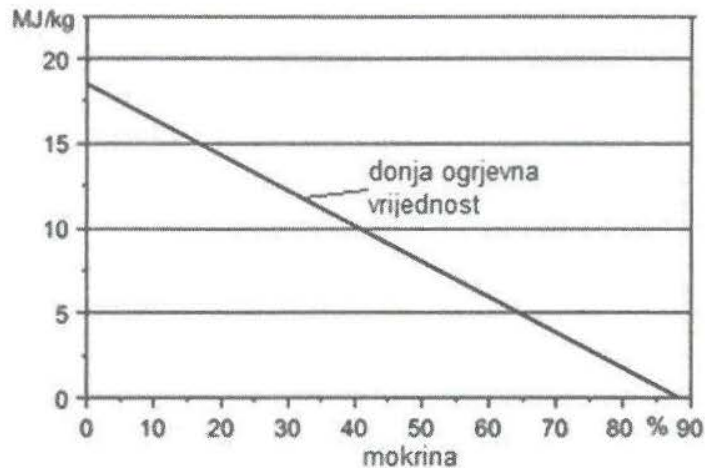
$$1 \text{ [kWh/kg]} = 3,6 \text{ [MJ/kg]} \quad (1)$$

Mokrina W predstavlja omjer mase vode m_v i ukupne mase mokrog drva m_{uk} kao zbroja mase suhog drva m_o i mase sadržane vode m_v što je prikazano formulom (2).

$$W = \frac{m_v}{m_{uk}} \times 100 \% = \left(1 - \frac{m_o}{m_{uk}}\right) \times 100 \% \quad (2)$$

Potrebno je napomenuti da tvrtka „Bioflamm“ s obzirom na mokrinu W razlikuje dvije vrste rešetki, odnosno izdvojenih ložišta, a to su ložišta za suha goriva, odnosno

za suhu sječku te ložišta za vlažna goriva, odnosno za vlažnu sječku. Suhim gorivom smatraju se goriva s mokrinom W od maksimalno 35 %, dok se vlažnim gorivima smatraju sva goriva s mokrinom W većom od 35 %. Mokrina W određuje se računski, sukladno formuli (2) na temelju mase prikupljenog uzoraka određene vaganjem prije (m_{uk}) i poslije isušivanja (m_o). Ovisnost donje ogrjevne vrijednosti H_d drva o mokrini W prikazana je na dijagramu 1.



Dijagram 1. – Ovisnost donje ogrjevne vrijednosti drva H_d o mokrini W

3. Izračun osnovnih parametara procesa izgaranja drvene biomase

Potrebna masa goriva po satu m_g [kg/h] računa se kao omjer ukupne potrebne snage P_{uk} [kW] i donje ogrjevne vrijednosti goriva H_d [MJ/kg] koja je određena ovisno o mokrini W kao što je prikazano u prethodnom poglavlju.

$$m_g = 3,6 \times \frac{P_{uk}}{H_d} \quad (3)$$

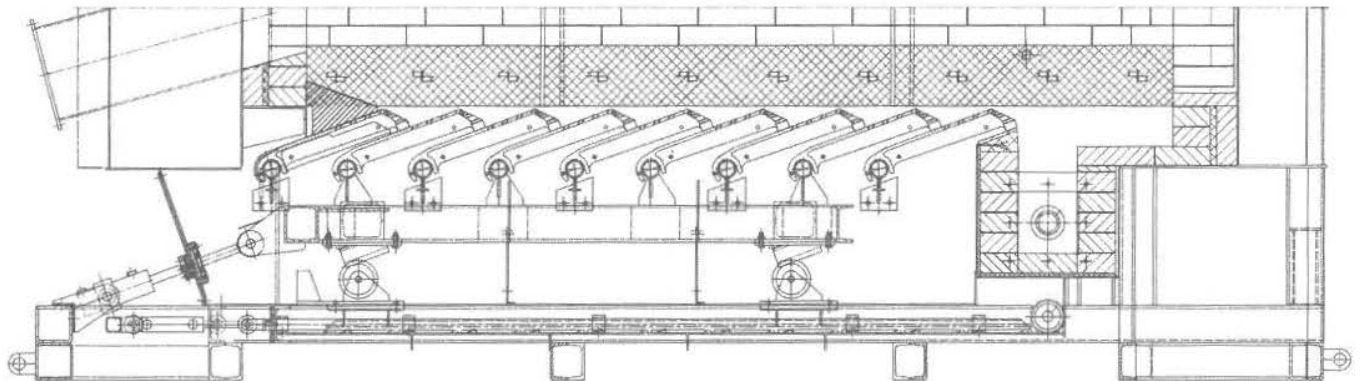
S obzirom na vrstu drveta i mokrinu potrebno je iz odgovarajućih tablica očitati nasipnu gustoću drvene sječke ρ_{nas} [kg/m³] za dotičnu mokrinu W . Potrebni protok goriva V_{gor} [m³/h] omjer je mase goriva po satu m_g i nasipne gustoće ρ_{nas} .

