

# NIV\_LTE 638/2

Tehnički izveštaj o ispunjenosti garancije  
stepena korisnosti, pada pritiska i  
emisije zagađujućih materija kotla

Institut za nuklearne nauke "Vinča"  
Laboratorija za termotehniku i energetiku  
Mike Petrovića-Alasa 12-14  
11351 Vinča, Beograd  
Tel. +381 11 3408343  
Fax. +381 11 6453670

Kontakt: Aleksandar Erić  
e-mail: erica@vinca.rs  
Dejan Cvetinović  
e-mail: deki@vinca.rs



## **GARANCIJSKO ISPITIVANJE KOTLA U JKP "NOVOSADSKA TOPLANA", TO „ISTOK“ U NOVOM SADU, SRBIJA**

**Apstrakt:** Za potrebe JKP „Novosadska toplana“ izvedeno je povećanje kapaciteta uvođenjem novog kotla K4 u TO „Istok“ u Novom Sadu. U obimu isporuke firme Remming je jedna vrelovodna kotlovska jedinica nominalne snage 58 MW na gasovito gorivo.

Nakon puštanja u rad i probnog perioda izvršeno je dokazivanje pada pritiska sa vodene strane kotla i ekonomajzera, nominalne toplotne produkcije, stepena korisnosti i graničnih vrednosti emisije zagađujućih materija kotla 58 MW u radu na gasovito gorivo. U cilju sprovođenja ovih garancijskih ispitivanja izvršeno je merenje na objektu TO „Istok“ u okviru JKP „Novosadska toplana“, u Novom Sadu, Srbija dana 20.11.2018.

## LEGENDA IZVEŠTAJA

Ovaj Preliminarni tehnički izveštaj izrađen je prema Ugovoru br. 8-42/18 Naš broj: 407-63/2018-000 od 20.08.2018. god., Vaš broj 1023 od 23.08.2018. god., između firme „Javno komunalno preduzeće Novosadska toplana Novi Sad“, Novi Sad, Vladimira Nikolića 1, PIB: 100726741; MB: 08038210, koga zastupa direktor Dobrosav Arsović, dipl. ekon. (u daljem tekstu „Korisnik usluga“) i Instituta za nuklearne nauke „Vinča“ iz Beograda Mike Petrovića Alasa 12-14, PIB 101877940, MB 07035250, koga zastupa direktor dr Milica Marčeta Kaninski (u daljem tekstu „Pružalac usluga“). Ugovorom je predviđeno garancijsko ispitivanje kotla u JKP „Novosadska toplana“, TO „Istok“ u Novom Sadu u cilju dokazivanja garantovanih parametara.

Protokole o otpočinjanju i završetku ispitivanja potpisali su predstavnici: JKP „Novosadska toplana“ Novi Sad, REMMING d.o.o. iz Srbobrana i Pružalac usluga. Ispitivanja su izvršena u svemu u skladu sa odgovarajućim standardima za ovaj tip ispitivanja. Zapisnici sa sprovedenih merenja dati su u Aneksu 1 ovog izveštaja.

Izvođač ispitivanja se zahvaljuje gospođi Aleksandri Lukić, rukovodiocu Odeljenja za proizvodnju toplotne energije na pruženoj stručnoj i tehničkoj pomoći tokom realizacije celokupnog ugovora, kao i osoblju kotlovske postrojenja JKP „Novosadska toplana“, TO „Istok“ Novi Sad na pruženoj pomoći tokom pripreme i ispitivanja kotla.

Svi materijali, proračuni i beleške pravljene tokom ispitivanja, koji nisu prikazani u ovom izveštaju, nalaze se kod Pružaoca usluga i raspoloživi su ovlašćenim licima Korisnika usluga za eventualni pregled i korišćenje.

### Pripreme, ispitivanja i obradu rezultata obavili su sledeći saradnici :

- |                                    |                                  |
|------------------------------------|----------------------------------|
| 1. dr. D. Cvetinović dipl.maš.inž. | 5. dr Z. Marković, dipl.maš.inž. |
| 2. dr A. Erić, dipl. maš. inž.     | 6. S. Popović, el.teh.           |
| 3. P. Škobalj, dipl. Maš.inž.      | 7. V. Živković, el.teh.          |
| 4. dr M. Erić, dipl.maš.inž.       | 8. R Starčević, maš. teh.        |

Izveštaj izradili: dr A. Erić, dipl.maš.inž., dr D. Cvetinović, dipl.maš.inž i dr P. Škobalj, dipl.maš.inž.

U Vinči, 12. decembra 2018. god.



ZA: Lice odgovorno za realizaciju ugovora:

(dr Dejan Cvetinović, dipl.maš.inž.)

Direktor:

(dr Goran Živković, dipl.maš.inž.)

Copyright®

Shodno odgovarajućim zakonskim propisima, ovaj izveštaj niti u celosti niti u bilo kojim pojedinostima ne može biti reprodukovano, citirano, javno, ili u komercijalne svrhe korišćen bez odobrenja korisnika – JKP „Novosadska toplana“, Novi Sad.

# SADRŽAJ

GARANCIJSKO ISPITIVANJE KOTLA U JKP "NOVOSADSKA TOPLANA", TO „ISTOK“ U NOVOM SADU, SRBIJA – Rezime izveštaja

1. UVOD	1
2. PRIPREME ISPITIVANJA	8
2.1 Garantovane vrednosti kotla K4 58 MW u JKP „Novosadska toplana“, TO „Istok“, Novi Sad, Srbija	8
2.2 Šema merenja i merna oprema	9
2.3 Primenjeni tehnički standardi	14
2.4 Uslovi ispitivanja	14
2.5 Merna nesigurnost	14
3. REZULTATI ISPITIVANJA	15
3.1 Ispunjenost uslova ispitivanja	15
3.2 Ispunjenost garancija	15
3.3 Izmerene vrednosti	15
3.4 Proračun stepena korisnosti	18
3.5 Zaključak o sprovedenim analizama	43
Literatura i podloge	44
ANEKSI 1-4	
ANEKS 1: Zapisnici sa merenja	
ANEKS 2: Izveštaj o sastavu korišćenog goriva	
ANEKS 3: Merne liste	
ANEKS 4 <sup>1</sup> : Atesti uređaja i merne opreme	

---

<sup>1</sup> Aneks 4 raspoloživ je samo u štampanoj verziji izveštaja

**GARANCIJSKO ISPITIVANJE KOTLA U JKP "NOVOSADSKA TOPLANA", TO „ISTOK“ U NOVOM SADU, SRBIJA – Rezime izveštaja**

U cilju sprovođenja garancijskih ispitivanja izvršeno je merenje dana 20.11.2018. na kotlu K4 u objektu TO „Istok“ u okviru JKP „Novosadska toplana“, u Novom Sadu, Srbija. Merenja su obavljena u sledećim vremenskim intervalima:

**Određivanje maksimalne toplotne snage i stepena korisnosti i pada pritiska kroz kotao**

	Režim 1 100%	Režim 2 60%	Režim 3 30%	Pad pritiska kroz kotao
Vreme	11:00-12:15	12:40-13:40	14:00-15:00	Nakon Režima 3

**Određivanje emisije zagađujućih materija kotla**

	Režim 1 100%	Režim 2 60%	Režim 3 30%
Vreme	11:00-12:15	12:40-13:40	14:00-15:00

Nakon sprovedenih merenja izvršena je obrada podataka u cilju sagledavanja ispunjenosti garancija. Rezultati proračuna dati su u sledećoj tabeli.

**Sumarni prikaz ocene ispunjenosti garancija**

Parametar dokazivanja	Jedinica	Režim 1	Režim 2	Režim 3	Ispunjenost garancije DA / NE
		100%	60%	30%	
		11:-12:15	12:40-13:40	14:00-15:00	
Snaga	MW	<b>59,1</b>	<b>39,4</b>	<b>23,8</b>	<b>DA</b>
Stepen korisnosti za Bilansnu granicu 1	%	<b>97,75</b>	<b>97,73</b>	<b>97,72</b>	<b>DA</b>
Merna nesigurnost stepena korisnosti za Bilansnu granicu 1	%	<b>0,55</b>	<b>0,57</b>	<b>0,56</b>	<b>DA</b>
Stepen korisnosti za Bilansnu granicu 2	%	<b>98,13</b>	<b>98,10</b>	<b>98,07</b>	<b>DA</b>
Merna nesigurnost stepena korisnosti za Bilansnu granicu 2	%	<b>0,55</b>	<b>0,57</b>	<b>0,56</b>	<b>DA</b>
Pad pritiska sa vodene strane	bar	<b>0,88</b>			<b>DA</b>
Emisija NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	<b>46,23</b>	<b>46,59</b>	<b>35,36</b>	<b>DA</b>

## KORIŠĆENE OZNAKE:

$t_A$	°C	Temperatura okoline
$p_u$	hPa	Barometarski pritisak
$t_{wu}$	°C	Temperatura vode na ulasku u bilansni sistem
$p_{wu}$	MPa	Pritisak vode na ulasku u bilansni sistem
$m_{wi}$	t/h	Protok vode na izlazu iz bilansnog sistema
$t_{wi}$	°C	Temperatura vode na izlazu iz bilansnog sistema
$p_{wi}$	MPa	Pritisak vode na izlazu iz bilansnog sistema
$m_v$	kg/s	Protok vazduha na ulazu u bilansni sistem
$t_v$	°C	Temperatura vazduha na ulazu u bilansni sistem
$t_{DG}$	°C	Temperatura dimnih gasova na izlazu iz bilansnog sistema
$m_{DG}$	kg/s	Protok dimnih gasova na izlazu iz bilansnog sistema
$Y_{O_2T}$	$m^3/m^3$	Sadržaj $O_2$ u dimnom gasu
$Y_{CO_2T}$	$m^3/m^3$	Sadržaj $CO_2$ u dimnom gasu
$Y_{CO T}$	$m^3/m^3$	Sadržaj $CO$ u dimnom gasu
$Y_{NO T}$	$m^3/m^3$	Sadržaj $NO$ u dimnom gasu
$Y_{SO_2T}$	$m^3/m^3$	Sadržaj $SO_2$ u dimnom gasu
$H_d$	MJ/kg	Donja toplotna moć pri standardnim uslovima
$m_f$	t/h	Protok goriva
$P_E$	kW	Snaga električnih uređaja

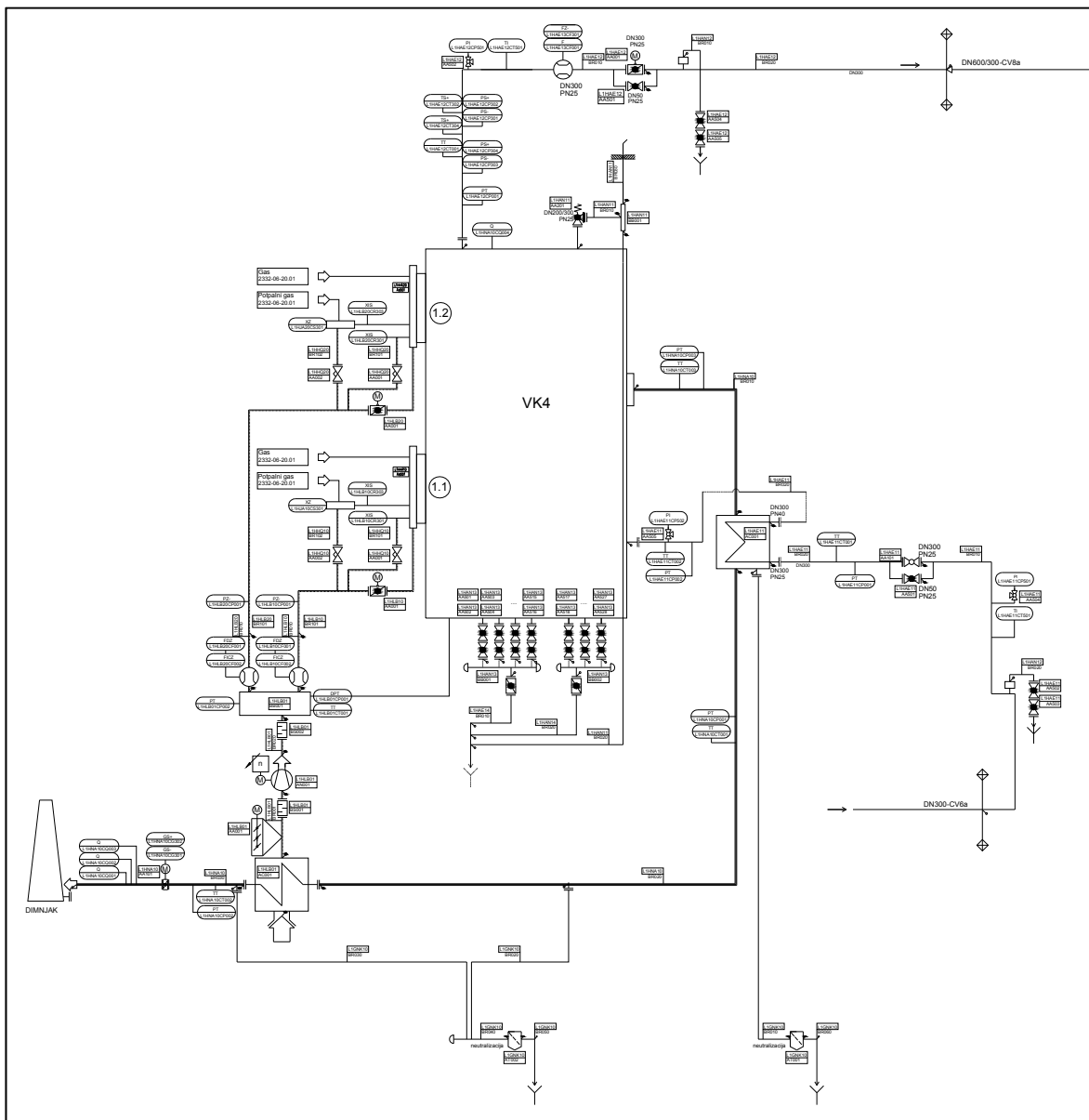
### Indeksi

- 1 Bilansna granica 1
- 2 Bilansna granica 2



## 1. UVOD

Za potrebe JKP „Novosadska toplana“ u objektu toplane „Istok“ izvedeno je povećanje kapaciteta uvođenjem novog toplotnog izvora za produkciju vrele vode. U obimu isporuke firme Remming je jedna vrelovodna kotlovska jedinica nominalne snage 58MW. Šema kotlovske postrojenja kotla K4 prikazana je na Slici 1.



Slika 1. Šema kotlovske postrojenja kotla K4

### 1. Vrelovodni kotao 58MW

Vrelovodni kotao RHW 58 je membranski natpritisni kotao toplotne snage 58 MW i sastoji se od:

- Vrelovodnog kotla RHW 58
- Ekonomajzera (Utilizatora)



Vrelovodni kotao RHW 58 je samonoseći vodocevni kotao u izvedbi od membranskih cevnih ekrana, kolektora i spusnih cevi, te svojom konstrukcijom, položajem gorionika i dimenzijama predstavlja jedno od optimalnih rešenja vrelovodnih kotlova. Vrelovodni kotao radi sa natpritiskom u ložištu kao posledica rada potisnog vazdušnog ventilatora a omogućuje ga membranska konstrukcija kotla. Takva konstrukcija dozvoljava izgradnju kotla bez ventilatora dimnih gasova. Rad kotla sa natpritiskom zahteva nepropusnu izvedbu, koja je ostvarena membranskom izvedbom kotla.

Kotao ima dva gorionika na prednjoj strani, sve priključke, fitinge, opremu i sisteme potrebne za rad i ostvarivanje traženog nivoa efikasnosti. Kotao radi u kondenzacionom režimu – bez zaštite hladnog kraja. Kotao radi sa prinudnim strujanjem vazduha.

Prinudno strujanje vazduha omogućeno je radom ventilatora svežeg vazduha. Na kotlovskim kolektorima su ugrađeni otvori za čišćenje i reviziju.

U cilju održavanja ložišta i konvektivnog dela kotla obezbeđeni su otvori za reviziju, takođe otvor na gornjem delu ekonomajzera kao i otvori za nadgledanje rada gorionika. Pražnjenje i odzračivanje kotla vrši se preko za to namenjenog sistema opremljenog odgovarajućom zapornom armaturom (PN25) kao i dvostrukim ravnim zapornim ventilima. Svi krajevi sistema za pražnjenje i odzraku sprovode se prema zajedničkom kanalu za vodu.

Dimni kanal spaja kotao i ekonomajzer i ekonomajzer sa zagrejačem vazduha (LUVO-om). Revizioni otvori na kanalima dimnih gasova nalaze se iza kotla, iza ekonomajzera i LUVO-a.

Na mestima gde se pojavljuje kondenzat dimnih gasova izveden je cevni priključak DN40 sa pripadajućim priključcima, rezervoarom za skupljanje i sistemom za neutralizaciju istog. Nakon mešanja kondenzata sa Hydrolit Mg dobija se voda neutralnog sastava koji se može ispustiti u kanalizaciju.

U svrhu odvoda ostataka od čišćenja i pranja kotla u dnu ložišta je izveden cevni priključak sa ventilom i sifonom.

Merenje protoka kroz kotao vrši se ultrazvučnim merilom protoka sa računskom jedinicom. Merilo protoka se ugrađuje na izlazu iz kotla ispred zapornog ventila.

Kotao je opremljen odgovarajućom opremom za lokalna merenja kao i uređajima za daljinsko merenje parametara kotla u skladu sa dostavljenom šemom.

Položaj kotla, vazdušnih kanala i pripadajuće opreme optimalno je projektovan tako da je obezbeđeno dovoljno mesta za komunikaciju i održavanje.

Pristup svim delovima kotla omogućen je preko pristupnih stepeništa i platformi.

Kotao je projektovan i proizveden u skladu sa SRPS EN 12952 i Pravilnikom o tehničkim zahtevima za projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti opreme pod pritiskom (Sl. glasnik RS 87/2011) i zahtevu Investitora Tehnički uslovi za izvođenje mašinskih radova.



Izvođač je dužan da obezbedi ocenu usaglašenosti kotla od strane imenovanog tela. Kotao se isporučuje sa kompletnom dokumentacijom prema navedenom Pravilniku i sa "AAA" sertifikatom.

Kotao se u celosti sklapa i ispituje u okviru fabrike proizvođača. Ispitivanju na pritisak prisustvuje imenovano nadzorno telo i Nadzorni organ (ispred investitora), ispitivanje se sprovodi i na mestu montaže.

Kotao se ispituje u skladu sa Pravilnikom o tehničkim zahtevima za projektovanje, izradu i ocenjivanje usaglašenosti opreme pod pritiskom (Sl. glasnik RS 87/2011) i Pravilnikom o pregledima opreme pod pritiskom tokom veka upotrebe ("Sl. glasnik RS", br. 87/2011). Ispitivanje kotla je sastavni deo isporuke kotla.

#### Tehnički podaci

<i>Opis</i>	<i>Jedinica</i>	<i>Vrednost</i>
Nominalna snaga	MW	58
Protok vode	t/h	616,3
Temperatura vode na ulazu	°C	70
Temperatura vode na izlazu	°C	150
Stepen iskorišćenja kotla bez zagrejača vazduha na nominalnom opterećenju	%	97
Stepen iskorišćenja kotla sa zagrejačem vazduha na nominalnom opterećenju	%	98
Protok vazduha za sagorevanje	Nm <sup>3</sup> /h	63484
Protok dimnih gasova	Nm <sup>3</sup> /h	69886
Maksimalni dozvoljeni pritisak	bar(m)	16
Radni pritisak	bar(m)	12
Pad pritiska sa vodene strane	bar(m)	1,2

## 2. Gorionik

Kotao je opremljen sa dva automatska gorionika za sagorevanje prirodnog gasa bez recirkulacije dimnih gasova. Izborom gorionika obezbeđeni su optimalni rezultati sagorevanja koji zadovoljavaju sve propise i standarde u smislu zaštite životne sredine tj. da ne prelaze granične vrednosti emisije propisane u skladu sa Uredbom o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vazduh („Sl.gl. RS“ broj 71/10 i 6/2011-ispr.).

Dodatna oprema i uređaji gorionika obezbeđuju pouzdan i bezbedan rad istih.

Gorionik je sledećih tehničkih karakteristika:

Proizvođač: OILON  
Tip: GT-35A





Kapacitet gorionika : max. 22MW  
Opseg regulacije: 1:10  
Pritisak ispred gasne rampe: 1,5 bar

Kvalitet prirodnog gasa:

	Vrednosti su izražene u molekulskim procentima											Donja toplotna vrednost (MJ/m <sup>3</sup> )	Gustina (kg/m <sup>3</sup> )
	Metan	Etan	Propan	I-butan	N-butan	I-pentan	N-pentan	Neo-pen	Heksan	Azot	Ugljen dioksid		
Zimski opsezi	96 - 95	2,2 - 0,95	0,68 - 0,36	0,11 - 0,09	0,11 - 0,09	0,2 - 0,017	0,014 - 0,012	0,0	0,013 - 0,011	0,94 - 0,75	0,22 - 0,21	34,820-34,587	0,71 - 0,70

Armatura za gas (gasna rampa) Gasna rampa gorionika poseduje sledeće elemente (u celosti u skladu sa "Tehnički uslovi za izvođenje mašinskih radova")

- Ručni zaporni organ (loptasti ventil iz najmanje 2 dela)
- Senzor pritiska gasa sa manometrom i rasteretnom manometarskom slavicom, za merenje pritiska gasa ispred regulatora pritiska gasa. Senzor za merenje pritiska gasa je u Ex izvedbi, opsega 0-6bar, klase tačnosti minimalno 0,075, sa izlaznim signalom 4- 20 mA, napajanje 24 VDC sa navojem G 1/2".
- Filter za gas
- Regulator pritiska gasa za sigurnosnim prekidnim ventilom
- Sigurnosni odušni ventil
- Presostat maksimalnog pritiska gasa
- Presostat minimalnog pritiska gasa
- Prvi glavni zaporni elektro - magnetni gasni ventil sa krajnjim prekidačima
- Drugi glavni zaporni elektro - magnetni gasni ventil sa krajnjim prekidačima
- Regulatorna klapna za gas sa servomotorom - regulator opterećenja
- Kompenzator (po potrebi)
- Pečurkasti brzozatvarajući taster
- Komplet elektromagnetni ventil-presostat za proveru zaptivanja
- Odzračni ventil
- Ultrazvučno merilo protoka gasa sa integrisanim korektorom protoka po pritisku i temperaturi (na standardne uslove). Izlazni signal o trenutnom korigovanom



protoku gasa prosleđuje se na gorioničku automatiku preko komunikacionog (RS485) porta ili analognog strujnog izlaza 4÷20mA.

- Senzor pritiska gasa sa manometrom i rasteretnom manometarskom slavinom, za merenje pritiska gasa iza regulatora pritiska gasa. Senzor za merenje pritiska gasa je u Ex izvedbi, opsega 1,5 puta većeg od merene veličine, klase tačnosti minimalno 0.075, sa izlaznim signalom 4-20 mA, napajanje 24 VDC sa navojem G 1/2".
- Senzor temperature gasa, sonda u Ex izvedbi sa otpornikom Pt100 u zaštitnoj čauri sa navojem, opsega 0-50°C, klasa tačnosti minimalno 0.5, sa transmitemom i izlaznim signalom 4-20 mA, napajanje 24 VDC, L=300mm.
- Senzor pritiska gasa iza drugog glavnog zapornog elektro – magnetnog ventila a ispred regulatora opterećenja (dodatni sigurnosni uređaj koji mora biti povezan u sigurnosni lanac potpale kotla).

Svi gasni cevovodi su od bešavnih cevi, materijal P235GHTC1 i zaštićeni antikorozivnim premazom i ofarbani žutom bojom (u dva premaza);

### **3. Gasovod**

Gasovod se izvodi od bešavnih čeličnih cevi odgovarajuće dimenzije. Tačka povezivanja sa postojećom unutrašnjom gasnom instalacijom je cevovod DN450 iza glavnog zapornog organa na ulazu u objekat pre redukcije prema kotlovima K1 i K2.

Nominalni protok gasa u priključnom cevovodu: 6 457 Nm<sup>3</sup>/h

### **4. Zagrejač vazduha dimnim gasovima (LUVO)**

Vazduh potreban za sagorevanje obezbeđuje ventilator svežeg vazduha. Ventilator potiskuje vazduh kroz vazdušni kanal u gorionik, odnosno u ložište kotla. Ventilator je direktno povezan sa elektromotorom i smešten na zajedničkom postolju. Ventilator se preko odgovarajuće vrste vibroabsorbera (stope ili slično) oslanja na podlogu. Položaj ventilatora je iza kotla, kod zagrejača vazduha. Zaštita elektromotora je IP 55, oblik B3. Nivo buke agregata zadovoljava važeće propise o dozvoljenom nivou buke. Ventilator je dimenzionisan da pored potrebne količine vazduha za sagorevanje, savladava nadpritisak u ložištu i sve otpore do dimnjaka, što znači da savladava otpore kroz kotao, utilizator, LUVO i vrelovodni zagrejač vazduha.

### **5. Vazdušni kanal**

Vazdušni kanali i vazdušna kutija kojom su međusobno povezani zagrejač vazduha dimnim gasovima (LUVO), ventilator i gorionici, izrađeni su od limova S235JRG2 debljine u zavarenoj izvedbi, ojačani "rebrima" od pljosnatog čelika i oslonjeni preko čeličnih stubova. Na vazdušnom kanalu ispred kutije gorionika predviđeno je izvođenje revizionog otvora za ulazak u vazdušni kanal. Vazdušna klapna na ulazu u gorionik reguliše potrebnu količinu vazduha za sagorevanje.



Kanali su izolovani mineralnom vunom debljine 50mm i obloženi aluminijumskim limom debljine 1mm.

Na vazdušni kanalima se ugrađuje termometar za merenje temperature vazduha. Svaki od gorionika ima zasebnu granu za dovod vazduha za sagorevanje. U svakoj grani se vrši merenje protoka vazduha korišćenjem metode ventiuri cevi i diferencijalnog pritiska (pad pritiska). Na vazdušnom kanalu ispred LUVO-a se ugrađuju žaluzine svežeg vazduha sa elektromotornim pogonom za regulisanje temperature ulaznog vazduha pri višim spoljnim temperaturama. Kanali ce biti izvedeni prema izvođačkom projektu.

Usis vazduha za sagorevanje se vrši van objekta kotlarnice. Dovod vazduha se obezbeđuje vazdušnim kanalom koji povezuje fasadu objekta i zagrejač vazduha. Obilazak zagrejača vazduha je obezbeđen posebnom granom kanala. Na usisu vazduha na fasadi se postavljaju protivkišne žaluzine

#### **6. Dimnovodni kanal**

Dimnovodni kanal kotla povezuje izlaz dimnih gasova iz kotla sa dimnjakom. Dimnovodni kanal sadrži dimnu klapnu, kompenzatore, sigurnosni signal krajnjeg položaja (otvoreno), pomoćni materijal za oslanjanje i nošenje i spregnut je u upravljački sistem rada kotla. Povezni kanal se sastoji od tri segmenta:

- Kotao – Eko
- Eko – Luvo
- Luvo – dimnjak

Između Luvo i dimnjaka je postavljena dimna klapna sa motornim pogonom, koja služi za odvajanje grane dimnih gasova, kada kotao nije u radu. Dimnovodni kanal je izrađen od čeličnog lima S235JR debljine 5 mm, sa spoljne strane ojačan čeličnim rebrima i izolovan staklenom vunom debljine 50mm sa oblogom od aluminijuskog lima.

#### **7. Povezni vrelovodni cevovod**

Povezni cevovod povezuje kotao sa pumpnom stanicom. Sve vrelovodne cevovode, cevni luk 90° i cevne redukcije su od bešavnih cevi, materijal P235GHTC1.

Prirubnički spojevi se izvode sa prirubnicama prema EN1092-1, od materijal P245GH, koje se isporučuju sa pripadajućim prirubničkim setovima. Nazivni pritisak prirubnica na delu postrojenja koji pripada kotlu (SRPS EN 12952) je PN25.

Svi cevovodi su zaštićeni antikorozivnim premazom otpornim na temperature do 150°C i toplotno izolovani izolacionom vunom i Al limom. Za oslonce cevovoda koristi se materijal S235JR.

#### **8. Neutralizacija kondenzata**

Na mestima gde se pojavljuje kondenzat dimnih gasova izvedeni su cevni priključci, zatim se cevovodom dovodi do rezervoara za skupljanje i neutralizaciju istog. U rezervoaru za



sakupljanje kondenzat prolazi kroz filter u kome se nalaze granule Hydrolit Mg. Nakon prolaska kroz filter neutralisan kondenzat preliva se u kanalizaciju.

