

Projekt ispitne stanice za štednjake na biomasu

Friščić, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2012

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:101466>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-30**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Ivan Friščić

Zagreb, 2012.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Doc.dr.sc. Damir Dović, dipl. ing.

Student:

Ivan Friščić

Zagreb, 2012.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svom mentoru doc.dr.sc. Damiru Doviću, na razumijevanju, podršci i korisnim savjetima prilikom izrade ovog rada.

Također se zahvaljujem Saši Senčar i Sandri Trbović-Senčar što su me ugodno primili i omogućili mi ispitivanje štednjaka u njihovoj tvrtki Senko d.o.o.

Zahvaljujem se i gospodinu Miroslavu Jelenić koji mi je izašao u susret u vezi mjerne opreme za ispitivanje štednjaka i analize rezultata.

Zahvala ide i kolegama na fakultetu i svima ostalima koji su mi na bilo koji način pomogli oko izrade ovog rada.

Također zahvaljujem svojim roditeljima i braći na razumijevanju i potpori tokom izrade ovog rada kao i tokom cijelog studija.

Najviše se zahvaljujem tebi, Karolina, na bezgraničnoj potpori, razumijevanju i korisnim savjetima tokom izrade ovog rada, kao i tokom cijelog mog školovanja.

Ivan Friščić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne i diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne
simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student:

Mat. br.:

Naslov:

Opis zadatka:

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Zadatak zadao:

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Mladen Andrassy

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK	VIII
1. UVOD	1
1.1. Biomasa - općenito	1
1.2. Drvna biomasa	3
1.2.1. Svojstva biomase	3
1.2.2. Energija iz biomase	5
1.2.3. Grijanje na biomasu	5
1.2.3.1. Toplovodni kotlovi	6
1.2.3.2. Peći, kamini i štednjaci	8
2. ISPITNA LINIJA	11
2.1. Zahtjevi	11
2.1.1. Materijali i konstrukcija	11
2.1.2. Sigurnost	12
2.1.3. Radne karakteristike	12
2.1.4. Upute i označavanje	13
2.2. Izvedba	15
2.2.1. Kut mjerenja	17
2.2.2. Mjerenje temperatura	18
2.2.3. Mjerna linija za analizu dimnih plinova	19
2.2.4. Hidraulički krug	21
3. ISPITIVANJE ŠTEDNJAKA NA BIOMASU	22
3.1. Općenito	22
3.2. Metode ispitivanja	23
3.2.1. Opis postupka	23
3.2.2. Ispitivanje nazivnog učinka	24
3.2.2.1. Zapaljenje i predispitni period	24
3.2.2.2. Ispitni period	25
3.2.3. Ispitivanje radnih karakteristika ploče za kuhanje	25
3.2.3.1. Predispitni period	26
3.2.3.2. Ispitni period	26
3.2.4. Ispitivanje radnih karakteristika pećnice	27
3.2.4.1. Recept za kolač	27
3.2.4.2. Zapaljenje i predispitni period	28
3.2.4.3. Ispitni period	28
3.2.5. Ispitivanje temperaturene sigurnosti	28
3.2.5.1. Zapaljenje i ispitni period	29

3.2.6. Ispitivanje sigurnosnog uređaja za pražnjenje sustava	29
3.2.6.1. Zapaljenje i predispitni period	29
3.2.6.2. Ispitni period	30
3.2.7. Ispitivanje police i vrata pećnice.....	30
3.2.7.1. Polica.....	30
3.2.7.2. Vrata.....	31
3.2.8. Tlačna proba.....	31
3.3. Objekt ispitivanja	33
3.4. Rezultati ispitivanja.....	36
4. TERMODINAMIČKI PRORAČUN.....	40
4.1. Ulazni podaci	40
4.2. Specifične topline produkata izgaranja	42
4.2.1. Specifični toplinski kapacitet suhih dimnih plinova pri standardnim uvjetima..	42
4.2.2. Specifični toplinski kapacitet vodene pare.....	42
4.3. Sadržaj CO pri 13 % O ₂	42
4.4. Određivanje CO ₂ max.....	43
4.5. Protok dimnih plinova.....	44
4.6. Toplinski gubici i efikasnost.....	44
4.6.1. Toplinski gubici osjetne topline u dimnim plinovima	44
4.6.2. Toplinski gubici zbog nepotpunog izgaranja	45
4.6.3. Toplinski gubici zbog neizgorenosti goriva.....	45
4.7. Ukupni učinak	46
4.8. Toplina predana vodi	46
4.9. Toplina predana prostoru	46
4.10. Ispitno izvješće.....	47
5. ZAKLJUČAK.....	49
PRILOZI.....	50
LITERATURA.....	51

POPIS SLIKA

Slika 1.	CO ₂ neutralnost biomase [3]	2
Slika 2.	Drvena biomasa [4]	3
Slika 3.	Ovisnost ogrjevnih vrijednosti o sadržaju vlage u gorivu [5]	4
Slika 4.	Sastav biomase [5]	5
Slika 5.	a) briketi, b) peleti [3]	5
Slika 6.	Proces izgaranja [5]	6
Slika 7.	a) kotao na pelete [6], b) kotao na cjepanice [7]	7
Slika 8.	Kotao za grijanje na drva postupkom pirolize [8]	8
Slika 9.	Peći i štednjaci za grijanje [9]	8
Slika 10.	Ljetni i zimski režim ložišta štednjaka [10]	9
Slika 11.	Vanjski izgled i dijelovi tipičnog štednjaka [11]	9
Slika 12.	Određivanje potrebnog podtlaka dimnjaka u ovisnosti u nazivnom učinku [12]..	13
Slika 13.	Ispitna linija bez hidrauličkog kruga	15
Slika 14.	Ispitna linija - vertikalna i horizontalna izvedba dimovodnog priključka [12]	16
Slika 15.	Kut mjerenja [12]	17
Slika 16.	Poprečni presjek konstrukcije kuta mjerenja [12]	17
Slika 17.	Smještaj termoparova u zid kuta mjerenja [12]	18
Slika 18.	Mjerna linija za analizu dimnih plinova [12]	19
Slika 19.	Konstrukcija mjerne sekcije za vertikalni i horizontalni izlaz na dimnjak [12]....	20
Slika 20.	Hidraulički krug ispitne linije	21
Slika 21.	Dimenzije posude za zakuhavanje [12]	26
Slika 22.	Ispitivanje vrata pećnice [12]	31
Slika 23.	Ispitna stanica tvrtke Senko d.o.o.	33
Slika 24.	Hidraulički krug ispitne stanice	34
Slika 25.	Izmjenjivač topline i vaga za gorivo	34
Slika 26.	Mjerenje temperature i sastava dimnih plinova	35
Slika 27.	Mjerenje temperatura na ispitnoj liniji	36
Slika 28.	Sustav za obradu podataka	36
Slika 29.	Prikaz mjerenih temperatura	37
Slika 30.	Prikaz temperature polaza i povrata te protoka vode	38
Slika 31.	Prikaz efikasnosti štednjaka i faktora pretička zraka	38
Slika 32.	Ovisnost sadržaja CO o temperaturi dimnih plinova	39

POPIS TABLICA

Tablica 1. Minimalni interval između dva loženja [12]	13
Tablica 2. Primjer predloška za ocjenu sukladnosti proizvoda [12]	14
Tablica 3. Mjerna nesigurnost [12]	18
Tablica 4. Primjer mjernog protokola	32
Tablica 5. Ulazni podaci za termodinamički proračun.....	40
Tablica 6. Rezultati termodinamičkog proračuna	47
Tablica 7. Ispitno izvješće	47

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

BROJ CRTEŽA Naziv iz sastavnice

POPIS OZNAKA

Latinične oznake

Oznaka	Jedinica	Opis
A	mol O_2 /mol G	stehiometrijska količina kisika
B	kg	masa goriva
b	%	gorivi sastojci u pepelu
C	%	volumni udio ugljika u gorivu
CO	%	sadržaj CO u suhim dimnim plinovima pri 13% O_2
CO_{avg}	ppm	prosječni sadržaj CO u suhim dimnim plinovima
CO_2	%	prosječni sadržaj CO_2 u suhim dimnim plinovima
CO_{2max}	%	maksimalni sadržaj CO_2 u suhim dimnim plinovima
C_p	kJ/(kg·K)	specifični toplinski kapacitet vode
C_r	%	sadržaj ugljika u pepelu
C_{pmd}	kJ/(K·m ³)	specifični toplinski kapacitet suhih dimnih plinova
C_{pmH_2O}	kJ/(K·m ³)	specifični toplinski kapacitet vodene pare
c	kg/kg	maseni udio ugljika u gorivu
H	%	volumni udio vodika u gorivu
h	kg/kg	masni udio vodika u gorivu
H_u	kJ/kg	donja ogrjevna vrijednost goriva
M_w	kg/h	maseni protok vode
m	g/s	maseni protok dimnih plinova
m_h	-	molarni udio vodika u gorivu
m_o	-	molarni udio kisika u gorivu
m_s	-	molarni udio sumpora u gorivu
N	K	prosječni porast temperature vode
O_{2avg}	%	prosječni sadržaj O_2 u suhim dimnim plinovima
$O_{2standard}$	%	normom propisan sadržaj O_2 u suhim dimnim plinovima
o	kg/kg	maseni udio kisika u gorivu
P	kW	ukupni učinak
P_{SH}	kW	toplina predana prostoru
P_w	kW	toplina predana vodi
Q_a	kJ/kg	toplinski gubici osjetne topline dimnih plinova
Q_b	kJ/kg	toplinski gubici zbog nepotpunog izgaranja
Q_r	kJ/kg	toplinski gubici zbog neizgorenosti goriva
q_a	%	toplinski gubici osjetne topline dimnih plinova u odnosu na ogrjevnju vrijednost ispitnog goriva

q_b	%	toplinski gubici zbog nepotpunog izgaranja u odnosu na ogrjevnu vrijednost ispitnog goriva
q_r	%	toplinski gubici zbog neizgorenosti goriva u odnosu na ogrjevnu vrijednost ispitnog goriva
R	%	sadržaj pepela u gorivu
s	kg/kg	maseni udio sumpora u gorivu
t_a	°C	srednja temperatura dimnih plinova
t_b	h	minimalni interval između dva loženja
t_r	°C	srednja temperatura ispitne prostorije
V_w	m ³ /h	volumni protok vode
W	%	sadržaj vlage u gorivu

Grčke oznake

Oznaka	Jedinica	Opis
η	%	efikasnost uređaja
λ	-	faktor pretička zraka
ρ_w	kg/m ³	gustoća vode
θ_{ok}	°C	temperatura okoline
θ_{pep}	°C	temperatura kutije za pepeo
$\theta_{peć}$	°C	temperatura pećnice
θ_{sg}	°C	temperatura spremnika za gorivo
θ_{vw}	°C	temperatura vodovodne vode
θ_{wpol}	°C	temperatura izlazne vode iz štednjaka
θ_{wpov}	°C	temperatura ulazne vode u štednjak

SAŽETAK

U ovom radu izrađen je projekt ispitne stanice za ispitivanje toplinskih karakteristika štednjaka na biomasu prema normi HRN EN 12815. Mjerna staza omogućuje ispitivanje štednjaka sa i bez spremnika za pripremu potrošne tople vode i/ili centralno grijanje, u rasponu nazivnih toplinskih učinaka 5-40 kW. Opisani su zahtjevi koje postavlja navedena norma i izvedba same ispitne linije. Postoje nekoliko metoda ispitivanja štednjaka koje su u ovom radu detaljno opisane, a samo neke se izvode za ovaj tip štednjaka. Projekt sadrži odgovarajuće crteže mjerne staze i njen smještaj u ispitnu prostoriju. Također, napravljen je predložak mjernog protokola te predložak ispitnog izvješća. Mjerna linija sastoji se od štednjaka koji mora biti montiran u skladu s uputama proizvođača na kut mjerenja. Sve zajedno se postavlja na vagu koja omogućuje praćenje potrošnje goriva. Mjerna linija se također sastoji od mjerne sekcije za analizu dimnih plinova koja omogućuje mjerenje temperature dimnih plinova, određivanje sastava dimnih plinova te mjerenje statičkog tlaka. Ako je sustavom predviđeno i grijanje PTV-a, sve zajedno mora još biti povezano na hidraulički krug. U mjernoj stanici tvrtke Senko d.o.o provedeno je ispitivanje nazivnog učinka. Odabrani štednjak ima nazivni toplinski učinak od 35 kW, a kao gorivo se koriste drveni briketi sadržaja vlage od 10 %. Koristeći podatke s mjerenja, proveden je termodinamički proračun za obradu izmjerenih veličina i izrađeno ispitno izvješće.

1. UVOD

Centralni sustavi grijanja na kruta goriva jedan su od najstarijih oblika grijanja. Zahvaljujući sve većem porastu cijena osnovnih fosilnih energenata, sve većoj potrebi za ekološkim oblicima grijanja, ali i sve kvalitetnijim tehničkim rješenjima sustava, ovaj oblik grijanja ponovno zauzima visoko mjesto na ljestvici prioriteta rješenja grijanja. [1]

Za grijanje na kruta goriva u osnovi se smatralo da ima samo jedan veći nedostatak - premali stupanj komfora. Stalna ljudska prisutnost zbog čestog punjenja kotla, potreba razmjerno velikog prostora za skladištenje goriva, loša regulacija, mnogima je bio kamen spoticanja kod donošenja odluke o ovom načinu grijanja. [1]

Razvojem suvremene tehnike grijanja stvari su se u mnogočemu promijenile. Suvremene konstrukcije kotlova doprinijele su većim uštedama na gorivu, kvalitetnoj regulaciji, ali i potpunoj automatiziranosti sustava (kotlovi na pirolizu, grijanje na pelete/brikete, isl.).[1] Danas praktički nema tehničkih prepreka koje bi sputavale rast uporabe drveta, posebice kad se znaju prednosti koje ona nosi. Stvaranje pozitivnog okruženja za uporabu drvne biomase nosi sa sobom održivo rješenje za buduće energetske potrebe. [2]

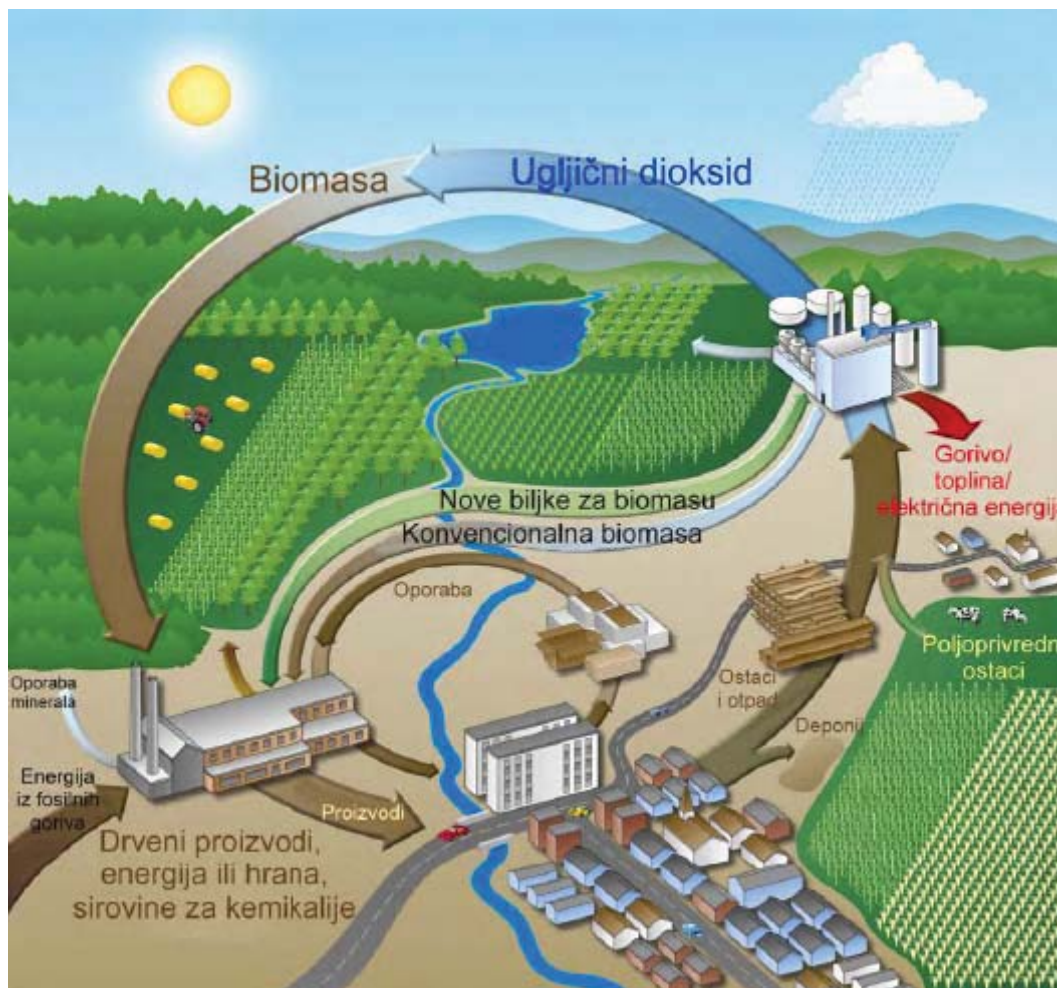
1.1. Biomasa - općenito

Biomasa je obnovljivi izvor energije, a općenito se može podijeliti na drvnu, nedrvnu i životinjski otpad, unutar čega se mogu razlikovati [3] :

- drvena biomasa (ostaci iz šumarstva, otpadno drvo),
- drvena uzgojena biomasa (brzorastuće drveće),
- nedrvna uzgojena biomasa (brzorastuće alge i trave),
- ostaci i otpadci iz poljoprivrede,
- životinjski otpad i ostaci,
- gradski i industrijski otpad.

Glavna prednost u korištenju biomase kao izvora energije su obilni potencijali. Plinovi koji nastaju korištenjem biomase mogu se također iskoristiti u proizvodnji energije. Prednost biomase u odnosu na fosilna goriva je i neusporedivo manja emisija štetnih (stakleničkih) plinova i otpadnih tvari. Računa se da je opterećenje atmosfere s CO_2 pri korištenju biomase

kao goriva zanemarivo, budući da je količina emitiranog CO_2 prilikom izgaranja jednaka količini apsorbiranog CO_2 tijekom rasta biljke (slika 1.) - ukoliko su sječa i prirast drvene mase u održivom odnosu. [3]



Slika 1. CO_2 neutralnost biomase [3]

Kao sekundarni oblik biomasa može biti u krutom, kapljevitom ili plinovitom agregatnom stanju. Sekundarni oblici se dobiju različitim biokemijskim pretvorbama. Najčešći oblici su [4] :

- kruto (briketi i peleti - nastaju zgušnjavanjem tj. smanjenjem udjela vlage, radi transporta i automatizacije loženja),
- kapljevito (biogoriva: biodizel - esterifikacijom biljnih ulja, etanol - hidrolizom škroba i fermentacijom),
- plinovito agregatno stanje (bioplina od izmeta životinja, deponijski plin - anaerobnom digestijom, ksiloplin - rasplinjavanjem krute biomase).