$$V_{gor} = \frac{m_g}{\rho_{nas}} \quad (4)$$

4. Dimenzioniranje rešetke

Mokrina W jedno je od najvažnijih svojstava biogenih goriva [1]. Tvrtka „Bioflam“ rešetku izdvojenih ložišta za određeno postrojenje određuje s obzirom na mokrinu W drvene biomase, odnosno sječke koja će se u dotičnom postrojenju koristiti. Ovdje je riječ o vodoravnoj rešetci s koso položenim člancima. Sva izdvojena ložišta navedenog proizvođača opremljena su ovim tipom rešetke, dok se integrirana ložišta osim vodoravnim, opremaju i stepenastim rešetkama, ovisno o vrsti korištene

biomase. Poprečni presjek jedne vodoravne rešetke s koso položenim člancima proizvođača „Bioflamm“, ugrađene u ložište ukupne snage 1 MW prikazan je na slici 1. Sa slike je vidljivo da se rešetka sastoji iz pokretnog i nepokretnog dijela. Svi članci položeni su pod kutom od 20° . Članci pokretnog dijela rešetke smješteni su na kolicima rešetke, dok su članci nepokretnog dijela rešetke smještene na fiksiranim nosačima te se naizmjenice izmjenjuju jedan red nepokretnih i pokretnih članaka. Na kraju rešetke nalazi se kanal za odvođenje pepela s vodno hlađenim pužem. Ispod rešetke smješten je pomični pod kojim se iz donjeg dijela ložišta odvodi sva nečistoća koja padne pod rešetku (sitni pepeo i sitni komadi sječke koja nije izgorjela na rešetci).

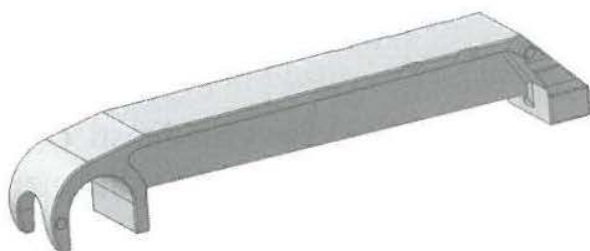


Slika 1. Poprečni presjek ložišta s vodoravnom rešetkom i koso položenim člancima

Osim mokrine W , važan čimbenik koji se prilikom odabira konačnog oblika rešetke uzima u obzir jest i čistoća goriva, odnosno količina različitih kemijskih tvari koje su možebitno sadržane u gorivu, kao što su na primjer razna veziva, ljepila, boje i slično koje se koriste u drvenoj industriji prilikom izrade raznih drvenih ploča i slično. Takva goriva prilikom sagorijevanja teže stvaranju šljake na rešetki koja uzrokuje probleme u transportu goriva po rešetki i odvođenju pepela u kanal za pepeo. Koso položeni članci naizmjenično pokretnih i fiksiranih redova rešetke prilikom transporta sječke istu ne samo što guraju, već dolazi i do preokretanja sječke po rešetci što daje bolje rezultate sagorijevanja od stepenaste rešetke s vodoravno položenim člancima. Osim toga, koso položeni članci vodoravne rešetke idealni su i za lomljenje sloja šljake koja puca i usitnjuje se uslijed rada rešetke. Mokrina W drvene sječke odnosno usitnjenog drvenog otpada koji sadrži razne kemijske primjese u pravilu je osjetno niža od 35 % te iznosi otprilike 15 - 20 %. Taj čimbenik dodatni je faktor u konačnom oblikovanju rešetke što će detaljnije biti pojašnjeno u narednim poglavljima. Orijeontaciona teorijska, širina rešetke B_{teor} [m] računa se prema formuli (5) na osnovu protoka goriva V_{gor} , brzine kretanja goriva na rešetki v_{gor} [m/s] i visine sloja goriva na rešetki h_{gor} [m].