Postavljena su dva rezervoara. Prvi rezervoar za sakupljanje u neutralizaciju L1GNK10AT001 povezan je sa dimnim kanalom L1HNA10BR010. Dimenzije rezervoara su 1000x400x500 mm. Drugi rezervoar L1GNK10AT002 dimenzije povezan je sa odvođenjem kondenzata sa dimnih kanala L1HNA10BR020 i L1HNA10BR030. Rezervoar je dimenzije 1900x750x900 mm.

Ukupna procenjena količina kondenzata za neutralizaciju 6 t/h.



## 2. PRIPREME ISPITIVANJA

### 2.1 Garantovane vrednosti kotla K4 58 MW u JKP „Novosadska toplana“, TO „Istok“, Novi Sad, Srbija

Garantovane vrednosti za kotao K4 koje je potrebno dokazivati prikazane su u sledećim tabelama.

#### GARANTOVANE VREDNOSTI ZA KOTLOVSKO POSTROJENJE

<b>Opis</b>	<b>Vrednost</b>
Nominalna snaga kotla	≥ 58 MW
Stepen korisnosti na nominalnom opterećenju bez zagrejača vazduha, pri temperaturi vazduha za sagorevanje od 25°C i donjoj toplotnoj moći goriva (bez zagrejača vazduha)	≥ 97%
Stepen korisnosti na nominalnom opterećenju sa zagrejačem vazduha, pri temperaturi vazduha za sagorevanje od 25°C i donjoj toplotnoj moći goriva (sa zagrejačem vazduha)	≥ 98%
Emisija štetnih gasova	Prema Teh. opisu
Dinamički pad pritiska kroz kotlovski sistem (kotao, eko, utilizator)	≤ 1,2 bar

#### GRANIČNE VREDNOSTI ZA SUVE DIMNE GASOVE SA 3% O<sub>2</sub>, NA NORMALNIM USLOVIMA (0°C i 101,32 kPa):

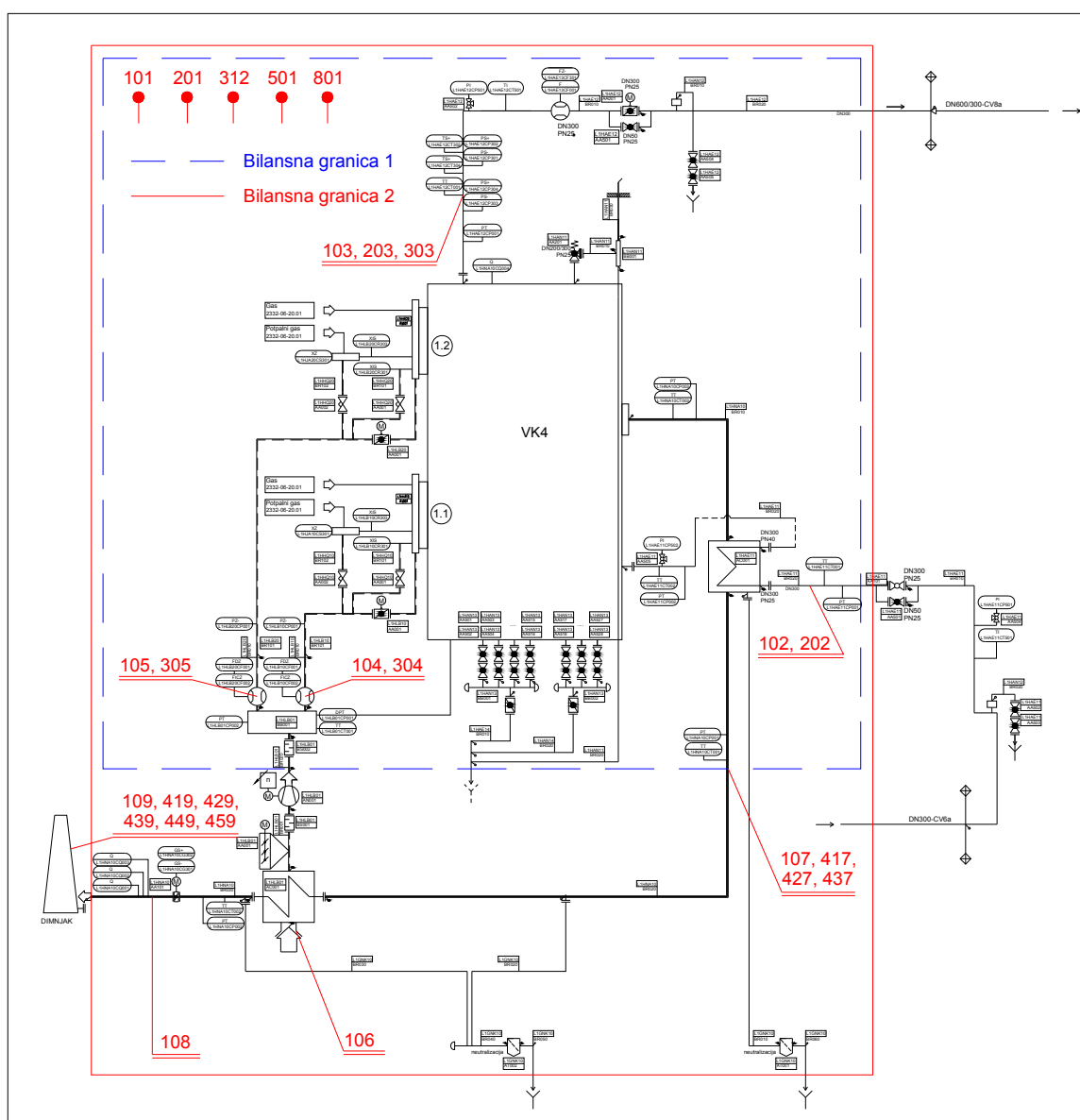
<b>Komponenta u dimnom gasu</b>	<b>Granična vrednost</b>
SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	35
NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	90
CO (mg/m <sup>3</sup> )	90



## 2.2 Šema merenja i merna oprema

### 1. Stepen korisnosti kotla na opterećenjima 100%, 60% i 30%

Dokazivanje garantovane vrednosti stepena korisnosti kotla K4 58 MW pri radu na gasovito gorivo čiji je sastav dat u Aneksu 2 ovog izveštaja, obavljeno je u potpunosti prema standardu SRPS EN 12952-15 (2009), namenjenom za ovu vrstu ispitivanja, a prema indirektnoj metodi. Terenska merenja su obavljena u skladu sa odgovarajućim standardima u cilju određivanja ulaznih veličina na bilansnoj granici sistema, koja je postavljena u skladu sa pomenutim standardom i Ugovorom između Korisnika usluga i Proizvođača kotla, a prema šemi sa Slike 2.





U cilju zadovoljenja odredaba Tenderske dokumentacije postavljene su dve bilansne granice pomenutog sistema, pri čemu Bilansna granica 1 obuhvata kotao bez zagrejača vazduha, dok Bilansna granica 2 obuhvata kotao sa zagrejačem vazduha:

#### Bilansna granica 1

- sa strane goriva – merna ravan na ulazu goriva u kotao u kojoj se definišu parametri prirodnog gasa;
- sa strane vode na ulazu – merna ravan na cevovodu vode na ulazu u kotao, odnosno pre ulaska vode u ekonomajzer;
- sa strane vrele vode – merna ravan na izlazu iz kotla u kojoj se definišu parametri proizvedene vrele vode;
- sa strane dimnih gasova – merna ravan na kanalu dimnih gasova iza kotla i orebrenog zagrejača vode, i;
- sa strane vazduha – merna ravan na kanalima vazduha na ulazu u kotao,

#### Bilansna granica 2

- sa strane goriva – merna ravan na ulazu goriva u kotao u kojoj se definišu parametri prirodnog gasa;
- sa strane vode na ulazu – merna ravan na cevovodu vode na ulazu u kotao, odnosno pre ulaska vode u ekonomajzer;
- sa strane vrele vode – merna ravan na izlazu iz kotla u kojoj se definišu parametri proizvedene vrele vode;
- sa strane dimnih gasova – merna ravan na kanalu dimnih gasova iza zagrejača vazduha i;
- sa strane vazduha – merna ravan na kanalu hladnog vazduha na ulazu u zagrejač vazduha.

Merenja su obavljena pri opterećenjima kotla od 100%, 60% i 30%, pri čemu se garantovana vrednost stepena korisnosti odnosi samo na opterećenje od 100%, a prikazana je izračunata vrednost primenom obe bilansne granice sistema.

Ulazne veličine u bilansnu granicu sistema sa vodene strane su parametri vode (pritisak i temperatura) na ulasku u ekonomajzer, a izlazne veličine pritisak, temperatura i maseni protok vode na izlazu iz kotla. Pritisak vode na ulazu i izlazu meren je transmitterima pritiska koji su priključeni na izvodima za lokalna merenja, paralelno sa procesnim instrumentima.

Temperatura vode na ulazu i izlazu je merena temperaturnim PT-100 sondama na priključcima za lokalna merenja.

Protok vode na izlazu iz bilansne granice meren je neinvazivnom metodom, ultrazvučnim protokomerom. Temperature ostalih radnih medijuma (dimnog gasa i vazduha) merene



su mrežno, termoparovima K-tipa. Protoci radnog medijuma (gasa i vazduha) mereni su Pitot-sondama.

## **2. Maksimalni pad pritiska sa vodene strane kroz kotao i ekonomajzer**

Maksimalna vrednost pada pritiska sa vodene strane kroz kotao i ekonomajzer određena je merenjem apsolutnih pritiska radnog fluida u ulaznom i izlaznom cevovodu pomoću transmitera pritiska.

## **3. Nominalna snaga kotla**

Nominalni kapacitet kotla određen je u svemu prema standardu EN 12952-15 (2009), na osnovu razlika izlazne i ulazne entalpije i masenog protoka vode na izlazu iz kotla.

## **4. Merenje emisije zagađujućih materija**

Merenje emisije zagađujućih materija obavljeno je u svemu prema standardima namenjenim za ovu vrstu ispitivanja (SRPS EN 14789 (2009), SRPS ISO 12039 (2011), SRPS EN 15058 (2009), SRPS ISO 7935 (2010), SRPS ISO 10849 (2010)). Merna ravan na kojoj su obavljena merenja nalazi se na dimnjaku. Merenje protoka dimnog gasa nije obavljeno zbog nemogućnosti merenja na izlaznom preseku kanala koji povezuje zagrejač vazduha i dimnjak, usled prevelikog sadržaja kondenzata. Ova vrednost biće iskazana na osnovu stehiometrijske količine dimnog gasa i sadržaja kiseonika u izlaznim dimnim gasovima.

Spisak merenih veličina, relevantnih za proračun je dat u sledećoj tabeli. Većina merenih veličina merena je kontinualno korišćenjem akvizicionih sistema, dok su veličine koje se ne mogu meriti akvizicionim sistemima, uzorkovane ručno sa učestalošću merenja koja garantuje zadovoljavajuću tačnost. Merne liste date su u Aneksu 3 ovog izveštaja. Kao podatak o sastavu goriva (gasa) korišćen se dnevni izveštaj Isporučioca gasa, koji se smatra kao relevantan.





### Lista mernih mesta za ispitivanja kotla K4

Red. broj	Merno mesto i oznaka mernog instrumenta	Oznaka mernog mesta	Simbol	Jedinica mere
<b>Okolina</b>				
1.	Temperatura vazduha na ulazu u bilansnu granicu	101	$t_A$	°C
2.	Barometarski pritisak	201	$p_u$	hPa
<b>Voda na ulasku u bilansnu granicu</b>				
3.	Temperatura vode na ulasku u bilansnu granicu	102	$t_{wu}$	°C
4.	Pritisak vode na ulasku u bilansnu granicu	202	$p_{wu}$	MPa
<b>Voda na izlasku iz bilansne granice</b>				
5.	Temperatura vode izlaz iz bilansne granice	103	$t_{wi}$	°C
6.	Pritisak vode izlaz iz bilansne granice	203	$p_{wi}$	MPa
7.	Protok vode izlazu iz bilansne granice	303	$m_{wi}$	t/h
<b>Vazduh na ulazu u Bilansnu granicu 1</b>				
8.	Protok vazduha za gorionik 1 na ulazu u kotao meren Pitot-sondom	304	$m_{v1}$	kg/s
9.	Protok vazduha za gorionik 2 na ulazu u kotao meren Pitot-sondom	305	$m_{v2}$	kg/s
10.	Temperatura vazduha za gorionik 1 na ulazu u kotao	104	$t_{v11}$	°C
11.	Temperatura vazduha za gorionik 2 na ulazu u kotao	105	$t_{v12}$	°C
<b>Vazduh na ulazu u Bilansnu granicu 2</b>				
12.	Temperatura vazduha na ulazu u Bilansnu granicu 2	106	$t_{v2}$	°C
<b>Dimni gasovi na izlasku iz Bilansne granice 1</b>				
13.	Temperatura dimnih gasova (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	107	$t_{DG1}$	°C
14.	Sadržaj O <sub>2</sub> u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	417	$\gamma_{O_2T1}$	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
15.	Sadržaj CO u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	427	$\gamma_{CO1}$	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
16.	Sadržaj CO <sub>2</sub> u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	437	$\gamma_{CO_2T1}$	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
<b>Dimni gasovi na izlasku iz Bilansne granice 2</b>				
17.	Temperatura dimnih gasova (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	108	$t_{DG2}$	°C
<b>Emisija zagađujućih materija</b>				
18.	Temperatura dimnih gasova (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	109	$t_{DG}$	°C
19.	Protok dimnih gasova	309	$m_{DG}$	kg/s
20.	Sadržaj O <sub>2</sub> u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	419	$\gamma_{O_2T}$	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
21.	Sadržaj CO u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	429	$\gamma_{CO1}$	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
22.	Sadržaj CO <sub>2</sub> u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	439	$\gamma_{CO_2T}$	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
23.	Sadržaj NO u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	449	$\gamma_{NO1}$	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
24.	Sadržaj SO <sub>2</sub> u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	459	$\gamma_{SO_2T}$	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>

**Gorivo**

25.	Donja toplotna moć pri standardnim uslovima	801	Hd	MJ/kg
26.	Sastav goriva	801	-	-
27.	Protok goriva	312	m <sub>f</sub>	t/h

**Električni uređaji**

28.	Snaga električnih uređaja	501	P <sub>E</sub>	kW
-----	---------------------------	-----	----------------	----

Pružalac usluga je koristio sledeću mernu opremu, čiji su atesti dati u Aneksu 4 ovog izveštaja:

**Lista korišćenih instrumenata prilikom izvođenja merenja**

Red. Broj	Merno mesto i oznaka mernog instrumenta	Oznaka mernog mesta	Proizvođač i tip mernog uređaja	Merno područje i klasa tačnosti mernog uređaja
<b>Okolina</b>				
1.	Temperatura vazduha na ulazu u bilansnu granicu	101	Omega Tip: sonda type K thermocuple	0...1200 °C <b>Klasa A</b>
2.	Barometarski pritisak	201	Siemens S-20	0...1,3 bar / 4...20 mA <b>Klasa 0,1% PS</b>
<b>Voda na ulasku u bilanski sistem</b>				
3.	Temperatura vode na ulasku u bilansnu granicu	102	Pt-100 sonda	0-650 °C <b>Klasa A</b>
4.	Pritisak vode na ulasku u bilansnu granicu	202	DCD / Keller AG 38397	0...250 bar / 4...20 mA <b>Klasa 0,1% PS</b>
<b>Voda na izlasku iz bilansnog sistema</b>				
5.	Temperatura vode izlaz iz bilansnog sistema	103	Pt-100 sonda	0-650 °C <b>Klasa A</b>
6.	Pritisak vode izlaz iz bilansnog sistema	203	DCD / Keller AG 38397	0...250 bar / 4...20 mA <b>Klasa 0,1% PS</b>
7.	Protok vode ulaz u bilansni sistem	303	Panametrics PT 878	
<b>Vazduh na ulazu u bilansnu granicu 1</b>				
8.	Protok vazduha za gorionik 1 na ulazu u kotao meren Pitot-sondom	304	Pitot sonda Alnor AXD 560	
9.	Protok vazduha za gorionik 2 na ulazu u kotao meren Pitot-sondom	305	Pitot sonda Alnor AXD 560	
10.	Temperatura vazduha za gorionik 1 na ulazu u kotao	104	Omega Tip: sonda type K thermocuple	0...1200 °C <b>Klasa A</b>
11.	Temperatura vazduha za gorionik 2 na ulazu u kotao	105	Omega Tip: sonda type K thermocuple	0...1200 °C <b>Klasa A</b>
<b>Vazduh na ulazu u bilansnu granicu 2</b>				
12.	Temperatura vazduha na ulazu u Bilansnu granicu 2	106	Omega Tip: sonda type K thermocuple	0...1200 °C <b>Klasa A</b>
<b>Dimni gasovi na izlasku iz Bilansne granice 1</b>				
13.	Temperatura dimnih gasova (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	107	Omega Tip: sonda type K thermocuple	0...1200 °C <b>Klasa A</b>
14.	Sadržaj O <sub>2</sub> u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	417	Fuji ZKJ-3, SERVOMEX 4900 C1, PMA 100	0,07%
15.	Sadržaj CO u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	427	SERVOMEX 4900 C1	2 ppm
16.	Sadržaj CO <sub>2</sub> u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	437	Fuji ZKJ-3, SERVOMEX 4900 C1	0,07%
<b>Dimni gasovi na izlasku iz Bilansne granice 2</b>				
17.	Temperatura dimnih gasova (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	108	Omega Tip: sonda type K thermocuple	0...1200 °C <b>Klasa A</b>



#### Emisija zagađujućih materija

18.	Temperatura dimnih gasova (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	109	Omega Tip: sonda type K thermocouple	0...1200 °C <b>Klasa A</b>
19.	Protok dimnog gasa	309	Pitot sonda Alnor AXD 560	
20.	Sadržaj O <sub>2</sub> u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	419	Fuji ZKJ-3, SERVOMEX 4900 C1, PMA 100	0,07%
21.	Sadržaj CO u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	429	SERVOMEX 4900 C1	2 ppm
22.	Sadržaj CO <sub>2</sub> u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	439	Fuji ZKJ-3, SERVOMEX 4900 C1	0,07%
23.	Sadržaj NO u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	449	Fuji ZKJ-3	0,07%
24.	Sadržaj SO <sub>2</sub> u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	459	Fuji ZKJ-3	0,07%

#### Gorivo

25.	Donja toplotna moć pri standardnim uslovima	801	Laboratorijska analiza	
26.	Sastav goriva	801	Laboratorijska analiza	
27.	Protok goriva	312	Merač protoka gasa	

#### Električni uređaji

28.	Snaga električnih uređaja	501	Podatak sa postrojenja	
-----	---------------------------	-----	------------------------	--

Merenja svih ulaznih veličina na bilansnoj granici sistema (kotla) obavljena su u stabilnom režimu rada, kontinualno u trajanju od jednog sata u kome su izmerene veličine u okviru dozvoljenih odstupanja.

### 2.3 PRIMENJENI TEHNIČKI STANDARDI

Ugovorom sa Korisnikom usluga, utvrđeno je da je SRPS EN 12952-15 (2009) relevantan tehnički standard prema kojem će se vršiti garancijska ispitivanja stepena korisnosti po indirektnoj metodi. Izvođač je sva merenja i proračune vezane za stepen korisnosti izvršio u skladu sa predmetnim standardom.

### 2.4. USLOVI ISPITIVANJA

Ispitivanje kotla su izvršena pri toplotnoj produkciji od 100%, 60% i 30%. Pogon je vodilo osoblje JKP „Novosadska toplana“, TO „Istok“ Novi Sad.

### 2.5. MERNÁ NESIGURNOST

Merna nesigurnost je obavljena u skladu sa standardom SRPS EN 12952-15 (2009) koji je relevantan za ovu vrstu ispitivanja.



### 3. REZULTATI ISPITIVANJA

Ispitivanje kotla K4 58 MW pri radu na gasovito gorivo u JKP "Novosadska toplana", TO "Istok" u Novom Sadu, Srbija u cilju određivanja garantovanih vrednosti obavljeno je 20.11.2018. godine u periodu:

1. I režim – (11:00 – 12:15);
2. II režim (12:40 – 13:40) i
3. III režim (14:00 – 15:00).

Ispitivanje u sva tri radna režima je obavljeno pri protoku od oko 810 m<sup>3</sup>/h, pritisku od 7,5±0,5 bar i temperaturi vode na ulazu od 55-60 °C, što je definisano Protokolom o otpočinjanju ispitivanja.

Obavljanje ispitivanja pada pritiska kroz kotao obavljeno je nakon III režima pri nominalnom protoku vode kroz kotao od 616,3 t/h.

Potpisivanjem Zapisnika o završetku ispitivanja zainteresovane strane potvrdile su da nemaju primedbi na tok ispitivanja, pa je Pružaocu usluga i formalno dat nalog da pristupi obradi rezultata ispitivanja.

#### 3.1 Ispunjenost uslova ispitivanja

Ispitivanja je obavio Pružalac usluga u skladu sa:

- važećim standardima za ovu vrstu ispitivanja;
- Planom ispitivanja;
- Zapisnikom o otpočinjanju merenja.

Pre početka ispitivanja Pružalac usluga je na osnovu provere stacionarnosti utvrdio da su se stekli uslovi za otpočinjanje garancijskih ispitivanja. Provera stacionarnosti je izvršena u skladu sa preporukama standarda SRPS EN 12952-15 (2009) za ovu vrstu ispitivanja.

U toku izvođenja ispitivanja nisu primećena nikakva dodatna odstupanja koja mogu dovesti do odstupanja od primene predmetnog standarda, što je konstatovano i u Zapisniku o završetku ispitivanja.

#### 3.2 Ispunjenost garancija

Isporučilac opreme do dana otpočinjanja ispitivanja nije dostavio Korekzione krive za korigovanje na projektne parametre, tako da izmerene vrednosti nisu korigovane ni po kom osnovu (u skladu sa standardom SRPS EN 12952-15 (2009)).

#### 3.3 Izmerene vrednosti

Na osnovu statističke analize izmerenih ulaznih i izlaznih parametara vode na kotlu K4 u JKP "Novosadska toplana", TO "Istok" u Novom Sadu, Srbija (pritisci, temperature i protok



vode na ulazu i izlazu), izvršen je izbor reprezentativnog vremenskog intervala za proračun stepena korisnosti.

U Tabeli 3.1 date su izmerene vrednosti veličina sa merenja obavljenog 20.11.2018. na kotlu K4 58 MW pri radu na gasovito gorivo u JKP "Novosadska toplana", TO "Istok" u Novom Sadu, Srbija, za izabrane vremenske periode.

**Tabela 3.1**

**Lista izmerenih veličina za proračun stepena korisnosti prema SRPS EN 12952-15 (2009).**

Red. broj	Merno mesto i oznaka mernog instrumenta	Oznaka mernog mesta	Simbol	100% 11:00- 12:15	60% 12:40- 13:40	30% 14:00- 15:00	Jedinica mere
<b>Okolina</b>							
1.	Temperatura vazduha na ulazu u bilansnu granicu	101	$t_a$	5,0	5,5	5,7	°C
2.	Barometarski pritisak	201	$p_u$	1001,7	1000,0	1000,4	hPa
<b>Voda na ulasku u bilansnu granicu</b>							
3.	Temperatura vode na ulasku u bilansnu granicu	102	$t_{wu}$	59,66	59,81	59,63	°C
4.	Pritisak vode na ulasku u bilansnu granicu	202	$p_{wu}$	0,942	0,941	0,939	MPa
<b>Voda na izlasku iz bilansne granice</b>							
5.	Temperatura vode izlaz iz bilansne granice	103	$t_{wi}$	125,79	103,36	85,43	°C
6.	Pritisak vode izlaz iz bilansne granice	203	$p_{wi}$	0,769	0,766	0,756	MPa
7.	Protok vode izlazu iz bilansne granice	303	$m_{wi}$	765,0	776,5	794,3	t/h
<b>Vazduh na ulazu u Bilansnu granicu 1</b>							
8.	Protok vazduha za gorionik 1 na ulazu u kotao meren Pitot-sondom	304	$m_{v1}$	11,655*	7,902*	4,564*	kg/s
9.	Protok vazduha za gorionik 2 na ulazu u kotao meren Pitot-sondom	305	$m_{v2}$	11,655*	7,902*	4,551*	kg/s
10.	Temperatura vazduha za gorionik 1 na ulazu u kotao	104	$t_{v11}$	33,1	34,0	36,0	°C
11.	Temperatura vazduha za gorionik 2 na ulazu u kotao	105	$t_{v12}$	33,2	33,9	36,3	°C
<b>Vazduh na ulazu u Bilansnu granicu 2</b>							
12.	Temperatura vazduha na ulazu u Bilansnu granicu 2	106	$t_{v2}$	5,0	5,5	5,7	°C
<b>Dimni gasovi na izlasku iz Bilansne granice 1</b>							
13.	Temperatura dimnih gasova (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	107	$t_{DG1}$	67,90	67,15	66,90	°C
14.	Sadržaj O <sub>2</sub> u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	417	$\gamma_{O2T1}$	10,45	10,72	11,17	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
15.	Sadržaj CO u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	427	$\gamma_{CO T1}$	2,35	2,71	1,80	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
16.	Sadržaj CO <sub>2</sub> u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	437	$\gamma_{CO2 T1}$	0,000084	0,000004	0,000130	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
<b>Dimni gasovi na izlasku iz Bilansne granice 2</b>							
17.	Temperatura dimnih gasova (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	108	$t_{DG2}$	58,85	57,98	58,01	°C
<b>Emisija zagađujućih materija</b>							
18.	Temperatura dimnih gasova (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	109	$t_{DG}$	58,85	57,98	58,41	°C



19.	Protok dimnih gasova	309	$m_{DG}$	24,54*	16,62*	9,62*	kg/s
20.	Sadržaj O <sub>2</sub> u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	419	$\gamma_{O_2T}$	2,35	2,54	1,70	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
21.	Sadržaj CO u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	429	$\gamma_{CO_T}$	0,000074	0,000002	0,000122	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
22.	Sadržaj CO <sub>2</sub> u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	439	$\gamma_{CO_2T}$	10,45	10,65	11,22	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
23.	Sadržaj NO u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	449	$\gamma_{NO_T}$	0,000036	0,000036	0,000028	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
24.	Sadržaj SO <sub>2</sub> u dimnom gasu (mrežno merenje na izlazu iz bilansnog sistema)	459	$\gamma_{SO_2T}$	0,0000014	0,0000013	0,000001	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>

#### Gorivo

25.	Donja toplotna moć pri standardnim uslovima	801	H <sub>d</sub>	48,9121			MJ/kg
26.	Sastav goriva	801	-	-			-
27.	Protok goriva	312	$m_f$	4,440	2,957	1,785	t/h

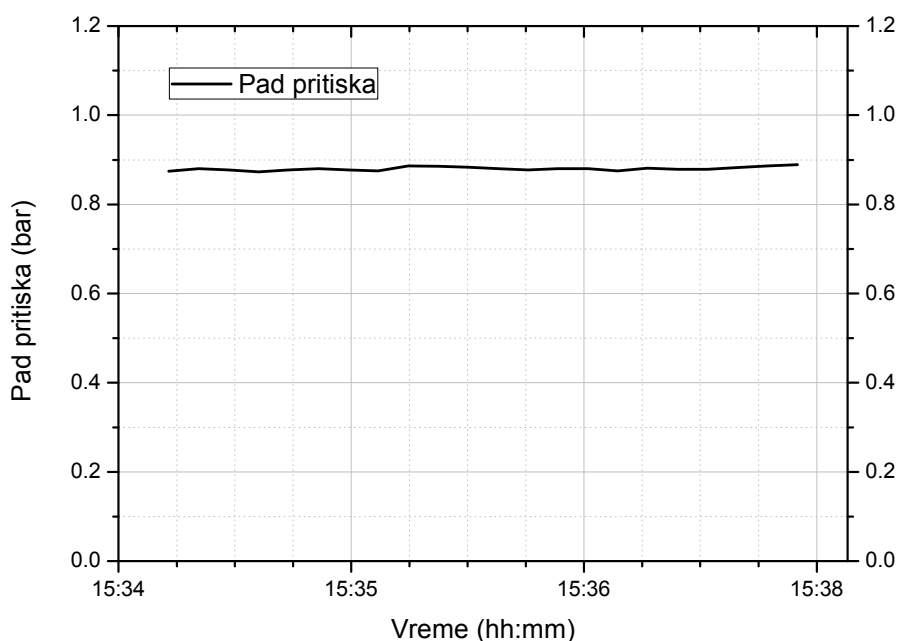
#### Električni uređaji

28.	Snaga električnih uređaja	501	P <sub>E</sub>	20	20	20	kW
-----	---------------------------	-----	----------------	----	----	----	----

(\*) Zbog nemogućnosti merenja prikazane su izračunate vrednosti na osnovu stehiometrije i izmerenog sadržaja kiseonika u dimnom gasu.

