

SAGOREVANJE NISKOKVALITETNIH FRAKCIJA UGLJA LUBNICA U FLUIDIZOVANOM SLOJU

FLUIDIZED BED COMBUSTION OF LOW GRADE FRACTIONS OF LUBNICA COAL

mr Milica Mladenović, dr Stevan Nemoda, dr Dragoljub Dakić, mr Aleksandar Erić, mr Dejan Đurović, dr Branislav Repić, mr Rastko V. Mladenović¹

**Institut VINČA, Laboratorija za termotehniku i energetiku, p.p. 522, 11001
Beograd, R.Srbija,**

¹S.E.E.C., Makenzijeva 53, 11000 Beograd, Srbija

E-mail: mica@vinca.rs

Problem →

- ograničeni izvori primarne energije.

Zadatak →

- Substitucija uvezenog goriva i gasa niskokvalitetnim i neiskorišćenim gorivima *poput ugljeva iz vanbilansnih rezervi (ugljevi sitne granulacije, sa visokim sadržajem balasta i sumpora, niske toplotne moći).*

Rešenje →

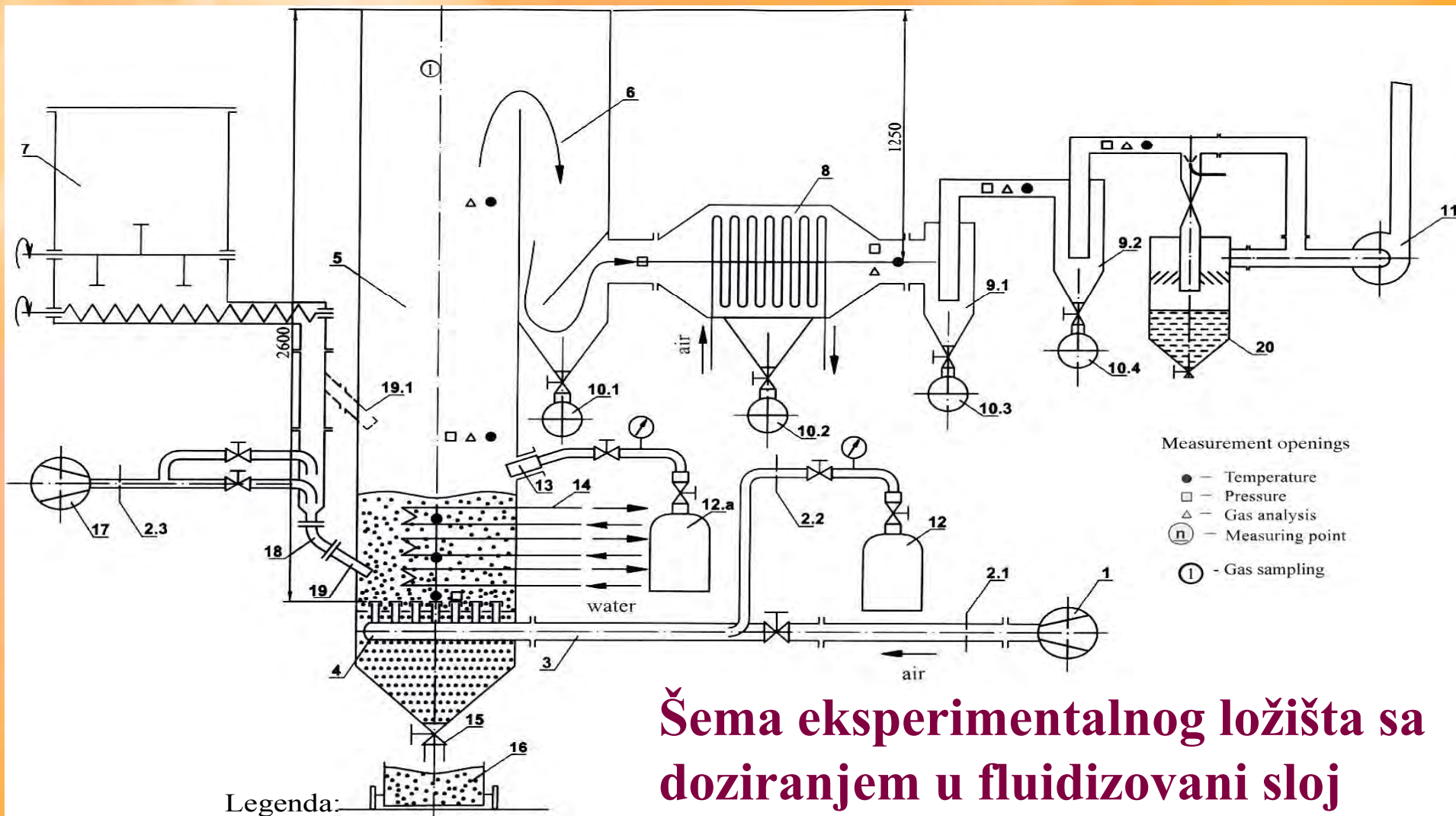
- Tehnologija sagorevanja u fluidizovanom sloju, uz smanjenu emisiju gasovitih zagađivača
- Laboratorija za termotehniku i energetiku Instituta “Vinča” više od trideset godina se bavi proučavanjem fenomena sagorevanja u fluidizovanom sloju i razvojem ložišta i kotlova sa ovim načinom sagorevanja i u okviru tih istraživanja razvijena je metoda ispitivanja podobnosti sagorevanja određenog goriva u fluidizovanom sloju (FS).