$$B_{teor} = \frac{V_{gor}}{3600 \times v_{gor} \times h_{gor}} \quad (5)$$

Brzina kretanja goriva na rešetki v_{gor} [m/s] i visina sloja goriva na rešetki h_{gor} [m] iskustvene su vrijednosti koje predstavljaju know-how proizvođača. Određene su tako da je u obzir uzet prisilan način dobave primarnog zraka (pomoću ventilatora kojima se u pojedinim zonama ispod rešetke dovodi primarni zrak), vrste goriva koja se koristi (u ovom primjeru drvena sječka) te konstrukciji članaka rešetke pri čemu je vođeno računa da je otpor rešetke strujanju primarnog zraka za izgaranje bitno veći od otpora koji pruža sloj goriva na rešetci. Okvirna brzina strujanja zraka u otvorima za propuštanje zraka smještenima na bočnim površinama svakog članka mora se kretati u rasponu od 2 - 6 [m/s]. Na slici 2. prikazan je članak koji se koristi u konstrukciji vodoravne rešetke s koso položenim člancima, a slika 3. prikazuje unutrašnjost ložišta s vodoravnom rešetkom s koso položenim člancima i lučnim svodom.



Slika 2. Članak vodoravne rešetke s koso položenim člancima



Slika 3. Unutrašnjost ložišta s vodoravnom rešetkom s koso položenim člancima

Teorijska površina rešetke A_{teor} [m²] računa se po formuli (6) na osnovu potrebne mase goriva po satu m_g [kg/h], donje ogrjevne vrijednosti H_d [MJ/kg] i dopuštene vrijednosti opterećenja stepenaste rešetke O_{dop} [MJ/m²h]. Dopuštena vrijednost opterećenja pomične rešetke iznosi $O_{dop}=2.000$ [MJ/m²h] [6], [7].

$$A_{teor} = \frac{m_g \times H_d}{O_{dop}} \quad (6)$$

Orijentaciona, teorijska dužina rešetke L_{teor} [m] računa se po formuli (7) na osnovu teorijske površine rešetke A_{teor} [m²] i orijentacione teorijske širine rešetke B_{teor} [m].

$$L_{teor} = \frac{A_{teor}}{B_{teor}} \quad (7)$$

Nakon što su dobivene orijentacione teorijske vrijednosti dužine L_{teor} i širine B_{teor} rešetke te s obzirom na geometriju članaka koji se ugrađuju u stvarnu rešetku iterativnom metodom modifikacije orijentacionih teorijskih vrijednosti dužine i širine rešetke potrebno je odrediti stvarne dimenzije rešetke $L_{reš}$ i $B_{reš}$ vodeći računa o takozvanom stupanju vitkosti rešetke η koji se računa se po formuli (8) i predstavlja omjer konačne, stvarne dužine $L_{reš}$ i širine rešetke $B_{reš}$.

$$\eta = \frac{L_{reš}}{B_{reš}} \quad (8)$$

Preporučene vrijednosti stupnja vitkosti rešetke η iskustvene su vrijednosti proizvođača te se za goriva s mokrinom većom od 35% kreću u rasponu od 2,6 do 3,1, a za goriva s maksimalnom mokrinom do 35% u rasponu od 1,7 do 2,2. Navedene vrijednosti predstavljaju vrijednosti dobivene u praksi višestrukim mjerenjima relevantnih vrijednosti i predstavljaju nadopunu matematičkoj metodi proračuna. Pomoću određene stvarne dužine $L_{reš}$ [m] i stvarne širine $B_{reš}$ [m] rešetke, s ciljem konačne provjere opterećenja rešetke, prema formuli (9) računa se stvarna površina rešetke $A_{reš}$ [m²].

$$A_{reš} = L_{reš} \times B_{reš} \quad (9)$$

Na osnovu potrebne mase goriva po satu m_g [kg/h], donje ogrjevne vrijednosti H_d [MJ/kg] i stvarne površine rešetke $A_{reš}$ [m²] po formuli (10) računa se stvarno opterećenje rešetke $O_{reš}$ [MJ/m²h].

$$O_{reš} = \frac{m_g \times H_d}{A_{reš}} \quad (10)$$

Stvarno opterećenje rešetke $O_{reš}$ mora biti manje od preporučene vrijednosti $O_{dop} = 2.000$ [MJ/m²h]. U protivnom, potrebno je odgovarajuće prilagoditi stvarne dimenzije rešetke kako bi prethodno navedeni uvjet bio ispunjen.