Nakon obavljenih merenja u sva tri režima rada kotla obavljeno je merenje pada pritiska kroz kotao sa vodene strane pri čemu su dobijeni rezultati koji su prikazani na sledećem dijagramu. Srednja vrednost pada pritiska sa vodene strane iznosi  $\Delta p=0,88$  bar.

**Dijagram 3.1**  
**Pad pritiska kroz kotao sa vodene strane**





### 3.4 Proračun stepena korisnosti

U narednoj Tabeli 3.2 dat je proračun stepena korisnosti kotla K4 58 MW pri radu na gasovito gorivo u JKP „Novosadska toplana“, TO “Istok” u Novom Sadu, Srbija sa merenja obavljenog 20.11.2018. godine.



### JKP "Novosadska toplana", Novi Sad, Srbija Boiler Efficiency (Fuel gases) (According to EN 12952-15:2009)

No.	General data			Value or description			
1	Date of the test				20.11.2018.		
2	Time of the test				11:00-12:15		
3	Boiler load rate				100% (58MW)		
4	Boiler design parameters - MCR	Boiler type	Gas boiler				
5		Outlet	Hot water (steam) out pressure				
6			Hot water (steam) out temperature	150°C			
9		Inlet	Cold water (steam) inlet pressure				
10			Cold water (steam) inlet temperature	70°C			
11			Cold water inlet mass flow	616.3 t/h			
14	Furnace design	Guarantee fuel composition					
15		Burners	Gas burner				
16	Balance boundaries				Acc. to EN 12952-15:2009. (without airheater)		
	Parameter	Symbol	Unit	Value	Remark		
17	Referent ambient temperature	$t_r$	°C	25	Predefined		
18	Ambient temperature	$t_u$	°C	5			
19	Atmospheric pressure	$p_u$	hPa	1001.7			
20	Ash volatile content	$v$	kg/kg	0.0000	Predefined		
21	Fuel gases	Carbon monoxide	$\gamma_{CO}$	$m^3/m^3$	0.0000	Laboratory analysis	
22		Hydrogen	$\gamma_{H_2}$	$m^3/m^3$	0.0000		
23		Methane	$\gamma_{CH_4}$	$m^3/m^3$	0.9580		
24		Ethene	$\gamma_{C_2H_4}$	$m^3/m^3$	0.0000		
25		Ethane	$\gamma_{C_2H_6}$	$m^3/m^3$	0.0229		
26		Propene	$\gamma_{C_3H_6}$	$m^3/m^3$	0.0000		
27		Propane	$\gamma_{C_3H_8}$	$m^3/m^3$	0.0070		
28		i-Butane	$\gamma_{C_4H_{10}}$	$m^3/m^3$	0.0010		
29		n-Butane	$\gamma_{C_4H_{10}}$	$m^3/m^3$	0.0010		
30		i-Pentane	$\gamma_{C_5H_{12}}$	$m^3/m^3$	0.0002		
31		n-Pentane	$\gamma_{C_5H_{12}}$	$m^3/m^3$	0.0001		
32		Hexane	$\gamma_{C_6H_{14}}$	$m^3/m^3$	0.0001		
33		Nitrogen	$\gamma_{N_2}$	$m^3/m^3$	0.0070		
34		Carbon dioxide	$\gamma_{CO_2}$	$m^3/m^3$	0.0025		
35		Oxygen	$\gamma_{O_2}$	$m^3/m^3$	0.0000		
36		Hydrogen sulfide	$\gamma_{H_2S}$	$m^3/m^3$	0.0000		4.44
37		Net calorific value	$H_{(N)}$	MJ/kg	48.9121		
38	Fuel flow	$m_F$	t/h	4.44	iteratively determined		
39	Fuel temperature	$t_F$	°C	10.8			
40	Air temperature	$t_A$	°C	33.2	Measured		
41	Moisture content of air	$X_{H_2O,A}$	kg/kg	0.0086	Predefined		
42	Moisture content of flue gas	$X_{H_2O,G}$	kg/kg	0.109			
43	Water inlet	Temperature	$t_{FW}$	°C	59.7		
44		Pressure	$p_{FW}$	MPa	1.04		
45		Mass flow	$m_{FW}$	t/h	764.99		
46	Water outlet	Temperature	$t_{ST}$	°C	125.8		
47		Pressure	$p_{ST}$	MPa	0.87		
48		Mass flow	$m_{ST}$	t/h	764.99		



49		O <sub>2</sub> content	Y <sub>O2d</sub>	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	0.0235	Net measurement
50	Exit flue gas content	CO <sub>2</sub> content	Y <sub>CO2d</sub>	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	0.1045	
51		CO content	Y <sub>COd</sub>	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	0.00007	
52		Calorific value of CO	H <sub>COon</sub>	MJ/m <sup>3</sup>	12.633	Predefined
53	Flue gas exit temperature	t <sub>G</sub>	°C	67.9	Net measurement	
54	Slag mass flow	m <sub>SL</sub>	t/h	0.0000	Measured	
55	Unburned combustibles content	Fly ash	U <sub>FA</sub>	kg/kg	0.0000	Laboratory analysis
56		Slag	U <sub>SL</sub>	kg/kg	0.0000	
57	Fly ash temperature	t <sub>FAsh</sub>	°C	67.9	t <sub>FAsh</sub> =t <sub>G</sub>	
58	Slag temperature	t <sub>SL</sub>	°C	500.0	Predefined	
59	Specific heat	Fly ash	C <sub>FA</sub>	kJ/(kgK)	0.84	Predefined
60		Slag	C <sub>SL</sub>	kJ/(kgK)	1	
61	Net calorific value of unburned combustibles	H <sub>uu</sub>	MJ/kg	27.2		
62	Power of main electric drivers	P <sub>E</sub>	kW	20		
63	Power of other electric drives	P	kW	0		
64	Enthalpy of water in boiler outlet	h <sub>ST</sub>	kJ/kg	528.85		
65	Enthalpy of water in boiler inlet	h <sub>FW</sub>	kJ/kg	250.60		
66	Heat received at the live steam section of the boiler: $\dot{Q}_{NS} = \dot{m}_{ST} (h_{ST} - h_{FW})$		Q <sub>NS</sub>	kW	59127.9	
67	Useful heat output:	$\dot{Q}_N = \dot{Q}_{NS}$	Q <sub>N</sub>	kW	59127.9	
68	Average specific heat of the fuel:	$\bar{c}_F = \sum \bar{c}_F X_i$	$\bar{c}_F$	kJ/(kgK)	2.18	
69	Enthalpy of fuel:	$h_F = \bar{c}_F (t_F - t_r)$	h <sub>F</sub>	kJ/kg	-30.9	
70	Unburned combustibles to supplied fuel mass flow ratio: $I_u = \frac{\gamma_{Ash}(1-\nu)(\dot{m}_{Ash} U_{Ash} + \dot{m}_{Ash})}{1-\gamma_{Ash}-\gamma_{H_2O}} \cdot \frac{1}{1-U_{FA}} \left[ U_{FA} + (U_{SL} - U_{FA}) \frac{\dot{m}_{SL}}{\dot{m}_{FA} \gamma_{Ash}(1-\nu)} \right]$		I <sub>u</sub>	kg/kg	0.0000	
71	Water content in flue gas to fuel mass ratio: $\mu_{H_2O F} = \sum \mu_{H_2O F i} X_i$		μ <sub>H2OF</sub>	kg/kg	2.1690	
72	Gross calorific value (GCV) of fuel: $H_{(G)} = H_{(N)} + \mu_{H_2O F} L_r$		H <sub>(G)</sub>	MJ/kg	54.210	
73	Standard density of fuel gas: $\rho_n = \sum Y_i \rho_{ni}$		ρ <sub>n</sub>	kg/m <sup>3</sup>	0.753	
74	Stoichiometric combustion air mass to fuel mass ratio: $\mu_{Aod} = \sum \mu_{Aodi} X_i$		μ <sub>Aod</sub>	kg/kg	16.83	
75	Dry combustion air mass to fuel mass ratio: $\mu_{Ad} = \mu_{Aod} + \rho_{nAd} \cdot V_{God} \cdot \frac{Y_{O_2d}}{Y_{O_2Ad} - Y_{O_2d}}$		μ <sub>Ad</sub>	kg/kg	18.74	
76	Combustion air mass to fuel ratio: $\mu_A = \mu_{Ad} (1 + X_{H_2O Ad})$		μ <sub>A</sub>	kg/kg	18.90	
77	Integral specific heat between t <sub>A</sub> and t <sub>r</sub> of air: $\bar{c}_{pA} = \frac{c_{pA}(t_A) \cdot t_A - c_{pA}(t_r) \cdot t_r}{t_A - t_r}$		$\bar{c}_{pA}$	kJ/(kgK)	1.0126	
78	Enthalpy of combustion air due to NCV calculation: $J_{(N)A} = \mu_A \cdot \bar{c}_{pA} (t_A - t_r)$		J <sub>(N)A</sub>	kJ/kg	156.0	
79	Heat input proportional to fuel burned: $\dot{Q}_{(N)ZF} = \dot{m}_F \left[ (H_{(N)} + h_F) (1 - I_u) + J_{(N)A} \right]$		Q̇ <sub>(N)ZF</sub>	kW	60479.1	
80	Heat credits: $Q_{(N)Z} = P_{MO} + P$		Q̇ <sub>(N)Z</sub>	kW	20	
81	Total heat input: $\dot{Q}_{(N)Ztot} = \dot{Q}_{(N)ZF} + \dot{Q}_{(N)Z}$		Q̇ <sub>(N)Ztot</sub>	kW	60499.1	
82	Flue gas mass to fuel mass ratio: $\mu_G = \mu_A + 1$		μ <sub>G</sub>	kg/kg	19.8964	





83	Integral specific heat between $t_G$ and $t_r$ of flue gas: $\bar{c}_{pG} = \frac{c_{pG}(t_G) \cdot t_G - c_{pG}(t_b) \cdot t_b}{t_G - t_b}$	$\bar{c}_{pG}$	kJ/(kgK)	1.0938
84	Stoichiometric flue gas volume: $V_{God} = \sum V_{Godi} x_i$	$V_{God}$	m <sup>3</sup> /kg	11.6627
85	Dry flue gas volume: $V_{Gd} = V_{God} \cdot \frac{y_{O_2d}}{0.20938 - y_{O_2d}}$	$V_{Gd}$	m <sup>3</sup> /kg	13.1343

#### Losses proportional to fuel flow

86	Flue gas losses: $\dot{Q}_{(N)G} = \dot{m}_F \cdot \mu_G \cdot \bar{c}_{pG} \cdot (t_G - t_r)$	$\dot{Q}_{(N)G}$	kW	1150.088
87	Loss due to unburned CO: $\dot{Q}_{CO} = \dot{m}_F \cdot V_{God} \cdot y_{COd} \cdot H_{COd}$	$\dot{Q}_{CO}$	kW	15.14
88	Flue dust enthalpy: $h_{FA} = c_{FA}(t_G - t_r) + u_{FA} \cdot H_{uu}$	$h_{FA}$	kJ/kg	36.0
89	Slag enthalpy: $h_{SL} = c_{SL}(t_{SL} - t_r) + u_{SL} \cdot H_{uu}$	$h_{SL}$	kJ/kg	475.0
90	Losses due to enthalpy and unburned combustibles in slag: $\dot{Q}_{SL} = \dot{m}_{SL} \cdot \left[ h_{SL} - \frac{1 - u_{SL}}{1 - u_{FA}} \cdot h_{FA} \right]$	$\dot{Q}_{SL}$	kW	0.0
91	Losses due to enthalpy and unburned combustibles in flue dust: $\dot{Q}_{FA} = \dot{m}_F \cdot \frac{\gamma_{Ash}(1 - \nu)}{(1 - l_u)(1 - u_{FA})} h_{FA}$	$\dot{Q}_{FA}$	kW	0.0
92	Losses due to enthalpy and unburned combustibles in flue dust and slag: $\dot{Q}_{SF} = \dot{Q}_{SL} + \dot{Q}_{FA}$	$\dot{Q}_{SF}$	kW	0.000
93	Losses proportional to fuel flow: $\Sigma \dot{Q}_{(N)LF} = \dot{Q}_{(N)G} + \dot{Q}_{CO} + \dot{Q}_{SF}$	$\Sigma \dot{Q}_{(N)LF}$	kW	1165.232

#### Losses independent of fuel flow

94	Radiation and convection losses, where $C=0.0113$ : $\dot{Q}_{RC} = C \cdot Q_N^{0.7}$	$\dot{Q}_{RC}$	kW	196.5
95	Total losses: $\Sigma \dot{Q}_{(N)Ltot} = \dot{Q}_{(N)LF} + \dot{Q}_{RC}$	$\Sigma \dot{Q}_{(N)Ltot}$	kW	1361.7
96	Heat balance: $\Delta Q = \dot{Q}_{(N)Ztot} - \dot{Q}_{(N)Ltot} - \dot{Q}_N$	$\Delta Q$	%	0.0
97	Boiler efficiency: $\eta_K = 1 - \frac{\Sigma \dot{Q}_{(N)Ltot}}{\Sigma \dot{Q}_{(N)Ztot}}$	$\eta_K$	-	0.9775
98	Measurements uncertainty: $\varepsilon_{\eta(N)B} = \sqrt{\left[ \frac{I_G}{\eta_B} \right]^{-2} \left[ \varepsilon_{\mu G}^2 + \left( \frac{\mu_A}{\mu_G} \right) \varepsilon_{\nu}^2 + \varepsilon_{H(N)tot}^2 + \varepsilon_{CpG}^2 + \left[ \frac{u_{MG}}{t_G - t_r} \right]^{-2} \right] + \left[ \frac{I_{RC}}{\eta_B} \right]^{-2} 0.5^2 + \left[ \frac{I_{CO}}{\eta_B} \right]^{-2} \left[ \frac{u_{MyCOd}}{y_{COd}} \right]^{-2} + \left[ \frac{I_{SF} + I_L}{\eta_B} \right]^{-2} 0.2^2}$	$\varepsilon_{\eta K}$	-	0.0055 ±
99	Boiler efficiency correction due to the test conditions discrepancy from guaranteed conditions: $\Sigma \Delta \eta_{Kx} = \Delta_{\eta_{Kx}} + \Delta_{\eta_{Kx}} + \Delta_{\eta_{Kx}} + \Delta_{\eta_{Kx}}$	$\Sigma \Delta \eta_{Kx}$	-	0.0000
100	Boiler efficiency:	$\eta_{Kg}$	%	97.75 ± 0,55



Uncertainty for efficiency determined by heat loss method					
U1	Total enthalpy of fuel: $H_{(N)tot} = \frac{H_{(N)} + h_F}{1 - I_u} + J_{(N)A}$	$H_{(N)tot}$	kJ/kg	49037.12	
U2	Uncertainty for integral specific heat of flue gas: $\varepsilon_{cpG} = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2}$	$\varepsilon_{cpG}$	-	0.01156	
U3	Polynomial mean uncertainty for specific heat of gas	$\varepsilon_1$	-	0.00040	Predefined
U4	Uncertainty for carbon dioxide and water content $\varepsilon_2 = -0,017 \cdot X_{CO_2} (4,0 - 1/X_{CO_2,d})$	$\varepsilon_2$	-	0.00579	
U5	Results scatter uncertainty for specific heat of flue gas	$\varepsilon_3$	-	0.01000	Table 10.4-3
U6	Uncertainty for net calorific value (sampling): $\varepsilon_{Sam} = 0$	$\varepsilon_{Sam}$	-	0.00000	Predefined
U7	Uncertainty for combustion air mass to fuel mass ratio:	$\varepsilon_{\eta Ad}$	-	0.04500	Table 10.4-3
U8	Uncertainty for net calorific value (NCV) determination: $\varepsilon_{H(N)} = 160/H_{(N)}$	$\varepsilon_{H(N)}$	-	3.27117	
U9	Uncertainty for oxygen content in flue gas: $\varepsilon_y = 0,0015 / (y_{O_2,Ad} - y_{O_2,d})$	$\varepsilon_y$	-	0.00804	
U10	Error for temperature measurements in air: $u_{MA} = \frac{\alpha_{RA}}{\alpha_{CA} - \alpha_{RA}} (t_A - t_{WA})$	$u_{MA}$	°C	0.06273	
U11	Coefficient of heat transfer by radiation (sensor to wall) in air: $\alpha_{RA} = 0,04 \cdot 5,67 \cdot \varepsilon \cdot \left[ \frac{T_{Sen}}{100} \right]^3$	$\alpha_{RA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	4.56	
U12	Coefficient of heat transfer by convection (sensor to wall) in air: $\alpha_{CA} = 4,1 \cdot \sqrt{w\rho/l}$	$\alpha_{CA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	367.65	
U13	Probe diameter for air temperature measurements	d	m	0.003	
U14	Air velocity	w	m/s	32.00	
U15	Wall temperature in air duct	$t_{WA}$	°C	28.15	
U16	Air density	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1.18	
U17	Error for temperature measurements in flue gas: $u_{MG} = \frac{\alpha_{RG}}{\alpha_{CG} - \alpha_{RG}} (t_G - t_{WG})$	$u_{MA}$	°C	0.32	
U18	Coefficient of heat transfer by radiation (sensor to wall) in flue gas: $\alpha_{RG} = 0,04 \cdot 5,67 \cdot \varepsilon \cdot \left[ \frac{T_{Sen}}{100} \right]^3$	$\alpha_{RA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	6.29	
U19	Coefficient of heat transfer by convection (sensor to wall) in flue gas $\alpha_{CA} = 4,92 \cdot \sqrt{w\rho/l}$	$\alpha_{CA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	277.89	
U20	Probe diameter for flue gas temperature measurements	d	m	0.003	
U21	Flue gas velocity	w	m/s	14.00	
U22	Wall temperature in flue gas duct	$t_{WG}$	°C	53.85	
U23	Flue gas density	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1.073	
U24	Uncertainty for total net calorific value (NCV): $\varepsilon_{H(N)tot} = \sqrt{\left[ \frac{H_{(N)}/(1-I_u)}{H_{(N)tot}} \right]^2 (\varepsilon_{H(N)}^2 + \varepsilon_{Sam}^2) \left[ \frac{J_{FA}}{H_{(N)tot}} \right]^2 + \left[ \varepsilon_{MA}^2 + \varepsilon_y^2 + \left[ \frac{u_{MA}}{t_A - t_r} \right]^2 \right]}$	$\varepsilon_{H(N)tot}$	-	0.00015	
U25	Uncertainty for efficiency determined by heat loss method: $\varepsilon_{\eta(N)B} = \sqrt{\left[ \frac{I_G}{\eta_B} \right]^2 \left[ \varepsilon_{\mu G}^2 + \left( \frac{\mu_A}{\mu_G} \right) \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{H(N)tot}^2 + \varepsilon_{cpG}^2 + \left[ \frac{u_{MG}}{t_G - t_r} \right]^2 \right] + \left[ \frac{I_{RC}}{\eta_B} \right]^2 0.5^2 + \left[ \frac{I_{CO}}{\eta_B} \right]^2 \left[ \frac{u_{MyCO_2}}{Y_{CO_2}} \right]^2 + \left[ \frac{I_{SF} + I_L}{\eta_B} \right]^2 0.2^2}$	$\varepsilon_{\eta(N)B}$	-	0.00553	



**JKP "Novosadska toplana", Novi Sad, Srbija**  
**Boiler Efficiency (Fuel gases)**  
**(According to EN 12952-15:2009)**

No.	General data			Value or description			
1	Date of the test			20.11.2018.			
2	Time of the test			11:00-12:15			
3	Boiler load rate			100% (58MW)			
4	Boiler design parameters - MCR	Boiler type		Gas boiler			
5		Outlet	Hot water (steam) out pressure				
6			Hot water (steam) out temperature		150°C		
9		Inlet	Cold water (steam) inlet pressure				
10			Cold water (steam) inlet temperature		70°C		
11			Cold water inlet mass flow		616.3 t/h		
14	Furnace design		Guaranteed fuel composition				
15	Burners		Gas burner				
16	Balance boundaries			Acc. to EN 12952-15:2009. (with airheater)			
	<b>Parameter</b>	<b>Symbol</b>	<b>Unit</b>	<b>Value</b>	<b>Remark</b>		
17	Referent ambient temperature	$t_r$	°C	25	Predefined		
18	Ambient temperature	$t_u$	°C	5			
19	Atmospheric pressure	$p_u$	hPa	1001.7			
20	Ash volatile content	$v$	kg/kg	0.0000	Predefined		
21	Fuel gases	Carbon monoxide	$\gamma_{CO}$	$m^3/m^3$	0.0000	Laboratory analysis	
22		Hydrogen	$\gamma_{H_2}$	$m^3/m^3$	0.0000		
23		Methane	$\gamma_{CH_4}$	$m^3/m^3$	0.9580		
24		Ethene	$\gamma_{C_2H_4}$	$m^3/m^3$	0.0000		
25		Ethane	$\gamma_{C_2H_6}$	$m^3/m^3$	0.0229		
26		Propene	$\gamma_{C_3H_6}$	$m^3/m^3$	0.0000		
27		Propane	$\gamma_{C_3H_8}$	$m^3/m^3$	0.0070		
28		i-Butane	$\gamma_{C_4H_{10}}$	$m^3/m^3$	0.0010		
29		n-Butane	$\gamma_{C_4H_{10}}$	$m^3/m^3$	0.0010		
30		i-Pentane	$\gamma_{C_5H_{12}}$	$m^3/m^3$	0.0002		
31		n-Pentane	$\gamma_{C_5H_{12}}$	$m^3/m^3$	0.0001		
32		Hexane	$\gamma_{C_6H_{14}}$	$m^3/m^3$	0.0001		
33		Nitrogen	$\gamma_{N_2}$	$m^3/m^3$	0.0070		
34		Carbon dioxide	$\gamma_{CO_2}$	$m^3/m^3$	0.0025		
35		Oxygen	$\gamma_{O_2}$	$m^3/m^3$	0.0000		
36		Hydrogen sulfide	$\gamma_{H_2S}$	$m^3/m^3$	0.0000		4.47
37		Net calorific value	$H_{(N)}$	MJ/kg	48.9121		
38	Fuel flow	$m_F$	t/h	4.47	Iteratively determined		
39	Fuel temperature	$t_F$	°C	10.8			
40	Air temperature	$t_A$	°C	5.0	Measured		
41	Moisture content of air	$X_{H_2O A}$	kg/kg	0.0086	Predefined		
42	Moisture content of flue gas	$X_{H_2O G}$	kg/kg	0.104			
43	Water inlet	Temperature	$t_{FW}$	°C	59.7		
44		Pressure	$p_{FW}$	MPa	1.04		
45		Mass flow	$m_{FW}$	t/h	764.99		
46	Water outlet	Temperature	$t_{ST}$	°C	125.8		
47		Pressure	$p_{ST}$	MPa	0.87		
48		Mass flow	$m_{ST}$	t/h	764.99		
49	Exit flue gas content	O <sub>2</sub> content	$\gamma_{O_2 d}$	$m^3/m^3$	0.0220	Net measurement	
50		CO <sub>2</sub> content	$\gamma_{CO_2 d}$	$m^3/m^3$	0.1082		
51		CO content	$\gamma_{CO d}$	$m^3/m^3$	0.00007		
52	Calorific value of CO	$H_{CO n}$	MJ/m <sup>3</sup>	12.633	Predefined		
53	Flue gas exit temperature	$t_G$	°C	58.9	Net measurement		
54	Slag mass flow	$m_{SL}$	t/h	0.0000	Measured		
55	Unburned combustibles content	Fly ash	$U_{FA}$	kg/kg	0.0000	Laboratory analysis	
56		Slag	$U_{SL}$	kg/kg	0.0000		



Fly ash temperature	$t_{FAsh}$	°C	58.9	$t_{FAsh}=t_G$
Slag temperature	$t_{SL}$	°C	500.0	Predefined
Specific heat	Fly ash	$c_{FA}$	kJ/(kgK)	0.84
	Slag	$c_{SL}$	kJ/(kgK)	1
Net calorific value of unburned combustibles	$H_{uu}$	MJ/kg	27.2	
Power of main electric drivers	$P_E$	kW	20	
Power of other electric drives	$P$	kW	0	
Enthalpy of water in boiler outlet	$h_{ST}$	kJ/kg	528.85	
Enthalpy of water in boiler inlet	$h_{FW}$	kJ/kg	250.60	
Heat received at the live steam section of the boiler: $\dot{Q}_{NS} = \dot{m}_{ST}(h_{ST} - h_{FW})$	$\dot{Q}_{NS}$	kW	59127.9	
Useful heat output: $\dot{Q}_N = \dot{Q}_{NS}$	$\dot{Q}_N$	kW	59127.9	
Average specific heat of the fuel: $\bar{c}_F = \sum \bar{c}_{Fi} X_i$	$\bar{c}_F$	kJ/(kgK)	2.18	
Enthalpy of fuel: $h_F = \bar{c}_F(t_F - t_r)$	$h_F$	kJ/kg	-30.9	
Unburned combustibles to supplied fuel mass flow ratio: $I_u = \frac{\gamma_{Ash}(1-\nu)(\dot{m}_{Ash} u_{Ash} + \dot{m}_{Ash})}{1-\gamma_{Ash}-\gamma_{H_2O}} \cdot \frac{1}{1-u_{FA}} \left[ u_{FA} + (u_{SL} - u_{FA}) \frac{\dot{m}_{SL}}{\dot{m}_{FO} \gamma_{Ash}(1-\nu)} \right]$	$I_u$	kg/kg	0.0000	
Water content in flue gas to fuel mass ratio: $\mu_{H_2O F} = \sum \mu_{H_2O Fi} X_i$	$\mu_{H_2O F}$	kg/kg	2.1690	
Gross calorific value (GCV) of fuel: $H_{(G)} = H_{(M)} + \mu_{H_2O F} L_r$	$H_{(G)}$	MJ/kg	54.210	
Standard density of fuel gas: $\rho_n = \sum y_i \rho_{ni}$	$\rho_n$	kg/m <sup>3</sup>	0.753	
Stoichiometric combustion air mass to fuel mass ratio: $\mu_{Aod} = \sum \mu_{Aodi} X_i$	$\mu_{Aod}$	kg/kg	16.83	
Dry combustion air mass to fuel mass ratio: $\mu_{Ad} = \mu_{Aod} + \rho_{nAd} \cdot V_{God} \cdot \frac{y_{O_2d}}{y_{O_2Ad} - y_{O_2d}}$	$\mu_{Ao}$	kg/kg	18.60	
Combustion air mass to fuel ratio: $\mu_A = \mu_{Ao}(1 + x_{H_2OAd})$	$\mu_A$	kg/kg	18.76	
Integral specific heat between $t_A$ and $t_r$ of air: $\bar{c}_{pA} = \frac{c_{pA}(t_A) \cdot t_A - c_{pA}(t_r) \cdot t_r}{t_A - t_r}$	$\bar{c}_{pA}$	kJ/(kgK)	1.0120	
Enthalpy of combustion air due to NCV calculation: $J_{(N)A} = \mu_A \cdot \bar{c}_{pA}(t_A - t_r)$	$J_{(N)A}$	kJ/kg	-379.7	
Heat input proportional to fuel burned: $\dot{Q}_{(N)ZF} = \dot{m}_F \left[ (H_{(M)} + h_F) (1 - I_u) + J_{(N)A} \right]$	$\dot{Q}_{(N)ZF}$	kW	60222.7	
Heat credits: $\dot{Q}_{(N)Z} = P_{MO} + P$	$\dot{Q}_{(N)Z}$	kW	20	
Total heat input: $\dot{Q}_{(N)Ztot} = \dot{Q}_{(N)ZF} + \dot{Q}_{(N)Z}$	$\dot{Q}_{(N)Ztot}$	kW	60242.7	
Flue gas mass to fuel mass ratio: $\mu_G = \mu_A + 1$	$\mu_G$	kg/kg	19.6213	
Integral specific heat between $t_G$ and $t_b$ of flue gas: $\bar{c}_{pG} = \frac{c_{pG}(t_G) \cdot t_G - c_{pG}(t_b) \cdot t_b}{t_G - t_b}$	$\bar{c}_{pG}$	kJ/(kgK)	1.0880	
Stoichiometric flue gas volume: $V_{God} = \sum V_{Godi} X_i$	$V_{God}$	m <sup>3</sup> /kg	11.6627	
Dry flue gas volume: $V_{Gd} = V_{God} \cdot \frac{y_{O_2d}}{0.20938 - y_{O_2d}}$	$V_{Gd}$	m <sup>3</sup> /kg	13.0291	