1.2. Drvna biomasa

Razlikujemo drvnu biomasu namijenjenu isključivo za loženje i drvnu biomasu koja predstavlja tehnološki otpad, a može se koristiti kao gorivo (okorci, otpadci, piljevina, blanjevina, isl.). Indikativan je podatak da 35 do 40 % drvne mase stabla namijenjenog za daljnju preradu ostaje kao otpad. Za neke specifične proizvode (parketi) ta se količina penje do 65 %. Sav taj otpadni materijal veliki je energetske potencijal. [2]



Slika 2. Drvna biomasa [4]

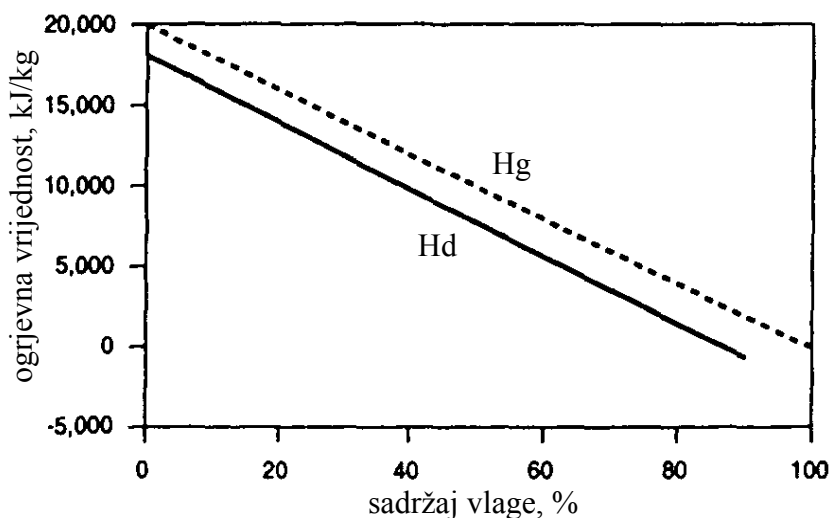
1.2.1. Svojstva biomase

Svaka vrsta biomase ima svojstva koja definiraju način njezine uporabe kao goriva, posebno njezino ponašanje u ložištu kako za izgaranje tako i za rasplinjavanje. Najvažnija svojstva su [5]:

- sadržaj vlage,
⇒ predstavlja količinu vode u drvnj biomasu izraženu u % njezine mase. Može biti svedena na vlažno stanje, suho stanje ili suho stanje bez pepela. Biomasa ima širok raspon sadržaja vlage - od 10 % do čak 70 %.
- sadržaj pepela,
⇒ pepeo sadrži anorganske tvari (minerale) i izražava se kao i vlaga, a najčešće je sveden na suhu biomasu. U drvnj biomasu ga ima < 0,5 %. Kemijski sastav pepela i njegova količina u biomasu važni su za konstrukciju ložišta (mogućnost pojave taljenja pepela).
- sadržaj hlapivih sastojaka,

⇒ kad se biomasa zagrijava na temperaturu od 400 do 500°C, raspada se na hlapive tvari i drveni ugljen. U usporedbi s klasičnim ugljenom koji ima svega do 20 % hlapivih tvari, u biomasi ih ima do 80 %. To stvara probleme kod izgaranja te regulacije izgaranja u uređajima gdje izgara biomasa.

- kemijski sastav,
⇒ sastav biomase bez pepela manje-više je konstantan. Osnovne komponente su ugljik (C), kisik (O), vodik (H), mala količina dušika (N) i vrlo malo sumpora (S).
- ogrjevna vrijednost,
⇒ govori o tome koliko je kemijske energije vezano u gorivu svedeno na standardno stanje okoline. Razlikujemo donju ogrjevnu vrijednost H_d (LHV¹) i gornju ogrjevnu vrijednost H_g (HHV²). Na Slici 3. prikazan je odnos ogrjevnih vrijednosti kao funkcija sadržaja vlage u gorivu. Da bi uopće mogli zapaliti biomasu i iz nje dobiti korisnu energiju sadržaj vlage sveden na vlažno stanje mora biti < 55 %.



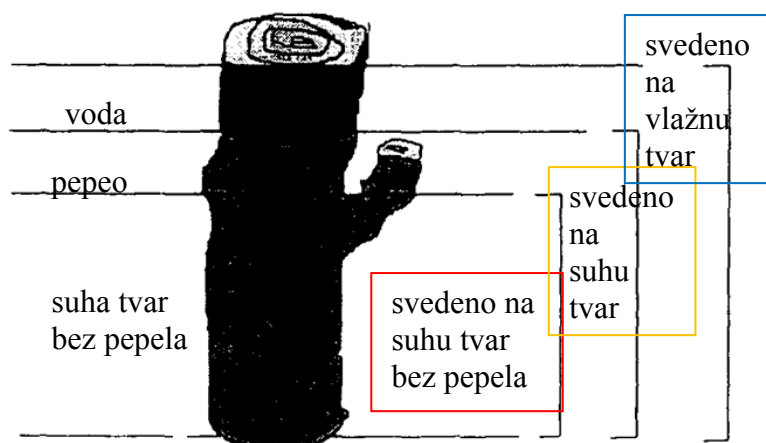
Slika 3. Ovisnost ogrjevnih vrijednosti o sadržaju vlage u gorivu [5]

- gustoća.
⇒ za drvenu biomasu iznosi 600 - 900 kg/m³.

Prilikom definiranja svojstava biomase važno je napomenuti da li su ona svedena na biomasu uključujući sadržaj vlage, sadržaj pepela ili ne. [5]

¹ Lower heating value, u J/kg

² Higher heating value, u J/kg



Slika 4. Sastav biomase [5]

1.2.2. Energija iz biomase

Postoje razni načini da se iz drvene biomase dobije energija. Upotrebljava se isključivo šumska biomasa (ostaci i otpad nastali redovitim gospodarenjem šumama, prostorno i ogrjevno drvo) i biomasa iz drvene industrije (ostaci i otpad pri piljenju, brušenju, blanjanju, briketi i peleti). [3]



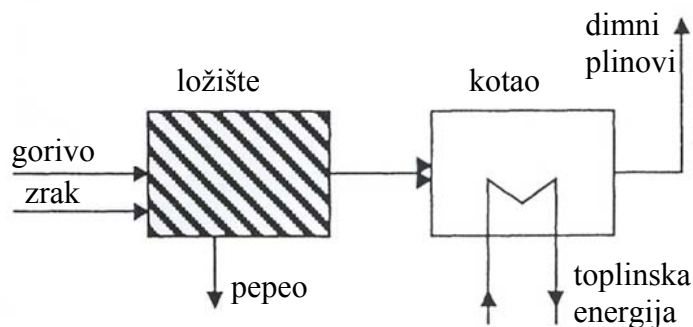
Slika 5. a) briketi, b) peleti [3]

Biomasa se može izravno pretvarati u energiju jednostavnim izgaranjem (Slika 6.) te se tako proizvodi energija za grijanje u industriji i kućanstvima ili za dobivanje električne energije u malim termoelekttranama. [3]

1.2.3. Grijanje na biomasu

Danas postoji niz uređaja i nekoliko načina pretvorbe energije sadržane u drvnoj biomasu u toplinsku energiju [2] :

- izgaranje u kotlovima,
- izgaranje u pećima u kaminima,
- rasplinjavanje i izgaranje,
- dobivanje kapljevito goriva, plina i topline pirolizom.



Slika 6. Proces izgaranja [5]

U procesu izgaranja koji se odvija u ložištu kemijska energija goriva se pretvara u toplinsku. Ložište može biti izvedeno kao klasično s rešetkom ili kao fluidizirano. U ovom procesu razlikujemo 3 faze [5] :

- sušenje - uključuje isparivanje vlage (do 150°C),
- izgaranje hlapivih sastojaka (do 500°C),
- izgaranje drvenog ugljena (do 1500°C).

Direktno izgaranje biomase je kompleksan proces, s relativno slabom iskoristivosti. Sadržaj vlage u sirovom gorivu je visok pa se isparavanjem vlage troši dosta energije. Visok je i sadržaj hlapivih spojeva i on predstavlja tri četvrtine potencijala, a ostatak je drveni ugljen. Adekvatna konstrukcija peći ili kotla mora osigurati da se hlapivi sastojci dobro iskoriste kako bi se postigla dobra efikasnost procesa. [5]

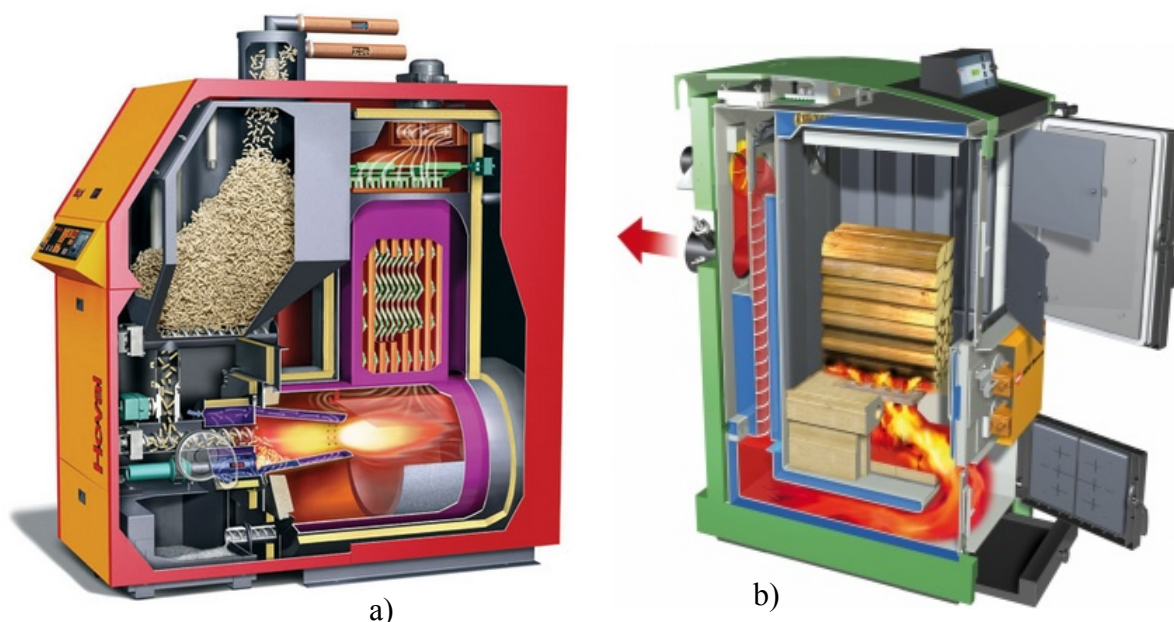
1.2.3.1. Toplovodni kotlovi

Kod klasičnih toplovodnih kotlova na biomasu ložište se sastoji od prostora za izgaranje i nepomične rešetke. Primarni zrak pretežno namijenjen za izgaranje drvenog ugljena dovodi se ispod rešetke, dok se sekundarni zrak potreban za izgaranje hlapivih sastojaka dovodi iznad rešetke. Tipične temperature izgaranja na nepomičnoj rešetci su od 850 do 1400°C. Pepeo se može odstranjivati ručno ili automatski. U usporedbi s ložištem na fosilno gorivo, biomasa traži veće volumene ložišta zbog velike količine hlapivih sastojaka. Također ložišta na

biomasu traže veće odnose primarnog i sekundarnog zraka u odnosu na kruto fosilno gorivo, ugljen. [5]

Kod fluidiziranog ložišta temperatura izgranja kreće se od 750 do 950°C. Prednosti izgaranja u fluidiziranom sloju su [5]:

- prilagodljivost veličini i obliku biomase,
- rad s visokom vlažnosti biomase i do 60 %,
- prihvatljivost biomase s visokim sadržajem pepela do 50 %,
- kompaktnost konstrukcije i dobro miješanje goriva i zraka,
- nizak pretičak zraka, a time i mali gubici s dimnim plinovima.



Slika 7. a) kotao na pelete [6], b) kotao na cjepanice [7]

Na sljedećoj slici prikazan je pirolitički toplovodni kotao Vitoligno 100-S za grijanje na drva proizvođača Viessmann. Njegova velika komora za punjenje drvima garantira dugotrajno izgaranje i duge intervale nadopunjavanja. S prednje strane kroz velika vrata kotao se jednostavno puni drvima. U ložištu se drvo zbog oduzimanja kisika ražari. Nastali se plinovi pomoću usisnog ventilatora usisavaju u komoru za izgaranje od silicij karbida i tamo se dodavanjem sekundarnog zraka spaljuju na visokoj temperaturi. Niska temperatura dimnih plinova održava se uz pomoć velikih grijaćih površina uz koje protječe voda. Kotao je izrađen od čelika i namijenjen je za cjepanice do 50 cm. [8]



Slika 8. Kotao za grijanje na drva postupkom pirolize [8]

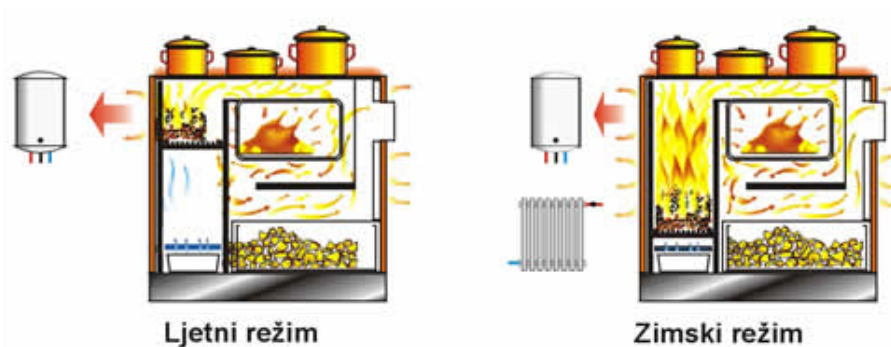
1.2.3.2. Peći, kamini i štednjaci

Ovi izvori topline su najjednostavnije i najmanje konstrukcije, a predviđeni su uglavnom za etažno grijanje stanova. Loženje je na kruta goriva, a posebno su prikladni za manje prostore jer služe centralnom grijanju i kuhanju. Osim toga omogućuju i najjeftiniju instalaciju centralnog grijanja, jer se obično u prostoriji gdje je ovakav izvor topline ne postavljaju ogrjevna tijela. [9]



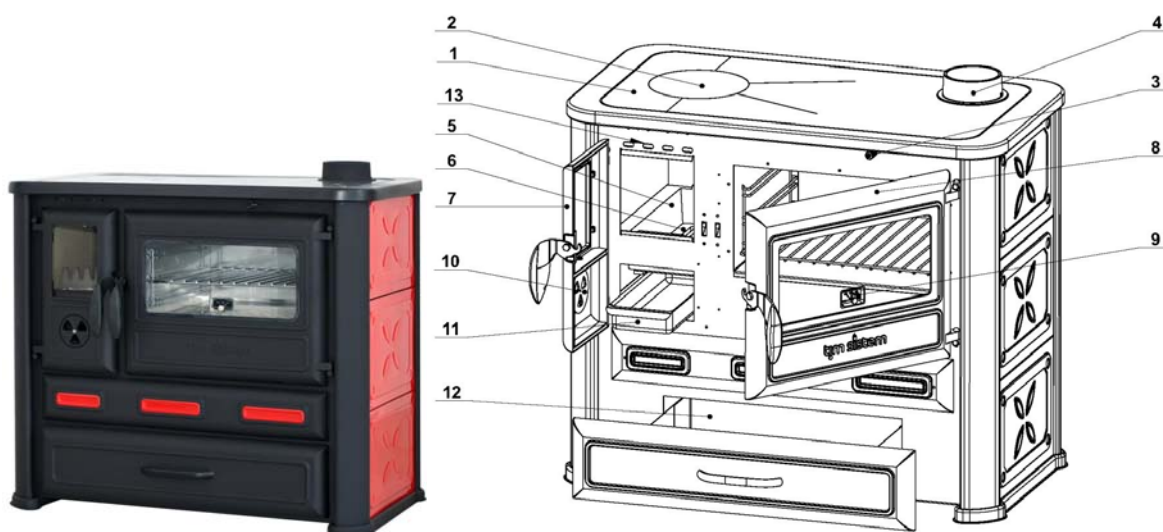
Slika 9. Peći i štednjaci za grijanje [9]

Plast peći i pećnica izrađuju se od nehrđajućeg čelika otpornog na povišene temperature. Ložište može biti izvedeno za ljetnu i za zimsku varijantu grijanja kako bi se dobili maksimalni radni učinci. Ljetni režim omogućuje kuhanje, pečenje i grijanje PTV-a dok zimski režim omogućuje sve to isto uz još dodatnu mogućnost centralnog grijanja.



Slika 10. Ljetni i zimski režim ložišta štednjaka [10]

Vanjski izgled i dijelovi tipičnog štednjaka na kruta goriva proizvođača Tim Sistem prikazani su na sljedećoj slici.



Slika 11. Vanjski izgled i dijelovi tipičnog štednjaka [11]

- 1 - ploča za kuhanje
- 2 - poklopac
- 3 - regulator grijanja pećnice
- 4 - priključak za dimovodnu cijev
- 5 - nosač rešetke
- 6 - rešetka

- 7 - vrata ložišta
- 8 - vrata pećnice
- 9 - termometar
- 10 - ručni regulator primarnog zraka
- 11 - kutija za pepeo (pepeljara)
- 12 - kutija za gorivo
- 13 - ulaz sekundarnog zraka

Osnovni dijelovi štednjaka su izrađeni iz nehrđajućeg čeličnog lima te odljevaka od kvalitetnog sivog lijeva. Štednjaci se izrađuju u lijevoj i desnoj izvedbi dimnog priključka (4). Namjena štednjaka je za kuhanje, pečenje i grijanje prostora. Loženje je na drva (cjepanice) ili drvene brikete. Štednjak je prema vanjskim površinama izoliran šamotnim pločama debljine 20 mm. Termometar (9) pokazuje temperaturu u pećnici, ona je informativna. Podešavanje protoka primarnog zraka povećava se povećanjem otvora okretanjem ručnog regulatora (10) prema oznaci na štednjaku. Regulacija sekundarnog zraka je automatska kroz rupe (13) koje se nalaze u šamotnim pločama u ložištu.

2. ISPITNA LINIJA

Ispitna linija za ispitivanje toplinskih karakteristika štednjaka na biomasu bit će izvedena prema normi HRN EN 12815. Ova norma utvrđuje zahtjeve za projektiranje, proizvodnju, izradu, sigurnost i učinkovitost, upute i označavanje te ocjenu sukladnosti zajedno sa pripadajućim postupcima ispitivanja i ispitnim gorivima za ispitivanje štednjaka na kruta goriva za domaćinstva.

Norma obuhvaća ručno ložene štednjake čija je osnovna funkcija kuhanje, a sekundarna funkcija je grijanje prostora u kojem je štednjak smješten. Dodatno, ako je štednjak opremljen spremnikom za PTV, on osigurava pripremu PTV-a i/ili centralno grijanje. Ovakvi uređaji mogu biti loženi: krutim mineralnim gorivima³, drvenim briketima i cjepanicama.

2.1. Zahtjevi

2.1.1. Materijali i konstrukcija

Štednjaci izrađeni od nelegiranog čelika moraju imati minimalnu debljinu stijenke od 4 mm - za površine na strani vode koje su u kontaktu sa produktima izgaranja, dok ostale površine moraju imati minimalnu debljinu stijenke od 3 mm. Štednjaci od lijevanog željeza moraju imati minimalnu debljinu stijenke od 5 mm (zahtjevi za svojstva materijala za izradu dani su u Tablici 2. Norme).

Sustavi sa spremnicima PTV-a i direktnim grijanjem vode moraju imati minimalni unutarnji promjer cijevi od 25 mm, dok kod sustava sa indirektnim grijanjem tople vode unutarnja dimenzija cijevi ne smije biti manja od 20 mm.

Minimalni kapacitet pepeljare ne smije biti manji od 0,75 dm^3 po kW nazivnog učinka za uređaje bez spremnika za PTV, odnosno 0,3 dm^3 po kW nazivnog učinka za uređaje sa uključenim spremnikom PTV-a. Vrata ložišta moraju se moći otvoriti pod kutom većim od 90°. Isto vrijedi i za vrata pećnice. Ručni regulator primarnog zraka, kod uređaja sa spremnikom PTV-a dopušta se samo kod uređaja učinka do 7,5 kW.