Ispitivanje podobnosti za sagorevanje :

- **lubničkog uglja sitne granulacije u FS na poluindustrijskoj aparaturi**

AKTIVNOSTI ⇒

- **Karakterizacija goriva**
- **Uzorkovanje i merenje sastava produkata sagorevanja: CO₂, CO, O₂, NO_x, SO₂.**
- **Ispitivanje parametara sagorevanja**
- **Količina pepela prikupljena u ciklonima i separatorima**



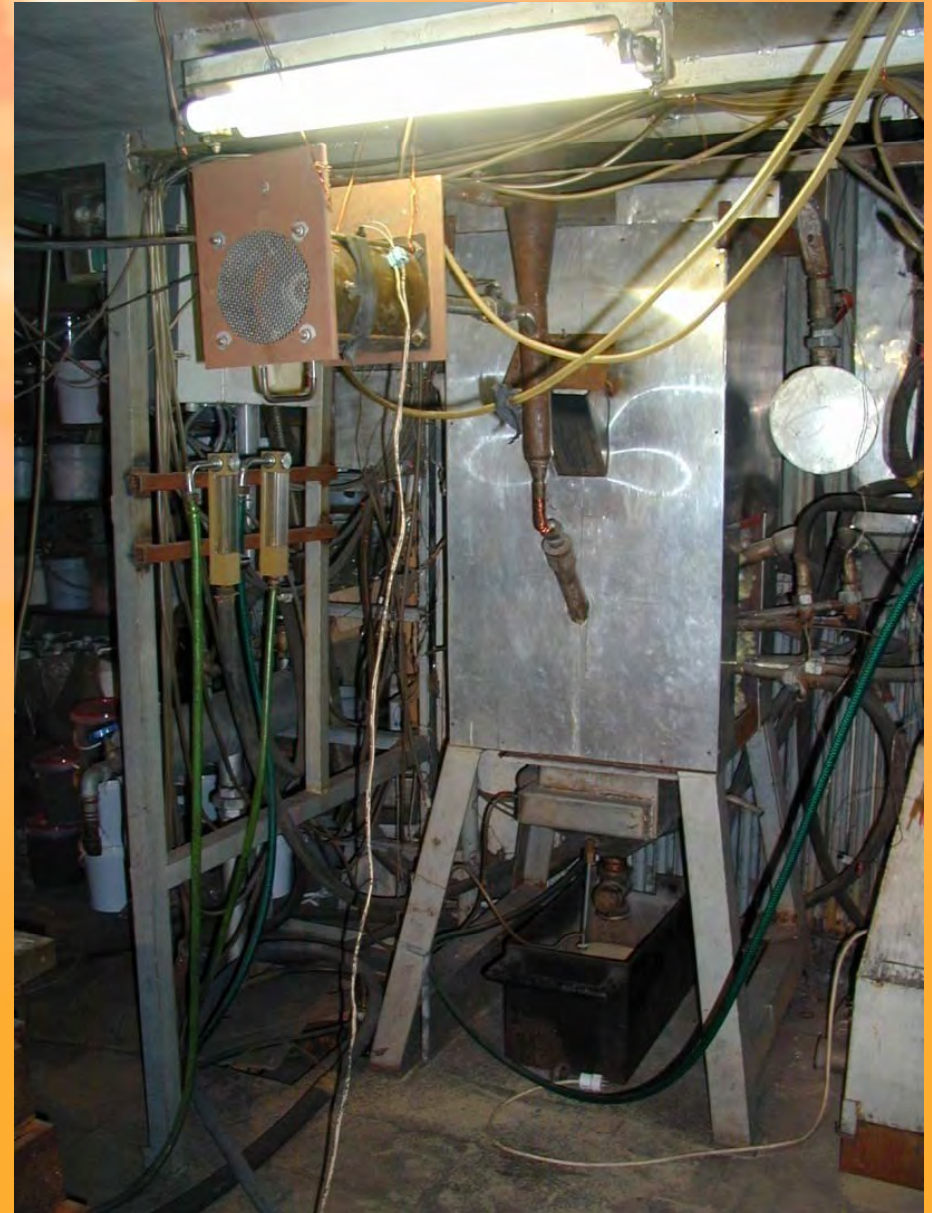
Šema eksperimentalnog ložišta sa doziranjem u fluidizovani sloj