Losses proportional to fuel flow					
86	Flue gas losses: $\dot{Q}_{(N)G} = m_F \cdot \mu_G \cdot \bar{c}_{pG} \cdot (t_G - t_r)$	$\dot{Q}_{(N)G}$	kW	912.609	Uračunat gubitak usled kondenzacije vodene pare u dimnim gasu
87	Loss due to unburned CO: $\dot{Q}_{CO} = m_F \cdot V_{gd} \cdot y_{COd} \cdot H_{COd}$	$\dot{Q}_{CO}$	kW	15.30	
88	Flue dust enthalpy: $h_{FA} = c_{FA} (t_G - t_r) + u_{FA} \cdot H_{uu}$	$h_{FA}$	kJ/kg	28.4	
89	Slag enthalpy: $h_{SL} = c_{SL} (t_{SL} - t_r) + u_{SL} \cdot H_{uu}$	$h_{SL}$	kJ/kg	475.0	
90	Losses due to enthalpy and unburned combustibles in slag: $\dot{Q}_{SL} = m_{SL} \cdot \left[ h_{SL} - \frac{1 - u_{SL}}{1 - u_{FA}} \cdot h_{FA} \right]$	$\dot{Q}_{SL}$	kW	0.0	
91	Losses due to enthalpy and unburned combustibles in flue dust: $\dot{Q}_{FA} = m_F \cdot \frac{\gamma_{Ash} (1 - V)}{(1 - I_u)(1 - u_{FA})} h_{FA}$	$\dot{Q}_{FA}$	kW	0.0	
92	Losses due to enthalpy and unburned combustibles in flue dust and slag: $\dot{Q}_{SF} = \dot{Q}_{SL} + \dot{Q}_{FA}$	$\dot{Q}_{SF}$	kW	0.000	
93	Losses proportional to fuel flow: $\Sigma \dot{Q}_{(N)LF} = \dot{Q}_{(N)G} + \dot{Q}_{CO} + \dot{Q}_{SF}$	$\Sigma \dot{Q}_{(N)LF}$	kW	927.905	
Losses independent of fuel flow					
94	Radiation and convection losses, where C=0.0113: $\dot{Q}_{RC} = C \cdot Q_N^{0.7}$	$\dot{Q}_{RC}$	kW	196.5	
95	Total losses: $\Sigma \dot{Q}_{(N)Ltot} = \dot{Q}_{(N)LF} + \dot{Q}_{RC}$	$\Sigma \dot{Q}_{(N)Ltot}$	kW	1124.4	
96	Heat balance: $\Delta Q = \dot{Q}_{(N)Ztot} - \dot{Q}_{(N)Ltot} - \dot{Q}_N$	$\Delta Q$	%	0.0	
97	Boiler efficiency: $\eta_K = 1 - \frac{\Sigma \dot{Q}_{(N)Ltot}}{\Sigma \dot{Q}_{(N)Ztot}}$	$\eta_K$	-	0.9813	
98	Measurements uncertainty: $\varepsilon_{\eta(N)B} = \sqrt{\left[ \frac{I_G}{\eta_B} \right]^2 \left[ \varepsilon_{\mu G}^2 + \left( \frac{\mu_A}{\mu_G} \right) \varepsilon_{\gamma}^2 + \varepsilon_{H(N)tot}^2 + \varepsilon_{CpG}^2 + \left[ \frac{u_{MG}}{t_G - t_r} \right]^2 \right] + \left[ \frac{I_{RC}}{\eta_B} \right]^2 0.5^2 + \left[ \frac{I_{CO}}{\eta_B} \right]^2 \left[ \frac{u_{MyCOd}}{y_{COd}} \right]^2 + \left[ \frac{I_{SF} + I_L}{\eta_B} \right]^2 0.2^2}$	$\varepsilon_{\eta K}$	-	0.0055 ±	
99	Boiler efficiency correction due to the test conditions discrepancy from guaranteed conditions: $\Sigma \Delta \eta_{Kx} = \Delta_{palsv} + \Delta_{muc} + \Delta_{n'} + \Delta_{nsvode}$	$\Sigma \Delta \eta_{Kx}$	-	0.0000	
100	<b>Boiler efficiency:</b>	$\eta_{Kg}$	%	<b>98.13 ± 0,55</b>	



Uncertainty for efficiency determined by heat loss method					
U1	Total enthalpy of fuel: $H_{(N)tot} = \frac{H_{(N)} + h_F}{1 - I_u} + J_{(N)A}$	$H_{(N)tot}$	kJ/kg	48501.49	
U2	Uncertainty for integral specific heat of flue gas: $\varepsilon_{cpG} = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2}$	$\varepsilon_{cpG}$	-	0.01142	
U3	Polynomial mean uncertainty for specific heat of gas	$\varepsilon_1$	-	0.00040	Predefined
U4	Uncertainty for carbon dioxide and water content $\varepsilon_2 = -0,017 \cdot x_{CO_2} (4,0 - 1/x_{CO_2,d})$	$\varepsilon_2$	-	0.00551	
U5	Results scatter uncertainty for specific heat of flue gas	$\varepsilon_3$	-	0.01000	Table 10.4-3
U6	Uncertainty for net calorific value (sampling): $\varepsilon_{Sam} = 0$	$\varepsilon_{Sam}$	-	0.00000	Predefined
U7	Uncertainty for combustion air mass to fuel mass ratio:	$\varepsilon_{iAd}$	-	0.04500	Table 10.4-3
U8	Uncertainty for net calorific value (NCV) determination: $\varepsilon_{H(N)} = 160/H_{(N)}$	$\varepsilon_{H(N)}$	-	3.27117	
U9	Uncertainty for oxygen content in flue gas: $\varepsilon_y = 0,0015/(y_{O_2Ad} - y_{O_2d})$	$\varepsilon_y$	-	0.00798	
U10	Error for temperature measurements in air: $u_{MA} = \frac{\alpha_{RA}}{\alpha_{CA} - \alpha_{RA}} (t_A - t_{WA})$	$u_{MA}$	°C	0.00767	
U11	Coefficient of heat transfer by radiation (sensor to wall) in air: $\alpha_{RA} = 0,04 \cdot 5,67 \cdot \varepsilon \cdot \left[ \frac{T_{Sen}}{100} \right]^3$	$\alpha_{RA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	3.41	
U12	Coefficient of heat transfer by convection (sensor to wall) in air: $\alpha_{CA} = 4,1 \cdot \sqrt{w\rho/l}$	$\alpha_{CA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	448.04	
U13	Probe diameter for air temperature measurements	d	m	0.003	
U14	Air velocity	w	m/s	47.52	
U15	Wall temperature in air duct	$t_{wA}$	°C	4.00	
U16	Air density	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1.18	
U17	Error for temperature measurements in flue gas: $u_{MG} = \frac{\alpha_{RG}}{\alpha_{CG} - \alpha_{RG}} (t_G - t_{WG})$	$u_{MA}$	°C	0.11	
U18	Coefficient of heat transfer by radiation (sensor to wall) in flue gas: $\alpha_{RG} = 0,04 \cdot 5,67 \cdot \varepsilon \cdot \left[ \frac{T_{Sen}}{100} \right]^3$	$\alpha_{RA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	5.80	
U19	Coefficient of heat transfer by convection (sensor to wall) in flue gas $\alpha_{CA} = 4,92 \cdot \sqrt{w\rho/l}$	$\alpha_{CA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	277.89	
U20	Probe diameter for flue gas temperature measurements	d	m	0.003	
U21	Flue gas velocity	w	m/s	14.00	
U22	Wall temperature in flue gas duct	$t_{wG}$	°C	53.85	
U23	Flue gas density	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1.073	
U24	Uncertainty for total net calorific value (NCV): $\varepsilon_{H(N)tot} = \sqrt{\left[ \frac{H_{(N)}/(1-I_u)}{H_{(N)tot}} \right]^2 (\varepsilon_{H(N)}^2 + \varepsilon_{Sam}^2) \left[ \frac{J_{FA}}{H_{(N)tot}} \right]^2 + \left[ \varepsilon_{MA}^2 + \varepsilon_y^2 + \left[ \frac{u_{MA}}{t_A - t_t} \right]^2 \right]}$	$\varepsilon_{H(N)tot}$	-	0.00036	
U25	Uncertainty for efficiency determined by heat loss method: $\varepsilon_{\eta(N)B} = \sqrt{\left[ \frac{I_G}{\eta_B} \right]^2 \left[ \varepsilon_{\mu G}^2 + \left( \frac{\mu_A}{\mu_G} \right) \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{H(N)tot}^2 + \varepsilon_{cpG}^2 + \left[ \frac{u_{MG}}{t_G - t_t} \right]^2 \right] + \left[ \frac{I_{RC}}{\eta_B} \right]^2 0.5^2 + \left[ \frac{I_{CO}}{\eta_B} \right]^2 \left[ \frac{u_{MyCO_2}}{y_{CO_2}} \right]^2 + \left[ \frac{I_{SF} + I_L}{\eta_B} \right]^2 0.2^2}$	$\varepsilon_{\eta(N)B}$	-	0.00550	



**JKP "Novosadska toplana", Novi Sad, Srbija**  
**Boiler Efficiency (Fuel gases)**  
**(According to EN 12952-15:2009)**

No.	General data			Value or description			
1	Date of the test			20.11.2018.			
2	Time of the test			12:40-13:40			
3	Boiler load rate			60% (34.8MW)			
4	Boiler design parameters - MCR	Boiler type		Gas boiler			
5		Outlet	Hot water (steam) out pressure				
6			Hot water (steam) out temperature		120°C		
9		Inlet	Cold water (steam) inlet pressure				
10			Cold water (steam) inlet temperature		70°C		
11			Cold water inlet mass flow		616.3 t/h		
14	Furnace design		Guaranteed fuel composition				
15	Burners		Gas burner				
16	Balance boundaries			Acc. to EN 12952-15:2009. (without airheater)			
	<b>Parameter</b>	<b>Symbol</b>	<b>Unit</b>	<b>Value</b>	<b>Remark</b>		
17	Referent ambient temperature	$t_r$	°C	25	Predefined		
18	Ambient temperature	$t_u$	°C	6			
19	Atmospheric pressure	$p_u$	hPa	1000			
20	Ash volatile content	$v$	kg/kg	0.0000	Predefined		
21	Fuel gases	Carbon monoxide	$\gamma_{CO}$	$m^3/m^3$	0.0000	Laboratory analysis	
22		Hydrogen	$\gamma_{H_2}$	$m^3/m^3$	0.0000		
23		Methane	$\gamma_{CH_4}$	$m^3/m^3$	0.9580		
24		Ethene	$\gamma_{C_2H_4}$	$m^3/m^3$	0.0000		
25		Ethane	$\gamma_{C_2H_6}$	$m^3/m^3$	0.0229		
26		Propene	$\gamma_{C_3H_6}$	$m^3/m^3$	0.0000		
27		Propane	$\gamma_{C_3H_8}$	$m^3/m^3$	0.0070		
28		i-Butane	$\gamma_{C_4H_{10}}$	$m^3/m^3$	0.0010		
29		n-Butane	$\gamma_{C_4H_{10}}$	$m^3/m^3$	0.0010		
30		i-Pentane	$\gamma_{C_5H_{12}}$	$m^3/m^3$	0.0002		
31		n-Pentane	$\gamma_{C_5H_{12}}$	$m^3/m^3$	0.0001		
32		Hexane	$\gamma_{C_6H_{14}}$	$m^3/m^3$	0.0001		
33		Nitrogen	$\gamma_{N_2}$	$m^3/m^3$	0.0070		
34		Carbon dioxide	$\gamma_{CO_2}$	$m^3/m^3$	0.0025		
35		Oxygen	$\gamma_{O_2}$	$m^3/m^3$	0.0000		
36		Hydrogen sulfide	$\gamma_{H_2S}$	$m^3/m^3$	0.0000		2.96
37		Net calorific value	$H_{(N)}$	MJ/kg	48.9121		
38	Fuel flow	$m_F$	t/h	2.957	Iteratively determined		
39	Fuel temperature	$t_F$	°C	10.6			
40	Air temperature	$t_A$	°C	34.0	Measured		
41	Moisture content of air	$X_{H_2O A}$	kg/kg	0.0086	Predefined		
42	Moisture content of flue gas	$X_{H_2O G}$	kg/kg	0.107			
43	Water inlet	Temperature	$t_{FW}$	°C	59.8		
44		Pressure	$p_{FW}$	MPa	1.04		
45		Mass flow	$m_{FW}$	t/h	776.45		
46	Water outlet	Temperature	$t_{ST}$	°C	103.4		
47		Pressure	$p_{ST}$	MPa	0.87		
48		Mass flow	$m_{ST}$	t/h	776.45		
49	Exit flue gas content	O <sub>2</sub> content	$\gamma_{O_2 d}$	$m^3/m^3$	0.0271	Net measurement	
50		CO <sub>2</sub> content	$\gamma_{CO_2 d}$	$m^3/m^3$	0.1023		
51		CO content	$\gamma_{CO d}$	$m^3/m^3$	0.00000		
52	Calorific value of CO	$H_{CO n}$	MJ/m <sup>3</sup>	12.633	Predefined		
53	Flue gas exit temperature	$t_G$	°C	67.2	Net measurement		
54	Slag mass flow	$m_{SL}$	t/h	0.0000	Measured		
55	Unburned combustibles content	Fly ash	$U_{FA}$	kg/kg	0.0000	Laboratory analysis	
56		Slag	$U_{SL}$	kg/kg	0.0000		



57	Fly ash temperature	$t_{FAsh}$	°C	67.2	$t_{FAsh}=t_G$
58	Slag temperature	$t_{SL}$	°C	500.0	Predefined
59	Specific heat	Fly ash	$C_{FA}$	kJ/(kgK)	0.84
60		Slag	$C_{SL}$	kJ/(kgK)	1
61	Net calorific value of unburned combustibles	$H_{uu}$	MJ/kg	27.2	
62	Power of main electric drivers	$P_E$	kW	20	
63	Power of other electric drives	$P$	kW	0	
64	Enthalpy of water in boiler outlet	$h_{ST}$	kJ/kg	433.86	
65	Enthalpy of water in boiler inlet	$h_{FW}$	kJ/kg	251.21	
66	Heat received at the live steam section of the boiler: $\dot{Q}_{NS} = \dot{m}_{ST} (h_{ST} - h_{FW})$	$\dot{Q}_{NS}$	kW	39395.2	
67	Useful heat output: $\dot{Q}_N = \dot{Q}_{NS}$	$\dot{Q}_N$	kW	39395.2	
68	Average specific heat of the fuel: $\bar{c}_F = \sum \bar{c}_{Fi} X_i$	$\bar{c}_F$	kJ/(kgK)	2.18	
69	Enthalpy of fuel: $h_F = \bar{c}_F (t_F - t_r)$	$h_F$	kJ/kg	-31.4	
70	Unburned combustibles to supplied fuel mass flow ratio: $I_u = \frac{\gamma_{Ash}(1-v)(m_{Ash} u_{Ash} + m_{Ash})}{1 - \gamma_{Ash} - \gamma_{H_2O}} \cdot \frac{1}{1 - u_{FA}} \left[ u_{FA} + (u_{SL} - u_{FA}) \frac{m_{SL}}{m_{FO} \gamma_{Ash} (1-v)} \right]$	$I_u$	kg/kg	0.0000	
71	Water content in flue gas to fuel mass ratio: $\mu_{H_2O} = \sum \mu_{H_2OFi} X_i$	$\mu_{H_2O}$	kg/kg	2.1690	
72	Gross calorific value (GCV) of fuel: $H_{(G)} = H_{(N)} + \mu_{H_2OF} L_r$	$H_{(G)}$	MJ/kg	54.210	
73	Standard density of fuel gas: $\rho_n = \sum y_i \rho_{ni}$	$\rho_n$	kg/m <sup>3</sup>	0.753	
74	Stoichiometric combustion air mass to fuel mass ratio: $\mu_{Aod} = \sum \mu_{Aodi} X_i$	$\mu_{Aod}$	kg/kg	16.83	
75	Dry combustion air mass to fuel mass ratio: $\mu_{Ad} = \mu_{Aod} + \rho_{nAd} \cdot V_{God} \cdot \frac{y_{O_2d}}{y_{O_2Ad} - y_{O_2d}}$	$\mu_{Ao}$	kg/kg	19.07	
76	Combustion air mass to fuel ratio: $\mu_A = \mu_{Ao} (1 + X_{H_2OAd})$	$\mu_A$	kg/kg	19.24	
77	Integral specific heat between $t_A$ and $t_r$ of air: $\bar{c}_{pA} = \frac{c_{pA}(t_A) \cdot t_A - c_{pA}(t_r) \cdot t_r}{t_A - t_r}$	$\bar{c}_{pA}$	kJ/(kgK)	1.0126	
78	Enthalpy of combustion air due to NCV calculation: $J_{(N)A} = \mu_A \cdot \bar{c}_{pA} (t_A - t_r)$	$J_{(N)A}$	kJ/kg	174.4	
79	Heat input proportional to fuel burned: $\dot{Q}_{(N)ZF} = \dot{m}_F \left[ (H_{(N)} + h_F) (1 - I_u) + J_{(N)A} \right]$	$\dot{Q}_{(N)ZF}$	kW	40293.3	
80	Heat credits: $\dot{Q}_{(N)Z} = P_{MO} + P$	$\dot{Q}_{(N)Z}$	kW	20	
81	Total heat input: $\dot{Q}_{(N)Ztot} = \dot{Q}_{(N)ZF} + \dot{Q}_{(N)Z}$	$\dot{Q}_{(N)Ztot}$	kW	40313.3	
82	Flue gas mass to fuel mass ratio: $\mu_G = \mu_A + 1$	$\mu_G$	kg/kg	20.2390	
83	Integral specific heat between $t_G$ and $t_b$ of flue gas: $\bar{c}_{pG} = \frac{c_{pG}(t_G) \cdot t_G - c_{pG}(t_b) \cdot t_b}{t_G - t_b}$	$\bar{c}_{pG}$	kJ/(kgK)	1.0922	
84	Stoichiometric flue gas volume: $V_{God} = \sum V_{Godi} X_i$	$V_{God}$	m <sup>3</sup> /kg	11.6627	
85	Dry flue gas volume: $V_{Gd} = V_{God} \cdot \frac{y_{O_2d}}{0.20938 - y_{O_2d}}$	$V_{Gd}$	m <sup>3</sup> /kg	13.3970	





Losses proportional to fuel flow				
86	Flue gas losses: $\dot{Q}_{(N)G} = m_F \cdot \mu_G \cdot \bar{c}_{pG} \cdot (t_G - t_r)$	$\dot{Q}_{(N)G}$	kW	765.344
87	Loss due to unburned CO: $\dot{Q}_{CO} = m_F \cdot V_{gd} \cdot y_{COd} \cdot H_{COd}$	$\dot{Q}_{CO}$	kW	0.62
88	Flue dust enthalpy: $h_{FA} = c_{FA} (t_G - t_r) + u_{FA} \cdot H_{uu}$	$h_{FA}$	kJ/kg	35.4
89	Slag enthalpy: $h_{SL} = c_{SL} (t_{SL} - t_r) + u_{SL} \cdot H_{uu}$	$h_{SL}$	kJ/kg	475.0
90	Losses due to enthalpy and unburned combustibles in slag: $\dot{Q}_{SL} = m_{SL} \cdot \left[ h_{SL} - \frac{1 - u_{SL}}{1 - u_{FA}} \cdot h_{FA} \right]$	$\dot{Q}_{SL}$	kW	0.0
91	Losses due to enthalpy and unburned combustibles in flue dust: $\dot{Q}_{FA} = m_F \cdot \frac{\gamma_{Ash} (1 - V)}{(1 - I_u)(1 - u_{FA})} h_{FA}$	$\dot{Q}_{FA}$	kW	0.0
92	Losses due to enthalpy and unburned combustibles in flue dust and slag: $\dot{Q}_{SF} = \dot{Q}_{SL} + \dot{Q}_{FA}$	$\dot{Q}_{SF}$	kW	0.000
93	Losses proportional to fuel flow: $\Sigma \dot{Q}_{(N)LF} = \dot{Q}_{(N)G} + \dot{Q}_{CO} + \dot{Q}_{SF}$	$\Sigma \dot{Q}_{(N)LF}$	kW	765.966
Losses independent of fuel flow				
94	Radiation and convection losses, where C=0.0113: $\dot{Q}_{RC} = C \cdot Q_N^{0.7}$	$\dot{Q}_{RC}$	kW	147.9
95	Total losses: $\Sigma \dot{Q}_{(N)Ltot} = \dot{Q}_{(N)LF} + \dot{Q}_{RC}$	$\Sigma \dot{Q}_{(N)Ltot}$	kW	913.8
96	Heat balance: $\Delta Q = \dot{Q}_{(N)Ztot} - \dot{Q}_{(N)Ltot} - \dot{Q}_N$	$\Delta Q$	%	0.0
97	Boiler efficiency: $\eta_K = 1 - \frac{\Sigma \dot{Q}_{(N)Ltot}}{\Sigma \dot{Q}_{(N)Ztot}}$	$\eta_K$	-	0.9773
98	Measurements uncertainty: $\varepsilon_{\eta(N)B} = \sqrt{\left[ \frac{I_G}{\eta_B} \right]^2 \left[ \varepsilon_{\mu G}^2 + \left( \frac{\mu_A}{\mu_G} \right) \varepsilon_{\gamma}^2 + \varepsilon_{H(N)tot}^2 + \varepsilon_{CpG}^2 + \left[ \frac{u_{MG}}{t_G - t_r} \right]^2 \right] + \left[ \frac{I_{RC}}{\eta_B} \right]^2 0.5^2 + \left[ \frac{I_{CO}}{\eta_B} \right]^2 \left[ \frac{u_{MyCOd}}{y_{COd}} \right]^2 + \left[ \frac{I_{SF} + I_L}{\eta_B} \right]^2 0.2^2}$	$\varepsilon_{\eta K}$	-	0.0057 ±
99	Boiler efficiency correction due to the test conditions discrepancy from guaranteed conditions: $\Sigma \Delta \eta_{Kx} = \Delta_{puls} + \Delta_{muc} + \Delta_{n'} + \Delta_{n'sode}$	$\Sigma \Delta \eta_{Kx}$	-	0.0000
100	<b>Boiler efficiency:</b>	$\eta_{Kg}$	%	<b>97.73 ± 0,57</b>



Uncertainty for efficiency determined by heat loss method					
U1	Total enthalpy of fuel: $H_{(N)tot} = \frac{H_{(N)} + h_f}{1 - I_u} + J_{(N)A}$	$H_{(N)tot}$	kJ/kg	49055.11	
U2	Uncertainty for integral specific heat of flue gas: $\varepsilon_{cpG} = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2}$	$\varepsilon_{cpG}$	-	0.01166	
U3	Polynomial mean uncertainty for specific heat of gas	$\varepsilon_1$	-	0.00040	Predefined
U4	Uncertainty for carbon dioxide and water content $\varepsilon_2 = -0,017 \cdot x_{CO_2} (4,0 - 1/x_{CO_2,d})$	$\varepsilon_2$	-	0.00599	
U5	Results scatter uncertainty for specific heat of flue gas	$\varepsilon_3$	-	0.01000	Table 10.4-3
U6	Uncertainty for net calorific value (sampling): $\varepsilon_{Sam} = 0$	$\varepsilon_{Sam}$	-	0.00000	Predefined
U7	Uncertainty for combustion air mass to fuel mass ratio:	$\varepsilon_{\eta Ad}$	-	0.04500	Table 10.4-3
U8	Uncertainty for net calorific value (NCV) determination: $\varepsilon_{H(N)} = 160/H_{(N)}$	$\varepsilon_{H(N)}$	-	3.27117	
U9	Uncertainty for oxygen content in flue gas: $\varepsilon_y = 0,0015 / (y_{O_2,Ad} - y_{O_2,d})$	$\varepsilon_y$	-	0.00820	
U10	Error for temperature measurements in air: $u_{MA} = \frac{\alpha_{RA}}{\alpha_{CA} - \alpha_{RA}} (t_A - t_{WA})$	$u_{MA}$	°C	0.05182	
U11	Coefficient of heat transfer by radiation (sensor to wall) in air: $\alpha_{RA} = 0,04 \cdot 5,67 \cdot \varepsilon \cdot \left[ \frac{T_{Sen}}{100} \right]^3$	$\alpha_{RA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	4.59	
U12	Coefficient of heat transfer by convection (sensor to wall) in air: $\alpha_{CA} = 4,1 \cdot \sqrt{w \rho / l}$	$\alpha_{CA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	447.56	
U13	Probe diameter for air temperature measurements	d	m	0.003	
U14	Air velocity	w	m/s	47.62	
U15	Wall temperature in air duct	$t_{WA}$	°C	28.95	
U16	Air density	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1.18	
U17	Error for temperature measurements in flue gas: $u_{MG} = \frac{\alpha_{RG}}{\alpha_{CG} - \alpha_{RG}} (t_G - t_{WG})$	$u_{MA}$	°C	0.24	
U18	Coefficient of heat transfer by radiation (sensor to wall) in flue gas: $\alpha_{RG} = 0,04 \cdot 5,67 \cdot \varepsilon \cdot \left[ \frac{T_{Sen}}{100} \right]^3$	$\alpha_{RA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	6.25	
U19	Coefficient of heat transfer by convection (sensor to wall) in flue gas $\alpha_{CA} = 4,92 \cdot \sqrt{w \rho / l}$	$\alpha_{CA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	332.10	
U20	Probe diameter for flue gas temperature measurements	d	m	0.003	
U21	Flue gas velocity	w	m/s	20.00	
U22	Wall temperature in flue gas duct	$t_{WG}$	°C	54.81	
U23	Flue gas density	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1.073	
U24	Uncertainty for total net calorific value (NCV): $\varepsilon_{H(N)tot} = \sqrt{\left[ \frac{H_{(N)}/(1-I_u)}{H_{(N)tot}} \right]^2 (\varepsilon_{H(N)}^2 + \varepsilon_{Sam}^2) \left[ \frac{J_{FA}}{H_{(N)tot}} \right]^2 + \left[ \varepsilon_{\eta A}^2 + \varepsilon_y^2 + \left[ \frac{u_{MA}}{t_A - t_r} \right]^2 \right]}$	$\varepsilon_{H(N)tot}$	-	0.00016	
U25	Uncertainty for efficiency determined by heat loss method: $\varepsilon_{\eta(N)B} = \sqrt{\left[ \frac{I_G}{\eta_B} \right]^2 \left[ \varepsilon_{\mu G}^2 + \left( \frac{\mu_A}{\mu_G} \right) \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{H(N)tot}^2 + \varepsilon_{cpG}^2 + \left[ \frac{u_{MG}}{t_G - t_r} \right]^2 \right] + \left[ \frac{I_{RC}}{\eta_B} \right]^2 0.5^2 + \left[ \frac{I_{CO}}{\eta_B} \right]^2 \left[ \frac{u_{MycO_2}}{y_{CO_2,d}} \right]^2 + \left[ \frac{I_{SF} + I_L}{\eta_B} \right]^2 0.2^2}$	$\varepsilon_{\eta(N)B}$	-	0.00569	



**JKP "Novosadska toplana", Novi Sad, Srbija**  
**Boiler Efficiency (Fuel gases)**  
**(According to EN 12952-15:2009)**

No.	General data			Value or description			
1	Date of the test			20.11.2018.			
2	Time of the test			12:40-13:40			
3	Boiler load rate			60% (34.8MW)			
4	Boiler design parameters - MCR	Boiler type		Gas boiler			
5		Outlet	Hot water (steam) out pressure				
6			Hot water (steam) out temperature		120°C		
9		Inlet	Cold water (steam) inlet pressure				
10			Cold water (steam) inlet temperature		70°C		
11			Cold water inlet mass flow		616.3 t/h		
14	Furnace design		Guaranteed fuel composition				
15	Burners		Gas burner				
16	Balance boundaries			Acc. to EN 12952-15:2009. (with airheater)			
	Parameter	Symbol	Unit	Value	Remark		
17	Referent ambient temperature	$t_r$	°C	25	Predefined		
18	Ambient temperature	$t_u$	°C	6			
19	Atmospheric pressure	$p_u$	hPa	1000			
20	Ash volatile content	$v$	kg/kg	0.0000	Predefined		
21	Fuel gases	Carbon monoxide	$\gamma_{CO}$	$m^3/m^3$	0.0000	Laboratory analysis	
22		Hydrogen	$\gamma_{H_2}$	$m^3/m^3$	0.0000		
23		Methane	$\gamma_{CH_4}$	$m^3/m^3$	0.9580		
24		Ethene	$\gamma_{C_2H_4}$	$m^3/m^3$	0.0000		
25		Ethane	$\gamma_{C_2H_6}$	$m^3/m^3$	0.0229		
26		Propene	$\gamma_{C_3H_6}$	$m^3/m^3$	0.0000		
27		Propane	$\gamma_{C_3H_8}$	$m^3/m^3$	0.0070		
28		i-Butane	$\gamma_{C_4H_{10}}$	$m^3/m^3$	0.0010		
29		n-Butane	$\gamma_{C_4H_{10}}$	$m^3/m^3$	0.0010		
30		i-Pentane	$\gamma_{C_5H_{12}}$	$m^3/m^3$	0.0002		
31		n-Pentane	$\gamma_{C_5H_{12}}$	$m^3/m^3$	0.0001		
32		Hexane	$\gamma_{C_6H_{14}}$	$m^3/m^3$	0.0001		
33		Nitrogen	$\gamma_{N_2}$	$m^3/m^3$	0.0070		
34		Carbon dioxide	$\gamma_{CO_2}$	$m^3/m^3$	0.0025		
35		Oxygen	$\gamma_{O_2}$	$m^3/m^3$	0.0000		
36		Hydrogen sulfide	$\gamma_{H_2S}$	$m^3/m^3$	0.0000		2.98
37		Net calorific value	$H_{(N)}$	MJ/kg	48.9121		
38	Fuel flow	$m_F$	t/h	2.98	Iteratively determined		
39	Fuel temperature	$t_F$	°C	10.6			
40	Air temperature	$t_A$	°C	5.5	Measured		
41	Moisture content of air	$X_{H_2O A}$	kg/kg	0.0086	Predefined		
42	Moisture content of flue gas	$X_{H_2O G}$	kg/kg	0.096			
43	Water inlet	Temperature	$t_{FW}$	°C	59.8		
44		Pressure	$p_{FW}$	MPa	1.04		
45		Mass flow	$m_{FW}$	t/h	776.45		
46	Water outlet	Temperature	$t_{ST}$	°C	103.4		
47		Pressure	$p_{ST}$	MPa	0.87		
48		Mass flow	$m_{ST}$	t/h	776.45		
49	Exit flue gas content	O <sub>2</sub> content	$\gamma_{O_2 d}$	$m^3/m^3$	0.0254	Net measurement	
50		CO <sub>2</sub> content	$\gamma_{CO_2 d}$	$m^3/m^3$	0.1065		
51		CO content	$\gamma_{CO d}$	$m^3/m^3$	0.00000		
52	Calorific value of CO	$H_{CO n}$	MJ/m <sup>3</sup>	12.633	Predefined		
53	Flue gas exit temperature	$t_G$	°C	57.98	Net measurement		
54	Slag mass flow	$m_{SL}$	t/h	0.0000	Measured		
55	Unburned combustibles content	Fly ash	$U_{FA}$	kg/kg	0.0000	Laboratory analysis	
56		Slag	$U_{SL}$	kg/kg	0.0000		