³ Ugljen, lignit, koks isl.

Spojni naglavak štednjaka na kojega dolazi dimnjak mora biti izveden tako da onemogućava propuštanje dimnih plinova između priključka na dimnjak i štednjaka. Kada je priključak na dimnjak montiran tako da naliježe na naglavak štednjaka zahtijeva se preklapanje od minimalno 40 mm. U slučaju da priključak ulazi u naglavak, preklapanje ne smije biti manje od 25 mm. Dimnjak također mora imati preusmjerivač i zaklopku za kontrolu protoka dimnih plinova.

2.1.2. Sigurnost

Prilikom ispitivanja, temperatura spremnika za gorivo ne smije prekoračiti temperaturu okoline za više od 65 K. Isto vrijedi i za temperaturu obližnjih zapaljivih predmeta i uređaja.

Ako se prema tvrdnji proizvođača više uređaja može spojiti na zajednički dimnjak, potrebni podtlak dimnjaka prilikom ispitivanja takvih uređaja ne smije biti manji od 3 Pa, odnosno ako je manji od 3 Pa tijekom perioda od 10 h, onda volumen ugljičnog monoksida, određen prema jednadžbi (15) ne smije biti veći od 250 dm³. Na uređaju mora biti jasno označeno kad se, i kako, isti može spojiti na zajednički dimnjak.

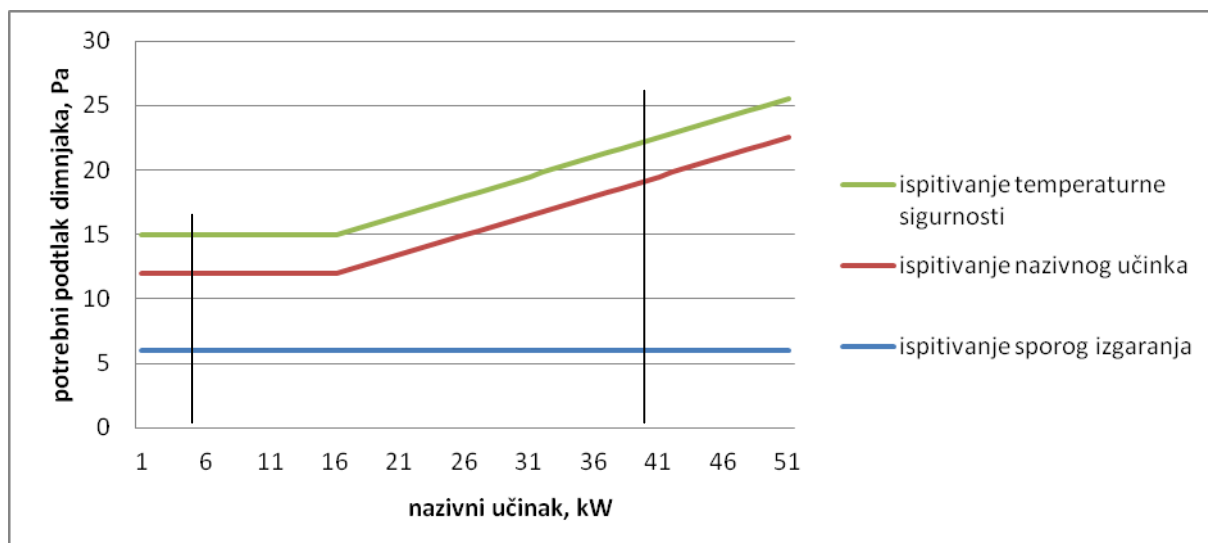
Na štednjacima koji imaju predviđeno i grijanje PTV-a i čiji je sastavni dio sigurnosni uređaj za pražnjenje sustava, isti mora raditi kada temperatura vode u sustavu prekorači ili 105 °C ili temperaturu određenu od proizvođača, ovisno o tome koja temperatura je manja.

2.1.3. Radne karakteristike

Srednja koncentracija ugljičnog monoksida (CO), izračunata za sadržaj kisika (O_2) u dimnim plinovima od 13 %, mora biti manja ili jednaka vrijednosti koja je dana od proizvođača i ne smije prelaziti vrijednost od 1,0 % (10000 ppm). Ukupna efikasnost štednjaka određuje se kao prosjek od najmanje dva ispitna rezultata za nazivni učinak i ona mora biti veća ili jednaka efikasnosti koju daje proizvođač odnosno veća ili jednaka od 60 %.

Također treba odrediti potrebni podtlak (uzgon) dimnjaka u ovisnosti o nazivnom učinku štednjaka u kW. Prilikom ispitivanja, vrijednosti podtlaka trebale bi biti u granicama ± 2 Pa od vrijednosti koja je definirana u Normi (slika 12). Prema toj slici za nazivne učinke 5 do 40 kW, vrijednosti potrebnog podtlaka kreću se od 12 do 18 Pa. Za ispitivanje sporog izgaranja statički tlak mora biti u okvirima ± 1 Pa od definirane vrijednosti u Normi. Kod ispitivanja

temperатурне сигурности uređaj mora raditi na podtlaku dimnjaka za 3 Pa većem od onog kod ispitivanja nazivnog učinka, a statički tlak na ± 2 Pa od definiranog podtlaka.



Slika 12. Određivanje potrebnog podtlaka dimnjaka u ovisnosti u nazivnom učinku [12]

Minimalni interval (u satima) između dva loženja prikazan je u sljedećoj tablici.

Tablica 1. Minimalni interval između dva loženja [12]

Tip uređaja	Tip ispitnog goriva (detaljnije u Tablici B.1 Norme)	Minimalni interval između dva loženja
Automatska regulacija štednjaka (s ili bez spremnika za PTV)	Drvene cjepanice ili drveni briketi	1 h
	Ostala ispitna goriva	3 h
Ručna regulacija štednjaka (s ili bez spremnika za PTV)	Drvene cjepanice ili drveni briketi	1 h
	Ostala ispitna goriva	2 h

2.1.4. Upute i označavanje


Svaki uređaj mora na vidljivom mjestu imati oznaku sa sljedećim podacima :

- oznaku i broj odgovarajuće norme,

- ime proizvođača sa pripadajućim žigom,
- broj modela i/ili oznaka tipa uređaja,
- izmjerenu koncentraciju *CO* za sadržaj kisika od 13 %,
- efikasnost na nazivnom učinku,
- nazivni učinak grijanja (u kW) te odgovarajući spremnik za PTV,
- dopušteni maksimalni radni tlak vode (u bar),
- minimalna udaljenost (u mm) o obližnjih zapaljivih predmeta,
- mogućnost spajanja uređaja na zajednički dimnjak,
- mogućnost kontinuiranog ili isprekidanog rada uređaja,
- "pročitati i slijediti upute za rad uređaja",
- "koristiti samo preporučeno gorivo".

Svaki uređaj također mora imati i ocjenu sukladnosti (CE oznaku). Primjer je prikazan u sljedećoj tablici.

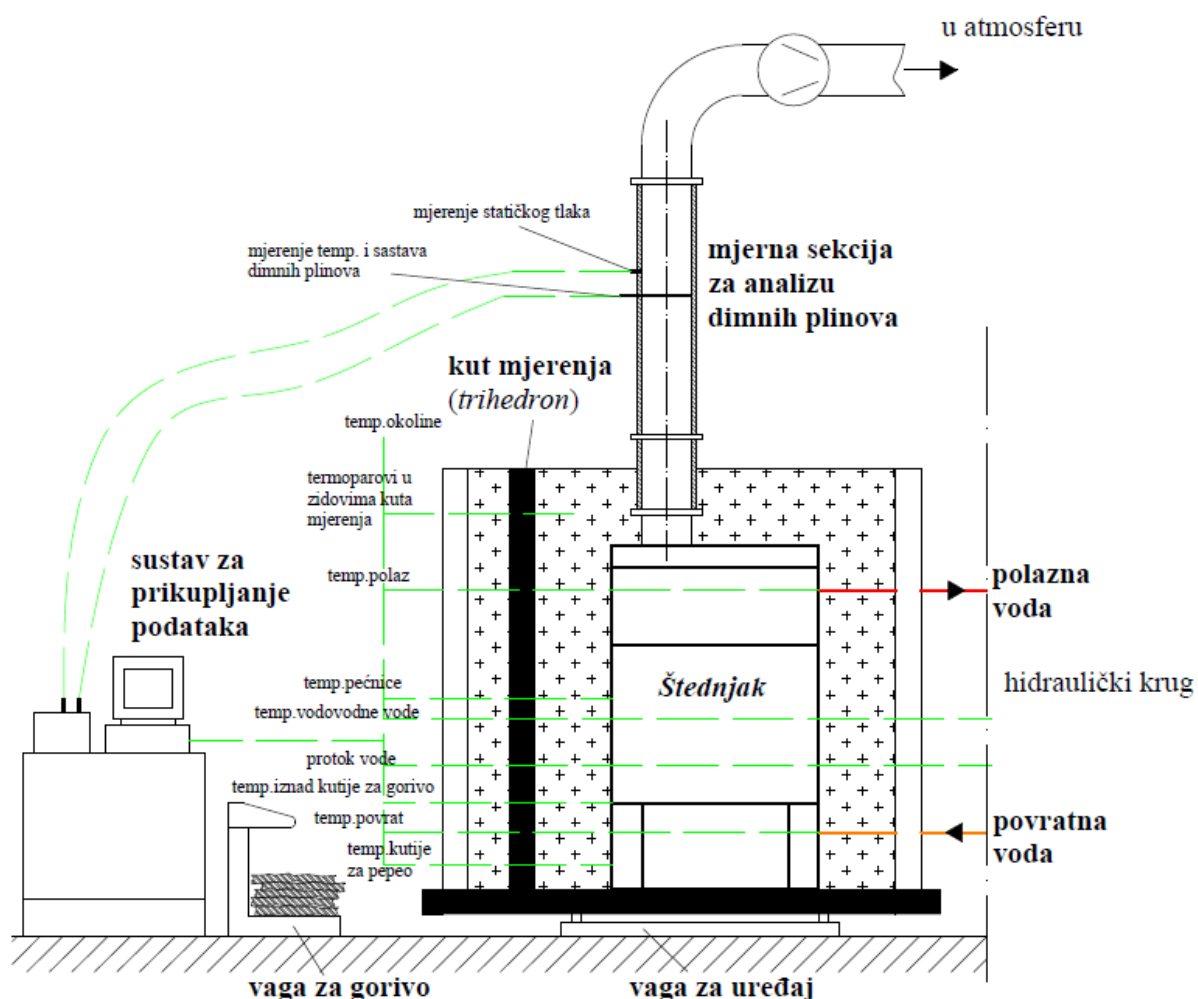
Tablica 2. Primjer predloška za ocjenu sukladnosti proizvoda [12]

	
Naziv i adresa proizvođača	
03 (zadnje dvije znamenke godine kada je oznaka izrađena)	
HRN EN 12815:2001	
Štednjaci na kruta goriva – zahtjevi i metode ispitivanja	
Udaljenost od susjednih zapaljivih predmeta :	140 cm minimalno
Emisija CO u produktima izgaranja :	0,3 %
Minimalni radni tlak :	1,9 bar
Temperatura dimnih plinova :	300 °C
Učinek :	2,5 kW toplina predana prostoru 7,5 kW toplina predana vodi
Efikasnost :	65 %
Tip goriva :	Drveni briketi

2.2. Izvedba

Ispitna linija sastoji se od štednjaka koji mora biti montiran u skladu s uputama proizvođača na triedar⁴ (kut mjerenja). Sve zajedno se postavlja na vagu koja omogućuje praćenje potrošnje goriva, a da su pritom zadovoljeni svi zahtjevi navedeni u *tablici 3*.

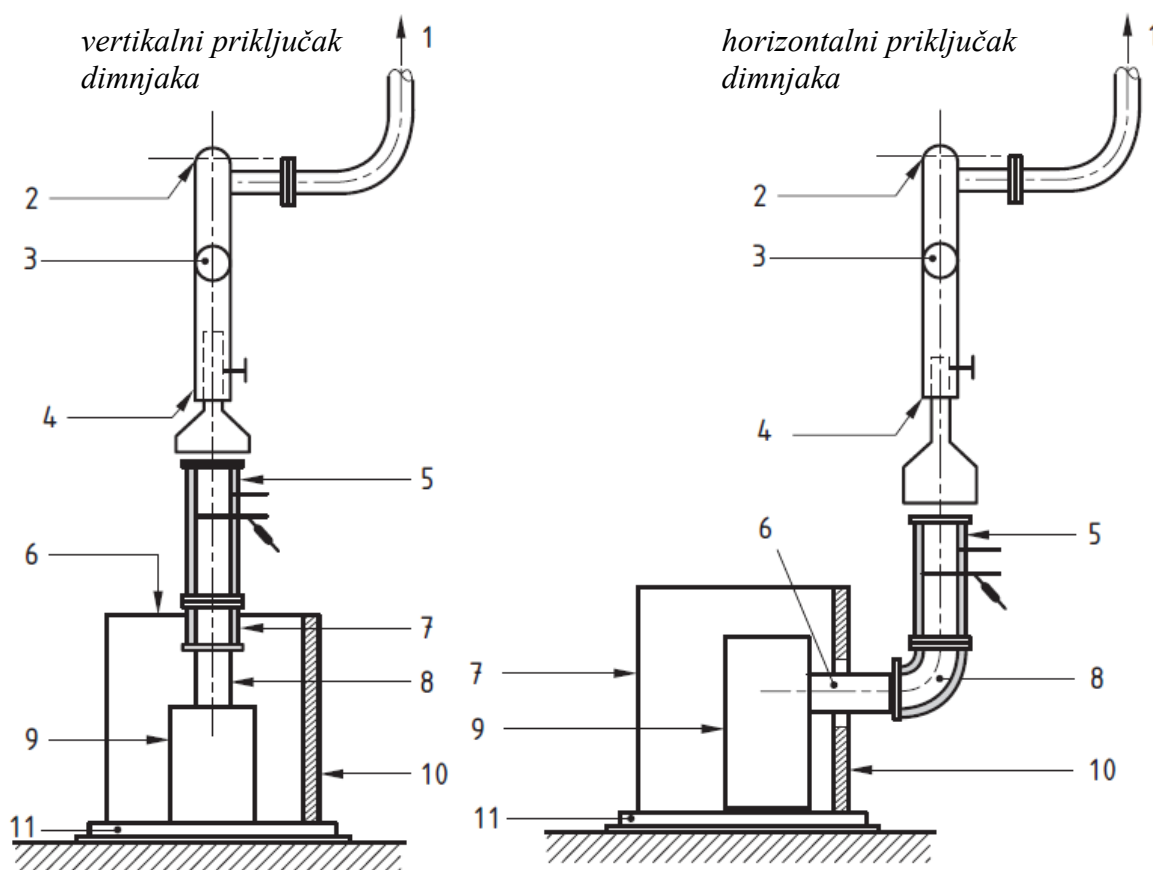
Štednjak mora biti postavljen tako da su mu stranice paralelne sa zidovima kuta mjerenja i na minimalnoj udaljenosti od zapaljivih predmeta prema uputama proizvođača. Mjerna linija za analizu dimnih plinova mora omogućiti mjerenje temperature dimnih plinova, određivanje sastava dimnih plinova te mjerenje statičkog tlaka (uzgona). Ako je sustavom predviđeno i grijanje PTV-a, sve zajedno mora još biti povezano na hidraulički krug.



Slika 13. Ispitna linija bez hidrauličkog kruga

⁴ Geometrijski oblik sastavljen od 3 ravnine koje se sijeku u jednoj točki pod pravim kutom

Mjerna linija za analizu dimnih plinova (5 - slika 14) treba biti spojena na štednjak pomoću neizoliranog naglavka i izoliranog podesivog priključka. Dimni plinovi izbacuju se u atmosferu pomoću ventilatora. Ispitna linija može biti izvedena za vertikalnim ili horizontalnim izlazom dimnih plinova, ovisno o izvedbi dimovodnog priključka na štednjaku.



Slika 14. Ispitna linija - vertikalna i horizontalna izvedba dimovodnog priključka [12]

1 - izlaz prema atmosferi, 2 - ventilator, 3 - podesiva zaklopka, 4 - podesivi spojni element, 5 - mjerna sekcija, 6^{VERT}, 7^{HOR} - zidovi kuta mjerenja, 6^{HOR}, 8^{VERT} - spojni naglavak, 7^{VERT}, 8^{HOR} - podesivi priključak, 9 - štednjak, 10 - bočni zidovi kuta mjerenja, 11 - vaga

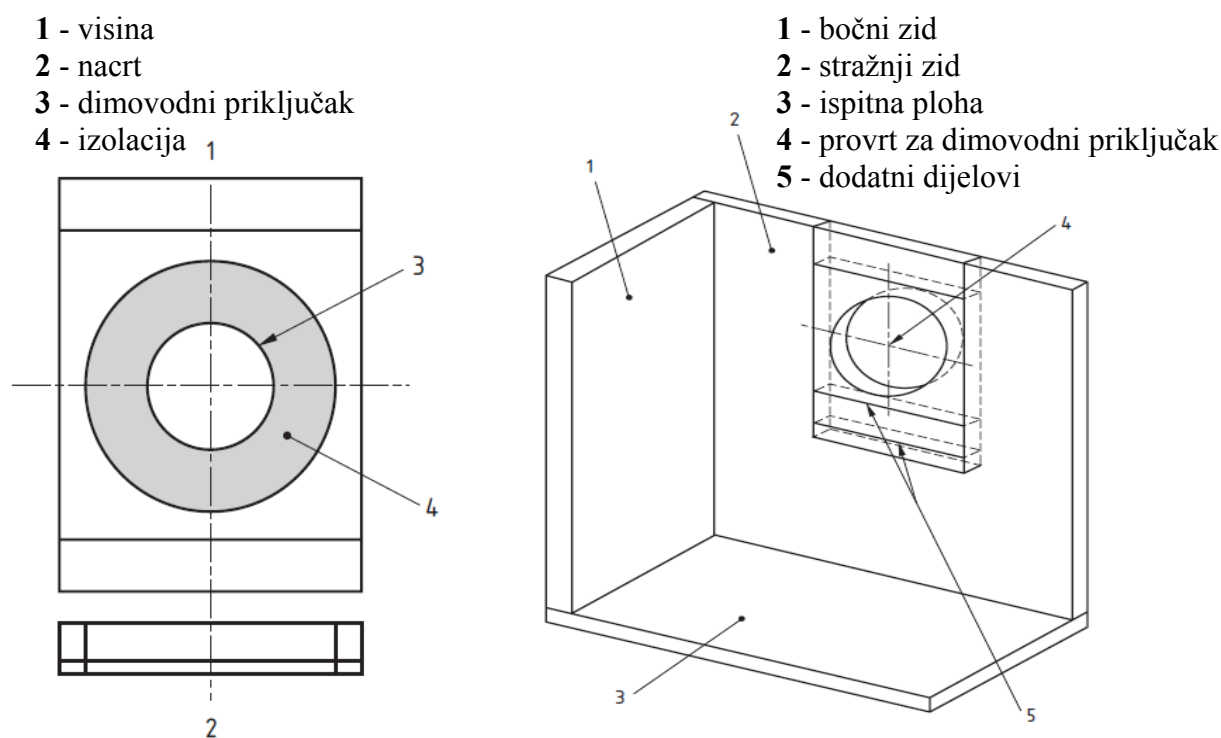
U blizini ispitnog uređaja i ispitne opreme ne smije biti propuha većeg od 0,5 m/s. Ispitna oprema mora biti zaštićena od direktnog utjecaja ostalih izvora topline ili sunca.