5. Zaključak

Najbolje emisijske vrijednosti dimnih plinova kao i najviši stupanj iskoristivosti moguće je postići jedino kvalitetnim i potpunim izgaranjem. Više čimbenika ključno je za postizanje zadane snage i traženih emisijski vrijednosti, a ovaj rad prikazuje postupak proračuna odgovarajuće površine rešetke te određivanja oblika rešetke kao prvog i osnovnog uvjeta ne samo za postizanje zadanih graničnih vrijednosti već i za što duži radni vijek ložišta. Izračun površine rešetke temelji se na spoznajama tehničkih znanosti dok se konačni oblik same rešetke određuje sukladno eksperimentalno utvrđenim mjerenjima. Podaci koje je proizvođač prikupio višegodišnjim mjerenjima bilježeni su te je njihova analiza pokazala da ne samo pravilno dimenzionirana rešetka već i njezin oblik bitno utječu na ukupnu efikasnost kotlova na drvenu biomasu, ne samo što se tiče emisijskih vrijednosti već i povećanja toplinskog učina. U razmatranjima je navedeno da mokrina predstavlja jedno od najvažnijih svojstava biogenih goriva u koja se ubraja i drvena sječka te iz tog razloga proizvođač „Bioflamm“ konačni oblik rešetke određuje ne samo ovisno o opterećenju rešetke već i o mokrini goriva koje će na rešetci gorjeti. Vlažna goriva sagorijevaju na rešetkama koje su po svom obliku duže i uže od rešetki na kojima sagorijevaju suha goriva. Na taj je način vlažnoj sječci omogućeno duže zadržavanje na rešetki te time i dodatno vrijeme za isušivanje što rezultira boljim i potpunijim sagorijevanjem i u konačnici daje bolje emisijske vrijednosti. Potvrda navedenog najbolje je vidljiva u praksi kada nakon uporabe goriva sa sadržajem mokrine za koji rešetka nije prvobitno određena rezultati mjerenja pokazuju lošije emisijske vrijednosti dimnih plinova i pad učina kotla u nekim slučajevima i do 10%.

6. Popis oznaka

Oznaka	Jedinica	Opis
$A_{reš}$	m^2	Stvarna površina rešetke
A_{teor}	m^2	Teorijska površina rešetke
$B_{lož}$	m	Širina ložišta
$B_{reš}$	m	Stvarna širina rešetke
B_{teor}	m	Teorijska širina rešetke
h_{gor}	m	Visina sloja goriva na rešetki
H_d	MJ/kg	Donja ogrjevna vrijednost
L_{teor}	m	Teorijska dužina rešetke
m_g	kg/h	Potrebna masa goriva
m_o	kg	Masa suhog drveta
m_v	kg	Masa vode sadržane u drvetu
m_{uk}	kg	Ukupna masa uzorka goriva
η	-	Stupanj vitkosti rešetke
P_{uk}	kW	Ukupna snaga ložišta
O_{dop}	MJ/m ² h	Dopušteno opterećenje pomične rešetke
$O_{reš}$	MJ/m ² h	Stvarno opterećenje pomične rešetke
ρ_{nas}	[kg/m ³]	Nasipna gustoća goriva (drvene sječke)
W	%	Mokrina

7. Literatura

- [1] Böhm, Th., Hartmann, H., (2004). Wassergehalt von Holzbrennstoffen – Ein Vergleich der (Schnell-) Bestimmungsmethoden, *13. Symposium Energie aus Biomasse*, str. 252 - 258, OTTI, Kloster Banz
- [2] Dörnig, S. (2011). *Pellets als Energieträger, Technologie und Anwendung*, Springer-Verlag GmbH, ISBN 978-3-642-01624-0, Berlin
- [3] Francescato, V.; Antonini, E., (2012). Priručnik o gorivima iz drvene biomase, *Dostupno na:* http://www.regea.org/assets/files/objavilismo2012/D32_Biofuel_hanbook_REGEA.pdf, *Pristup:* 30-03-2018
- [4] Kaltschmitt, M., Hartmann, H., Hofbauer, H., (2016). *Energie aus Biomasse - Grundlagen, Techniken und Verfahren*, 3. izdanje, Springer-Verlag GmbH, ISBN 978-3-662-47437-2, Berlin
- [5] Labudović, B. (2012). *Osnove primjene biomase*, Energetika marketing, ISBN 978-953-6759-58-3, Zagreb
- [6] Mayr, F., (2009). *Kesselbetriebstechnik*, 12 izdanje, Verlag Dr. Ingo Resch GmbH, ISBN 978-3-930-03913-5, München
- [7] Nuber, F., Nuber, K., (1967). *Wärmetechnische Berechnung der feuerungs- und Dampfkesselanlagen*, ISBN 978-3-486-35685-4, Verlag R. Oldenbourg, München
- [8] Nussbaumer Th., (2000). Holzenergie, *Dostupno na:* <http://www.verenum.ch/Publikationen/Baudoc/1862601.pdf>, *Pristup:* 30-03-2018
- [9] Nussbaumer Th., (2014). *13. Holzenergie-Symposium: Entwicklung für Wärme, Kraft und Fernwärme aus Holz*, Verenum, ISBN 3-908705-25-8, Zürich