- | | |
|--|---|
| 1. Duvaljka za primarni vazduh | 12. (12.a) Boca sa propan-butanom |
| 2. (2.1 - 2.3) Merne blende | 13. Pilot plamenik |
| 3. Električni grejač | 14. Trodelni razmenjivač toplote |
| 4. Vazдушna komora sa distributorom vazduha | 15. Slavina za ispuštanje materijala iz ložišta |
| 5. Ložište sa fluidizovanim slojem (I promaja) | 16. Posuda za prikupljanje materijala iz ložišta |
| 6. Mehanički taložnik čestica (II promaja) | 17. Duvaljka za vazduh za pneumatski transport goriva u sloj |
| 7. Doziranje goriva | 18. Deonica za vizuelizaciju protoka uglja |
| 8. Hladnjak dimnih gasova | 19. Uvodnik uglja u sloj (19.1 – Uvodnik u slučaju doziranja na sloj) |
| 9. (9.1 – 9.2) Ciklonski otprašivači | 20. Skruber (radi samo kad se spaljuju otrovne materije) |
| 10. (10.1 – 10.4) Sudovi za odlaganje čestica | |
| 11. Ventilator dimnih gasova | |

Eksperimentalna instalacija

- Dimenzije ložišta 300x300mm
- Rad sa hlađenjem ili bez hlađenja sloja
- Moguća organizacija doziranja na i u sloj

Donji deo ložišta sa fluidizovanim slojem sa sistemom za pneumatski transport uglja u sloj i otvorom za potpalu i nadgledanje i separatorom čestica pepela u II promaji (cilindrična posuda na slici).