57	Fly ash temperature	$t_{FAsh}$	°C	58.0	$t_{FAsh}=t_G$
58	Slag temperature	$t_{SL}$	°C	500.0	Predefined
59	Specific heat	Fly ash	$C_{FA}$	kJ/(kgK)	0.84
60		Slag	$C_{SL}$	kJ/(kgK)	1
61	Net calorific value of unburned combustibles	$H_{uu}$	MJ/kg	27.2	
62	Power of main electric drivers	$P_E$	kW	20	
63	Power of other electric drives	$P$	kW	0	
64	Enthalpy of water in boiler outlet	$h_{ST}$	kJ/kg	433.86	
65	Enthalpy of water in boiler inlet	$h_{FW}$	kJ/kg	251.21	
66	Heat received at the live steam section of the boiler: $\dot{Q}_{NS} = \dot{m}_{ST} (h_{ST} - h_{FW})$	$\dot{Q}_{NS}$	kW	39395.2	
67	Useful heat output: $\dot{Q}_N = \dot{Q}_{NS}$	$\dot{Q}_N$	kW	39395.2	
68	Average specific heat of the fuel: $\bar{c}_F = \sum \bar{c}_{Fi} X_i$	$\bar{c}_F$	kJ/(kgK)	2.18	
69	Enthalpy of fuel: $h_F = \bar{c}_F (t_F - t_r)$	$h_F$	kJ/kg	-31.4	
70	Unburned combustibles to supplied fuel mass flow ratio: $I_u = \frac{\gamma_{Ash}(1-v)(m_{Ash} u_{Ash} + \dot{m}_{Ash})}{1 - \gamma_{Ash} - \gamma_{H_2O}} \cdot \frac{1}{1 - u_{FA}} \left[ u_{FA} + (u_{SL} - u_{FA}) \frac{m_{SL}}{m_{FO} \gamma_{Ash} (1-v)} \right]$	$I_u$	kg/kg	0.0000	
71	Water content in flue gas to fuel mass ratio: $\mu_{H_2O,F} = \sum \mu_{H_2O,Fi} X_i$	$\mu_{H_2O,F}$	kg/kg	2.1690	
72	Gross calorific value (GCV) of fuel: $H_{(G)} = H_{(N)} + \mu_{H_2O,F} L_r$	$H_{(G)}$	MJ/kg	54.210	
73	Standard density of fuel gas: $\rho_n = \sum y_i \rho_{ni}$	$\rho_n$	kg/m <sup>3</sup>	0.753	
74	Stoichiometric combustion air mass to fuel mass ratio: $\mu_{Aod} = \sum \mu_{Aodi} X_i$	$\mu_{Aod}$	kg/kg	16.83	
75	Dry combustion air mass to fuel mass ratio: $\mu_{Ad} = \mu_{Aod} + \rho_{nAd} \cdot V_{God} \cdot \frac{y_{O_2,d}}{y_{O_2,Ad} - y_{O_2,d}}$	$\mu_{Ao}$	kg/kg	18.92	
76	Combustion air mass to fuel ratio: $\mu_A = \mu_{Ao} (1 + X_{H_2O,Ad})$	$\mu_A$	kg/kg	19.08	
77	Integral specific heat between $t_A$ and $t_r$ of air: $\bar{c}_{pA} = \frac{c_{pA}(t_A) \cdot t_A - c_{pA}(t_r) \cdot t_r}{t_A - t_r}$	$\bar{c}_{pA}$	kJ/(kgK)	1.0120	
78	Enthalpy of combustion air due to NCV calculation: $J_{(N)A} = \mu_A \cdot \bar{c}_{pA} (t_A - t_r)$	$J_{(N)A}$	kJ/kg	-376.5	
79	Heat input proportional to fuel burned: $\dot{Q}_{(N)ZF} = \dot{m}_F \left[ (H_{(N)} + h_F) (1 - I_u) + J_{(N)A} \right]$	$\dot{Q}_{(N)ZF}$	kW	40150.7	
80	Heat credits: $\dot{Q}_{(N)Z} = P_{MO} + P$	$\dot{Q}_{(N)Z}$	kW	20	
81	Total heat input: $\dot{Q}_{(N)Ztot} = \dot{Q}_{(N)ZF} + \dot{Q}_{(N)Z}$	$\dot{Q}_{(N)Ztot}$	kW	40170.7	
82	Flue gas mass to fuel mass ratio: $\mu_G = \mu_A + 1$	$\mu_G$	kg/kg	19.8164	
83	Integral specific heat between $t_G$ and $t_b$ of flue gas: $\bar{c}_{pG} = \frac{c_{pG}(t_G) \cdot t_G - c_{pG}(t_b) \cdot t_b}{t_G - t_b}$	$\bar{c}_{pG}$	kJ/(kgK)	1.0817	
84	Stoichiometric flue gas volume: $V_{God} = \sum V_{Godi} X_i$	$V_{God}$	m <sup>3</sup> /kg	11.6627	
85	Dry flue gas volume: $V_{Gd} = V_{God} \cdot \frac{y_{O_2,d}}{0.20938 - y_{O_2,d}}$	$V_{Gd}$	m <sup>3</sup> /kg	13.2739	



Losses proportional to fuel flow					
86	Flue gas losses: $\dot{Q}_{(N)G} = m_F \cdot \mu_G \cdot \bar{c}_{pG} \cdot (t_G - t_r)$	$\dot{Q}_{(N)G}$	kW	600.107	Uračunat gubitak usled kondenzacije vodene pare u dimnim gasu
87	Loss due to unburned CO: $\dot{Q}_{CO} = m_F \cdot V_{gd} \cdot y_{COd} \cdot H_{COd}$	$\dot{Q}_{CO}$	kW	0.22	
88	Flue dust enthalpy: $h_{FA} = c_{FA} (t_G - t_r) + u_{FA} \cdot H_{uu}$	$h_{FA}$	kJ/kg	27.7	
89	Slag enthalpy: $h_{SL} = c_{SL} (t_{SL} - t_r) + u_{SL} \cdot H_{uu}$	$h_{SL}$	kJ/kg	475.0	
90	Losses due to enthalpy and unburned combustibles in slag: $\dot{Q}_{SL} = m_{SL} \cdot \left[ h_{SL} - \frac{1 - u_{SL}}{1 - u_{FA}} \cdot h_{FA} \right]$	$\dot{Q}_{SL}$	kW	0.0	
91	Losses due to enthalpy and unburned combustibles in flue dust: $\dot{Q}_{FA} = m_F \cdot \frac{\gamma_{Ash} (1 - V)}{(1 - I_u)(1 - u_{FA})} h_{FA}$	$\dot{Q}_{FA}$	kW	0.0	
92	Losses due to enthalpy and unburned combustibles in flue dust and slag: $\dot{Q}_{SF} = \dot{Q}_{SL} + \dot{Q}_{FA}$	$\dot{Q}_{SF}$	kW	0.000	
93	Losses proportional to fuel flow: $\Sigma \dot{Q}_{(N)LF} = \dot{Q}_{(N)G} + \dot{Q}_{CO} + \dot{Q}_{SF}$	$\Sigma \dot{Q}_{(N)LF}$	kW	600.329	
Losses independent of fuel flow					
94	Radiation and convection losses, where C=0.0113: $\dot{Q}_{RC} = C \cdot Q_N^{0.7}$	$\dot{Q}_{RC}$	kW	162.8	
95	Total losses: $\Sigma \dot{Q}_{(N)Ltot} = \dot{Q}_{(N)LF} + \dot{Q}_{RC}$	$\Sigma \dot{Q}_{(N)Ltot}$	kW	763.1	
96	Heat balance: $\Delta Q = \dot{Q}_{(N)Ztot} - \dot{Q}_{(N)Ltot} - \dot{Q}_N$	$\Delta Q$	%	0.0	
97	Boiler efficiency: $\eta_K = 1 - \frac{\Sigma \dot{Q}_{(N)Ltot}}{\Sigma \dot{Q}_{(N)Ztot}}$	$\eta_K$	-	0.9810	
98	Measurements uncertainty: $\varepsilon_{\eta(N)B} = \sqrt{\left[ \frac{I_G}{\eta_B} \right]^2 \left[ \varepsilon_{\mu G}^2 + \left( \frac{\mu_A}{\mu_G} \right) \varepsilon_{\gamma}^2 + \varepsilon_{H(N)tot}^2 + \varepsilon_{CpG}^2 + \left[ \frac{u_{MG}}{t_G - t_r} \right]^2 \right] + \left[ \frac{I_{RC}}{\eta_B} \right]^2 0.5^2 + \left[ \frac{I_{CO}}{\eta_B} \right]^2 \left[ \frac{u_{MyCOd}}{y_{COd}} \right]^2 + \left[ \frac{I_{SF} + I_L}{\eta_B} \right]^2 0.2^2}$	$\varepsilon_{\eta K}$	-	0.0057 ±	
99	Boiler efficiency correction due to the test conditions discrepancy from guaranteed conditions: $\Sigma \Delta \eta_{Kx} = \Delta_{palsv} + \Delta_{muc} + \Delta_{n'} + \Delta_{nsvode}$	$\Sigma \Delta \eta_{Kx}$	-	0.0000	
100	<b>Boiler efficiency:</b>	$\eta_{Kg}$	%	<b>98.10 ± 0,57</b>	



Uncertainty for efficiency determined by heat loss method					
U1	Total enthalpy of fuel: $H_{(N)tot} = \frac{H_{(N)} + h_F}{1 - I_u} + J_{(N)A}$	$H_{(N)tot}$	kJ/kg	48504.24	
U2	Uncertainty for integral specific heat of flue gas: $\varepsilon_{cpG} = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2}$	$\varepsilon_{cpG}$	-	0.01152	
U3	Polynomial mean uncertainty for specific heat of gas	$\varepsilon_1$	-	0.00040	Predefined
U4	Uncertainty for carbon dioxide and water content $\varepsilon_2 = -0,017 \cdot X_{CO_2} (4,0 - 1/X_{CO_2,d})$	$\varepsilon_2$	-	0.00570	
U5	Results scatter uncertainty for specific heat of flue gas	$\varepsilon_3$	-	0.01000	Table 10.4-3
U6	Uncertainty for net calorific value (sampling): $\varepsilon_{Sam} = 0$	$\varepsilon_{Sam}$	-	0.00000	Predefined
U7	Uncertainty for combustion air mass to fuel mass ratio:	$\varepsilon_{rAd}$	-	0.04500	Table 10.4-3
U8	Uncertainty for net calorific value (NCV) determination: $\varepsilon_{H(N)} = 160/H_{(N)}$	$\varepsilon_{H(N)}$	-	3.27117	
U9	Uncertainty for oxygen content in flue gas: $\varepsilon_y = 0,0015/(y_{O_2,Ad} - y_{O_2,d})$	$\varepsilon_y$	-	0.00813	
U10	Error for temperature measurements in air: $u_{MA} = \frac{\alpha_{RA}}{\alpha_{CA} - \alpha_{RA}} (t_A - t_{WA})$	$u_{MA}$	°C	-0.18107	
U11	Coefficient of heat transfer by radiation (sensor to wall) in air: $\alpha_{RA} = 0,04 \cdot 5,67 \cdot \varepsilon \cdot \left[ \frac{T_{Sen}}{100} \right]^3$	$\alpha_{RA}$	$\frac{W}{m^2K}$	3.43	
U12	Coefficient of heat transfer by convection (sensor to wall) in air: $\alpha_{CA} = 4,1 \cdot \sqrt{w\rho/l}$	$\alpha_{CA}$	$\frac{W}{m^2K}$	447.56	
U13	Probe diameter for air temperature measurements	d	m	0.003	
U14	Air velocity	w	m/s	47.62	
U15	Wall temperature in air duct	$t_{WA}$	°C	28.95	
U16	Air density	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1.18	
U17	Error for temperature measurements in flue gas: $u_{MG} = \frac{\alpha_{RG}}{\alpha_{CG} - \alpha_{RG}} (t_G - t_{WG})$	$u_{MA}$	°C	0.09	
U18	Coefficient of heat transfer by radiation (sensor to wall) in flue gas: $\alpha_{RG} = 0,04 \cdot 5,67 \cdot \varepsilon \cdot \left[ \frac{T_{Sen}}{100} \right]^3$	$\alpha_{RA}$	$\frac{W}{m^2K}$	5.76	
U19	Coefficient of heat transfer by convection (sensor to wall) in flue gas $\alpha_{CA} = 4,92 \cdot \sqrt{w\rho/l}$	$\alpha_{CA}$	$\frac{W}{m^2K}$	332.10	
U20	Probe diameter for flue gas temperature measurements	d	m	0.003	
U21	Flue gas velocity	w	m/s	20.00	
U22	Wall temperature in flue gas duct	$t_{wG}$	°C	52.98	
U23	Flue gas density	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1.073	
U24	Uncertainty for total net calorific value (NCV): $\varepsilon_{H(N)tot} = \sqrt{\left[ \frac{H_{(N)}/(1-I_u)}{H_{(N)tot}} \right]^2 (\varepsilon_{H(N)}^2 + \varepsilon_{Sam}^2) \left[ \frac{J_{FA}}{H_{(N)tot}} \right]^2 + \left[ \varepsilon_{MA}^2 + \varepsilon_y^2 + \left[ \frac{u_{MA}}{t_A - t_r} \right]^2 \right]}$	$\varepsilon_{H(N)tot}$	-	0.00036	
U25	Uncertainty for efficiency determined by heat loss method: $\varepsilon_{\eta(N)B} = \sqrt{\left[ \frac{I_G}{\eta_B} \right]^2 \left[ \varepsilon_{uG}^2 + \left( \frac{\mu_A}{\mu_G} \right) \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{H(N)tot}^2 + \varepsilon_{cpG}^2 + \left[ \frac{u_{MG}}{t_G - t_r} \right]^2 \right] + \left[ \frac{I_{RC}}{\eta_B} \right]^2 0.5^2 + \left[ \frac{I_{CO}}{\eta_B} \right]^2 \left[ \frac{u_{MyCO_2}}{Y_{CO_2}} \right]^2 + \left[ \frac{I_{SF} + I_L}{\eta_B} \right]^2 0.2^2}$	$\varepsilon_{\eta(N)B}$	-	0.00572	



**JKP "Novosadska toplana", Novi Sad, Srbija**  
**Boiler Efficiency (Fuel gases)**  
**(According to EN 12952-15:2009)**

No.	General data			Value or description			
1	Date of the test			20.11.2018.			
2	Time of the test			14:00-15:00			
3	Boiler load rate			30% (17.4 MW)			
4	Boiler design parameters - MCR	Boiler type		Gas boiler			
5		Outlet	Hot water (steam) out pressure				
6			Hot water (steam) out temperature		120°C		
9		Inlet	Cold water (steam) inlet pressure				
10			Cold water (steam) inlet temperature		70°C		
11			Cold water inlet mass flow		616.3 t/h		
14	Furnace design		Guaranteed fuel composition				
15	Burners		Gas burner				
16	Balance boundaries			Acc. to EN 12952-15:2009. (without airheater)			
	Parameter	Symbol	Unit	Value	Remark		
17	Referent ambient temperature	$t_r$	°C	25	Predefined		
18	Ambient temperature	$t_u$	°C	6			
19	Atmospheric pressure	$p_u$	hPa	1000.4			
20	Ash volatile content	$v$	kg/kg	0.0000	Predefined		
21	Fuel gases	Carbon monoxide	$\gamma_{CO}$	$m^3/m^3$	0.0000	Laboratory analysis	
22		Hydrogen	$\gamma_{H_2}$	$m^3/m^3$	0.0000		
23		Methane	$\gamma_{CH_4}$	$m^3/m^3$	0.9580		
24		Ethene	$\gamma_{C_2H_4}$	$m^3/m^3$	0.0000		
25		Ethane	$\gamma_{C_2H_6}$	$m^3/m^3$	0.0229		
26		Propene	$\gamma_{C_3H_6}$	$m^3/m^3$	0.0000		
27		Propane	$\gamma_{C_3H_8}$	$m^3/m^3$	0.0070		
28		i-Butane	$\gamma_{C_4H_{10}}$	$m^3/m^3$	0.0010		
29		n-Butane	$\gamma_{C_4H_{10}}$	$m^3/m^3$	0.0010		
30		i-Pentane	$\gamma_{C_5H_{12}}$	$m^3/m^3$	0.0002		
31		n-Pentane	$\gamma_{C_5H_{12}}$	$m^3/m^3$	0.0001		
32		Hexane	$\gamma_{C_6H_{14}}$	$m^3/m^3$	0.0001		
33		Nitrogen	$\gamma_{N_2}$	$m^3/m^3$	0.0070		
34		Carbon dioxide	$\gamma_{CO_2}$	$m^3/m^3$	0.0025		
35		Oxygen	$\gamma_{O_2}$	$m^3/m^3$	0.0000		
36		Hydrogen sulfide	$\gamma_{H_2S}$	$m^3/m^3$	0.0000		1.79
37		Net calorific value	$H_{(N)}$	MJ/kg	48.9121		
38	Fuel flow	$m_F$	t/h	1.785	Iteratively determined		
39	Fuel temperature	$t_F$	°C	10.3			
40	Air temperature	$t_A$	°C	36.2	Measured		
41	Moisture content of air	$X_{H_2O A}$	kg/kg	0.0086	Predefined		
42	Moisture content of flue gas	$X_{H_2O G}$	kg/kg	0.112			
43	Water inlet	Temperature	$t_{FW}$	°C	59.6		
44		Pressure	$p_{FW}$	MPa	1.04		
45		Mass flow	$m_{FW}$	t/h	794.28		
46	Water outlet	Temperature	$t_{ST}$	°C	85.4		
47		Pressure	$p_{ST}$	MPa	0.86		
48		Mass flow	$m_{ST}$	t/h	794.28		
49	Exit flue gas content	O <sub>2</sub> content	$\gamma_{O_2 d}$	$m^3/m^3$	0.0180	Net measurement	
50		CO <sub>2</sub> content	$\gamma_{CO_2 d}$	$m^3/m^3$	0.1078		
51		CO content	$\gamma_{CO d}$	$m^3/m^3$	0.00013		
52	Calorific value of CO	$H_{CO n}$	MJ/m <sup>3</sup>	12.633	Predefined		
53	Flue gas exit temperature	$t_G$	°C	66.9	Net measurement		
54	Slag mass flow	$m_{SL}$	t/h	0.0000	Measured		
55	Unburned combustibles content	Fly ash	$U_{FA}$	kg/kg	0.0000	Laboratory analysis	
56		Slag	$U_{SL}$	kg/kg	0.0000		



57	Fly ash temperature	$t_{FAsh}$	°C	66.9	$t_{FAsh}=t_G$
58	Slag temperature	$t_{SL}$	°C	500.0	Predefined
59	Specific heat	Fly ash	$C_{FA}$	kJ/(kgK)	0.84
60		Slag	$C_{SL}$	kJ/(kgK)	1
61	Net calorific value of unburned combustibles	$H_{uu}$	MJ/kg	27.2	
62	Power of main electric drivers	$P_E$	kW	20	
63	Power of other electric drives	$P$	kW	0	
64	Enthalpy of water in boiler outlet	$h_{ST}$	kJ/kg	358.37	
65	Enthalpy of water in boiler inlet	$h_{FW}$	kJ/kg	250.46	
66	Heat received at the live steam section of the boiler: $\dot{Q}_{NS} = \dot{m}_{ST} (h_{ST} - h_{FW})$	$\dot{Q}_{NS}$	kW	23809.7	
67	Useful heat output: $\dot{Q}_N = \dot{Q}_{NS}$	$\dot{Q}_N$	kW	23809.7	
68	Average specific heat of the fuel: $\bar{c}_F = \sum \bar{c}_{Fi} X_i$	$\bar{c}_F$	kJ/(kgK)	2.18	
69	Enthalpy of fuel: $h_F = \bar{c}_F (t_F - t_r)$	$h_F$	kJ/kg	-32.0	
70	Unburned combustibles to supplied fuel mass flow ratio: $I_u = \frac{\gamma_{Ash}(1-v)(m_{Ash} u_{Ash} + m_{Ash})}{1 - \gamma_{Ash} - \gamma_{H_2O}} \cdot \frac{1}{1 - u_{FA}} \left[ u_{FA} + (u_{SL} - u_{FA}) \frac{m_{SL}}{m_{FO} \gamma_{Ash} (1-v)} \right]$	$I_u$	kg/kg	0.0000	
71	Water content in flue gas to fuel mass ratio: $\mu_{H_2O} = \sum \mu_{H_2OFi} X_i$	$\mu_{H_2O}$	kg/kg	2.1690	
72	Gross calorific value (GCV) of fuel: $H_{(G)} = H_{(N)} + \mu_{H_2OF} L_r$	$H_{(G)}$	MJ/kg	54.210	
73	Standard density of fuel gas: $\rho_n = \sum y_i \rho_{ni}$	$\rho_n$	kg/m <sup>3</sup>	0.753	
74	Stoichiometric combustion air mass to fuel mass ratio: $\mu_{Aod} = \sum \mu_{Aodi} X_i$	$\mu_{Aod}$	kg/kg	16.83	
75	Dry combustion air mass to fuel mass ratio: $\mu_{Ad} = \mu_{Aod} + \rho_{nAd} \cdot V_{God} \cdot \frac{y_{O_2d}}{y_{O_2Ad} - y_{O_2d}}$	$\mu_{Ao}$	kg/kg	18.25	
76	Combustion air mass to fuel ratio: $\mu_A = \mu_{Ao} (1 + X_{H_2OAd})$	$\mu_A$	kg/kg	18.41	
77	Integral specific heat between $t_A$ and $t_r$ of air: $\bar{c}_{pA} = \frac{c_{pA}(t_A) \cdot t_A - c_{pA}(t_r) \cdot t_r}{t_A - t_r}$	$\bar{c}_{pA}$	kJ/(kgK)	1.0127	
78	Enthalpy of combustion air due to NCV calculation: $J_{(N)A} = \mu_A \cdot \bar{c}_{pA} (t_A - t_r)$	$J_{(N)A}$	kJ/kg	207.9	
79	Heat input proportional to fuel burned: $\dot{Q}_{(N)ZF} = \dot{m}_F \left[ (H_{(N)} + h_F) (1 - I_u) + J_{(N)A} \right]$	$\dot{Q}_{(N)ZF}$	kW	24339.5	
80	Heat credits: $\dot{Q}_{(N)Z} = P_{MO} + P$	$\dot{Q}_{(N)Z}$	kW	20	
81	Total heat input: $\dot{Q}_{(N)Ztot} = \dot{Q}_{(N)ZF} + \dot{Q}_{(N)Z}$	$\dot{Q}_{(N)Ztot}$	kW	24359.5	
82	Flue gas mass to fuel mass ratio: $\mu_G = \mu_A + 1$	$\mu_G$	kg/kg	19.4108	
83	Integral specific heat between $t_G$ and $t_b$ of flue gas: $\bar{c}_{pG} = \frac{c_{pG}(t_G) \cdot t_G - c_{pG}(t_b) \cdot t_b}{t_G - t_b}$	$\bar{c}_{pG}$	kJ/(kgK)	1.0958	
84	Stoichiometric flue gas volume: $V_{God} = \sum V_{Godi} X_i$	$V_{God}$	m <sup>3</sup> /kg	11.6627	
85	Dry flue gas volume: $V_{Gd} = V_{God} \cdot \frac{y_{O_2d}}{0.20938 - y_{O_2d}}$	$V_{Gd}$	m <sup>3</sup> /kg	12.7620	





Losses proportional to fuel flow				
86	Flue gas losses: $\dot{Q}_{(N)G} = m_F \cdot \mu_G \cdot \bar{c}_{pG} \cdot (t_G - t_r)$	$\dot{Q}_{(N)G}$	kW	441.909
87	Loss due to unburned CO: $\dot{Q}_{CO} = m_F \cdot V_{gd} \cdot y_{COd} \cdot H_{COd}$	$\dot{Q}_{CO}$	kW	10.40
88	Flue dust enthalpy: $h_{FA} = c_{FA} (t_G - t_r) + u_{FA} \cdot H_{uu}$	$h_{FA}$	kJ/kg	35.2
89	Slag enthalpy: $h_{SL} = c_{SL} (t_{SL} - t_r) + u_{SL} \cdot H_{uu}$	$h_{SL}$	kJ/kg	475.0
90	Losses due to enthalpy and unburned combustibles in slag: $\dot{Q}_{SL} = m_{SL} \cdot \left[ h_{SL} - \frac{1 - u_{SL}}{1 - u_{FA}} \cdot h_{FA} \right]$	$\dot{Q}_{SL}$	kW	0.0
91	Losses due to enthalpy and unburned combustibles in flue dust: $\dot{Q}_{FA} = m_F \cdot \frac{\gamma_{Ash} (1 - V)}{(1 - I_u)(1 - u_{FA})} h_{FA}$	$\dot{Q}_{FA}$	kW	0.0
92	Losses due to enthalpy and unburned combustibles in flue dust and slag: $\dot{Q}_{SF} = \dot{Q}_{SL} + \dot{Q}_{FA}$	$\dot{Q}_{SF}$	kW	0.000
93	Losses proportional to fuel flow: $\Sigma \dot{Q}_{(N)LF} = \dot{Q}_{(N)G} + \dot{Q}_{CO} + \dot{Q}_{SF}$	$\Sigma \dot{Q}_{(N)LF}$	kW	452.312
Losses independent of fuel flow				
94	Radiation and convection losses, where C=0.0113: $\dot{Q}_{RC} = C \cdot Q_N^{0.7}$	$\dot{Q}_{RC}$	kW	103.9
95	Total losses: $\Sigma \dot{Q}_{(N)Ltot} = \dot{Q}_{(N)LF} + \dot{Q}_{RC}$	$\Sigma \dot{Q}_{(N)Ltot}$	kW	556.3
96	Heat balance: $\Delta Q = \dot{Q}_{(N)Ztot} - \dot{Q}_{(N)Ltot} - \dot{Q}_N$	$\Delta Q$	%	0.0
97	Boiler efficiency: $\eta_K = 1 - \frac{\Sigma \dot{Q}_{(N)Ltot}}{\Sigma \dot{Q}_{(N)Ztot}}$	$\eta_K$	-	0.9772
98	Measurements uncertainty: $\varepsilon_{\eta(N)B} = \sqrt{\left[ \frac{I_G}{\eta_B} \right]^2 \left[ \varepsilon_{\mu_G}^2 + \left( \frac{\mu_A}{\mu_G} \right) \varepsilon_{\gamma}^2 + \varepsilon_{H(N)tot}^2 + \varepsilon_{CpG}^2 + \left[ \frac{u_{MG}}{t_G - t_r} \right]^2 \right] + \left[ \frac{I_{RC}}{\eta_B} \right]^2 0.5^2 + \left[ \frac{I_{CO}}{\eta_B} \right]^2 \left[ \frac{u_{MyCOd}}{y_{COd}} \right]^2 + \left[ \frac{I_{SF} + I_L}{\eta_B} \right]^2 0.2^2}$	$\varepsilon_{\eta K}$	-	0.0056 ±
99	Boiler efficiency correction due to the test conditions discrepancy from guaranteed conditions: $\Sigma \Delta \eta_{Kx} = \Delta_{palsv} + \Delta_{muc} + \Delta_{n'} + \Delta_{nsvode}$	$\Sigma \Delta \eta_{Kx}$	-	0.0000
100	<b>Boiler efficiency:</b>	$\eta_{Kg}$	%	<b>97.72 ± 0,56</b>