⁵ vertikalni priključak

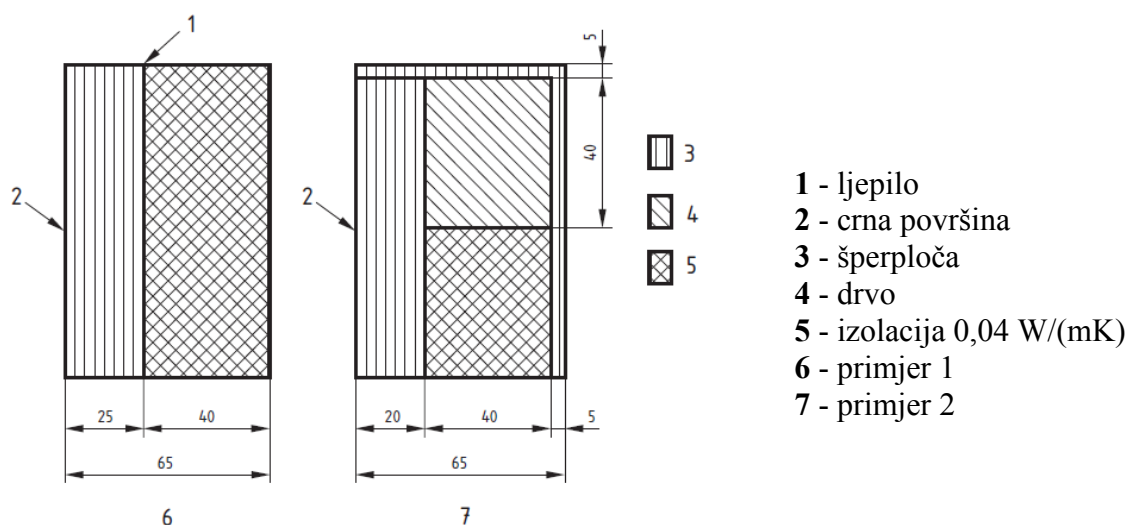
⁶ horizontalni priključak

2.2.1. Kut mjerenja

Kut mjerenja sastavljen je od dva bočna zida i jednog stražnjeg zida koji su međusobno okomiti. Zidovi kuta mjerenja moraju biti izvedeni kao što je pokazano na *slici 15.* ili konstrukcija mora biti ekvivalentnih svojstava. Moraju biti produljeni minimalno 150 mm izvan vanjskih dimenzija štednjaka odnosno 300 mm u vertikalnom smjeru iznad najviše točke štednjaka. Za štednjake sa horizontalnim dimovodnim priključkom stražnji zid mora imati provrt (4) kroz kojega može proći dimovodni priključak sa zračnošću od (150 ± 5) mm.



Slika 15. Kut mjerenja [12]

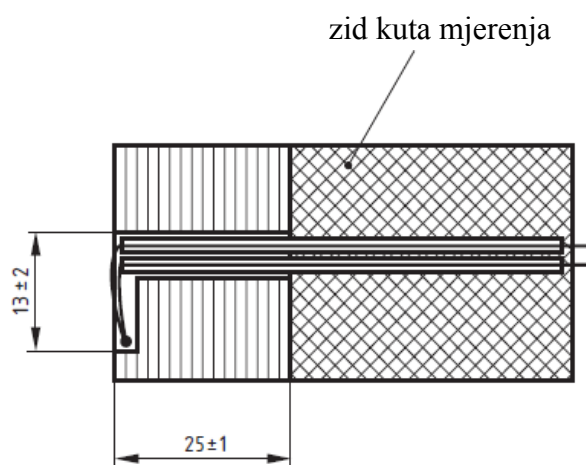


Slika 16. Poprečni presjek konstrukcije kuta mjerenja [12]

2.2.2. Mjerenje temperatura

Unutarnja temperatura ispitnog laboratorija mjeri se na udaljenosti sa svake strane uređaja od središnje točke koja leži na opsegu kruga radijusa ($1,2 \pm 0,1$) m, na visini od ($0,50 \pm 0,01$) m iznad vage za mjerenje težine uređaja i dovoljno daleko od bilo kakvog direktnog sunčevog zračenja. Za mjerenje se koriste termoparovi ili neka druga oprema za mjerenje temperature. Termoparovi moraju biti zaštićeni od sunčevog zračenja pomoću cilindričnog zaslona od poliranog aluminija ili materijala sličnih svojstava, promjera cca 40 mm i dugačkog cca 150 mm. Oprema za mjerenje temperature, ali i svaka druga mjerna oprema (ovisno o mjerenoj veličini), mora zadovoljiti zahtjeve određene u *tablici 3*.

Potrebno je odrediti maksimalne temperature zidova i ispitne plohe kuta mjerenja. Mjerenje se izvodi sa kalibriranom opremom koja mora zadovoljavati zahtjeve navedene u *tablici 3*. Svaki termopar mora biti izveden na način kao što je prikazano na *slici 17*. Mjerne točke za smještaj termoparova u zidu kuta mjerenja moraju biti udaljene jedna od druge 100 mm.



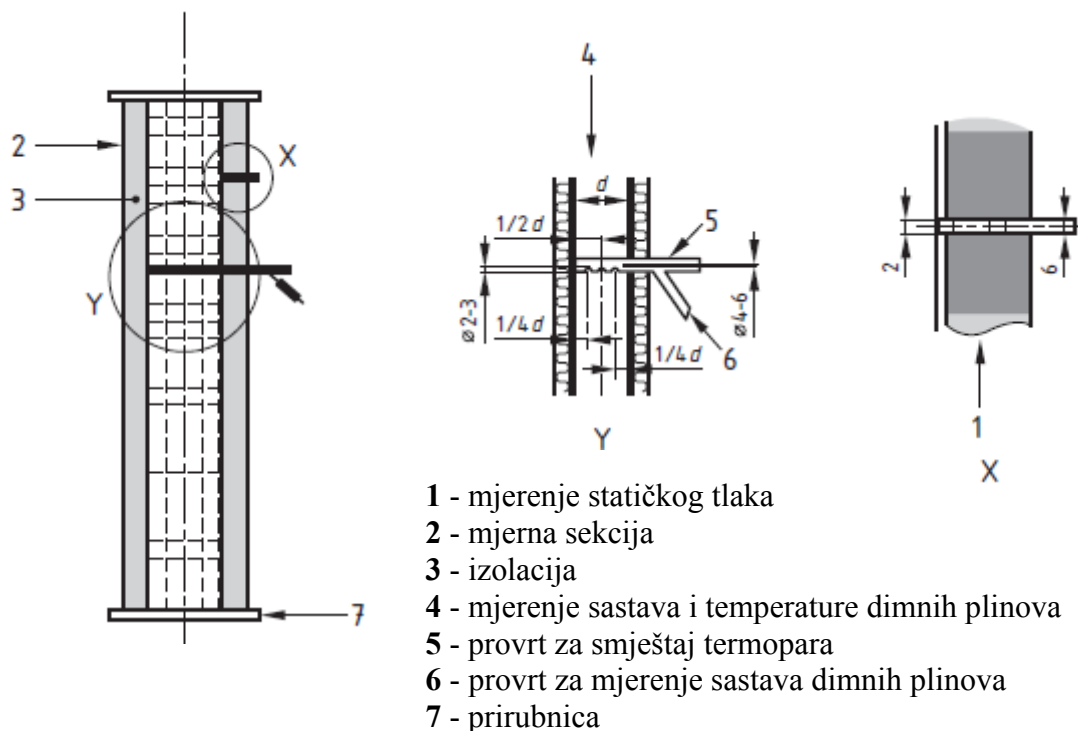
Slika 17. Smještaj termoparova u zid kuta mjerenja [12]

Tablica 3. Mjerna nesigurnost [12]

Mjerena veličina		Granice odstupanja
<u>ANALIZA DIMNIH PLINOVA</u>	CO	$\leq 6 \%$
	CO ₂	$\leq 2 \%$
	O ₂	$\leq 2 \%$
<u>TEMPERATURA</u>	○ dimnih plinova	$\leq 5 \text{ K}$
	○ ispitne prostorije	$\leq 1,5 \text{ K}$
	○ vode	$\leq 0,5 \text{ K}$
	○ površine štednjaka	$\leq 2 \text{ K}$
	○ dodirnih površina	$\leq 2 \text{ K}$
	○ pećnice	$\leq 5 \text{ K}$
<u>PROTOK VODE</u>		$\leq 0,005 \text{ m}^3/\text{h}$
<u>BRZINA ZRAKA</u> (propuh)		$\leq 0,1 \text{ m/s}$
<u>STATIČKI TLAK</u> (podtlak)		$\leq 2 \text{ Pa}$
<u>MASA</u>	○ potrošnja goriva	$\pm 20 \text{ g}$
	○ pepeo	$\pm 5 \text{ g}$
	○ gorivo za loženje $\leq 7,5 \text{ kg}$	$\pm 5 \text{ g}$
	○ gorivo za loženje $> 7,5 \text{ kg}$	$\pm 10 \text{ g}$

2.2.3. Mjerna linija za analizu dimnih plinova

Osnovna konstrukcija i detalji mjerne linije prikazani su na sljedećoj slici. Mjerna linija mora biti potpuno izolirana sa 40 mm debelom mineralnom vunom ili sličnim materijalom koji osigurava toplinsku vodljivost od 0,04 W/(mK) na prosječnoj temperaturi od 20°C.

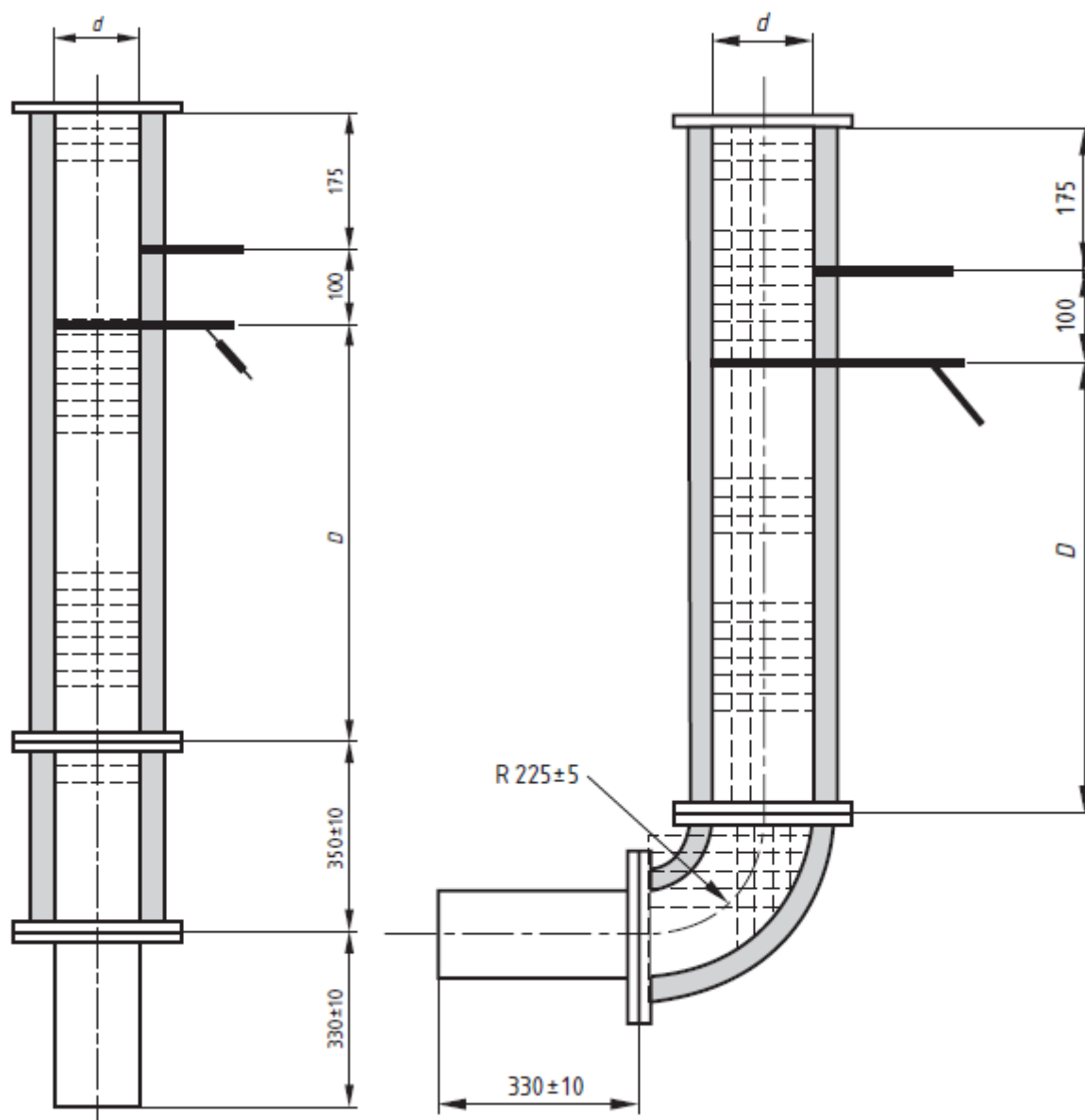


Slika 18. Mjerna linija za analizu dimnih plinova [12]

Temperatura dimnih plinova mjeri se pomoću termopara koji je smješten u pirometarsku sondu, kao što je prikazano na slici, sa zatvorenim krajem dodirujući nasuprotni zid mjerene sekcije. Sonda ima tri otvora za uzimanje uzorka, svaka $(2,5 \pm 0,5)$ mm promjera. Jedan otvor pozicioniran je u središte dimnjaka dok se preostala dva nalaze na $1/4$ promjera dimnjaka mjereno od unutarnje stjenke dimnjaka. Unutarnji promjer sonde mora biti (5 ± 1) mm, a protok mora biti namješten tako da osigurava brzinu strujanja od 20 do 25 m/s.

Ista sonda koristi se i za mjerenje sastava dimnih plinova. Mora biti povezana sa sustavom za prikupljanje podataka i također mora zadovoljavati zahtjeve određene u tablici 3. Statički tlak mjeri se pomoću cjevčice unutarnjeg promjera od 6 mm kao što je prikazano na prethodnoj slici. Završetak cjevčice mora priljubljen za unutarnju stjenku mjerne sekcije.

Mjerna linija treba biti spojena na štednjak pomoću neizoliranog naglavka i izoliranog podesivog priključka. Naglavak mora biti izrađen od nebojanog mekog čelika debljine $(1,5 \pm 0,5)$ mm. Duljina mora biti (330 ± 10) mm, a promjer mora odgovarati unutarnjem promjeru mjerne sekcije. Za štednjake sa horizontalnim izlazom na dimnjak predviđen je priključak polumjera (225 ± 5) mm, dok je za štednjake sa vertikalnim izlazom na dimnjak predviđen ravni priključak duljine (350 ± 10) mm. Navedeno je prikazano na sljedećoj slici.



Promjer naglavka \varnothing	d	D
≤ 180	150	750
$180 < \varnothing \leq 250$	200	1000
> 250	300	1500

Slika 19. Konstrukcija mjerne sekcije za vertikalni i horizontalni izlaz na dimnjak [12]

3. ISPITIVANJE ŠTEDNJAKA NA BIOMASU

3.1. Općenito

Prije svakog loženja potrebno je izračunati masu goriva prema sljedećoj formuli [12] :

$$B = \frac{360000 \cdot P_n \cdot t_b}{H_u \cdot \eta}, \text{ kg} \quad (1)$$

gdje je B [kg] masa goriva, H_u [kJ/kg] donja ogrjevna vrijednost goriva, η [%] minimalna efikasnost (jednaka 60 % prema HRN EN 12815 ili neka druga vrijednost prema podacima proizvođača), P_n [kW] nazivni toplinski učinak i t_b [h] minimalni interval između dva loženja propisan od proizvođača uređaja.

Za loženje drvenim cjepanicama ili briketima treba se držati preporuka proizvođača štednjaka. Gorivo mora imati određene karakteristike i svojstva definirana u HRN EN 12815, Annex B, Tablica B.1.

Prilikom ispitivanja potrebno je izmjeriti sastav (koncentraciju CO_2 , O_2 i CO) i temperaturu dimnih plinova te izračunati pripadajuće gubitke dimnih plinova. Podaci se zapisuju u intervalima ne većim od 1 min⁷. Također treba izmjeriti i temperaturu ispitne prostorije. Na kraju ispitivanja iz svih izmjerenih podataka izračunavaju se srednje vrijednosti koje koristimo za daljnju analizu.

Kod uređaja koji imaju uključeno i grijanje PTV-a mjeri se protok i porast temperature vode te se iz toga izračunava toplina predana vodi. Mjerenje se izvodi tako da se protok vode postavi na vrijednost propisanu od proizvođača štednjaka. Srednja temperatura izlazne vode (polaz) mora se održavati na $(80 \pm 5)^\circ\text{C}$, a protok vode na $\pm 5 \%$ od referentne vrijednosti. Na kraju ispitivanja izračunava se srednji porast temperature između polaza i povrata te srednji protok vode u kg/h.

Također se mjeri temperatura pećnice, kutije za pepeo i spremnika za gorivo. Na kraju mjerenja izračunavaju se srednje vrijednosti temperature.

⁷ Vrijedi za mjerenje svih veličina
Fakultet strojarstva i brodogradnje

3.2. Metode ispitivanja

Prilikom ispitivanja radnih karakteristika štednjaka provode se sljedeće metode [12] :

- ispitivanje nazivnog učinka⁸,
- ispitivanje radnih karakteristika ploče za kuhanje,
- ispitivanje radnih karakteristika pećnice,
- ispitivanje sporog izgaranja,
- ispitivanje potrebnog podtlaka dimnjaka,
- ispitivanje temperaturne sigurnosti.

Prve 4 metode mogu se direktno izvoditi jedna iza druge, dok sa zadnje dvije moraju izvoditi odvojeno. Još se dodatno ispituju vrata i police pećnice, sigurnosni uređaj za pražnjenje sustava te se na kraju izvodi tlačna proba. U sljedećim poglavljima bit će detaljnije opisane sve metode pojedinačno osim ispitivanja sporog izgaranja i potrebnog podtlaka dimnjaka budući da nisu primijenjene kod odabranog štednjaka. Mjerni protokol opisan je u *Predlošku mjernog protokola, Prilog III.*

3.2.1. Opis postupka

Za štednjake na biomasu koji imaju uključeno i grijanje PTV-a, postupak ispitivanja razlikuje se ovisno o položaju rešetke ložišta :

- donja rešetka :
 - zapaljenje i predispitni period za postizanje stabilnog stanja,
 - ispitivanje nazivnog učinka u trajanju najmanje 1 h za određivanje ukupne efikasnosti i toplinskih tokova,
 - vrijeme za postizanje stacionarnog stanja,
 - ispitivanje radnih karakteristika ploče za kuhanje u trajanju 2 h (ponovno naložiti ako je potrebno),
 - vrijeme za postizanje stacionarnog stanja,
 - ispitivanje radnih karakteristika pećnice,
 - ispitivanje sporog izgaranja u trajanju propisanom od proizvođača.
- gornja rešetka :
 - zapaljenje i predispitni period za postizanje stabilnog stanja,

⁸ Potrebna najmanje dva odvojena ispitna rezultata

- ispitivanje nazivnog učinka za određivanje toplinskih tokova i za provjeravanje da li su zadovoljeni sigurnosni uvjeti opisani u *poglavljju 2.1.2.*,
- vrijeme za postizanje stacionarnog stanja,
- ispitivanje karakteristika ploče za kuhanje u trajanju od 2 h (ponovno naložiti ako je potrebno).

3.2.2. Ispitivanje nazivnog učinka

Ispitivanje se sastoji od 2 dijela :

- zapaljenje i jedan ili više predispitnih perioda,
- ispitni period.

Može se izvoditi zasebno ili zajedno sa ostalim metodama opisanim u *poglavljju 3.2.* Prilikom obrade rezultata ispitivanja i određivanja učinka, potrebna su najmanje dva odvojena ispitna rezultata. Srednja vrijednost nazivnog učinka izračunata iz najmanje dva ispitna rezultata ne smije biti manja od vrijednosti koju daje proizvođač štednjaka. Da bi ispitivanje bilo valjano, izmjereni učinak ne smije se razlikovati za više od $\pm 10\%$ od srednje vrijednosti.

Trajanje predispitnog perioda mora biti dovoljno za osiguravanje normalnih radnih uvjeta te za uspostavljanje dovoljne količine žara u ložištu. Razlika između mase ostataka (žeravica+pepeo) na kraju predispitnog i ispitnog perioda ne smije biti veća od 50 g. Također, potrebni podtlak dimnjaka tijekom cijelog perioda ispitivanja mora se održavati na ± 2 Pa od odgovarajućeg podtlaka određenog prema *slici 12.*

3.2.2.1. Zapaljenje i predispitni period

- upaliti ventilator i namjestiti podtlak tako da je statički tlak u dimnjaku jednak tlaku očitanom na *slici 12.* ;
- zapisati početnu težinu štednjaka ;
- naložiti štednjak sa ispitnim gorivom prema uputama proizvođača ;
- kad je osigurana dobra zapaljenost goriva, naložiti štednjak sa izračunatom masom ispitnog goriva prema formuli (1) ;
- nakon loženja, zapisati težinu goriva i masu ubačenog goriva ;

- namjestiti sve kontrolne uređaje tako da se postignu potrebni uvjeti za dobivanje nazivnog učinka koji daje proizvođač ;
- predispitni period završava kad je postignuta određena masa žeravica+pepeo⁹ koja osigurava ponovno loženje.

3.2.2.2. Ispitni period

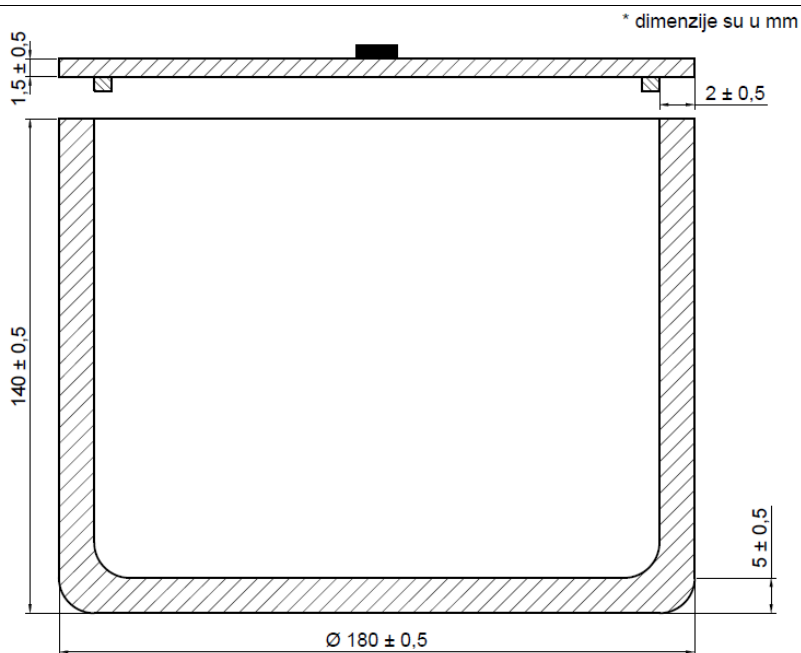
- naložiti štednjak sa izračunatom masom goriva prema formuli (1) ;
- izmjeriti i zapisati temperaturu i sastav dimnih plinova ;
- ako je štednjak namijenjen i za grijanje PTV-a, potrebno je izmjeriti i zapisati temperature polazne i povratne vode te protok vode ;
- izmjeriti i zapisati maksimalne temperature svih površina namijenjenih za rad bez alata (gumbi, držači, ručke isl.) kao i temperaturu spremnika za gorivo ;
- izmjeriti i zapisati maksimalne temperature ispitne podloge i zidova kuta mjerenja u intervalima ne većim od 1 min ;
- ispitivanje je završeno kad je masa žeravica+pepeo jednaka istoj na kraju predispitnog perioda ;
- zabilježiti (u minutama) trajanje ispitnog perioda ;
- trajanje ne smije biti kraće niti duže za $\pm 15 \%$ od onoga definiranog u *tablici 1*.

3.2.3. Ispitivanje radnih karakteristika ploče za kuhanje

Ovo ispitivanje se zapravo sastoji u zakuhavanju vode u određenom vremenu. Može početi iz hladnog stanja ili nakon ispitivanja nazivnog učinka. Ako počinje iz hladnog stanja, predispitnom periodu moraju prethoditi zapaljenje i predispitni period ispitivanja nazivnog učinka.

Posuda ili lonac za zakuhavanje može biti od čelika ili lijevanog željeza dimenzija prikazanih na *slici 21*. Dno posude mora biti ravno sa mogućim odstupanjem od 0,05 mm samo u konkavnom smjeru.

⁹ Može biti i propisana od proizvođača uređaja



Slika 21. Dimenzije posude za zakuhanje [12]

3.2.3.1. Predispitni period

- očistiti pepeo iz ložišta od prijašnjeg ispitivanja ;
- naložiti sa izračunatom masom ispitnog goriva ;
- ako štednjak ima pećnicu, postaviti dotok primarnog zraka prema radnim uputama proizvođača tako da se postigne temperatura u sredini pećnice $(230 \pm 30) ^\circ\text{C}$;
- spomenuta temperatura mora se u tom intervalu održavati minimalno 30 min ;
- za štednjake bez pećnice, ostaviti sve da radi na nazivnom učinku minimalno 30 min i time završava predispitni period.

3.2.3.2. Ispitni period

- u ispitnu posudu staviti (2000 ± 5) g vode i prekriti s poklopcem ;
- kroz otvor u sredini poklopca postaviti termometar tako da se dno termometra nalazi (10 ± 1) mm iznad dna ispitne posude ;
- ostaviti posudu da stoji najmanje 5 min ;
- izmjeriti temperaturu vode koja mora biti između 17 i 20 $^\circ\text{C}$;
- zakuhanje počinje 15 min nakon početka ispitnog perioda postavljanjem posude na ploču za kuhanje ;

- ispitni period završava kada temperatura vode u posudi poraste za 75 K (zapisati vrijeme potrebno za porast temperature) ;
- održavati temperaturu sredine pećnice u granicama (230 ± 30) °C tijekom 120 min zakuhavanja ;
- naložiti i očistiti pepeo ako je potrebno ;
- zakuhavanje se izvodi 2 puta - prvo počinje 15 min unutar 60 min prvog perioda, a drugo 15 min unutar 60 min drugog perioda ;
- izmjeriti i zapisati maksimalne temperature svih površina namijenjenih za rad bez alata kao i temperaturu spremnika za gorivo ;
- izmjeriti i zapisati maksimalne temperature ispitne podloge i zidova kuta mjerenja u intervalima ne većim od 1 min.

3.2.4. Ispitivanje radnih karakteristika pećnice

U pećnicu se stavljaju rezanci od kolača posebnog sastava i peku se na temperaturi koju propisuje proizvođač štednjaka. Ispitivanje može početi nakon hladnog stanja ili nakon nekog drugog ispitivanja. Prije ispitivanja dozvoljeno je pripremiti pećnicu za postizanje propisane temperature.

3.2.4.1. Recept za kolač

- 300 g pšeničnog brašna ;
- 200 g margarina koji je ranije stajao u frižideru sat vremena ;
- 100 g šećera ;
- 1 jaje (cca 60 g) ;
- sve zajedno posoliti.

Sastojci se zajedno izmiješaju i dobivena smjesa se potom stavlja u frižider na temperaturu između 2 i 10 °C i pušta da odstoji minimalno 12 h. Nakon toga smjesa još treba odstajati vani 20 min. Potom se iz nje rade rezanci debljine (4 ± 1) mm i (20 ± 2) mm širine. Rezanci se stavljaju u pećnicu na razmak od (10 ± 1) mm paralelno sa bočnim zidovima pećnice kako bi se popunila polica u granicama (25 ± 3) mm od najbliže projekcije bočnih zidova pećnice.

3.2.4.2. Zapaljenje i predispitni period

- upaliti ventilator i namjestiti podtlak tako da je statički tlak u dimnjaku jednak učitanom is *slike 12.* ;
- naložiti štednjak sa dovoljno ispitnog goriva prema uputama proizvođača ;
- kad je osigurana dobra zapaljenost goriva, naložiti štednjak sa izračunatom masom ispitnog goriva prema formuli (1) ;
- postaviti sve kontrolne uređaje prema uputama proizvođača da bi se postiglo potrebno predgrijanje pećnice na temperaturu propisanu od proizvođača ;
- predispitni period završava kad se temperatura pećnice propisana od proizvođača održala na ± 10 °C u vremenu od 30 min.

3.2.4.3. Ispitni period

- izmjeriti i zapisati maksimalne temperature svih površina namijenjenih za rad bez alata (gumbi, držači, ručke isl.) kao i temperaturu spremnika za gorivo ;
- izmjeriti i zapisati maksimalne temperature ispitne podloge i zidova kuta mjerenja u intervalima ne većim od 1 min ;
- staviti rezance u pećnicu tako dugo dok se ne ispeku po sredini ;
- dovoljno pečene rezance izvaditi iz pećnice i ostaviti da se ohlade ;
- boja površine rezanaca mora odgovarati optimalnoj boji prikazanoj u HRN EN 12815, *Annex C.*

3.2.5. Ispitivanje temperaturne sigurnosti

Svi kontrolni uređaji moraju biti u položaju za osiguravanje maksimalnog nazivnog učinka. Ispitno gorivo treba biti jela sadržaja vlage (15 ± 3) % i poprečnog presjeka 4×6 cm ili 5×5 cm. Duljina komada jele mora biti najmanje 2/3 širine odnosno 2/3 dubine ložišta. Komadi se moraju naslagati dijagonalno u rešetkastu strukturu tako da razmak između komada nije manji od 1 cm. Štednjak mora raditi tako dugo dok temperature ispitne podloge i zidova kuta mjerenja te spremnika za gorivo, ne postanu stabilne.

3.2.5.1. Zapaljenje i ispitni period

- naložiti štednjak sa dovoljno ispitnog goriva prema uputama proizvođača ;
- kad je osigurana dobra zapaljenost goriva, naložiti štednjak sa izračunatom masom ispitnog goriva prema formuli (1) ;
- namjestiti podtlak tako da je vrijednost statičkog tlaka ± 2 Pa od potrebnog podtlaka dimnjaka očitnog iz *slike 12.* ;
- regulaciju primarnog zraka namjestiti na maksimalni radni položaj ;
- održavati dotok zraka potrebnog za izgaranje za postizanje maksimalnog učinka štednjaka ;
- izmjeriti i zapisati maksimalne temperature ispitne podloge i zidova kuta mjerenja te spremnika za gorivo u intervalima ne većim od 1 min ;
- ispitivanje završava kad je postignuta određena masa žeravica+pepeo koja osigurava ponovno loženje ;
- ponavljati ispitivanje sve dok se postignu maksimalne temperature ;
- zapisati postignute maksimalne temperature.

3.2.6. Ispitivanje sigurnosnog uređaja za pražnjenje sustava

Ispitivanje se provodi samo na štednjacima koji imaju uključeno grijanje PTV-a te koji imaju sigurnosni uređaj za pražnjenje. Spremnik PTV-a mora biti povezan na hidraulički krug kako je prikazano na *slici 20.* Hladna voda koja se koristi za disipaciju viška topline mora imati temperaturu između 10 i 15 °C i tlak ($2 \pm 0,1$) bar.

3.2.6.1. Zapaljenje i predispitni period

- upaliti ventilator i namjestiti podtlak tako da je vrijednost statičkog tlaka ± 2 Pa od potrebnog podtlaka dimnjaka očitnog iz *slike 12.* ;
- izmjeriti i zapisati masu instalacije (štednjak+ispitna podloga kuta mjerenja) ;
- naložiti štednjak sa dovoljno ispitnog goriva prema uputama proizvođača ;
- kad je osigurana dobra zapaljenost goriva, naložiti štednjak sa izračunatom masom ispitnog goriva prema formuli (1) ;
- regulacijske uređaje namjestiti u položaj za postizanje propisanog nazivnog učinka ;

- postaviti protok vode na minimalnu vrijednost koja udovoljava zahtjevima opisanim u tablici 3. ;
- sigurnosni uređaj za pražnjenje ne smije raditi tijekom predispitnog perioda ;
- završiti predispitni period kada je postignuta određena masa žeravica+pepeo koja osigurava ponovno loženje.

3.2.6.2. Ispitni period

- očistiti ložište od pepela i isprazniti pepeljaru ako je potrebno ;
- zapisati ukupnu masu ispitne instalacije ;
- naložiti štednjak sa izračunatom masom ispitnog goriva ;
- namjestiti potrebni podtlak dimnjaka ;
- onemogućiti radnju termostata ;
- regulacijske uređaje namjestiti tako da se osigura postizanje maksimalnog nazivnog učinka ;
- održavati protok vode na istim vrijednostima kao i kod predispitnog perioda ;
- završiti ispitivanje kad sigurnosni uređaj za pražnjenje počne ili ne počne raditi, a temperatura vode je veća od 105 °C ;
- zapisati temperaturu vode kada uređaj počne raditi.

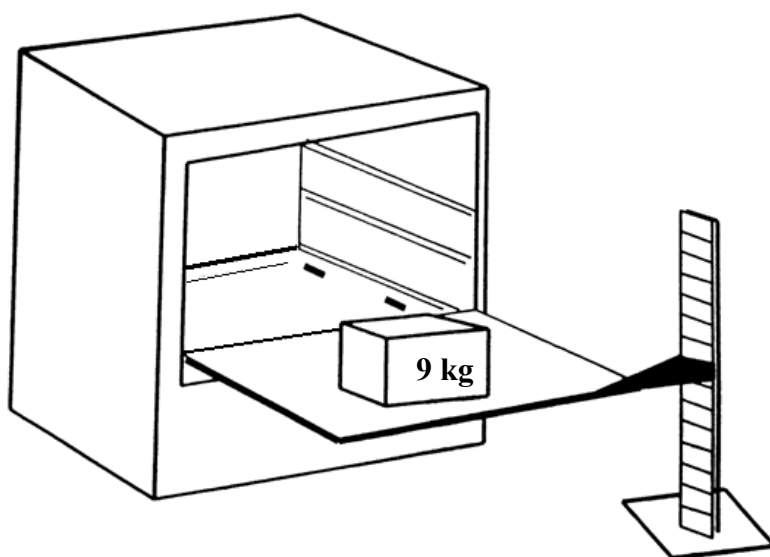
3.2.7. Ispitivanje police i vrata pećnice

3.2.7.1. Polica

- izvući policu iz pećnice na 2/3 njezine duljine ;
- ravnomjerno rasporediti $(9 \pm 0,1)$ kg kvadratne ploče dimenzija (215 ± 10) mm na 2/3 površine police ;
- izmjeriti i zapisati kut progiba od horizontale ;
- ispitivanje se mora ponoviti za svaku policu pećnice.

3.2.7.2. Vrata

- potpuno otvoriti vrata pećnice ;
- namjestiti vagu sa pokazivačem iznad gornje površine vrata pećnice kao što je prikazano na sljedećoj slici ;
- pokazivač mora dodirivati gornju površinu vrata ;
- ravnomjerno rasporediti $(9 \pm 0,1)$ kg kvadratne ploče dimenzija (215 ± 10) mm u težište vrata ;
- zapisati ako se vrata nagnju pod težinom ploče ;
- također izmjeriti i zapisati maksimalni progib vrata pećnice pod opterećenjem.



Slika 22. Ispitivanje vrata pećnice [12]

3.2.8. Tlačna proba

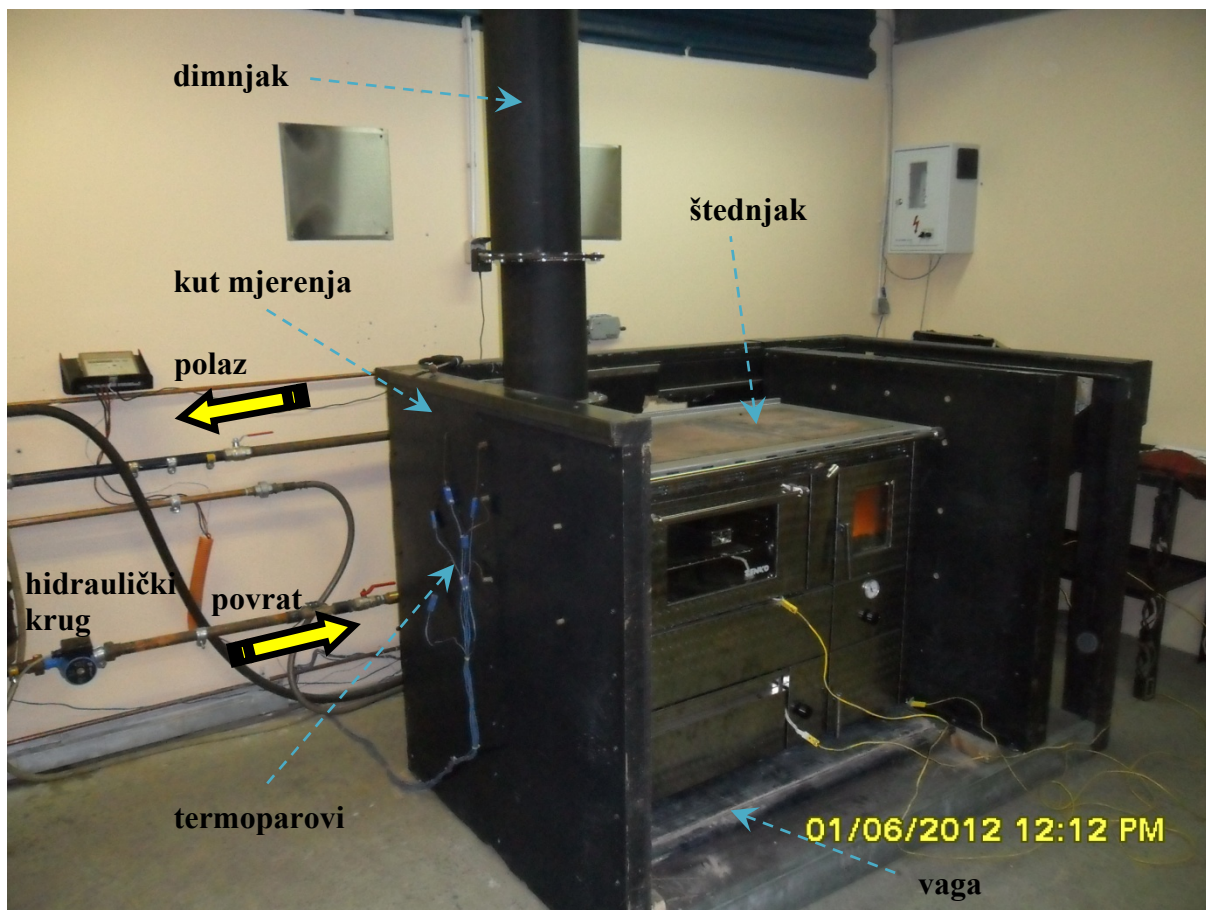
- povezati spremnik PTV-a na hidraulički krug na taj način da sustav može raditi na najmanje 2x većem tlaku od maksimalnog radnog tlaka propisanog od proizvođača ;
- zabrtviti sve dijelove koji bi mogli propuštati ;
- tlačiti sustav najmanje 10 min sa dvostruko većim tlakom od propisanog ;
- zapisati u kojem trenutku i gdje sustav propušta.