Uncertainty for efficiency determined by heat loss method					
U1	Total enthalpy of fuel: $H_{(N)tot} = \frac{H_{(N)} + h_F}{1 - I_u} + J_{(N)A}$	$H_{(N)tot}$	kJ/kg	49087.98	
U2	Uncertainty for integral specific heat of flue gas: $\varepsilon_{cpG} = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2}$	$\varepsilon_{cpG}$	-	0.01141	
U3	Polynomial mean uncertainty for specific heat of gas	$\varepsilon_1$	-	0.00040	Predefined
U4	Uncertainty for carbon dioxide and water content $\varepsilon_2 = -0,017 \cdot X_{CO_2} (4,0 - 1/X_{CO_2,d})$	$\varepsilon_2$	-	0.00549	
U5	Results scatter uncertainty for specific heat of flue gas	$\varepsilon_3$	-	0.01000	Table 10.4-3
U6	Uncertainty for net calorific value (sampling): $\varepsilon_{Sam} = 0$	$\varepsilon_{Sam}$	-	0.00000	Predefined
U7	Uncertainty for combustion air mass to fuel mass ratio:	$\varepsilon_{\eta Ad}$	-	0.04500	Table 10.4-3
U8	Uncertainty for net calorific value (NCV) determination: $\varepsilon_{H(N)} = 160/H_{(N)}$	$\varepsilon_{H(N)}$	-	3.27117	
U9	Uncertainty for oxygen content in flue gas: $\varepsilon_y = 0,0015 / (y_{O_2,Ad} - y_{O_2,d})$	$\varepsilon_y$	-	0.00781	
U10	Error for temperature measurements in air: $u_{MA} = \frac{\alpha_{RA}}{\alpha_{CA} - \alpha_{RA}} (t_A - t_{WA})$	$u_{MA}$	°C	0.05305	
U11	Coefficient of heat transfer by radiation (sensor to wall) in air: $\alpha_{RA} = 0,04 \cdot 5,67 \cdot \varepsilon \cdot \left[ \frac{T_{Sen}}{100} \right]^3$	$\alpha_{RA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	4.69	
U12	Coefficient of heat transfer by convection (sensor to wall) in air: $\alpha_{CA} = 4,1 \cdot \sqrt{w\rho/l}$	$\alpha_{CA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	446.81	
U13	Probe diameter for air temperature measurements	d	m	0.003	
U14	Air velocity	w	m/s	47.79	
U15	Wall temperature in air duct	$t_{WA}$	°C	31.15	
U16	Air density	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1.17	
U17	Error for temperature measurements in flue gas: $u_{MG} = \frac{\alpha_{RG}}{\alpha_{CG} - \alpha_{RG}} (t_G - t_{WG})$	$u_{MA}$	°C	0.32	
U18	Coefficient of heat transfer by radiation (sensor to wall) in flue gas: $\alpha_{RG} = 0,04 \cdot 5,67 \cdot \varepsilon \cdot \left[ \frac{T_{Sen}}{100} \right]^3$	$\alpha_{RA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	6.23	
U19	Coefficient of heat transfer by convection (sensor to wall) in flue gas $\alpha_{CA} = 4,92 \cdot \sqrt{w\rho/l}$	$\alpha_{CA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	246.29	
U20	Probe diameter for flue gas temperature measurements	d	m	0.003	
U21	Flue gas velocity	w	m/s	11.00	
U22	Wall temperature in flue gas duct	$t_{WG}$	°C	54.51	
U23	Flue gas density	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1.073	
U24	Uncertainty for total net calorific value (NCV): $\varepsilon_{H(N)tot} = \sqrt{\left[ \frac{H_{(N)}/(1-I_u)}{H_{(N)tot}} \right]^2 (\varepsilon_{H(N)}^2 + \varepsilon_{Sam}^2) \left[ \frac{J_{FA}}{H_{(N)tot}} \right]^2 + \left[ \varepsilon_{MA}^2 + \varepsilon_y^2 + \left[ \frac{u_{MA}}{t_A - t_r} \right]^2 \right]}$	$\varepsilon_{H(N)tot}$	-	0.00019	
U25	Uncertainty for efficiency determined by heat loss method: $\varepsilon_{\eta(N)B} = \sqrt{\left[ \frac{I_G}{\eta_B} \right]^2 \left[ \varepsilon_{\mu G}^2 + \left( \frac{\mu_A}{\mu_G} \right) \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{H(N)tot}^2 + \varepsilon_{cpG}^2 + \left[ \frac{u_{MG}}{t_G - t_r} \right]^2 \right] + \left[ \frac{I_{RC}}{\eta_B} \right]^2 0.5^2 + \left[ \frac{I_{CO}}{\eta_B} \right]^2 \left[ \frac{u_{MyCO_2}}{Y_{CO_2}} \right]^2 + \left[ \frac{I_{SF} + I_l}{\eta_B} \right]^2 0.2^2}$	$\varepsilon_{\eta(N)B}$	-	0.00557	



**JKP "Novosadska toplana", Novi Sad, Srbija**  
**Boiler Efficiency (Fuel gases)**  
**(According to EN 12952-15:2009)**

No.	General data			Value or description			
1	Date of the test			20.11.2018.			
2	Time of the test			14:00-15:00			
3	Boiler load rate			30% (17.4 MW)			
4	Boiler design parameters - MCR	Boiler type		Gas boiler			
5		Outlet	Hot water (steam) out pressure				
6			Hot water (steam) out temperature		120°C		
9		Inlet	Cold water (steam) inlet pressure				
10			Cold water (steam) inlet temperature		70°C		
11			Cold water inlet mass flow		616.3 t/h		
14	Furnace design		Guaranteed fuel composition				
15	Burners		Gas burner				
16	Balance boundaries			Acc. to EN 12952-15:2009. (without airheater)			
	<b>Parameter</b>	<b>Symbol</b>	<b>Unit</b>	<b>Value</b>	<b>Remark</b>		
17	Referent ambient temperature	$t_r$	°C	25	Predefined		
18	Ambient temperature	$t_u$	°C	6			
19	Atmospheric pressure	$p_u$	hPa	1000.4			
20	Ash volatile content	$v$	kg/kg	0.0000	Predefined		
21	Fuel gases	Carbon monoxide	$\gamma_{CO}$	$m^3/m^3$	0.0000	Laboratory analysis	
22		Hydrogen	$\gamma_{H_2}$	$m^3/m^3$	0.0000		
23		Methane	$\gamma_{CH_4}$	$m^3/m^3$	0.9580		
24		Ethene	$\gamma_{C_2H_4}$	$m^3/m^3$	0.0000		
25		Ethane	$\gamma_{C_2H_6}$	$m^3/m^3$	0.0229		
26		Propene	$\gamma_{C_3H_6}$	$m^3/m^3$	0.0000		
27		Propane	$\gamma_{C_3H_8}$	$m^3/m^3$	0.0070		
28		i-Butane	$\gamma_{C_4H_{10}}$	$m^3/m^3$	0.0010		
29		n-Butane	$\gamma_{C_4H_{10}}$	$m^3/m^3$	0.0010		
30		i-Pentane	$\gamma_{C_5H_{12}}$	$m^3/m^3$	0.0002		
31		n-Pentane	$\gamma_{C_5H_{12}}$	$m^3/m^3$	0.0001		
32		Hexane	$\gamma_{C_6H_{14}}$	$m^3/m^3$	0.0001		
33		Nitrogen	$\gamma_{N_2}$	$m^3/m^3$	0.0070		
34		Carbon dioxide	$\gamma_{CO_2}$	$m^3/m^3$	0.0025		
35		Oxygen	$\gamma_{O_2}$	$m^3/m^3$	0.0000		
36		Hydrogen sulfide	$\gamma_{H_2S}$	$m^3/m^3$	0.0000		1.80
37		Net calorific value	$H_{(N)}$	MJ/kg	48.9121		
38	Fuel flow	$m_F$	t/h	1.8	Iteratively determined		
39	Fuel temperature	$t_F$	°C	10.3			
40	Air temperature	$t_A$	°C	5.7	Measured		
41	Moisture content of air	$X_{H_2O A}$	kg/kg	0.0086	Predefined		
42	Moisture content of flue gas	$X_{H_2O G}$	kg/kg	0.090			
43	Water inlet	Temperature	$t_{FW}$	°C	59.6		
44		Pressure	$p_{FW}$	MPa	1.04		
45		Mass flow	$m_{FW}$	t/h	794.28		
46	Water outlet	Temperature	$t_{ST}$	°C	85.4		
47		Pressure	$p_{ST}$	MPa	0.86		
48		Mass flow	$m_{ST}$	t/h	794.28		
49	Exit flue gas content	O <sub>2</sub> content	$\gamma_{O_2 d}$	$m^3/m^3$	0.0170	Net measurement	
50		CO <sub>2</sub> content	$\gamma_{CO_2 d}$	$m^3/m^3$	0.1113		
51		CO content	$\gamma_{CO d}$	$m^3/m^3$	0.00012		
52	Calorific value of CO	$H_{CO n}$	MJ/m <sup>3</sup>	12.633	Predefined		
53	Flue gas exit temperature	$t_G$	°C	58.4	Net measurement		
54	Slag mass flow	$m_{SL}$	t/h	0.0000	Measured		
55	Unburned combustibles content	Fly ash	$U_{FA}$	kg/kg	0.0000	Laboratory analysis	
56		Slag	$U_{SL}$	kg/kg	0.0000		



57	Fly ash temperature	$t_{FAsh}$	°C	58.4	$t_{FAsh}=t_G$
58	Slag temperature	$t_{SL}$	°C	500.0	Predefined
59	Specific heat	Fly ash	$C_{FA}$	kJ/(kgK)	0.84
60		Slag	$C_{SL}$	kJ/(kgK)	1
61	Net calorific value of unburned combustibles	$H_{uu}$	MJ/kg	27.2	
62	Power of main electric drivers	$P_E$	kW	20	
63	Power of other electric drives	$P$	kW	0	
64	Enthalpy of water in boiler outlet	$h_{ST}$	kJ/kg	358.37	
65	Enthalpy of water in boiler inlet	$h_{FW}$	kJ/kg	250.46	
66	Heat received at the live steam section of the boiler: $\dot{Q}_{NS} = \dot{m}_{ST} (h_{ST} - h_{FW})$	$\dot{Q}_{NS}$	kW	23809.7	
67	Useful heat output: $\dot{Q}_N = \dot{Q}_{NS}$	$\dot{Q}_N$	kW	23809.7	
68	Average specific heat of the fuel: $\bar{c}_F = \sum \bar{c}_{Fi} X_i$	$\bar{c}_F$	kJ/(kgK)	2.18	
69	Enthalpy of fuel: $h_F = \bar{c}_F (t_F - t_r)$	$h_F$	kJ/kg	-32.0	
70	Unburned combustibles to supplied fuel mass flow ratio: $I_u = \frac{\gamma_{Ash}(1-v)(m_{Ash} u_{Ash} + m_{Ash})}{1 - \gamma_{Ash} - \gamma_{H_2O}} \cdot \frac{1}{1 - u_{FA}} \left[ u_{FA} + (u_{SL} - u_{FA}) \frac{m_{SL}}{m_{FO} \gamma_{Ash} (1-v)} \right]$	$I_u$	kg/kg	0.0000	
71	Water content in flue gas to fuel mass ratio: $\mu_{H_2O,F} = \sum \mu_{H_2O,Fi} X_i$	$\mu_{H_2O,F}$	kg/kg	2.1690	
72	Gross calorific value (GCV) of fuel: $H_{(G)} = H_{(N)} + \mu_{H_2O,F} L_r$	$H_{(G)}$	MJ/kg	54.210	
73	Standard density of fuel gas: $\rho_n = \sum y_i \rho_{ni}$	$\rho_n$	kg/m <sup>3</sup>	0.753	
74	Stoichiometric combustion air mass to fuel mass ratio: $\mu_{Aod} = \sum \mu_{Aodi} X_i$	$\mu_{Aod}$	kg/kg	16.83	
75	Dry combustion air mass to fuel mass ratio: $\mu_{Ad} = \mu_{Aod} + \rho_{nAd} \cdot V_{God} \cdot \frac{y_{O_2,d}}{y_{O_2,Ad} - y_{O_2,d}}$	$\mu_{Ao}$	kg/kg	18.16	
76	Combustion air mass to fuel ratio: $\mu_A = \mu_{Ao} (1 + X_{H_2O,Ad})$	$\mu_A$	kg/kg	18.32	
77	Integral specific heat between $t_A$ and $t_r$ of air: $\bar{c}_{pA} = \frac{c_{pA}(t_A) \cdot t_A - c_{pA}(t_r) \cdot t_r}{t_A - t_r}$	$\bar{c}_{pA}$	kJ/(kgK)	1.0120	
78	Enthalpy of combustion air due to NCV calculation: $J_{(N)A} = \mu_A \cdot \bar{c}_{pA} (t_A - t_r)$	$J_{(N)A}$	kJ/kg	-357.8	
79	Heat input proportional to fuel burned: $\dot{Q}_{(N)ZF} = \dot{m}_F \left[ (H_{(N)} + h_F) (1 - I_u) + J_{(N)A} \right]$	$\dot{Q}_{(N)ZF}$	kW	24261.1	
80	Heat credits: $\dot{Q}_{(N)Z} = P_{MO} + P$	$\dot{Q}_{(N)Z}$	kW	20	
81	Total heat input: $\dot{Q}_{(N)Ztot} = \dot{Q}_{(N)ZF} + \dot{Q}_{(N)Z}$	$\dot{Q}_{(N)Ztot}$	kW	24281.1	
82	Flue gas mass to fuel mass ratio: $\mu_G = \mu_A + 1$	$\mu_G$	kg/kg	18.8526	
83	Integral specific heat between $t_G$ and $t_b$ of flue gas: $\bar{c}_{pG} = \frac{c_{pG}(t_G) \cdot t_G - c_{pG}(t_b) \cdot t_b}{t_G - t_b}$	$\bar{c}_{pG}$	kJ/(kgK)	1.0762	
84	Stoichiometric flue gas volume: $V_{God} = \sum V_{Godi} X_i$	$V_{God}$	m <sup>3</sup> /kg	11.6627	
85	Dry flue gas volume: $V_{Gd} = V_{God} \cdot \frac{y_{O_2,d}}{0.20938 - y_{O_2,d}}$	$V_{Gd}$	m <sup>3</sup> /kg	12.6926	



Losses proportional to fuel flow					
86	Flue gas losses: $\dot{Q}_{(N)G} = m_F \cdot \mu_G \cdot \bar{c}_{pG} \cdot (t_G - t_r)$	$\dot{Q}_{(N)G}$	kW	354.990	Uračunat gubitak usled kondenzacije vodene pare u dimnim gasu
87	Loss due to unburned CO: $\dot{Q}_{CO} = m_F \cdot V_{gd} \cdot y_{COd} \cdot H_{COd}$	$\dot{Q}_{CO}$	kW	9.76	
88	Flue dust enthalpy: $h_{FA} = c_{FA} (t_G - t_r) + u_{FA} \cdot H_{uu}$	$h_{FA}$	kJ/kg	28.1	
89	Slag enthalpy: $h_{SL} = c_{SL} (t_{SL} - t_r) + u_{SL} \cdot H_{uu}$	$h_{SL}$	kJ/kg	475.0	
90	Losses due to enthalpy and unburned combustibles in slag: $\dot{Q}_{SL} = m_{SL} \cdot \left[ h_{SL} - \frac{1 - u_{SL}}{1 - u_{FA}} \cdot h_{FA} \right]$	$\dot{Q}_{SL}$	kW	0.0	
91	Losses due to enthalpy and unburned combustibles in flue dust: $\dot{Q}_{FA} = m_F \cdot \frac{\gamma_{Ash} (1 - V)}{(1 - I_u)(1 - u_{FA})} h_{FA}$	$\dot{Q}_{FA}$	kW	0.0	
92	Losses due to enthalpy and unburned combustibles in flue dust and slag: $\dot{Q}_{SF} = \dot{Q}_{SL} + \dot{Q}_{FA}$	$\dot{Q}_{SF}$	kW	0.000	
93	Losses proportional to fuel flow: $\Sigma \dot{Q}_{(N)LF} = \dot{Q}_{(N)G} + \dot{Q}_{CO} + \dot{Q}_{SF}$	$\Sigma \dot{Q}_{(N)LF}$	kW	364.751	
Losses independent of fuel flow					
94	Radiation and convection losses, where C=0.0113: $\dot{Q}_{RC} = C \cdot Q_N^{0.7}$	$\dot{Q}_{RC}$	kW	103.9	
95	Total losses: $\Sigma \dot{Q}_{(N)Ltot} = \dot{Q}_{(N)LF} + \dot{Q}_{RC}$	$\Sigma \dot{Q}_{(N)Ltot}$	kW	468.7	
96	Heat balance: $\Delta Q = \dot{Q}_{(N)Ztot} - \dot{Q}_{(N)Ltot} - \dot{Q}_N$	$\Delta Q$	%	0.0	
97	Boiler efficiency: $\eta_K = 1 - \frac{\Sigma \dot{Q}_{(N)Ltot}}{\Sigma \dot{Q}_{(N)Ztot}}$	$\eta_K$	-	0.9807	
98	Measurements uncertainty: $\varepsilon_{\eta(N)B} = \sqrt{\left[ \frac{I_G}{\eta_B} \right]^2 \left[ \varepsilon_{\mu G}^2 + \left( \frac{\mu_A}{\mu_G} \right) \varepsilon_{\gamma}^2 + \varepsilon_{H(N)tot}^2 + \varepsilon_{CpG}^2 + \left[ \frac{u_{MG}}{t_G - t_r} \right]^2 \right] + \left[ \frac{I_{RC}}{\eta_B} \right]^2 0.5^2 + \left[ \frac{I_{CO}}{\eta_B} \right]^2 \left[ \frac{u_{MyCOd}}{y_{COd}} \right]^2 + \left[ \frac{I_{SF} + I_L}{\eta_B} \right]^2 0.2^2}$	$\varepsilon_{\eta K}$	-	0.0056 ±	
99	Boiler efficiency correction due to the test conditions discrepancy from guaranteed conditions: $\Sigma \Delta \eta_{Kx} = \Delta_{\eta_{Kx}} + \Delta_{\eta_{Kx}} + \Delta_{\eta_{Kx}} + \Delta_{\eta_{Kx}}$	$\Sigma \Delta \eta_{Kx}$	-	0.0000	
100	<b>Boiler efficiency:</b>	$\eta_{Kg}$	%	<b>98.07</b>	± 0,56



Uncertainty for efficiency determined by heat loss method					
U1	Total enthalpy of fuel: $H_{(N)tot} = \frac{H_{(N)} + h_F}{1 - I_u} + J_{(N)A}$	$H_{(N)tot}$	kJ/kg	48522.26	
U2	Uncertainty for integral specific heat of flue gas: $\varepsilon_{cpG} = \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2}$	$\varepsilon_{cpG}$	-	0.01133	
U3	Polynomial mean uncertainty for specific heat of gas	$\varepsilon_1$	-	0.00040	Predefined
U4	Uncertainty for carbon dioxide and water content $\varepsilon_2 = -0,017 \cdot X_{CO_2} (4,0 - 1/X_{CO_2,d})$	$\varepsilon_2$	-	0.00532	
U5	Results scatter uncertainty for specific heat of flue gas	$\varepsilon_3$	-	0.01000	Table 10.4-3
U6	Uncertainty for net calorific value (sampling): $\varepsilon_{Sam} = 0$	$\varepsilon_{Sam}$	-	0.00000	Predefined
U7	Uncertainty for combustion air mass to fuel mass ratio:	$\varepsilon_{iAd}$	-	0.04500	Table 10.4-3
U8	Uncertainty for net calorific value (NCV) determination: $\varepsilon_{H(N)} = 160/H_{(N)}$	$\varepsilon_{H(N)}$	-	3.27117	
U9	Uncertainty for oxygen content in flue gas: $\varepsilon_y = 0,0015 / (y_{O_2,Ad} - y_{O_2,d})$	$\varepsilon_y$	-	0.00777	
U10	Error for temperature measurements in air: $u_{MA} = \frac{\alpha_{RA}}{\alpha_{CA} - \alpha_{RA}} (t_A - t_{WA})$	$u_{MA}$	°C	0.00775	
U11	Coefficient of heat transfer by radiation (sensor to wall) in air: $\alpha_{RA} = 0,04 \cdot 5,67 \cdot \varepsilon \cdot \left[ \frac{T_{Sen}}{100} \right]^3$	$\alpha_{RA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	3.44	
U12	Coefficient of heat transfer by convection (sensor to wall) in air: $\alpha_{CA} = 4,1 \cdot \sqrt{w\rho/l}$	$\alpha_{CA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	446.81	
U13	Probe diameter for air temperature measurements	d	m	0.003	
U14	Air velocity	w	m/s	47.79	
U15	Wall temperature in air duct	$t_{wA}$	°C	4.70	
U16	Air density	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1.17	
U17	Error for temperature measurements in flue gas: $u_{MG} = \frac{\alpha_{RG}}{\alpha_{CG} - \alpha_{RG}} (t_G - t_{WG})$	$u_{MA}$	°C	0.09	
U18	Coefficient of heat transfer by radiation (sensor to wall) in flue gas: $\alpha_{RG} = 0,04 \cdot 5,67 \cdot \varepsilon \cdot \left[ \frac{T_{Sen}}{100} \right]^3$	$\alpha_{RA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	5.78	
U19	Coefficient of heat transfer by convection (sensor to wall) in flue gas $\alpha_{CA} = 4,92 \cdot \sqrt{w\rho/l}$	$\alpha_{CA}$	$\frac{W}{m^2 K}$	246.29	
U20	Probe diameter for flue gas temperature measurements	d	m	0.003	
U21	Flue gas velocity	w	m/s	11.00	
U22	Wall temperature in flue gas duct	$t_{wG}$	°C	54.51	
U23	Flue gas density	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1.073	
U24	Uncertainty for total net calorific value (NCV): $\varepsilon_{H(N)tot} = \sqrt{\left[ \frac{H_{(N)}/(1-I_u)}{H_{(N)tot}} \right]^2 (\varepsilon_{H(N)}^2 + \varepsilon_{Sam}^2) \left[ \frac{J_{FA}}{H_{(N)tot}} \right]^2 + \left[ \varepsilon_{MA}^2 + \varepsilon_y^2 + \left[ \frac{u_{MA}}{t_A - t_r} \right]^2 \right]}$	$\varepsilon_{H(N)tot}$	-	0.00034	
U25	Uncertainty for efficiency determined by heat loss method: $\varepsilon_{\eta(N)B} = \sqrt{\left[ \frac{I_G}{\eta_B} \right]^2 \left[ \varepsilon_{iG}^2 + \left( \frac{\mu_A}{\mu_G} \right) \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{H(N)tot}^2 + \varepsilon_{cpG}^2 + \left[ \frac{u_{MG}}{t_G - t_r} \right]^2 \right] + \left[ \frac{I_{RC}}{\eta_B} \right]^2 0.5^2 + \left[ \frac{I_{CO}}{\eta_B} \right]^2 \left[ \frac{u_{MCO_2}}{y_{CO_2}} \right]^2 + \left[ \frac{I_{SF} + I_L}{\eta_B} \right]^2 0.2^2}$	$\varepsilon_{\eta(N)B}$	-	0.00555	



Dodatnim proračunom toplotnog bilansa zagrejača vazduha utvrđeno je neslaganje između predate količine toplote sa gasne strane i primljene količine toplote sa strane vazduha, u sva tri režima. Neslaganje je posledica kondenzacije vodene pare iz dimnog gasa. Postavljanjem masenog i energetskog bilansa zagrejača vazduha izračunata je količina kondenzata nastala u razmenjivaču toplote, kao i količina toplote koja, sa kondenzovanim vodom, nastalom u zagrejaču vazduha, izlazi iz Bilansne granice 2. Rezultati ovog proračuna dati su u sledećoj tabeli. Izračunate vrednosti uzete su u obzir prilikom proračuna stepena korisnosti.

**Tabela 3.2**  
**Izvod iz toplotnog proračuna zagrejača vazduha**

Veličina	Jedinica	Opterećenje kotla		
		Režim 1 (100%)	Režim 2 (60%)	Režim 3 (30%)
Količina kondenzovane vodene pare iz dimnog gasa	kg/s	0,17	0,18	0,20
Temperatura kondenzata	°C	58,85	57,98	58,01
Energija izneta kondenzatom iz Bilansne granice 2	kW	15,42	14,88	16,08



### 3.5 Zaključak o sprovedenim analizama

Iz rezultata ispitivanja i proračuna relevantnih vrednosti za procenu efikasnosti rada, pada pritiska sa vodene strane i emisije zagađujućih materija kotla K4 58 MW pri radu na gasovito gorivo u JKP „Novosadska toplana“, TO „Istok“ u Novom Sadu, Srbija, može se zaključiti sledeće:

- korišćeno je gasovito gorivo čiji je sastav dat u Aneksu 2 ovog izveštaja:
- ostvarena maksimalna toplotna snaga kotla, računata sa vodene strane, je **59,1 MW**:
- postignuti stepen korisnosti kotla na 100% opterećenja sa Bilansnom granicom 1 je **97,75%**:
- postignuti stepen korisnosti kotla na 100% opterećenja sa Bilansnom granicom 2 je **98,13%**:
- postignut je pad pritiska sa vodene strane kroz kotao pri protoku **616,3 t/h** od **0,88 bar**:
- ostvarena emisija zagađujućih materija na opterećenjima 100%, 60% i 30%, data je u tabeli:

**Tabela 3.3**  
**Sumarni prikaz rezultata merenja emisije zagađujućih materija.**

Komponenta	Jedinica	Opterećenje kotla		
		Režim 1 (100%)	Režim 2 (60%)	Režim 3 (30%)
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	3,85	3,70	2,70
NO <sub>x</sub>		46,23	46,59	35,36
CO		89,31	3,23	140,37

Sumarni prikaz rezultata određivanja stepena korisnosti kotla K4 58 MW pri radu na gasovito gorivo u JKP „Novosadska toplana“ u Subotici, Srbija, dati su u sledećoj tabeli:

**Tabela 3.4**  
**Sumarni prikaz rezultata određivanja stepena korisnosti prema SRPS EN 12952-15 (2009).**

Parametar dokazivanja	Jedinica	Režim 1	Režim 2	Režim 3
		100%	60%	30%
		11:-12:15	12:40-13:40	14:00-15:00
Snaga	MW	<b>59,1</b>	<b>39,4</b>	<b>23,8</b>
Stepen korisnosti za Bilansnu granicu 1	%	<b>97,75</b>	<b>97,73</b>	<b>97,72</b>
Merna nesigurnost stepena korisnosti za Bilansnu granicu 1	%	<b>0,55</b>	<b>0,57</b>	<b>0,56</b>
Stepen korisnosti za Bilansnu granicu 2	%	<b>98,13</b>	<b>98,10</b>	<b>98,07</b>
Merna nesigurnost stepena korisnosti za Bilansnu granicu 2	%	<b>0,55</b>	<b>0,57</b>	<b>0,56</b>
Pad pritiska sa vodene strane	bar	<b>0,88</b>		





## LITERATURA I PODLOGE

- [1] Water-tube boilers and auxiliary installation – Part 15: Acceptance tests, European standard, EN 12952-15: 2009.
- [2] Raznovrsna dokumentacija Naručioca o kotlu pripremljena na zahtev Ispitivača.
- [3] Raznovrsna dokumentacija Izvođača koja se odnosi na ispitivanja.