Tablica 4. Primjer mjernog protokola

MJERNI PROTOKOL ZA ISPITIVANJE ŠTEDNJAKA NA BIOMASU PREMA HRN EN 12815 – Štednjaci na kruta goriva – zahtjevi i metode ispitivanja			
	Proizvođač štednjaka :	Senko d.o.o., Vladimira Nazora 22, Štefanec, 40000 Čakovec	
	Tip štednjaka :	C-35/2035L	
	Broj protokola :	01-0612	
	Datum :	01.06.2012.	
	Ispitivač :	Ivan Friščić	
		min	vrijeme ispitivanja, h
1	ISPITIVANJE NAZIVNOG UČINKA		
	zapaljenje	20	8:40 – 9:00
	predispitni period	60	9:00 – 10:00
	1. ispitni period	60	10:00 – 11:00
	2. ispitni period	60	11:00 – 12:00
2	ISPITIVANJE RADNIH KARAKTERISTIKA PLOČE ZA KUHANJE		
	predispitni period	30	12:00 – 12:30
	1. ispitni period	60	12:30 – 13:30
	2. ispitni period	60	13:30 – 14:30
3	ISPITIVANJE RADNIH KARAKTERISTIKA PEĆNICE		
	predispitni period	30	14:30 – 15:00
	ispitni period	30	15:00 – 15:30
4	ISPITIVANJE TEMPERATURNE SIGURNOSTI		
	1. ispitni period	45	15:30 – 16:15
	2. ispitni period	45	16:15 – 17:00
	3. ispitni period	45	17:00 – 17:45
5	ISPITIVANJE SIGURNOSNOG UREĐAJA ZA PRAŽNENJE SUSTAVA		
	predispitni period	60	17:45 – 18:45
	ispitni period	50	18:45 – 19:35
6	ISPITIVANJE POLICE I VRATA PEĆNICE		
7	TLAČNA PROBA		
NAPOMENA :			

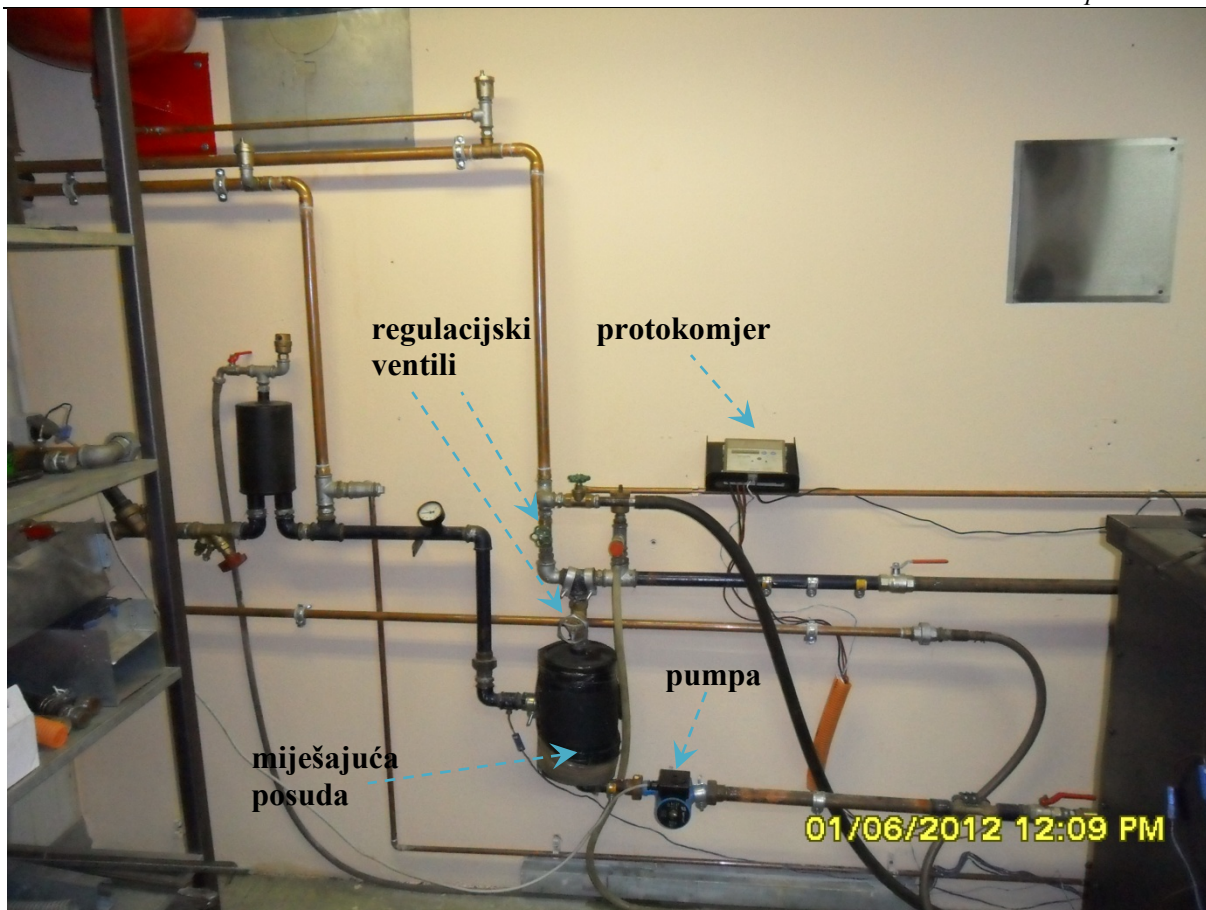
3.3. Objekt ispitivanja

Ispitivanje je provedeno u ispitnoj stanici tvrtke Senko d.o.o. iz Štefanca kraj Čakovca. Odabrani štednjak je nazivnog toplinskog učinka od 35 kW. Štednjak je namijenjen za kuhanje, pečenje, zagrijavanje prostora i centralno grijanje. Kao gorivo se koristi biomasa odnosno drveni briketi ili drvene cjepanice.



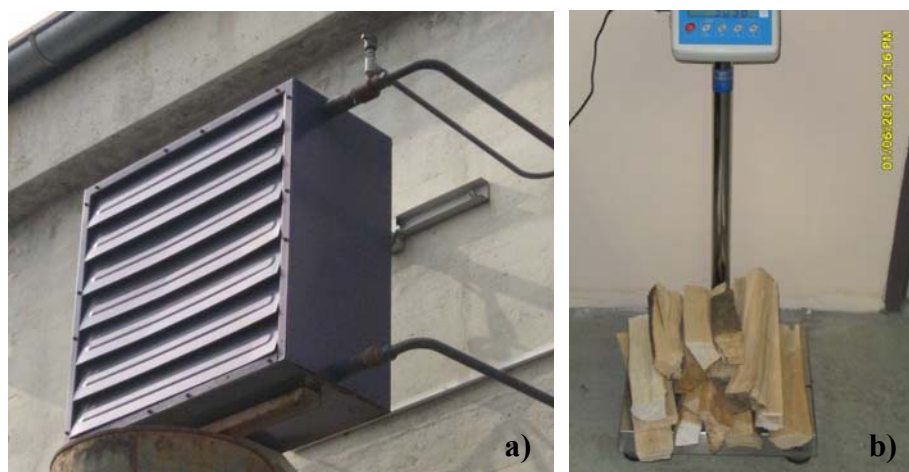
Slika 23. Ispitna stanica tvrtke Senko d.o.o.

Mjerenja su provedena prema normi HRN EN 12815. Mjerna linija može biti izvedena kao direktni (otvoreni) sustav ili indirektni (zatvoreni - sa izmjenjivačem). Hidraulički krug ispitne stanice shematski je prikazan na slici 24. Pomoću regulacijskih ventila (7 i 8 - slika 20.) se namješta protok vode u sustavu, te se uspostavlja željena temperatura polaznog i povratnog voda, tj. njihova temperaturna razlika. Protok vode mjeren je pomoću volumnog protokomjera Siemens UH50.



Slika 24. Hidraulički krug ispitne stanice

Budući da spremnika PTV-a nije instaliran u ovoj ispitnoj stanici, korisna toplina predana vodi odvodi se cjevovodima do izmjenjivača topline koji se nalazi izvan ispitne stanice. Tip izmjenjivača je voda-zrak (slika 25 a)) te se preko njega toplina predaje okolišu. Količina goriva za loženje mjeri se pomoću vage RADWAG WLT30 (slika 25 b)). Vlaga u gorivu mjeri se pomoću uređaja za mjerenje vlage Testo 606-1.



Slika 25. Izmjenjivač topline i vaga za gorivo

Mjerna linija za analizu dimnih plinova sa glavnim dijelovima u presjeku je prikazana na slici 18. Na njoj se nalaze dva mjerna priključka: kroz jedan se mjeri tlak, dok kroz drugi (na slici 26.) temperatura i sastav dimnih plinova. Moguće je dodatno još napraviti provrt za treći priključak u kojem bi se mjerio dimni broj. Na kraju mjerne linije ugrađuje se zaklopka (3 na slici 14.), odnosno regulator tlaka u dimnjaku, koja služi za namještanje potrebnog tlaka u dimnjaku. Potrebni tlak koji se mjeri označava razliku između statičkog tlaka u ispitnoj stanici i statičkog tlaka u dimnjaku.



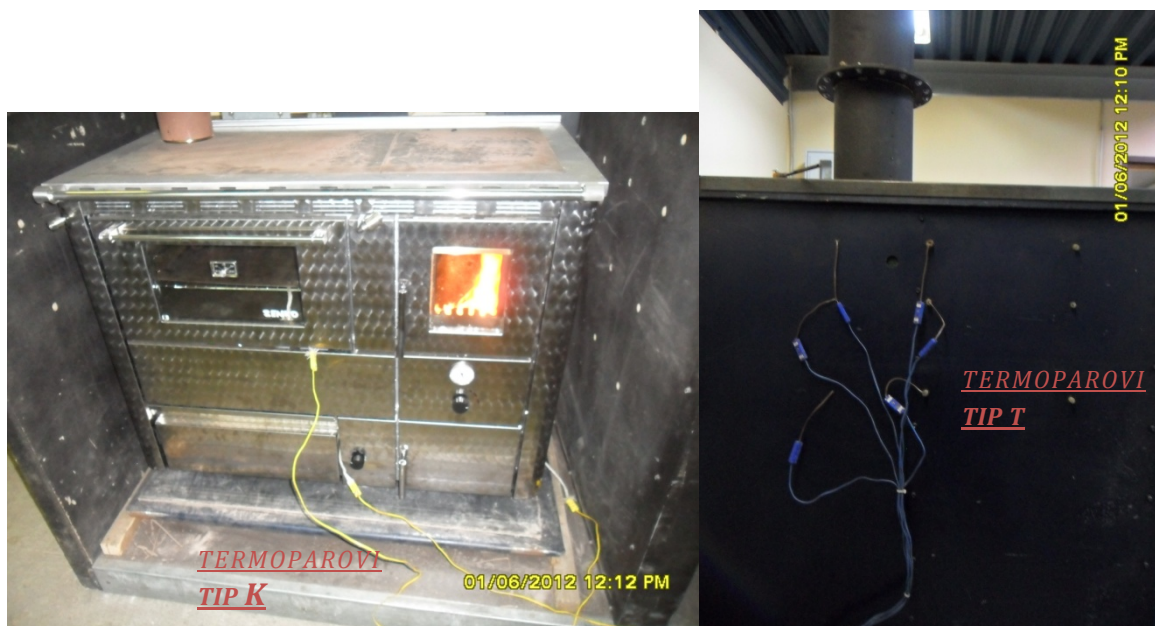
Slika 26. Mjerenje temperature i sastava dimnih plinova

Temperatura dimnih plinova služi nam kasnije pri izračunu toplinskih gubitaka osjetne topline u dimnim plinovima. Sastav dimnih plinova (koncentracija CO i CO₂) potreban je za određivanje gubitaka topline uslijed nepotpunog izgaranja. Svi podaci koji su izmjereni na mjernoj sekciji za analizu dimnih plinova šalju se na uređaj za analizu dimnih plinova MRU NOVA2000.

Osim mjerenja protoka vode i mase goriva, te analize dimnih plinova, ispitna linija omogućuje i mjerenje temperatura. Mjere se sljedeće temperature :

- temperatura vodovodne vode θ_{vv} ,
- temperatura izlazne vode iz štednjaka (polaz) θ_{wpol} ,

- temperatura ulazne vode u štednjak (povrat) θ_{wpov} ,
- temperatura okoline θ_{ok} ,
- temperatura kutije za pepeo θ_{pep} ,
- temperatura pećnice $\theta_{peć}$,
- temperatura spremnika za gorivo θ_{sg} ,
- temperatura ispitne plohe i zidova kuta mjerenja.



Slika 27. Mjerenje temperatura na ispitnoj liniji

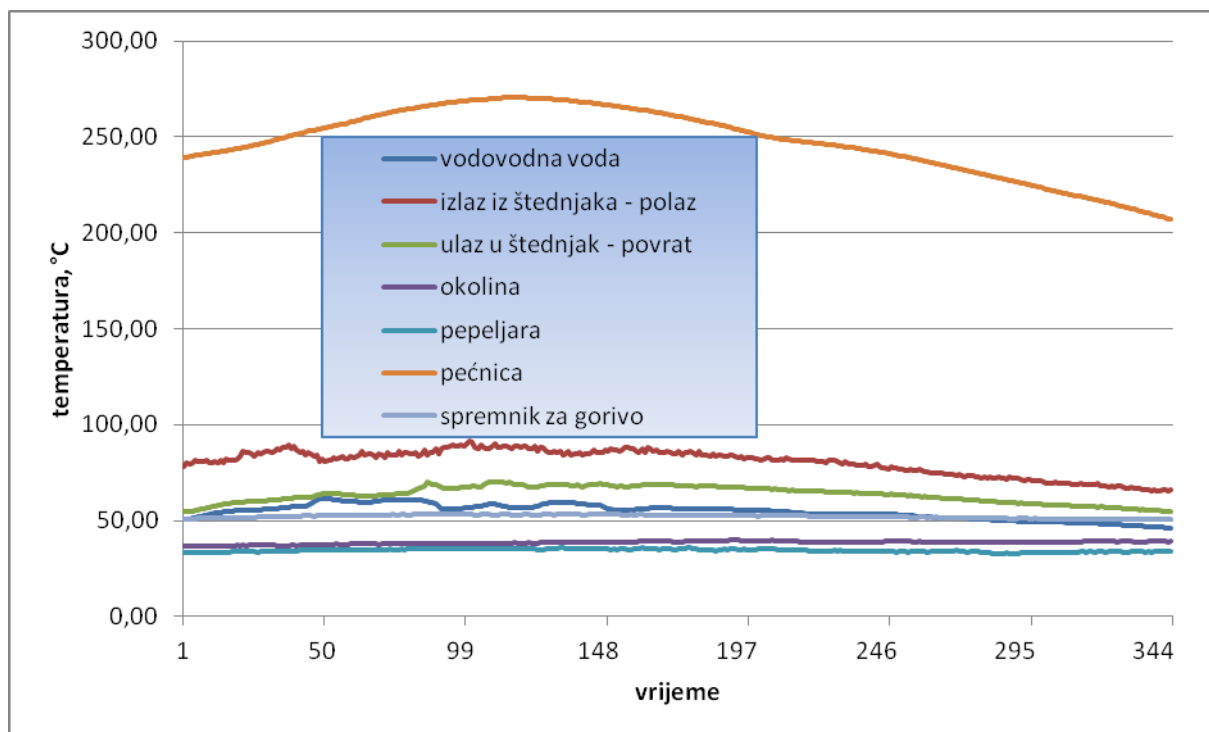
Temperature pećnice, kutije za pepeo i spremnika za gorivo mjerene su termoparom nikal-krom-nikal (tip K), dok su sve ostale temperature mjerene termoparovima bakar-konstantan (tip T). Napon na termoparovima se pretvara u digitalni signal pomoću analogno - digitalnog pretvarača "Agilent". Digitalni signal se očitava na računalu, te softver bilježi temperature tijekom cijelog vremena ispitivanja štednjaka.



Slika 28. Sustav za obradu podataka

3.4. Rezultati ispitivanja

Provedeno je ispitivanje nazivnog učinka štednjaka. Trajanje ispitivanja bilo je 1 h (13:00 - 14:00 h). Mjereni podaci su zapisivani svakih 10 s tijekom cijelog trajanja ispitivanja. Na sljedećem dijagramu prikazane su značajnije mjerene temperature.