## **ANEKS 1: Zapisnici sa merenja**

# ZAPISNIK

## O OTPOČINJANJU GARANCIJSKIH ISPITIVANJA KOTLA K4 U JKP „NOVOSADSKA TOPLANA“, TO "ISTOK" NOVI SAD, SRBIJA

Predstavnici zainteresovanih strana (u daljem tekstu: **Zainteresovane strane**) i to:

1. Vlasnik bloka – JKP „Novosadska toplana“, TO "Istok" Novi Sad, Srbija, u daljem tekstu: **Vlasnik**, koga predstavlja:  
Aleksandra Lukić
2. Isporučilac opreme – Remming d.o.o., Novi Sad, Srbija, u daljem tekstu **Isporučilac**, koga predstavlja:  
Aleksandar Anđušić
3. Izvođač ispitivanja – Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za termotehniku i energetiku, u daljem tekstu **Izvođač**, koga predstavlja:  
Dejan Cvetinović

Saglasni su u sledećem:

1. Nakon izvršenih pregleda i priprema i uspostavljanja stabilnog radnog režima kotla može se tvrditi sledeće:
  - postrojenje je spremno za ispitivanja u svemu prema SRPS EN 12952-15 (2009) na nominalnoj snazi od 58 MW pri radu sa gasovitim gorivom;

Tehničke karakteristike kotla koji se ispituje su:

<i>Opis</i>	<i>Jedinica</i>	<i>Vrednost</i>
Nominalna snaga	MW	58
Protok vode	t/h	616,3
Temperatura vode na ulazu	°C	70
Temperatura vode na izlazu	°C	150
Protok vazduha za sagorevanje	Nm <sup>3</sup> /h	63484
Protok dimnih gasova	Nm <sup>3</sup> /h	69886
Maksimalni dozvoljeni pritisak	bar(m)	16
Radni pritisak	bar(m)	12
Pad pritiska sa vodene strane	bar(m)	1,2

Radni parametri kotla pri kojem će se vršiti ispitivanje su:

- p vode na izlazu iz kotla  $7,5 \pm 0,5$  bar
  - T vode na ulazu u kotao 55-60 °C
- predmet garancije:

<i>Opis</i>	<i>Vrednost</i>
Nominalna snaga kotla	$\geq 58$ MW
Stepen korisnosti na nominalnom opterećenju bez zagrejača vazduha, pri temperaturi vazduha za sagorevanje od 25°C i donjoj toplotnoj moći goriva (bez zagrejača vazduha)	$\geq 97\%$

Stepen korisnosti na nominalnom opterećenju sa zagrejačem vazduha, pri temperaturi vazduha za sagorevanje od 25°C i donjoj toplotnoj moći goriva (sa zagrejačem vazduha)	≥ 98%
Emisija štetnih gasova	Prema Teh. opisu
Dinamički pad pritiska kroz kotlovski sistem (kotao, eko, utilizator)	≤ 1,2 bar

Komponenta u dimnom gasu	Granična vrednost
SO <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	35
NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	90
CO (mg/m <sup>3</sup> )	90

\*Granične vrednosti za suve dimne gasove sa 3% O<sub>2</sub> na normalnim uslovima (0°C i 101,32kPa)

2. Ostali uslovi za izvođenje ispitivanja:

- postrojenjem će rukovati pogonsko osoblje Vlasnika u svemu prema važećim pogonskim instrukcijama u nominalnom opterećenju,
  - merenja će se izvršiti u svemu prema Programu ispitivanja dostavljenom 14.11.2018. godine.
3. Nakon ispitivanja, merne liste biće zajednički overene od zainteresovanih strana i podeljene među njima u dve istovetne kopije.
4. Zainteresovane strane će po obavljenim ispitivanjima konstatovati završetak ispitivanja posebnim Zapisnikom o obavljenim ispitivanjima. Ukoliko tokom ispitivanja dođe do određenih: odstupanja od propisa o ispitivanjima (merenjima), primene pogonskih uputstava i sl., to mora biti konstatovano u Zapisniku o obavljenim ispitivanjima, u drugom slučaju neće biti uzimano u obzir.
5. Isporučilac pre početka ispitivanja nije dostavio korekzione krive za korekcije na projektne parametre i neće biti uzimane u obzir prilikom obrade rezultata ispitivanja.

U Novom Sadu, 20.11.2018.god.

Za Vlasnika:

1.

Za Isporučioca:

2.

Za Izvođača:

3.



ZAPISNIK  
O OBAVLJENIM GARANCIJSKIM ISPITIVANJIMA  
KOTLA K4 U JKP „NOVOSADSKA TOPLANA“, TO "ISTOK" NOVI SAD, SRBIJA

Predstavnici zainteresovanih strana (u daljem tekstu: **Zainteresovane strane**) i to:

1. Vlasnik bloka – JKP „Novosadska toplana“, TO "Istok" Novi Sad, Srbija, u daljem tekstu: **Vlasnik**, koga predstavlja:  
Aleksandra Lukić
2. Isporučilac opreme – Remming d.o.o., Novi Sad, Srbija, u daljem tekstu **Isporučilac**, koga predstavlja:  
Aleksandar Anđušić
3. Izvođač ispitivanja – Institut za nuklearne nauke "Vinča", Laboratorija za termotehniku i energetiku, u daljem tekstu **Izvođač**, koga predstavlja:  
Dejan Cvetinović

Saglasni su u sledećem:

1. izvođač je obavio ispitivanja u skladu sa:
  - važećim standardima za ovu vrstu ispitivanja,
  - Zapisnikom o otpočinjanju ispitivanja,
  - Programom ispitivanja.
2. Ispitivanja su obavljena dana 20.11.2018. godine: I režim – (11:00 – 12:15), II režim (12:40 – 13:45) i III režim (14:00 – 15:00). Obavljanje ispitivanja pada pritiska kroz kotao pri nominalnom protoku od 616,3 t/h je obavljeno po završetku III režima.
3. Postrojenjem je rukovalo pogonsko osoblje Vlasnika u svemu prema važećim pogonskim instrukcijama.
4. Merne liste su zajednički overene od Zainteresovanih strana i podeljene među njima u dve istovetne kopije, a podaci prikupljeni sa merno-regulacionog sistema kotla dostavljeni su svim zainteresovanim stranama.
5. Podaci o hemijskom sastavu goriva koje je korišćeno tokom ispitivanja od ovlašćene laboratorije isporučioća biće dostavljeni Izvođaču naknadno i ti podaci biće uzeti kao merodavni prilikom proračuna.

Napomena: Ispitivanje u sva tri radna režima je obavljeno pri protoku od oko 810 m<sup>3</sup>/h.

U Novom Sadu, 20.11.2018. god.

Za Vlasnika: \_\_\_\_\_  
1. \_\_\_\_\_

Za Isporučilac: \_\_\_\_\_  
2. \_\_\_\_\_

Za Izvođača: \_\_\_\_\_  
3. \_\_\_\_\_



## **ANEKS 2: Izveštaj o sastavu korišćenog goriva**

## Kvalitet prirodnog gasa -detaljno- od 01.11.2018 do 30.11.2018 GMRS Novi Sad

Strana 1 od 2  
03.12.2018 09:55

### NS4 - 020 - GMRS Novi Sad - preuzimanje

Datum uzorkovanja	Toplotna vrednost (kJ/m <sup>3</sup> )	Gustina (kg/m <sup>3</sup> )	Metan (C1)	Etan (C2)	Propan (C3)	iButan (iC4)	nButan (nC4)	Pentan (iC5)	nPentan (-)	neoPentan (-)	Heksan (C6+)	Azot (N2)	Ugljen dioksid (CO2)	Wobbe vrednost
01.11.2018	34,719.00	0.7222	94.44500	2.83416	0.71449	0.08493	0.08100	0.01709	0.01183	0.00000	0.01330	1.25594	0.54219	45.23
02.11.2018	34,685.00	0.7211	94.52940	2.79942	0.68958	0.07830	0.07423	0.01537	0.01069	0.00000	0.01273	1.28622	0.50403	45.22
03.11.2018	34,617.00	0.7221	94.29590	2.92480	0.65444	0.06632	0.06152	0.01295	0.00899	0.00000	0.01266	1.40845	0.55400	45.10
04.11.2018	34,612.00	0.7240	94.05230	3.00423	0.68011	0.06733	0.06328	0.01399	0.00980	0.00000	0.01367	1.48744	0.60791	45.03
05.11.2018	34,703.00	0.7191	94.79770	2.69152	0.67383	0.08075	0.07648	0.01578	0.01102	0.00000	0.01245	1.20460	0.43589	45.30
06.11.2018	34,784.00	0.7161	95.32440	2.46717	0.67555	0.09498	0.09057	0.01800	0.01256	0.00000	0.01219	0.95293	0.35170	45.50
07.11.2018	34,757.00	0.7176	95.14690	2.52621	0.66944	0.09350	0.08981	0.01871	0.01322	0.00000	0.01390	1.00710	0.42123	45.42
08.11.2018	34,797.00	0.7151	95.51610	2.36251	0.66893	0.09932	0.09534	0.01953	0.01375	0.00000	0.01362	0.87951	0.33140	45.55
09.11.2018	34,832.00	0.7147	95.65220	2.29145	0.67581	0.10666	0.10299	0.02171	0.01543	0.00000	0.01597	0.78477	0.33305	45.61
10.11.2018	34,772.00	0.7155	95.41980	2.40210	0.66652	0.09437	0.09029	0.01861	0.01304	0.00000	0.01341	0.93942	0.34236	45.51
11.11.2018	34,762.00	0.7157	95.33670	2.46226	0.66791	0.08992	0.08550	0.01681	0.01163	0.00000	0.01094	0.98582	0.33249	45.49
12.11.2018	34,744.00	0.7161	95.26900	2.48635	0.66278	0.08777	0.08343	0.01645	0.01135	0.00000	0.01118	1.02192	0.34975	45.45
13.11.2018	34,805.00	0.7152	95.48130	2.39887	0.67773	0.09853	0.09432	0.01852	0.01277	0.00000	0.01135	0.87927	0.32726	45.56
14.11.2018	34,847.00	0.7153	95.52240	2.38579	0.70156	0.10316	0.09920	0.01963	0.01369	0.00000	0.01181	0.81219	0.33054	45.61
15.11.2018	34,895.00	0.7138	95.75320	2.30985	0.70585	0.10820	0.10457	0.02022	0.01421	0.00000	0.01138	0.70571	0.26680	45.72
16.11.2018	34,897.00	0.7136	95.78160	2.30096	0.70365	0.10814	0.10455	0.02008	0.01415	0.00000	0.01103	0.69597	0.25992	45.73
17.11.2018	34,892.00	0.7140	95.74870	2.30320	0.70572	0.10943	0.10567	0.02050	0.01429	0.00000	0.01116	0.69518	0.28609	45.71
18.11.2018	34,888.00	0.7150	95.65740	2.32553	0.71180	0.11122	0.10723	0.02140	0.01496	0.00000	0.01233	0.70326	0.33487	45.67

## Kvalitet prirodnog gasa -detaljno- od 01.11.2018 do 30.11.2018 GMRS Novi Sad

Strana 2 od 2  
03.12.2018 09:55

### NS4 - 020 - GMRS Novi Sad - preuzimanje

Datum uzorkovanja	Toplotna vrednost (kJ/m3)	Gustina (kg/m3)	Metan (C1)	Etan (C2)	Propan (C3)	iButan (iC4)	nButan (nC4)	Pentan (iC5)	nPentan (-)	neoPentan (-)	Heksan (C6+)	Azot (N2)	Ugljen dioksid (CO2)	Wobbe vrednost
19.11.2018	34,890.00	0.7158	95.57510	2.34766	0.71939	0.11286	0.10888	0.02236	0.01583	0.00000	0.01419	0.71456	0.36924	45.65
20.11.2018	34,889.00	0.7133	95.80480	2.29473	0.70281	0.10474	0.10008	0.01966	0.01367	0.00000	0.01031	0.69746	0.25177	45.73
21.11.2018	34,886.00	0.7133	95.80120	2.29295	0.70249	0.10478	0.09994	0.01968	0.01375	0.00000	0.01055	0.70445	0.25024	45.73
22.11.2018	34,885.00	0.7131	95.82420	2.28588	0.69949	0.10415	0.09929	0.01950	0.01364	0.00000	0.01038	0.70268	0.24086	45.73
23.11.2018	34,885.00	0.7162	95.52450	2.36334	0.72520	0.11114	0.10636	0.02273	0.01612	0.00000	0.01524	0.73856	0.37679	45.63
24.11.2018	34,884.00	0.7129	95.83740	2.28056	0.69800	0.10383	0.09898	0.01937	0.01354	0.00000	0.01027	0.70409	0.23398	45.74
25.11.2018	34,876.00	0.7129	95.84140	2.27345	0.69454	0.10323	0.09837	0.01926	0.01345	0.00000	0.01006	0.70893	0.23729	45.72
26.11.2018	34,871.00	0.7128	95.85510	2.26370	0.69154	0.10302	0.09822	0.01918	0.01343	0.00000	0.01000	0.71077	0.23508	45.72
27.11.2018	34,886.00	0.7163	95.52400	2.34883	0.72594	0.11560	0.11039	0.02308	0.01638	0.00000	0.01424	0.74649	0.37501	45.63
28.11.2018	34,885.00	0.7151	95.62630	2.33081	0.71380	0.11160	0.10735	0.02172	0.01536	0.00000	0.01302	0.73790	0.32212	45.67
29.11.2018	34,884.00	0.7151	95.61380	2.34842	0.71137	0.10971	0.10589	0.02118	0.01498	0.00000	0.01283	0.74858	0.31323	45.67
30.11.2018	34,880.00	0.7140	95.70900	2.32498	0.70260	0.10674	0.10269	0.01978	0.01386	0.00000	0.01059	0.74232	0.26740	45.69



## **ANEKS 3: Merne liste**



Institut za nuklearne nauke VINČA  
Laboratorija za termotehniku i  
energetiku

Datum: 20.11.2018 Ispitivanje broj: 1  
Objekat: TOPLANA Novi SAD  
Merno mesto: KOMANDNA SOBA

POČETAK : 11:00  
KRAJ : 12:15

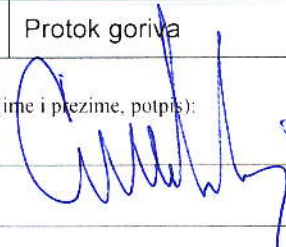
100% opterećenje

Merna lista za podatke sa komande

R. br.	Parametar	Jed.	11:20	:	11:52	12:07	:
1	Snaga kotla	MW	58,6		58,6	58,5	
2	Temperaura okoline	°C	5,5		5,4	5,4	
3	Barometarski pritisak	mbar	987,8	(VLAŽNOST 100%)	997,4	996,8	
4	Temperatura goriva	°C	10,9		10,8	10,8	
5	Protok vode na izlazu	t/h	818		822	816	
6	Pritisak vode na izlazu	bar	7,7		7,7	7,7	
7	Temperatura vode na izlazu	°C	124,4		124,2	124,7	
8	Protok vode na ulazu	t/h	818				
9	Pritisak vode na ulazu	bar	9,4		9,4	9,5	
10	Temperatura vode na ulazu	°C	59,0		58,7	59,1	
11	Protok toplog vazduha	kg/h	-		-	-	
12	Temperatura toplog vazduha iza LUVA (nije u regulaciji)	°C	32,0		32,0		
13	Protok hladnog vazduha	kg/h	-		-	-	
14	Temperatura hladnog vazduha ispred LUVA	°C					
15	Temperatura dimnog gasa ispred LUVA	°C	67,5		67,3	67,6	
16	Temperatura dimnog gasa iza LUVA	°C	58,5		58,5	58,8	
17	O2 u dimnom gasu	%	2,324		2,3	2,3	
18	CO2 u dimnom gasu	%					
19	CO u dimnom gasu	$\frac{m^3}{m^3}$ (ug/g)	58		72	62	
20	Protok dimnog gasa iza LUVA	kg/h	-		-	-	
21	Protok recirkulisanog dimnog gasa	kg/h	-		-	-	
22	Protok goriva	$Nm^3/h$	6031 $\frac{m^3}{h}$		6023	6000	

P - relativno

Izvršio(i) (ime i prezime, potpis):

- 
-



### Podaci

Početak: _____	Vrsta ispitivanja:
Kraj: _____	GASNA RAMPA
	I rezultat
11:35	13422951 m <sup>3</sup>
	67250 m <sup>3</sup>
	p = 8,78 bar
	T = 15,17 °C
11:45	13423077 m <sup>3</sup>
	67370 m <sup>3</sup>
12:07	13423320 m <sup>3</sup>
	67630 m <sup>3</sup>
	T = 15,55 °C
	p = 8,76 bar
12:14	13423406 m <sup>3</sup>

Note:

Izvršio(i) (ime i prezime, potpis):

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_



Institut za nuklearne nauke VINČA  
Laboratorija za termotehniku i  
energetiku

Datum: 20. 11. 2018.

Ispitivanje broj: 1

Objekat: JKP "NOVOSADSKA TOPLANA", TO "ISTOK"

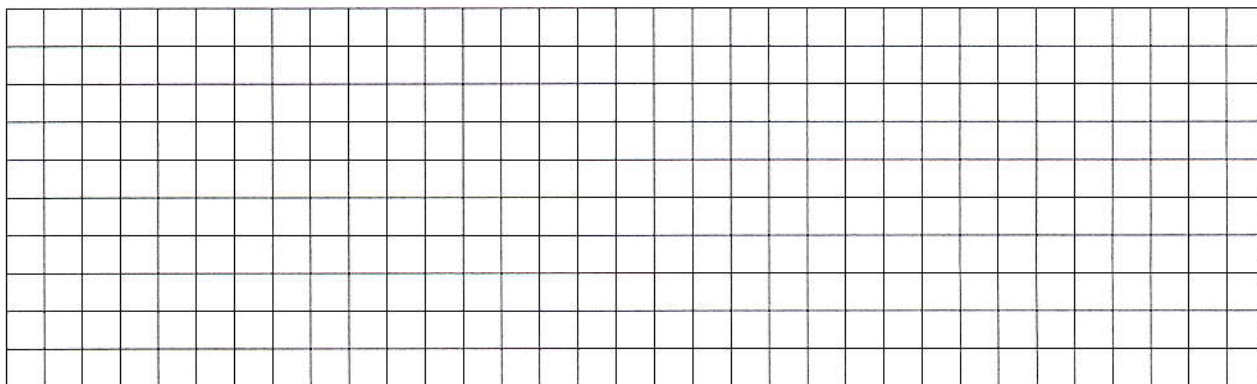
Merno mesto: DIMNI GAS IZA LUVA

### Kanal dimnog gasa

$p_{bar} = 1001,7 \text{ mbar}$

Početak/start: 11:15				
Kraj/End: 11:45				
Merena veličina <u>TEMPERATURA</u>				
( °C )				
Point	Osa 1	Osa 2	Osa 3	Osa 4
1.	58,8	58,0	59,0	58,9
2.	58,8	58,7	58,9	58,7
3.	59,0	59,0	59,1	59,0
4.	58,9	58,8	59,0	59,0
5.				
6.				
7.				

Dodatna skica mernog mesta



Izvršioei (ime i prezime, potpis):

1. SLOBODAN POPOVIĆ

Aleksandar JERIC

2. PREDRAG ŠIKOBALIĆ



Institut za nuklearne nauke VINČA  
Laboratorija za termotehniku i energetiku

Datum: 20. 11. 2018.

Ispitivanje broj: 1

Objekat: JKP "NOVOSADSKA TOPLANA", TO "ISTOK".

Merno mesto: TOPLO VAZDUH

### Podaci

Početak: <u>11:45</u>	Vrsta ispitivanja:
Kraj: <u>12:15</u>	TEMPERATURA TOPLOG VAZDUHA
DONJI GORIČNIK	GOLUJI GORIČNIK
$T = 33,1 \text{ }^\circ\text{C}$	$T = 33,2 \text{ }^\circ\text{C}$

Note:

Izvršio/i (ime i prezime, potpis):  
 1. PREDRAG ŠIBOBAJ  
 2. ALEKSANDAR ERIC



Institut za nuklearne nauke VINČA  
Laboratorija za termotehniku i  
energetiku

Datum: 20.11.2018 Ispitivanje broj: 1  
Objekat: HODNAČKE TORNAHE USTOK  
Merno mesto: BOSA UZVA3 U3 KOTVA

### Merna lista za merenje protoka vode

Redni broj	Vreme (hh:mm)	Protok [m <sup>3</sup> /h]	Pritisak [bar]	Temperatura [°C]	Napomena
1.	11 : 31	785			
2.	11 : 32	800			
3.	11 : 33	792			
4.	11 : 34	797			
5.	11 : 35	789			
6.	11 : 36	786			
7.	11 : 37	804			
8.	11 : 38	791			
9.	11 : 39	810			
10.	11 : 40	800			
11.	11 : 41	782			
12.	11 : 42	815			
13.	11 : 43	781			
14.	11 : 44	805			
15.	11 : 45	803			
16.	11 : 46	789			
17.	11 : 47	788			
18.	11 : 48	815			
19.	11 : 49	789			
20.	11 : 50	802			
21.	11 : 51	795			
22.	11 : 52	788			
23.	11 : 53	787			
24.	11 : 54	794			
25.	11 : 55	796			
26.	11 : 56	792			
27.	11 : 57	810			
28.	11 : 58	798			
29.	11 : 59	784			
30.	12 : 00	796			

Zapažanja:

150

Izvršio: (ime i prezime, potpis):

1. 

2. \_\_\_\_\_



Institut za nuklearne nauke VINČA  
Laboratorija za termotehniku i  
energetiku

Datum: 20. 11. 2018 Ispitivanje broj: 1  
Objekat: HOBOCHACKE TOMJAHTE UCTOK  
Merno mesto: BOJA VZVA3 U3 KOZMA

### Merna lista za merenje protoka vode

Redni broj	Vreme (hh:mm)	Protok [m <sup>3</sup> /h]	Pritisak [bar]	Temperatura [°C]	Napomena
1.	12 : 04	788			
2.	12 : 05	794			
3.	12 : 06	796			
4.	12 : 07	802			
5.	12 : 08	784			
6.	12 : 09	793			
7.	12 : 10	791			
8.	12 : 11	797			
9.	12 : 12	790			
10.	12 : 13	795			
11.	12 : 14	789			
12.	12 : 15	786			
13.	:				
14.	:				
15.	:				
16.	:				
17.	:				
18.	:				
19.	:				
20.	:				
21.	:				
22.	:				
23.	:				
24.	:				
25.	:				
26.	:				
27.	:				
28.	:				
29.	:				
30.	:				

Zapažanja:

150

Izvršioc (ime i prezime, potpis):

1. 

2. \_\_\_\_\_



Institut za nuklearne nauke VINČA  
Laboratorija za termotehniku i energetiku  
Laboratorija za goriva i termotehnička  
ispitivanja - ZP.3.140.c39

Datum: 20.11.2018 Ispitivanje broj: 1  
Objekat: TO, NOVI SAD  
Merno mesto: ISPRED LOKA

Merna lista za mrežno ispitivanje O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> i temperature

Gas/Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	T	Vreme	Gas/Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	T	Vreme	
Jed. mere	[%]	[%]	[°C]	(hh:mm)	Jed. mere	[%]	[%]	[°C]	(hh:mm)	
Tačka Osa <u>1</u>					Tačka Osa <u>2</u>					
1.	3,99	13,2	92	70	11:15	2,51	35,9	10,33	69	11:28
2.	2,77	15,8	10,93	71	11:19	2,33	56,1	10,40	68	11:30
3.	2,50	14,7	10,22	70	11:20	2,23	44,7	10,48	67	11:32
4.	2,48	20,3	10,33	70	11:22	2,47	36,7	10,46	63	11:34
5.	2,82	15,4	10,20	61	11:24	2,54	27,7	10,40	61	11:36
6.				:	6.				:	

Gas/Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	T	Vreme	Gas/Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	T	Vreme	
Jed. mere	[%]	[%]	[°C]	(hh:mm)	Jed. mere	[%]	[%]	[°C]	(hh:mm)	
Tačka Osa <u>3</u>					Tačka Osa <u>4</u>					
1.	2,04	157,6	10,57	61 → 62	11:40	1,94	181,2	10,57	72	11:53
2.	1,84	162,4	10,69	62/68	11:42	2,00	169,5	10,66	78	11:56
3.	1,78	184,5	10,76	68	11:44	1,97	165,3	10,70	75	11:58
4.	2,22	107,9	10,61	69	11:46	2,35	119,1	10,49	75	12:01
5.	2,25	77,2	10,53	68 → 63	11:48	2,44	72,8	10,45	74	12:03
6.				:	6.				:	

Gas/Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	T	Vreme	Gas/Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	T	Vreme
Jed. mere	[%]	[%]	[°C]	(hh:mm)	Jed. mere	[%]	[%]	[°C]	(hh:mm)
Tačka Osa					Tačka Osa				
1.				:	1.				:
2.				:	2.				:
3.				:	3.				:
4.				:	4.				:
5.				:	5.				:
6.				:	6.				:

Zapažanja:

Izvršio(i) (ime i prezime, potpis):

1. [Signature]

2. MIRŠKIN ĐUROVIĆ





Institut za nuklearne nauke VINČA  
Laboratorija za termotehniku i energetiku  
Laboratorija za goriva i termotehnička  
ispitivanja - ZP.3.140.c38

Datum: 20.11.2018. Ispitivanje broj: 1  
Objekat: Toplana Novi Sad  
Merno mesto: dimnjak

DATA 17

Merna lista za ispitivanje sastava otpadnog gasa

Redni broj	Vreme (hh:mm)	O <sub>2</sub> [%]	CO <sub>2</sub> [%]	CO [vpm]	NO <sub>x</sub> [vpm]	SO <sub>2</sub> [vpm]	
1.	11:15	2,25	10,78	57	38		
2.	11:18	2,17	10,83	78	35		
3.	11:21	2,13	10,85	55	36		
4.	11:24	2,26	10,77	50	36		
5.	11:27	2,09	10,87	59	36		
6.	11:30	2,21	10,77	77	36		
7.	11:33	2,27	10,76	66	36		
8.	11:36	2,12	10,83	73	36		
9.	11:39	2,15	10,85	58	37		
10.	11:42	2,15	10,83	76	36		
11.	11:46	2,23	10,81	94	36		
12.	11:49	2,18	10,83	71	36		
13.	11:52	2,22	10,81	101	36		
14.	11:55	2,24	10,81	60-97	35		
15.	11:58	2,25	10,82	57-70	36		
16.	12:01	2,25	10,82	67-85	36		
17.	12:04	2,25	10,87	60-97	35		
18.	12:07	2,14	10,87	60-101	36		
19.	12:10	2,15	10,87	63-131	36		
20.	:						
21.	:						
22.	:						
23.	:						
24.	:						
25.	:						
26.	:						
27.	:						
28.	:						
29.	:						
30.	:						

Zapažanja:

Izvršio(i) (ime i prezime, potpis)

1.

2.

Emit Nedeljkovic



Institut za nuklearne nauke VINČA  
Laboratorija za termotehniku i  
energetiku

Datum: 20.11.2018.

Ispitivanje broj: 2

Objekat: TOPLANA "ISTOK" NOVI SAD

Merno mesto: KOMANDA

Početak: 12:40

Kraj: 13:45

### Merna lista za podatke sa komande

R. br.	Parametar	Jed.	12:46	13:17	13:30	:	:
1	Snaga kotla	MW	38,9	39,1	39,0		
2	Temperatura okoline	°C	5,4	5,9	6,2		
3	Barometarski pritisak	mbar	996,7	996,3	996,9		
4	Temperatura goriva	°C	10,6	10,6	10,6		
5	Protok vode na izlazu	$\frac{m^3}{h}$	809	815	816		
6	Pritisak vode na izlazu	bar	7,7	7,7	7,6		
7	Temperatura vode na izlazu	°C	102,4	102,0	102,0		
8	Protok vode na ulazu	t/h	-	-	-		
9	Pritisak vode na ulazu	bar	9,4	9,4	9,7		
10	Temperatura vode na ulazu	°C	59,1	59,1	59,1		
11	Protok toplog vazduha	kg/h	-	-	-		
12	Temperatura toplog vazduha iza LUVA	°C	32,0	33,0	32,0		
13	Protok hladnog vazduha	kg/h	-	-	-		
14	Temperatura hladnog vazduha ispred LUVA	°C	-	-	-		
15	Temperatura dimnog gasa ispred LUVA	°C	62,3	62,3	62,2		
16	Temperatura dimnog gasa iza LUVA	°C	57,7	57,6	57,7		
17	O <sub>2</sub> u dimnom gasu	%	2,8	2,8	2,9		
18	CO <sub>2</sub> u dimnom gasu	%	-	-	-		
19	CO u dimnom gasu	$\frac{mg}{m^3}$	3	4	1		
20	Protok dimnog gasa iza LUVA	kg/h	-	-	-		
21	Protok recirkulisanog dimnog gasa	kg/h	-	-	-		
22	Protok goriva	Nm <sup>3</sup> /h	3924	3917	3927		

Izvršio(i) (ime i prezime, potpis):

1. Đ. Petrović M. Kodač

2. \_\_\_\_\_



Institut za nuklearne nauke VINČA  
Laboratorija za termotehniku i  
energetiku

Datum: 20. 11. 2018.

Ispitivanje broj: 2

Objekat: JEP "NOVOSADSKA TOPLANA", TO "ISTOK"

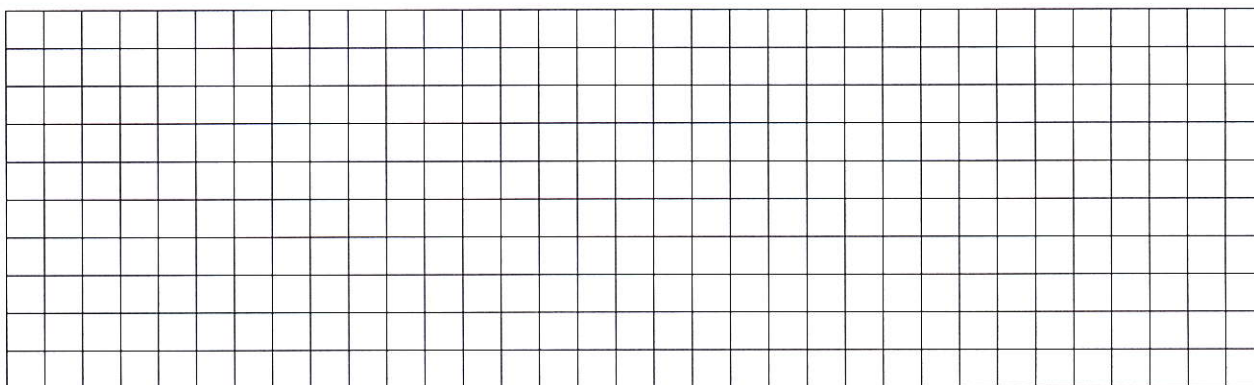
Merno mesto: DIMNI GAS IZA LUVA

### Kanal dimnog gasa

$P_{\text{bar}} = 1000,0 \text{ mbar}$

Početak/start: 12:40				
Kraj/End: 13:00				
Merena veličina <u>TEMPERATURA</u>				
( °C )				
Point	Osa 1	Osa 2	Osa 3	Osa 4
1.	57,7	57,6	57,9	57,8
2.	58,0	57,9	58,3	58,7
3.	58,1	57,6	58,4	58,4
4.	58,0	57,5	58,3	58,2
5.				
6.				
7.				

Dodatna skica mernog mesta



Izvršioi (ime i prezime, potpis):

1. SLOBODAN Popović

2. ALEXANDAR ERIC



Institut za nuklearne nauke VINČA  
Laboratorija za termotehniku i  
energetiku

Datum: 20. 11. 2018.

Ispitivanje broj: 2

Objekat: JKP "NOVOSAĐSKJE TOPLANE", TO "ISTOK"

Merno mesto: TOPAO VAZDUH

### Podaci

Početak: _____	Vrsta ispitivanja:
Kraj: _____	TEMPERATURA
DONJI GORIŠNIK	GORNJI GORIŠNIK
T = 34,0 °C	T = 33,9 °C

Note:

Izvršio(i) (ime i prezime, potpis):

1. ALEXSANDAR ERIC' \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_



Institut za nuklearne nauke VINČA  
Laboratorija za termotehniku i  
energetiku

Datum: 20.11.2018 Ispitivanje broj: 2

Objekat: HOBOCRAKKE TOMIATJE UCTOK

Merno mesto: BOJA UBVA3 U3 KOTLA

### Merna lista za merenje protoka vode

Redni broj	Vreme (hh:mm)	Protok [Nm <sup>3</sup> /h]	Pritisak [bar]	Temperatura [°C]	Napomena
1.	12 : 45	780			
2.	12 : 46	778			
3.	12 : 47	779			
4.	12 : 48	783			
5.	12 : 49	778			
6.	12 : 50	780			
7.	12 : 51	777			
8.	12 : 52	793			
9.	12 : 53	782			
10.	12 : 54	779			
11.	12 : 55	777			
12.	12 : 56	781			
13.	12 : 57	776			
14.	12 : 58	786			
15.	12 : 59	775			
16.	13 : 00	773			
17.	13 : 01	780			
18.	13 : 09	785			
19.	13 : 10	780			
20.	13 : 11	783			
21.	13 : 12	777			
22.	13 : 13	779			
23.	13 : 14	775			
24.	13 : 15	782			
25.	13 : 16	779			
26.	13 : 17	806			
27.	13 : 18	783			
28.	13 : 19	781			
29.	13 : 20	789			
30.	13 : 21	807			

Zapažanja:

170

Izvršio(i) (ime i prezime, potpis):

1.

2.



Institut za nuklearne nauke VINČA  
Laboratorija za termotehniku i  
energetiku

Datum: 20.11.2018 Ispitivanje broj: 2  
Objekat: HOBOTACKE TOMNASTE USTOK  
Merno mesto: BOVA 43NAS 43 KOTNA

### Merna lista za merenje protoka vode

Redni broj	Vreme (hh:mm)	Protok [m <sup>3</sup> /h]	Pritisak [bar]	Temperatura [°C]	Napomena
1.	13 : 22	808			
2.	13 : 23	786			
3.	13 : 24	785			
4.	13 : 25	781			
5.	13 : 26	783			
6.	13 : 27	779			
7.	13 : 28	784			
8.	13 : 29	789			
9.	13 : 30	791			
10.	13 : 31	776			
11.	13 : 32	802			
12.	13 : 33	794			
13.	13 : 34	796			
14.	13 : 35	780			
15.	13 : 36	808			
16.	13 : 37	792			
17.	13 : 38	784			
18.	13 : 39	807			
19.	13 : 40	792			
20.	13 : 41	791			
21.	13 : 42	795			
22.	13 : 43	791			
23.	13 : 44	783			
24.	13 : 45	788			
25.	:				
26.	:				
27.	:				
28.	:				
29.	:				
30.	:				

Zapažanja:

170

Izvršio(i) (ime i prezime, potpis):

1. 

2.



Merna lista za mrežno ispitivanje O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> i temperature

Gas/Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	T	Vreme	Gas/Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	T	Vreme
Jed. mere	[%]	[%]	[°C]	(hh:mm)	Jed. mere	[%]	[%]	[°C]	(hh:mm)
Tačka	Osa <u>3</u>				Tačka	Osa <u>4</u>			
1.	2,66	1,9   10,19	67,5	11: 40	1.	2,89	1,4   10,10	69,5	13: 05
2.	2,58	3,6   10,34	67,5	12: 52	2.	2,77	2,0   10,20	69,5	13: 07
3.	2,63	3,4   10,31	69,5	12: 55	3.	2,95	2,2   10,21	68,5	13: 09
4.	2,78	2,1   10,17	69,5	12: 58	4.	3,07	4,5   10,08	68,5	13: 12
5.	2,73	1,9   10,20	66,5	13: 00	5.	2,99	2,9   10,00	66,5	13: 15
6.				:	6.				:

Gas/Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	T	Vreme	Gas/Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	T	Vreme
Jed. mere	[%]	[%]	[°C]	(hh:mm)	Jed. mere	[%]	[%]	[°C]	(hh:mm)
Tačka	Osa <u>1</u>				Tačka	Osa <u>2</u>			
1.	2,74	3,7   10,17	67,5	13: 34	1.	2,57	12,4   10,24	66,5	13: 20
2.	2,68	5,2   10,24	67,5	13: 36	2.	2,53	3,1   10,24	67,5	13: 21
3.	2,65	4,2   10,27	67,5	13: 38	3.	2,47	8,1   10,37	67,5	13: 25
4.	2,75	8,8   10,21	67,5	13: 40	4.	2,53	5,9   10,35	66,5	13: 27
5.	2,73	3,0   10,21	64,5	13: 42	5.	2,66	3,9   10,30	67,5	13: 29
6.				:	6.				:

Gas/Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	T	Vreme	Gas/Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	T	Vreme
Jed. mere	[%]	[%]	[°C]	(hh:mm)	Jed. mere	[%]	[%]	[°C]	(hh:mm)
Tačka	Osa <u>1</u>				Tačka	Osa <u>2</u>			
1.				:	1.				:
2.				:	2.				:
3.				:	3.				:
4.				:	4.				:
5.				:	5.				:
6.				:	6.				:

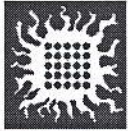
Zapažanja:

PAZI NA OZNAKE OSA

Izvršio(i) (ime i prezime, potpis):

1. Z. M.

2. VIŠEŠČAV ŽIVKOVIĆ



Institut za nuklearne nauke VINČA  
Laboratorija za termotehniku i energetiku  
Laboratorija za goriva i termotehnička  
ispitivanja - ZP.3.140.c38

Datum: 20.11.2018 Ispitivanje broj: 2  
Objekat: TOPLANA NOVI SAD  
Merno mesto: dunyák

DATA 18

Merna lista za ispitivanje sastava otpadnog gasa

Redni broj	Vreme (hh:mm)	O <sub>2</sub> [%]	CO <sub>2</sub> [%]	CO [vpm]	NOx [vpm]	SO <sub>2</sub> [vpm]	
1.	12:46	2,53	10,68	1	39		
2.	12:48	2,52	10,69	1	35		
3.	12:51	2,55	10,67	1	37		
4.	12:54	2,56	10,66	1	36		
5.	12:58	2,57	10,65	1	36		
6.	13:01	2,52	10,66	1	36		
7.	13:04	2,54	10,66	1	35		
8.	13:07	2,51	10,67	1	35		
9.	13:10	2,55	10,63	1	34		
10.	13:13	2,53	10,63	2	36		
11.	13:16	2,53	10,64	1	35		
12.	13:19	2,53	10,67	3	35		
13.	13:22	2,53	10,65	7	35		
14.	13:25	2,56	10,65	3	35		
15.	13:28	2,58	10,65	0	35		
16.	13:31	2,54	10,64	1	35		
17.	13:34	2,54	10,63	1	35		
18.	13:37	2,59	10,61	3	36		
19.	13:40	2,54	10,63	1	35		
20.	13:43	2,60	10,65	1	35		
21.	:						
22.	:						
23.	:						
24.	:						
25.	:						
26.	:						
27.	:						
28.	:						
29.	:						
30.	:						

Zapažanja:

Izvršio(i) (ime i prezime potpis):

1.

2.





POČETAK: 14:00

KRAJ: 15:00

### Merna lista za podatke sa komande

R. br.	Parametar	Jed.	14:09	14:30	14:50	:	:
1	Snaga kotla	MW	22,8	23,6	23,6		
2	Temperatura okoline	°C	5,8	5,6	5,8		
3	Barometarski pritisak	mbar	996,5	996,9	997,1		
4	Temperatura goriva	°C	10,3	10,3	10,3		
5	Protok vode na izlazu	$\frac{m^3}{h}$ $\frac{t}{h}$	811	826	840		
6	Pritisak vode na izlazu	bar	7,8	7,6	7,4		
7	Temperatura vode na izlazu	°C	84,5	84,2	83,8		
8	Protok vode na ulazu	t/h	-	-	-		
9	Pritisak vode na ulazu	bar	9,5	9,4	9,5		
10	Temperatura vode na ulazu	°C	59,1	58,9	58,7		
11	Protok toplog vazduha	kg/h	-	-	-		
12	Temperatura toplog vazduha iza LUVA	°C	32,0	32,0	33,0		
13	Protok hladnog vazduha	kg/h	-	-	-		
14	Temperatura hladnog vazduha ispred LUVA	°C	-	-	-		
15	Temperatura dimnog gasa ispred LUVA	°C	59,6	59,5	59,3		
16	Temperatura dimnog gasa iza LUVA	°C	57,2	57,1	57,0		
17	O <sub>2</sub> u dimnom gasu	%	2,0	1,8	2,0		
18	CO <sub>2</sub> u dimnom gasu	%	-	-	-		
19	CO u dimnom gasu	$\frac{mg}{m^3}$ $\frac{m^3}{m^3}$	61	85	51		
20	Protok dimnog gasa iza LUVA	kg/h	-	-	-		
21	Protok recirkulisiranog dimnog gasa	kg/h	-	-	-		
22	Protok goriva	Nm <sup>3</sup> /h	2344	2339	2330		

Izvršio(i) (ime i prezime, potpis):

1. J. Miodar

2. \_\_\_\_\_

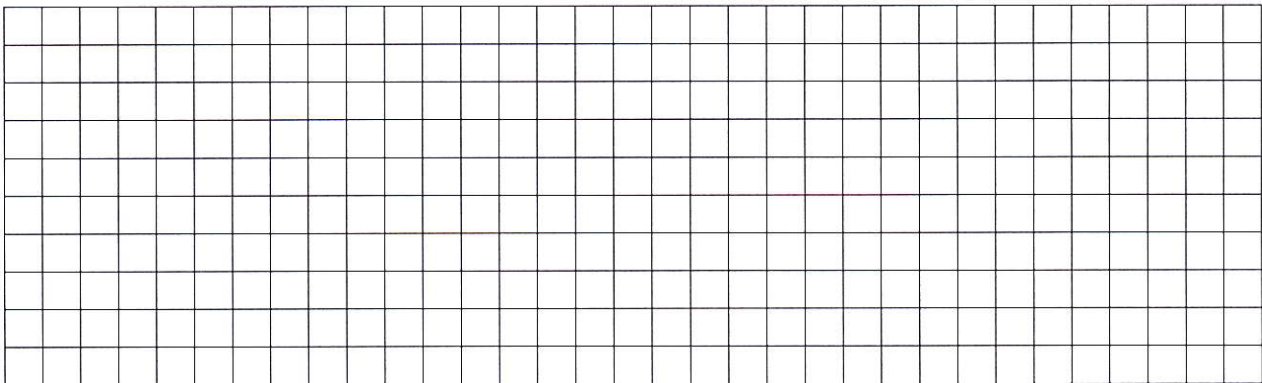


### Kanal dimnog gasa

$p_{bar} = 1000,4 \text{ mbar}$

Početak/start: 14:10				
Kraj/End: 14:40				
Merena veličina <u>TEMPERATURA</u>				
( °C )				
Point	Osa 1	Osa 2	Osa 3	Osa 4
1.	58,3	58,2	57,7	57,6
2.	58,3	58,6	57,7	57,8
3.	58,3	58,4	57,8	57,5
4.	58,2	58,5	57,7	57,5
5.				
6.				
7.				

Dodatna skica mernog mesta



Izvršioi (ime i prezime, potpis):

1. SLOBODAN Popović
2. ALEKSANDAR ERIC

20. 11. 2018. R3  
JKP "NOVOSADSKÉ TOPLANE"  
TO "ISTOK"  
TOPAO VAZDUH

TEMPERATURA VAZDUHA NA  
ULAZU U KOTAO

DONJI GORIČNIK

$T = 36,0^{\circ}\text{C}$

GORNJI GORIČNIK

$T = 36,3^{\circ}\text{C}$

Aleksandar ERIC'



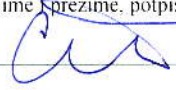
### Merna lista za merenje protoka vode

Redni broj	Vreme (hh:mm)	Protok [l/h] · 10 <sup>3</sup>	Napomena
1.	14 : 00	786	
2.	14 : 01	784	
3.	14 : 02	778	
4.	14 : 03	781	
5.	14 : 04	778	
6.	14 : 05	786	
7.	14 : 06	790	
8.	14 : 07	787	
9.	14 : 08	790	
10.	14 : 09	787	
11.	14 : 10	768	
12.	14 : 11	759	
13.	14 : 12	763	
14.	14 : 13	768	
15.	14 : 14	765	
16.	14 : 15	763	
17.	14 : 16	769	
18.	14 : 17	792	
19.	14 : 18	801	
20.	14 : 19	796	
21.	14 : 20	789	
22.	14 : 21	798	
23.	14 : 22	794	
24.	14 : 23	802	
25.	14 : 24	796	
26.	14 : 25	802	
27.	14 : 26	791	
28.	14 : 27	803	
29.	14 : 28	803	
30.	14 : 29	797	

Zapažanja:

100  
\* 170

Izvršio(i) (ime i prezime, potpis):

1. 

2. \_\_\_\_\_



Institut za nuklearne nauke VINČA  
Laboratorija za termotehniku i  
energetiku

Datum: 20.11. 2018 Ispitivanje broj: 3  
Objekat: HOBOTARKE TOMNATE PCTOK  
Merno mesto: BOGA UZVA3 U3 KOTNA

### Merna lista za merenje protoka vode

Redni broj	Vreme (hh:mm)	Protok [l/h] $\cdot 10^3$	Napomena
1.	14 : 42	809	
2.	14 : 43	807	
3.	14 : 44	805	
4.	14 : 45	806	
5.	14 : 46	801	
6.	14 : 47	812	
7.	14 : 48	814	
8.	14 : 49	809	
9.	14 : 50	805	
10.	14 : 51	811	
11.	14 : 52	815	
12.	14 : 53	816	
13.	14 : 54	817	
14.	14 : 55	817	
15.	14 : 56	815	
16.	14 : 57	808	
17.	14 : 58	815	
18.	14 : 59	818	
19.	15 : 00	815	
20.	:		
21.	:		
22.	:		
23.	:		
24.	:		
25.	:		
26.	:		
27.	:		
28.	:		
29.	:		
30.	:		

Zapažanja:

170

Izvršio(i) (ime i prezime, potpis):

1.  \_\_\_\_\_  
2. \_\_\_\_\_



### Merna lista za merenje protoka vode

Redni broj	Vreme (hh:mm)	Protok [l/h]	Napomena
1.	II Režim 60%	poč. 12:42	
2.	:	konj. 13:45	
3.	:		
4.	12:42:	13423050 m <sup>3</sup>	
5.	:	67960 m <sup>3</sup>	
6.	:	T = 15,271 °C	
7.	:	p = 8,85 bar	
8.	:		
9.	13:40:	13424087,5	
10.	:	68400	
11.	:	T = 15,296 °C	
12.	:	p = 8,85 bar	
13.	:		
14.	III režim 30%	poč. 14:00	
15.	:		
16.	:		
17.	14:08:	13424243 m <sup>3</sup>	
18.	:	68560	
19.	:	p = 8,89	
20.	:	T = 15,12	
21.	:		
22.	:		
23.	14:54:	13424474	
24.	:	68790	
25.	:	p = 8,896 bar	
26.	:	T = 15,158 °C	
27.	:		
28.	:		
29.	:		
30.	:		

Zapažanja:

Izvršio(i) (ime i prezime, potpis)

1. \_\_\_\_\_

2. \_\_\_\_\_



Institut za nuklearne nauke VINČA  
Laboratorija za termotehniku i  
energetiku

Datum: 20.11.2019. Ispitivanje broj: 3  
Objekat: NOVI SAD  
Merno mesto: ISPRED LAVA

Merna lista za mrežno ispitivanje O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> i temperature

Gas/Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	T	Vreme	Gas/Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	T	Vreme	
Jed. mere	[%]	[%]	[°C]	(hh:mm)	Jed. mere	[%]	[%]	[°C]	(hh:mm)	
Tačka	Osa 1				Tačka	Osa 2				
1.	1,85	70,1	10,6	65	14:09	1,74	109,1	10,74	68	14:29
2.	1,89	72,3	10,71	63	14:11	1,68	72,1	10,76	68	14:31
3.	1,77	144,3	10,78	63	14:13	1,48	186,5	10,76	67	14:33
4.	2,09	81,4	10,67	65	14:16	1,88	116,6	10,88	67	14:35
5.	2,22	67,8	10,56	63	14:18	1,85	126,8	10,78	67	14:37
6.				:	6.				:	

Gas/Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	T	Vreme	Gas/Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	T	Vreme	
Jed. mere	[%]	[%]	[°C]	(hh:mm)	Jed. mere	[%]	[%]	[°C]	(hh:mm)	
Tačka	Osa 3				Tačka	Osa 4				
1.	1,68	160,8	10,82	67	14:42	1,75	149,1	10,81	69	14:55
2.	1,61	225,7	10,91	68	14:44	1,68	147,8	10,94	69	14:57
3.	1,43	185,4	10,98	68	14:46	1,77	161,3	10,91	69	14:59
4.	1,77	169,6	10,76	68	14:48	2,04	94,9	10,67	68	15:02
5.	1,75	123,7	10,90	68	14:50	2,03	77,3	10,64	68	15:04
6.				:	6.				:	

Gas/Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	T	Vreme	Gas/Temp	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	T	Vreme
Jed. mere	[%]	[%]	[°C]	(hh:mm)	Jed. mere	[%]	[%]	[°C]	(hh:mm)
Tačka	Osa				Tačka	Osa			
1.				:	1.				:
2.				:	2.				:
3.				:	3.				:
4.				:	4.				:
5.				:	5.				:
6.				:	6.				:

Zapažanja:

Izvršio(i) (ime i prezime, potpis):

1.

2. VIŠESLAV ŽIVKOVIĆ



Institut za nuklearne nauke VINČA  
Laboratorija za termotehniku i energetiku  
Laboratorija za goriva i termotehnička  
ispitivanja - ZP.3.140.c38

Datum: 20.11.2018. Ispitivanje broj: 3  
Objekat: Toplauga Novi Sad  
Merno mesto: Dunjaka

DATA 19  
Merna lista za ispitivanje sastava otpadnog gasa

Redni broj	Vreme (hh:mm)	O <sub>2</sub> [%]	CO <sub>2</sub> [%]	CO [vpm]	NO <sub>x</sub> [vpm]	SO <sub>2</sub> [vpm]
1.	14:03	1166	11,12	149	28	
2.	14:06	1165	11,15	135	28	
3.	14:09	1170	11,11	163	27	
4.	14:12	1171	11,11	136	28	
5.	14:15	1172	11,10	115	29	
6.	14:18	1168	11,10	148	28	
7.	14:21	1167	11,11	125	29	
8.	14:24	1166	11,13	94	30	
9.	14:27	1170	11,14	119	28	
10.	14:30	1173	11,12	88	29	
11.	14:33	1181	11,08	107	28	
12.	14:36	1169	11,12	100	29	
13.	14:39	1168	11,10	117	28	
14.	14:42	1186	11,16	173	27	
15.	14:45	1172	11,12	105	28	
16.	14:48	1166	11,10	82	25	
17.	14:51	1169	11,11	76	29	
18.	14:54	1168	11,11	136	28	
19.	14:57	1168	11,14	109	29	
20.	15:00	1163	11,10	118	29	
21.	15:03	1168	11,13	97	29	
22.	:					
23.	:					
24.	:					
25.	:					
26.	:					
27.	:					
28.	:					
29.	:					
30.	:					

Zapažanja:

Izvršio(i) (ime i prezime, potpis):

1. Emil Murač

2. \_\_\_\_\_





Institut za nuklearne nauke VINČA  
Laboratorija za termotehniku i energetiku  
Laboratorija za goriva i termotehnička  
ispitivanja - ZP.3.140.c61

Datum: \_\_\_\_\_ 29. 11. 18  
Objekat: TOPLANA  
Merno mesto: \_\_\_\_\_

REŽIM 1.

11.55

Merna lista za uzorkovanje vlage u otpadnom gasu pomoću posuda sa silikagelom (SRPS EN 14790)

Ispitivanje broj: \_\_\_\_\_ Test vage: 1000g \_\_\_\_\_ 500g \_\_\_\_\_ 200g \_\_\_\_\_ 100g \_\_\_\_\_

11. 17 =

Vreme početka merenja: 11: 17 Vreme uzorkovanja: 15 min

	Masa posude [g]	Stanje na gasmetru [m <sup>3</sup> ]	Pritisak [mbar]	Temp. [°C]	Protok [m <sup>3</sup> /h]	Napomena
Pre merenja	m <sub>cr</sub> = <u>59,23</u>	2 [18,4]	28,1	8,8		
	m <sub>pl</sub> = <u>837,03</u>		30,6	9,1		
	m <sub>sg</sub> = <u>1009,44</u>		31,1	9,2		
Posle merenja	m <sub>cr</sub> = <u>60,27</u>	2 [25,7]	31,3	9,5		
	m <sub>pl</sub> = <u>845,91</u>		30,9	9,3		
	m <sub>sg</sub> = <u>1010,00</u>		30,8	8,8		
			31,3	8,9		
			31,1	8,8		

Test "curenja" – Zaptivenost pre ispitivanja	Početak - Stanje na gasm. [m <sup>3</sup> ]	Kraj - Stanje na gasm. [m <sup>3</sup> ]	Vreme [s]
Test "curenja" – Zaptivenost posle ispitivanja	Početak - Stanje na gasm. [m <sup>3</sup> ]	Kraj - Stanje na gasm. [m <sup>3</sup> ]	Vreme [s]

Ispitivanje broj: \_\_\_\_\_ Test vage: 1000g \_\_\_\_\_ 500g \_\_\_\_\_ 200g \_\_\_\_\_ 100g \_\_\_\_\_

REŽIM 2.

13.00

Vreme početka merenja: 13: 05 Vreme uzorkovanja: 18 min

13.12

	Masa posude [g]	Stanje na gasmetru [m <sup>3</sup> ]	Pritisak [mbar]	Temp. [°C]	Protok [m <sup>3</sup> /h]	Napomena
Pre merenja	m <sub>cr</sub> = <u>59,23</u>	2 [25,7]	28,2	8,4		
	m <sub>pl</sub> = <u>835,07</u>		28,8	8,2		
	m <sub>sg</sub> = <u>1010,00</u>		31,4	8,7		
Posle merenja	m <sub>cr</sub> = <u>60,65</u>	3,3, 11,8	33,0	8,9		
	m <sub>pl</sub> = <u>833,48</u>		33,6	8,8		
	m <sub>sg</sub> = <u>1010,79</u>		33,4	8,8		
			33,9	8,5		
			44,6	8,6		

Test "curenja" – Zaptivenost pre ispitivanja	Početak - Stanje na gasm. [m <sup>3</sup> ]	Kraj - Stanje na gasm. [m <sup>3</sup> ]	Vreme [s]
Test "curenja" – Zaptivenost posle ispitivanja	Početak - Stanje na gasm. [m <sup>3</sup> ]	Kraj - Stanje na gasm. [m <sup>3</sup> ]	Vreme [s]

Izvršioi (ime i prezime, potpis):

- Starić R.
- \_\_\_\_\_



Institut za nuklearne nauke VINČA  
Laboratorija za termotehniku i energetiku  
Laboratorija za goriva i termotehnička  
ispitivanja - ZP.3.140.c61

Datum: \_\_\_\_\_  
Objekat: TOPLANA  
Merno mesto: Novi SAD

REŽIM 3

Merna lista za uzorkovanje vlage u otpadnom gasu pomoću posuda sa silikagelom (SRPS EN 14790)

Ispitivanje broj: \_\_\_\_\_ Test vage: 1000g \_\_\_\_\_ 500g \_\_\_\_\_ 200g \_\_\_\_\_ 100g \_\_\_\_\_

Vreme početka merenja: 14:08 Vreme uzorkovanja: 18 min

1426

1408

	Masa posude [g]	Stanje na gasmetru [m <sup>3</sup> ]	Pritisak [mbar]	Temp. [°C]	Protok [m <sup>3</sup> /h]	Napomena
Pre merenja	m <sub>cr</sub> = <u>59,23</u>	<u>33,8</u>	<u>30,7</u>	<u>9,1</u>		
	m <sub>pl</sub> = <u>836,46</u>		<u>34,7</u>	<u>8,8</u>		
	m <sub>sg</sub> = <u>1010,75</u>		<u>36,3</u>	<u>9,0</u>		
Posle merenja	m <sub>cr</sub> = <u>60,81</u>	<u>41,4</u>	<u>37,1</u>	<u>9,3</u>		
	m <sub>pl</sub> = <u>840,20</u>		<u>37,0</u>	<u>9,1</u>		
			<u>36,9</u>	<u>9,0</u>		
	m <sub>sg</sub> = <u>1011,53</u>		<u>37,4</u>	<u>8,9</u>		

Test "curenja" – Zaptivenost pre ispitivanja	Početak - Stanje na gasm. [m <sup>3</sup> ]	Kraj - Stanje na gasm. [m <sup>3</sup> ]	Vreme [s]
Test "curenja" – Zaptivenost posle ispitivanja	Početak - Stanje na gasm. [m <sup>3</sup> ]	Kraj - Stanje na gasm. [m <sup>3</sup> ]	Vreme [s]

Ispitivanje broj: \_\_\_\_\_ Test vage: 1000g \_\_\_\_\_ 500g \_\_\_\_\_ 200g \_\_\_\_\_ 100g \_\_\_\_\_

Vreme početka merenja: \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_ Vreme uzorkovanja: \_\_\_\_\_ min

	Masa posude [g]	Stanje na gasmetru [m <sup>3</sup> ]	Pritisak [mbar]	Temp. [°C]	Protok [m <sup>3</sup> /h]	Napomena
Pre merenja	m <sub>cr</sub> = _____					
	m <sub>pl</sub> = _____					
	m <sub>sg</sub> = _____					
Posle merenja	m <sub>cr</sub> = _____					
	m <sub>pl</sub> = _____					
	m <sub>sg</sub> = _____					

Test "curenja" – Zaptivenost pre ispitivanja	Početak - Stanje na gasm. [m <sup>3</sup> ]	Kraj - Stanje na gasm. [m <sup>3</sup> ]	Vreme [s]
Test "curenja" – Zaptivenost posle ispitivanja	Početak - Stanje na gasm. [m <sup>3</sup> ]	Kraj - Stanje na gasm. [m <sup>3</sup> ]	Vreme [s]

Izvršioci (ime i prezime, potpis):

1. Stevan Ruz

2. \_\_\_\_\_