Slika 29. Prikaz mjerenih temperatura

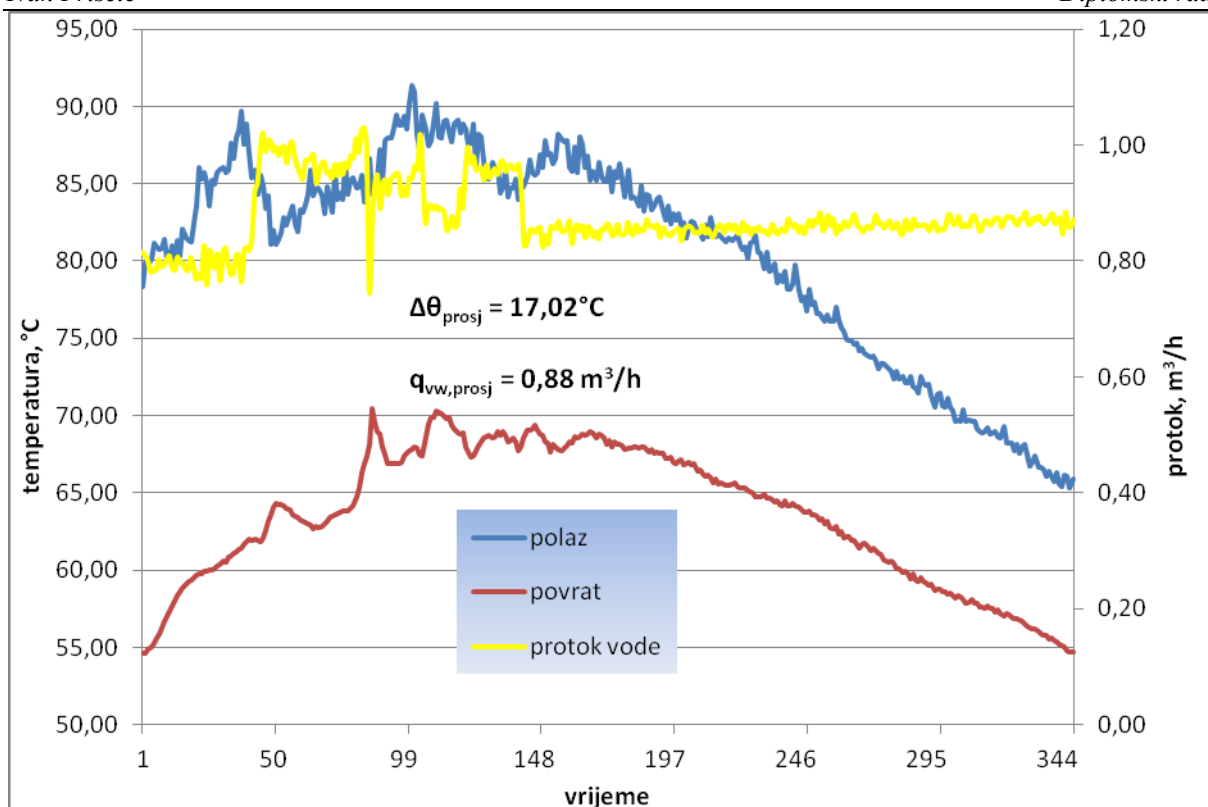
Protok vode koja cirkulira kroz sustav mora se držati u granicama $\pm 5\%$ od zadanog protoka. Prema HRN EN 12815 tijekom ispitivanja nazivnog učinka štednjaka mora biti postignuta temperatura izlazne (polazne) vode od $(80 \pm 5)^\circ\text{C}$. Na kraju ispitivanja izračunata je prosječna temperatura polazne vode :

$$\theta_{wpol} = 80,56^\circ\text{C}$$

te prosječna temperatura povratne vode :

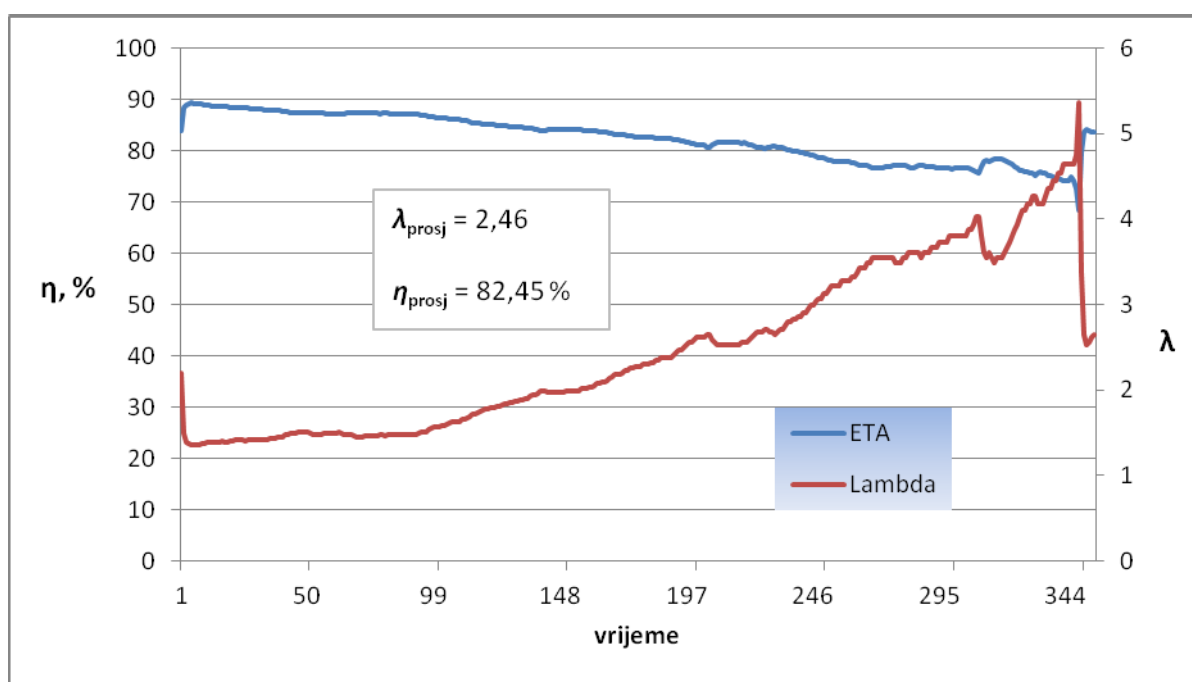
$$\theta_{wpov} = 63,54^\circ\text{C}$$

Na sljedećem dijagramu prikazano je kretanje temperatura polazne i povratne vode te protok vode. Izračunat je prosječni protok od $0,88\text{ m}^3/\text{h}$.



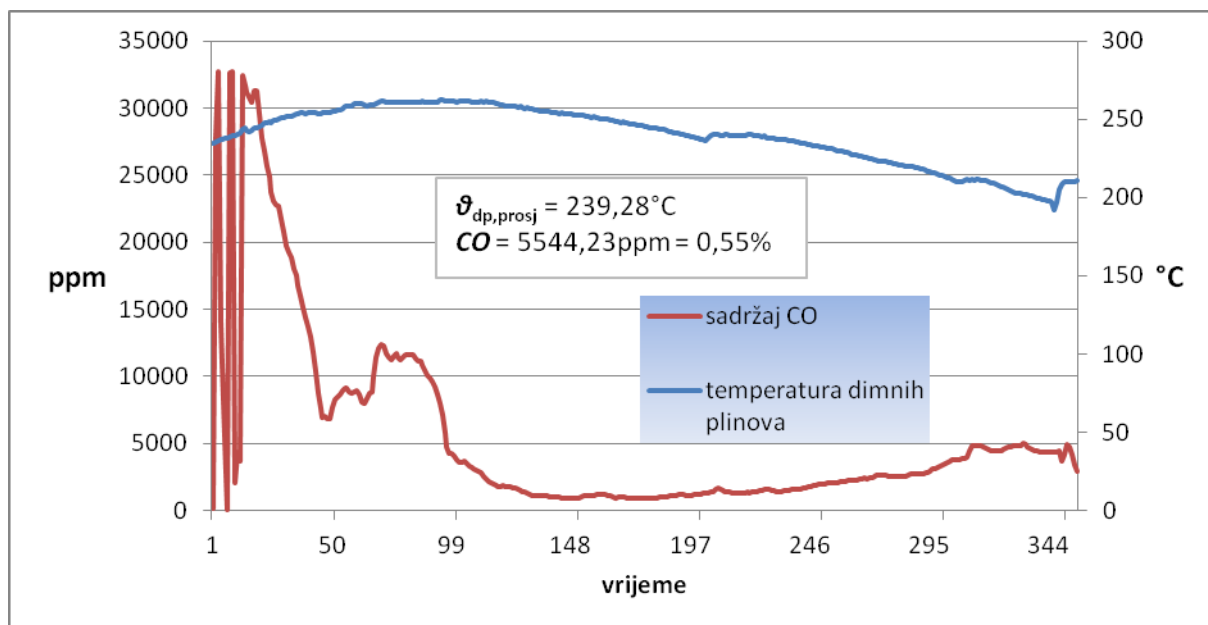
Slika 30. Prikaz temperature polaza i povrata te protoka vode

Uz pomoć analizatora dimnih plinova dobiveni su sastav i temperatura dimnih plinova, te faktor pretička zraka λ . Srednja temperatura dimnih plinova iznosi 239,28 °C. Na sljedećem dijagramu prikazana je ovisnost efikasnosti uređaja o faktoru pretička zraka.



Slika 31. Prikaz efikasnosti štednjaka i faktora pretička zraka

Također je izmjerena i koncentracija O₂ (%), CO₂(%) i CO (ppm) u dimnim plinovima. Srednja koncentracija CO u dimnim plinovima iznosi 5544,23 ppm odnosno 0,55 %. Na sljedećem dijagramu prikazana je ovisnost koncentracije CO u dimnim plinovima u temperaturi dimnih plinova. Na dijagramu se lijepo vidi kako je koncentracija CO naglo porasla na početku ispitivanja, a nakon nekog vremena se počela smanjivati i stacionirati.



Slika 32. Ovisnost sadržaja CO o temperaturi dimnih plinova

4. TERMODINAMIČKI PRORAČUN

4.1. Ulazni podaci

Proračun je proveden prema HRN EN 12815. Za ulazne podatke korištene su vrijednosti dobivene ispitivanjem nazivnog učinka štednjaka (*tablica 5.*).

Tablica 5. Ulazni podaci za termodinamički proračun

Opis	Oznaka	Vrijednost
Normom propisan sadržaj kisika u suhim dimnim plinovima	O_2 standard	13 %
Prosječni sadržaj kisika u suhim dimnim plinovima	O_2 _{avg}	11,2 %
Prosječni sadržaj ugljičnog dioksida u suhim dimnim plinovima	CO_2 _{avg}	9,08 %
Prosječni sadržaj ugljičnog monoksida u suhim dimnim plinovima	CO _{avg}	5544,23 ppm ili 0,55 %
Srednja temperatura dimnih plinova	t_a	239,28 °C
Srednja temperatura ispitne prostorije	t_r	27,08 °C
Masa goriva	B	7,599 kg/h
Donja ogrjevna vrijednost goriva	H_u	17768 kJ/kg
Sadržaj ugljika u pepelu - <i>ne mjeri se za drvene brikete</i>	C_r	0 %
Faktor pretička zraka	λ	2,46

Specifični toplinski kapacitet vode ¹⁰	C_p	4,1896 kJ/(kgK)
Gustoća vode ¹¹	ρ_w	976,54 kg/m ³
Volumni protok vode	V_w	0,88 m ³ /h
Maseni protok vode = $\rho_w \cdot V_w$	M_w	859,35 kg/h
Prosječni porast temperature vode (polaz-povrat)	N	17 K
Sastav goriva - drveni briketi (bukva 40 %, hrast 60 %)	<i>Podaci preuzeti iz SZU, Brno</i>	
Sadržaj vlage	W	7,61 %
Sadržaj vodika	H	5,81 %
Sadržaj ugljika	C	45,48 %
Sadržaj sumpora	S	0 %
Sadržaj kisika	O	40,57 %
Sadržaj pepela	R	0,36 %

¹⁰ Dobiven interpolacijom iz [13] za srednju temperaturu vode $(\theta_{wpol} + \theta_{wpov}) / 2 = 72,05$ °C

¹¹ Dobivena interpolacijom iz [13] za srednju temperaturu vode $(\theta_{wpol} + \theta_{wpov}) / 2 = 72,05$ °C

4.2. Specifične topline produkata izgaranja

4.2.1. Specifični toplinski kapacitet suhих dimnih plinova pri standardnim uvjetima

Specifični toplinski kapacitet suhих dimnih plinova pri standardnim uvjetima određuje se prema sljedećoj formuli [12] :

$$C_{pmd} = 3,6 \cdot \left\{ \begin{array}{l} 0,361 + 0,008 \cdot \frac{t_a}{1000} + 0,034 \cdot \left(\frac{t_a}{1000} \right)^2 + \\ \left[0,085 + 0,19 \cdot \frac{t_a}{1000} - 0,14 \cdot \left(\frac{t_a}{1000} \right)^2 \right] \cdot \left(\frac{CO_2}{100} \right) + \\ \left[0,3 \cdot \frac{t_a}{1000} - 0,2 \cdot \left(\frac{t_a}{1000} \right)^2 \right] \cdot \left(\frac{CO_2}{100} \right)^2 \end{array} \right\}, [\text{kJ/Km}^3] \quad (2)$$

t_a je srednja temperatura dimnih plinova, a CO_2 je prosječni sadržaj ugljičnog dioksida u suhim dimnim plinovima. Konačno se dobiva :

$$C_{pmd} = 1,36 \text{ kJ}/(\text{Km}^3)$$

4.2.2. Specifični toplinski kapacitet vodene pare

Specifični toplinski kapacitet vodene pare u produktima izgaranja određuje se prema sljedećoj formuli [12] :

$$C_{pmH_2O} = 3,6 \cdot \left[0,414 + 0,038 \cdot \left(\frac{t_a}{1000} \right) + 0,034 \cdot \left(\frac{t_a}{1000} \right)^2 \right], [\text{kJ/Km}^3] \quad (3)$$

Uvrštavanjem srednje temperature dimnih plinova t_a u prethodnu formulu dobivamo :

$$C_{pmH_2O} = 1,53 \text{ kJ}/(\text{Km}^3)$$

4.3. Sadržaj CO pri 13 % O₂

Srednje vrijednosti sadržaja dimnih plinova kao što su kisik (O_2), ugljični dioksid (CO_2) i ugljikov monoksid (CO) određene su kao prosjek svih podataka očitanih sa instrumenata tijekom razdoblja ispitivanja. Sadržaj CO određuje se kako slijedi [12] :

- srednja vrijednost CO_{avg} (u ppm ili mg/m^3 ili %), računa se kao prosjek svih podataka očitanih sa instrumenata tijekom razdoblja ispitivanja,
- CO_{avg} treba pretvoriti u sadržaj CO baziran na standardnom sadržaju kisika u dimnim plinovima ($O_{2standard} = 13\%$) prema jednoj od sljedećih jednadžbi :

$$CO = CO_{avg} \cdot \frac{21 - O_{2standard}}{21 - O_{2avg}} \quad (4)$$

$$CO = CO_{avg} \cdot \frac{CO_{2max}}{CO_{2avg}} \cdot \frac{21 - O_{2standard}}{21} \quad (5)$$

Ako je CO_{avg} izmjeren u ppm, onda treba cijelu prethodnu jednadžbu podijeliti s 10000 da bi se dobio sadržaj CO u %. Maksimalni sadržaj CO prema HRN EN 12815 može biti 1 %.

Iz jednadžbe (4) dobiva se :

$$CO = 0,45\%$$

4.4. Određivanje CO_{2max}

Vrijednost CO_{2max} [%] koja se pojavljuje u jednadžbi (5) određuje se prema formuli (20)¹² :

$$CO_{2max} = \frac{1}{1 + m_s + A \cdot \frac{79}{21}} \cdot 100 \quad (6)$$

NAPOMENA : Za ovaj izračun potrebna je elementarna analiza goriva zbog toga jer moraju biti zadani sadržaji ugljika c [kg/kg], vodika h [kg/kg], sumpora s [kg/kg] i kisika o [kg/kg], za suho stanje bez pepela.

U prethodnoj jednadžbi A [mol O_2 /mol goriva] je stehiometrijska količina kisika :

$$A = 1 + \frac{m_h}{4} - \frac{m_o}{2} + m_s \quad (7)$$

dok je m_s molarni sadržaj sumpora :

$$m_s = \frac{12}{32} \cdot \frac{s}{c} \quad (8)$$

¹² Prema [14], str.14

Molarni sadržaj vodika :

$$m_h = 12 \cdot \frac{h}{c} \quad (9)$$

Molarni sadržaj kisika :

$$m_o = \frac{12}{16} \cdot \frac{o}{c} \quad (10)$$

Uvrštavanjem ulaznih podataka iz *tablice 5.* u prethodne formule i konačno u formulu (6) dobiva se :

$$A = 1,04 \text{ mol O}_2/\text{mol goriva}$$

$$CO_{2\max} = 20,34 \%$$

4.5. Protok dimnih plinova

Maseni protok m [g/s] određuje se kao prosječna vrijednost iz sadržaja CO_2 u dimnim plinovima i iz sastava goriva, prema sljedećoj formuli [12] :

$$m = \frac{\frac{B \cdot 1,3 \cdot (C - C_r)}{0,536 \cdot (CO_2 + CO) + \frac{9H + W}{100}}}{3,6} \quad (11)$$

Uvrštavanjem svih poznatih vrijednosti dobiva se :

$$m = 25,66 \text{ g/s} = 0,026 \text{ kg/s}$$

4.6. Toplinski gubici i efikasnost

Toplinski gubici određuju se pomoću srednjih vrijednosti temperatura dimnih plinova i ispitne prostorije, te sastava dimnih plinova i neizgorenih sastojaka u pepelu. Efikasnost štednjaka određuje se na sljedeći način [12] :

$$\eta = 100 - (q_a + q_b + q_r), \% \quad (12)$$

4.6.1. Toplinski gubici osjetne topline u dimnim plinovima

$$Q_a = (t_a - t_r) \cdot \left\{ \left[\frac{C_{pmd} \cdot (C - C_r)}{0,536 \cdot (CO + CO_2)} \right] + \left[C_{pH20} \cdot 1,224 \cdot \frac{9H + W}{100} \right] \right\}, \text{ kJ/kgG}^{13} \quad (13)$$

$$q_a = 100 \cdot \frac{Q_a}{H_u}, \% \quad (14)$$

Uvrštavanjem svih poznatih vrijednosti dobiva se sljedeće :

$$Q_a = 2920,37 \text{ kJ/kgG} \text{ i } q_a = 16,44 \%$$

4.6.2. Toplinski gubici zbog nepotpunog izgaranja

$$Q_b = \frac{12644 \cdot CO \cdot (C - C_r)}{0,536 \cdot (CO_2 + CO) \cdot 100}, \text{ kJ/kgG} \quad (15)$$

$$q_b = 100 \cdot \frac{Q_b}{H_u}, \% \quad (16)$$

Uvrštavanjem poznatih ulaznih podataka dobiva se sljedeće :

$$Q_b = 537,59 \text{ kJ/kgG} \text{ i } q_b = 3,03 \%$$

4.6.3. Toplinski gubici zbog neizgorenosti goriva

$$Q_r = \frac{335 \cdot b \cdot R}{100}, \text{ kJ/kgG} \quad (17)$$

$$q_r = 100 \cdot \frac{Q_r}{H_u}, \% \quad (18)$$

Prema HRN EN 12815, poglavlje A.4.6, ako je ispitno gorivo drvo ili drveni briketi, ne mjeri se sadržaj ugljika C_r . Toplinski gubici zbog neizgorenosti goriva uzimaju se prema tome :

$$q_r = 0,5 \%$$

Kad smo izračunali sve gubitke, dobiva se da ukupna efikasnost štednjaka prema (13) :

$$\eta = 80,04 \%$$

¹³ Po kilogramu goriva

Usporedbe radi, pomoću analizatora dimnih plinova izmjerena je ukupna efikasnost štednjaka od 82,45 %.

4.7. Ukupni učinak

Ukupni učinak određuje se pomoću mase goriva B [kg/h], donje ogrjevnosti goriva H_u [kJ/kg] i efikasnosti η [%], prema formuli [12] :

$$P = \frac{\eta \cdot B \cdot H_u}{100 \cdot 3600}, \text{ kW} \quad (19)$$

Uvrštavanjem potrebnih veličina u prethodnu jednadžbu dobivamo :

$$P = 30,02 \text{ kW}$$

Za metodu ispitivanja nazivnog učinka norma HRN EN 12815 dopušta odstupanje izračunatog učinka za ± 10 % od vrijednosti koju daje proizvođač (u ovom slučaju 35 kW). Ali ovo vrijedi samo ako imamo minimalno 2 ispitna rezultata i iz njih izračunatu srednju vrijednost. To ovdje nije slučaj zbog nedostatka vremena, pa je ispitivanje nazivnog učinka izvedeno samo jedanput.

4.8. Toplina predana vodi

Toplina predana vodi određuje se pomoću masenog protoka M_w [kg/h], razlike temperature (polaz-povrat) N [K] i specifičnog toplinskog kapaciteta vode C_p [kJ/kgK], prema formuli [12] :

$$P_w = \frac{C_p \cdot M_w \cdot N}{3600}, \text{ kW} \quad (20)$$

Uvrštavanjem poznatih podataka u prethodnu jednadžbu dobivamo :

$$P_w = 17,04 \text{ kW}$$

4.9. Toplina predana prostoru

Određuje se kao razlika između ukupnog učinka i topline predane vodi, prema formuli [12] :

$$P_{SH} = P - P_w, \text{ kW} \quad (21)$$

$$P_{SH} = 30,02 - 17,04 = 12,98 \text{ kW}$$

Tablica 6. Rezultati termodinamičkog proračuna

Efikasnost štednjaka	$\eta = 80,04 \%$
Ukupni učinak	$P = 30,02 \text{ kW}$
Toplina predana vodi	$P_w = 17,04 \text{ kW}$
Toplina predana prostoru	$P_{SH} = 12,98 \text{ kW}$

4.10. Ispitno izvješće

Tablica 7. Ispitno izvješće

ISPITIVANJE ŠTEDNJAKA NA BIOMASU PREMA HRN EN 12815						
Proizvođač: Senko d.o.o., Vladimira Nazora 22, Štefanec, 40000 Čakovec				Datum: 01.06.2012.		
Tip štednjaka: C-35/2035L				Ispitivač: Ivan Friščić		
Broj izvješća: 01-0612						
ISPITIVANJE NAZIVNOG UČINKA						
Opis	Oznaka	Jedinica	Prosjek	1. ispitni period	2. ispitni period	Odstupanje (prema Normi)
Model			C-35/2035 L			-----
Ispitno gorivo			Drveni briketi			-----
Ogrjevna vrijednost	Hu	kJ/kg	17768			-----
Sadržaj vlage	W	%	10			-----
Broj ponovnih loženja		n'				-----
Masa goriva		kg	7,599			-----
Trajanje jednog loženja		h	1			Vidi 6.5
Masa ispitnog goriva za jedno loženje	B	kg/h	7,599			-----
Potrebni podtlak		Pa	16,5			Vidi 6.1

dimnjaka						
Temperatura ispitne prostorije	tr	°C	27,08			-----
Temperatura dimnih plinova	ta	°C	239,28			-----
Prosječni sadržaj O ₂	O ₂	%	11,2			-----
Prosječni sadržaj CO ₂	CO ₂	%	9,08			-----
Prosječni sadržaj CO	CO	ppm	5544,23			-----
Prosječni sadržaj CO	CO	%	0,55			-----
Prosječni sadržaj CO za 13 % O ₂	CO	%	0,45			≤ 1
Maksimalni sadržaj CO ₂	CO ₂ max	%	20,34			-----
Sadržaj ugljika u pepelu	Cr	%	0			-----
Specifični toplinski kapacitet suhih dimnih plinova	Cpmd	kJ/Km ³	1,36			-----
Specifični toplinski kapacitet vodene pare	CpmH ₂ O	kJ/Km ³	1,53			-----
Maseni protok dimnih plinova	m	g/s	25,66			-----
Toplinski gubici osjetne topline dimnih plinova	Qa	kJ/kg	2920,37			-----
	qa	%	16,44			-----
Toplinski gubici zbog nepotpunog izgaranja	Qb	kJ/kg	537,59			-----
	qb	%	3,03			-----
Toplinski gubici zbog neizgorenosti goriva	Qr	kJ/kg	0			-----
	qr	%	0,5			Vidi A.4.6
Efikasnost (izračunata)	η	%	80,04			≥ 60 %
Efikasnost (izmjerena)	η	%	82,45			-----
Nazivni učinak	P	kW	30,02			± 10 %
Nazivni učinak (proizvođač)	P	kW	35			-----
Toplina predana vodi	P _w	kW	17,04			-----
Toplina predana prostoru	PSH	kW	12,98			-----

5. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je izraditi projekt ispitne stanice za ispitivanje toplinskih karakteristika štednjaka na biomasu prema normi HRN EN 12815. Mjerna staza omogućava ispitivanje štednjaka sa i bez spremnika za pripremu potrošne tople vode i/ili centralno grijanje, u rasponu nazivnih toplinskih učinaka 5-40 kW. U radu su opisani zahtjevi koje norma postavlja za projektiranje ovakve ispitne stanice, a opisana je izvedba same stanice. Detaljniji crteži sa dimenzijama mjerne linije i smještajem iste u ispitnu prostoriju nalaze se u Prilogu.

Mjerna linija sastoji se od mjerne sekcije za analizu dimnih plinova, vage za gorivo, vage za uređaj, kuta mjerenja, sustava za mjerenje temperatura (termoparovi) te sustava za prikupljanje i obradu podataka. Ako je sustavom predviđeno i grijanje potrošne tople vode, sve zajedno se priključuje na hidraulički krug.

U radu su također opisane i metode ispitivanja i izrađen predložak mjernog protokola. Ispitivanje odabranog štednjaka nazivnog toplinskog učinka od 35 kW provedeno je u ispitnoj stanici tvrtke Senko d.o.o. Kao ispitno gorivo koriste se drveni briketi (bukva 40 %, hrast 60 %) izmjenjenog sadržaja vlage od 10 %. Prilikom ispitivanja izmjenjen je sastav (koncentracija CO₂, O₂ i CO) i temperatura dimnih plinova. Također su termoparovima mjerene temperature ispitne podloge i zidova kuta mjerenja, te spremnika za gorivo, pećnice i pepeljare. Kod uređaja koji imaju uključeno i grijanje PTV-a mjeri se protok i porast temperature vode. Sva mjerna oprema mora zadovoljiti mjernu nesigurnost definiranu u normi.

Koristeći dane podatke s mjerenja odabranog štednjaka, proveden je termodinamički proračun za obradu izmjerenih veličina i izrađeno je ispitno izvješće. Sadržaj CO iznosi 0,45 % što zadovoljava zahtjev od CO = max. 1 % naveden u normi. Izračunata je efikasnost štednjaka od 80,04 % što se jako dobro poklapa sa efikasnošću dobivenom na mjernom uređaju za analizu dimnih plinova od 82,45 %. Ukupni učinak štednjaka dobiven je 30,02 kW. Za metodu ispitivanja nazivnog učinka norma HRN EN 12815 dopušta odstupanje izračunatog učinka za $\pm 10\%$ od vrijednosti koju daje proizvođač (u ovom slučaju 35 kW). Ali spomenuto vrijedi samo ako imamo minimalno 2 ispitna rezultata i iz njih izračunatu srednju vrijednost. To ovdje nije slučaj zbog nedostatka vremena, pa je ispitivanje nazivnog učinka izvedeno samo jedanput.

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija
- III. Predložak mjernog protokola
- IV. Predložak ispitnog izvješća

LITERATURA

- [1] <http://mcsolar.hr/biomasa.php>
- [2] Švaić, S.: Proizvodnja toplinske energije iz drvene biomase, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2005.
- [3] Šimić, Z., Šljivac, D.: Obnovljivi izvori energije, Zagreb, 2009.
- [4] <http://www.e3partneri.hr/index.php?/Info-kutak/biomasa.html>
- [5] Švaić, S.: Predavanja iz kolegija Obnovljivi izvori energije - dio Biomasa, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2009.
- [6] <http://www.hoval.hr/hr/proizvodi/pretrazivanje/product/97>
- [7] http://www.begreensystems.co.uk/biomass_boilers.html
- [8] http://www.viessmann.hr/hr/products/Holzessel/Vitoligno_100-S.html
- [9] <http://centralno.grijanje-rijeka.info/kotlovi-i-peci/peci-kotlovi-buderus-vaillant-acv-senko-centrometal/>
- [10] Senko - štednjaci i kamini, katalog proizvoda, Štefanec, 2010.
- [11] http://www.timsistem.rs/pdf/Alma_Mons_uputstvo-srpski.pdf
- [12] HRN EN12815:2001 : Residential cookers fired by solid fuel - Requirements and test methods, June 2001.
- [13] Halasz B., Galović A., Boras I.: Toplinske tablice, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2010.
- [14] HRN EN12815:2001/A1:2004 : Residential cookers fired by solid fuel - Requirements and test methods, September 2004.

**MJERNI PROTOKOL ZA ISPITIVANJE ŠTEDNJAKA NA BIOMASU
PREMA HRN EN 12815 – Štednjaci na kruta goriva – zahtjevi i metode ispitivanja**

	Proizvođač štednjaka :		
	Tip štednjaka :		
	Broj protokola :		
	Datum :		
	Ispitivač :		
		<i>trajanje, min</i>	<i>vrijeme ispitivanja, h</i>
1	<i>ISPITIVANJE NAZIVNOG UČINKA</i>		
1.1	zapaljenje	20	
1.2	predispitni period	60	
1.3	1. ispitni period	60	
1.4	2. ispitni period	60	
2	<i>ISPITIVANJE RADNIH KARAKTERISTIKA PLOČE ZA KUHANJE</i>		
2.1	predispitni period	30	
2.2	1. ispitni period	60	
2.3	2. ispitni period	60	
3	<i>ISPITIVANJE RADNIH KARAKTERISTIKA PEĆNICE</i>		
3.1	predispitni period	30	
3.2	ispitni period	30	
4	<i>ISPITIVANJE TEMPERATURNE SIGURNOSTI</i>		
4.1	1. ispitni period	45	
4.2	2. ispitni period	45	
4.3	3. ispitni period	45	
5	<i>ISPITIVANJE SIGURNOSNOG UREĐAJA ZA PRAŽNENJE SUSTAVA</i>		
5.1	predispitni period	60	
5.2	ispitni period	50	
6	<i>ISPITIVANJE POLICE I VRATA PEĆNICE</i>		
7	<i>TLAČNA PROBA</i>		

NAPOMENA :

1 – trajanje ispitivanja minimalno 1 h ± 15 %

- na kraju predispitnog perioda žeravica+pepeo ≤ 50 g
- potrebni podtlak dimnjaka ± 2 Pa od vrijednosti očitane iz *dijagrama 6.1.* Norme
- sve mjerne veličine mjeriti u intervalima ne manjim od 1 min
- izmjereni učinak u granicama ± 10 % od učinka koji daje proizvođač štednjaka

2 – dimenzije posude za zakuhanje definirane na *slici A.12.* Norme

- naložiti po potrebi da se održi temperatura pećnice od (230 ± 30) °C minimalno 30 min
- u posudu staviti (2000 ± 5) g vode
- zakuhavati vodu 15 min nakon početka 1.ispitnog perioda te 15 min nakon početka 2.ispitnog perioda

- ispitni period završava kada temp. vode u posudi poraste za 75 K
- održavati temperaturu pećnice na (230 ± 30) °C tijekom 120 min zakuhavanja
- 3** – u pećnicu se stavljaju rezanci od posebnog kolača (recept u A.4.11 Norme)
 - predispitni period završava kad se temperatura pećnice propisana od proizvođača održala na ± 10 °C u vremenu od 30 min
 - ispitivanje je valjano ako boja površine rezanaca nakon pečenja odgovara optimalnoj boji definiranoj u *Annex-u C* Norme
- 4** – ispitno gorivo treba biti jela određenih dimenzija te sadržaja vlage (15 ± 3) %
 - potrebni podtlak dimnjaka ± 2 Pa od vrijednosti očitane iz *dijagrama 6.1.* Norme
 - ispitivanje završava kada su temperature iste ili niže nego u prethodnom periodu
- 5** – hladna voda koja se koristi za disipaciju viška topline mora biti temperature $10 \div 15$ °C i tlaka $(2 \pm 0,1)$ bar
 - potrebni podtlak dimnjaka ± 2 Pa od vrijednosti očitane iz *dijagrama 6.1.* Norme
 - završiti ispitivanje kad sigurnosni uređaj počne ili ne počne raditi, a temperatura vode je veća od 105 °C
- 6** – ravnomjerno rasporediti $(9 \pm 0,1)$ kg kvadratne ploče dimenzija (215 ± 10) mm na 2/3 površine police
 - ispitivanje ponoviti za svaku policu pećnice
 - isti postupak se izvodi i za ispitivanje vrata pećnice
- 7** – tlačiti sustav najmanje 10 min sa 2x većim tlakom od tlaka koji propisuje proizvođač

**ISPITNO IZVJEŠĆE - ISPITIVANJE ŠTEDNJAKA NA BIOMASU
PREMA HRN EN 12815**

Proizvođač: Tip štednjaka: Broj izvješća:	Datum: Ispitivač:
---	----------------------

SVOJSTVA ISPITNOG GORIVA

<i>Opis</i>	<i>Oznaka</i>	<i>Jedinica</i>	<i>Sve metode ispitivanja</i>	<i>Ispitivanje temperaturene sigurnosti</i>	<i>Odstupanje (prema Normi)</i>
Tip goriva			drvene cjepanice	komadi drva	
Vrsta goriva			bukva	jela	
Poprečni presjek		mm			
Duljina		mm			
Sadržaj vodika (za suho stanje bez pepela)	h	kg/kg			
Sadržaj ugljika (za suho stanje bez pepela)	c	kg/kg			
Sadržaj sumpora (za suho stanje bez pepela)	s	kg/kg			
Sadržaj kisika (za suho stanje bez pepela)	o	kg/kg			
Stehiometrijska količina kisika	A	mol O ₂ /mol G			
Molarni sadržaj vodika	m _h				
Molarni sadržaj kisika	m _o				
Molarni sadržaj sumpora	m _s				
Sadržaj CO _{2max}	CO _{2max}	%			
Sadržaj vlage	W	%			(16±4) %
Sadržaj sumpora	S	%			< 1%
Sadržaj dušika	N	%			
Sadržaj ugljika	C	%			(40±5) %
Sadržaj vodika	H	%			(5±1) %
Sadržaj pepela	R	%			< 1 %
Hlapivi sastojci		%			(84±4) %
Donja ogrjevna vrijednosti	H _u	kJ/kg			

NAPOMENA:

**ISPITNO IZVJEŠĆE - ISPITIVANJE ŠTEDNJAKA NA BIOMASU
PREMA HRN EN 12815**

Proizvođač: Tip štednjaka: Broj izvješća:	Datum: Ispitivač:
---	----------------------

ISPITIVANJE NAZIVNOG UČINKA

Opis	Oznaka	Jedinica	Srednja vrijednost	1.ispitni period	2.ispitni period	Odstupanje (prema Normi)
Model						-----
Ispitno gorivo						-----
Ogrjevna vrijednost	H _u	kJ/kg				
Sadržaj vlage	W	%				
Broj ponovnih loženja		n'				-----
Masa goriva		kg				-----
Trajanje jednog loženja		h				Vidi 6.5
Masa ispitnog goriva za jedno loženje	B	kg/h				-----
Potrebni podtlak dimnjaka		Pa				Vidi 6.1
Temperatura ispitne prostorije	t _r	°C				-----
Temperatura dimnih plinova	t _a	°C				-----
Prosječni sadržaj O ₂	O ₂	%				-----
Prosječni sadržaj CO ₂	CO ₂	%				-----
Prosječni sadržaj CO	CO	ppm				-----
Prosječni sadržaj CO	CO	%				-----
Prosječni sadržaj CO za 13 % O ₂	CO	%				≤ 1
Maksimalni sadržaj CO ₂	CO _{2max}	%				-----
Sadržaj ugljika u pepelu	C _r	%				-----
Specifični toplinski kapacitet suhih dimnih plinova	C _{pmd}	kJ/Km ³				-----
Specifični toplinski kapacitet vodene pare	C _{pmH20}	kJ/Km ³				-----
Maseni protok dimnih plinova	m	g/s				-----
Toplinski gubici osjetne topline dimnih plinova	Q _a	kJ/kg				-----
	q _a	%				-----
Toplinski gubici zbog nepotpunog izgaranja	Q _b	kJ/kg				-----
	q _b	%				-----
Toplinski gubici zbog neizgorenosti goriva	Q _r	kJ/kg				-----
	q _r	%				Vidi A.4.6
Efikasnost (izračunata)	η	%				≥ 60 %
Efikasnost (izmjerena)	η	%				-----
Nazivni učinak	P	kW				± 10 %
Nazivni učinak (proizvođač)	P	kW				-----
Toplina predana vodi	P _w	kW				-----
Toplina predana prostoru	P _{SH}	kW				-----

ISPITIVANJE RADNIH KARAKTERISTIKA PLOČE ZA KUHANJE						
Opis	Oznaka	Jedinica	Srednja vrijednost	---	---	Odstupanje (prema Normi)
Model						-----
Ispitno gorivo						-----
Pećnica DA/NE						-----
Primarni zrak ON/OFF						-----
Sekundarni zrak ON/OFF						-----
Temperatura u sredini pećnice		°C				230±30
1.ispitivanje						
- temperatura hladne vode		°C				17 ÷ 20
- porast temperature		K				Vidi A.4.10
- konačna temperatura vode		°C				-----
- vrijeme potrebno za porast temperature		min				15
2.ispitivanje						
- temperatura hladne vode		°C				17 ÷ 20
- porast temperature		K				Vidi A.4.10
- konačna temperatura vode		°C				-----
- vrijeme potrebno za porast temperature		min				15
ISPITIVANJE RADNIH KARAKTERISTIKA PEĆNICE						
Opis	Oznaka	Jedinica	Srednja vrijednost	---	---	Odstupanje (prema Normi)
Model						-----
Ispitno gorivo						-----
Primarni zrak ON/OFF						-----
Sekundarni zrak ON/OFF						-----
Masa ispitnog goriva		kg/h				-----
Srednji podtlak dimnjaka		Pa				-----
Temperatura ispitne prostorije		t _r °C				-----
Ukupni učinak		kW				50
Potrebna temperatura za pečenje		°C				Vidi A.4.11.3
Površinska boja rezanaca - iznad						
- svijetla		DA/NE				Vidi 6.7
- optimalna		DA/NE				Vidi 6.7
- tamna		DA/NE				Vidi 6.7
Površinska boja rezanaca - ispod						
- svijetla		DA/NE				Vidi 6.7
- optimalna		DA/NE				Vidi 6.7
- tamna		DA/NE				Vidi 6.7
Rezanci pečeni po sredini		DA/NE				Vidi 6.7

ISPITIVANJE POLICE I VRATA PEĆNICE						
Opis	Oznaka	Jedinica	Srednja vrijednost	---	---	Odstupanje (prema Normi)
Model						-----
Duljina police		mm				-----
Izvlačenje police		mm				Vidi A.4.13
Broj polica						-----
Progib 1. police od horizontale		°				< 10
Progib 2. police od horizontale		°				< 10
Progib 2. police od horizontale		°				< 10
Progib vrata pećnice		DA/NE				-----
Maksimalni progib vrata pećnice		mm				15
ISPITIVANJE TEMPERATURNE SIGURNOSTI						
Opis	Oznaka	Jedinica	Srednja vrijednost	---	---	Odstupanje (prema Normi)
Model						-----
Ispitno gorivo			Jela			-----
Sadržaj vlage		%				15±3 %
Primarni zrak ON/OFF						-----
Sekundarni zrak ON/OFF						-----
Masa ispitnog goriva		kg				-----
Broj loženja						-----
Srednji podtlak dimnjaka		Pa				Vidi 6.1
Temperatura ispitne prostorije	t _r	°C				-----
Prosječna temperatura dimnih plinova	t _a	°C				-----
Maksimalna temperatura dimnih plinova	t _{a,max}	°C				-----
Ukupni učinak		kW				50
Maksimalna temperatura kuta mjerenja						
Ispitna podloga		K				65
Bočni zid		K				65
Stražnji zid		K				65
Maksimalna temperatura spremnika za gorivo		K				65
Oštećenja nastala tijekom ispitivanja		DA/NE				-----

ISPITIVANJE SIGURNOSNOG UREĐAJA ZA PRAŽNJENJE SUSTAVA						
Opis	Oznaka	Jedinica	Srednja vrijednost	---	---	Odstupanje (prema Normi)
Model						-----
Ispitno gorivo						-----
Temperatura hladne vode		°C				10 ÷ 15 °C
Tlak hladne vode		bar				2±0,1 bar
Temperatura izlazne vode		°C				-----
Temperatura pri kojoj se otvara ventil		°C				max 105 °C
TLAČNA PROBA						
Opis	Oznaka	Jedinica	Srednja vrijednost	---	---	Odstupanje (prema Normi)
Model						-----
Maksimalni radni tlak		bar				-----
Minimalni radni tlak		bar				-----
Ispitni tlak		bar				Vidi A.4.13
Trajanje ispitivanja		min				≥ 10
Propuštanje		DA/NE				-----
ISPITIVANJE ELEKTRIČNE SIGURNOSTI						
Opis	Oznaka	Jedinica	Srednja vrijednost	---	---	Odstupanje (prema Normi)
Model						-----
Električna snaga (izmjerena)		W				-----
Električna snaga (propisana)		W				-----
Faza sa maksimalnim opterećenjem						-----

Odgovorna osoba

Ispitivač

Datum