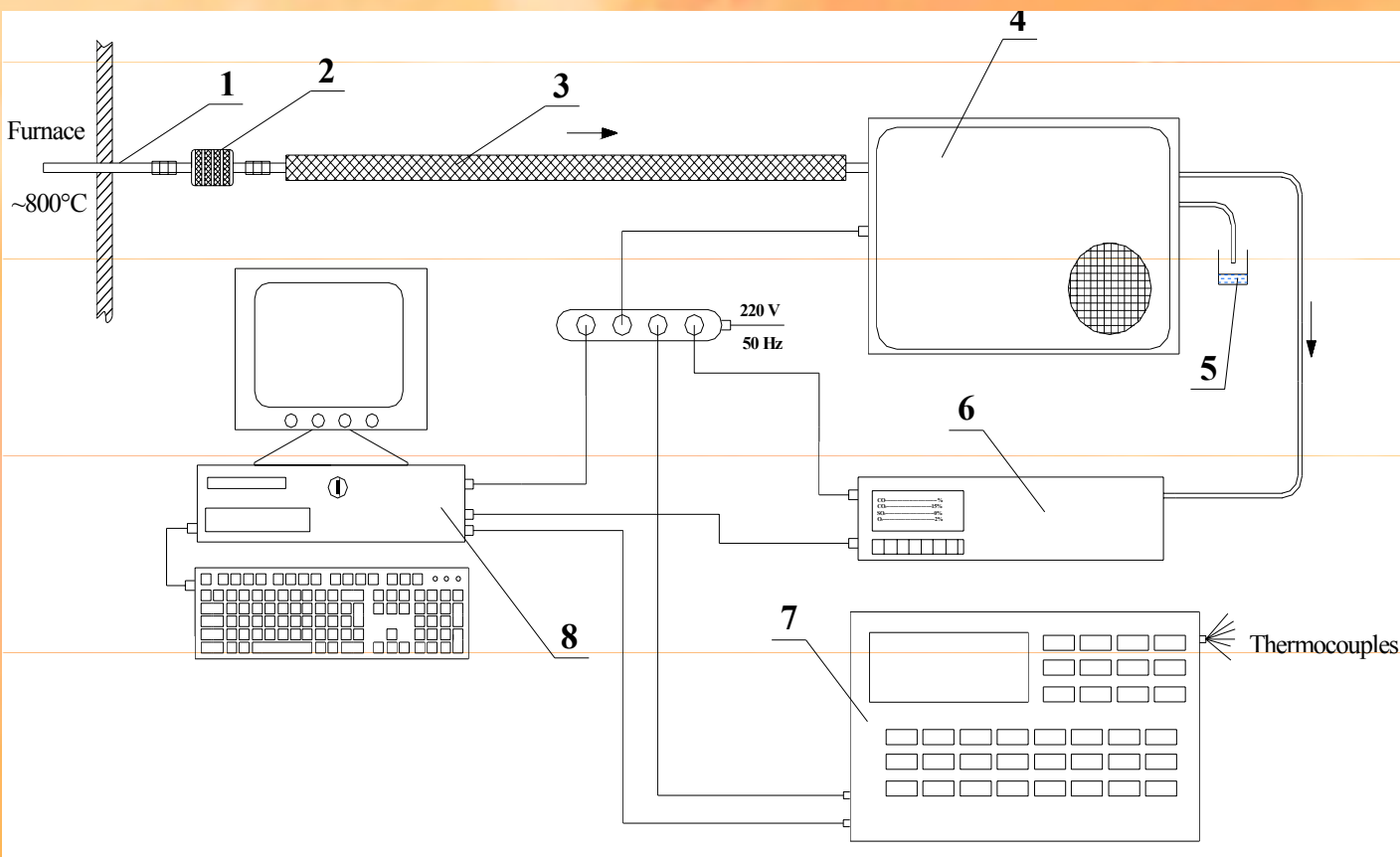


**Eksperimentalno
postrojenje-
sistem za
doziranje (gornja
platforma)**

**Frekventni regulatori za dozir
pumpu i ventilator dimnih
gasova**



Sistem za analizu gasa i akviziciju temperature



Legenda:

1. sonda za uzimanje uzoraka,
2. grubi filter,
3. grejano crevo-sprečava kondenzaciju vodene pare,
4. kondicioner,
5. priključak za odvod kondezata iz sistema,

6. analizator gasa IMR 3000 P,
7. termoparovi i sistem za akviziciju FLUKE,
8. računar sa odgovarajućim softverom za prikupljanje i obradu podataka.

Karakterizacija goriva

Tabela 1 Tehnička analiza odreva uglja Lubnica

		Sa dostavnom vlagom	Sa vlagom u analitičkom uzorku	Bez vlage	Bez vlage i pepela
Vlaga	%	30.81	16.1		
Pepeo		16.16	19.53	23.36	
Sumpor ukupni		1.68	2.03	2.43	
Sumpor u pepelu		0.48	0.58	0.69	
Sumpor sagorljiv		1.20	1.45	1.73	2.26
Koks		40.32	48.72	58.28	45.56
C-flx		24.16	29.19	34.92	45.56
Iparljivo		28.87	34.88	41.72	54.44
Sagorljivo		53.02	64.07	76.64	100.00
TOPLOTA SAGOREVANJA GORIVA					
Gornja	kJ/kg	14823	17911	21425	27955
Donja		13625	16916	20685	26991
ELEMENTARNA ANALIZA					
Ugljenik ukupni	%	36.58	44.20	52.87	68.99
Vodonik		2.48	3.00	3.59	4.68
Sumpor sagorljivi		1.20	1.45	1.73	2.26
Azot		0.97	1.17	1.40	1.83
Klseonik		11.79	14.25	17.05	22.24

Proračun adijabatske temperature sagorevanja pri različitim vrednostima viška vazduha

Adijabatska temperatura sagorevanja i
sastav suvih produkata sagorevanja uglja: Lubnica

C	H	O	N	S	A	W	HD	L0(kg/kgG)	V0(m3/kgG)
36.58	2.48	11.80	.97	1.20	16.16	30.81	13625.	4.6394	3.5480

ALFA	TGASA	VC02	VS02	VO2	VN2	GPSS	GC02	GS02	GO2	GN2	GH2O	RODG	
1.00	1866.	19.235	.232	.00	80.53	4.95	.271	.005	.000	.719	.117	1.295	13806.
1.15	1703.	16.684	.201	2.79	80.33	5.64	.238	.004	.029	.725	.104	1.293	13825.
1.30	1568.	14.730	.178	4.92	80.17	6.34	.212	.004	.051	.730	.093	1.292	13851.
1.45	1454.	13.186	.159	6.61	80.05	7.03	.191	.003	.069	.734	.085	1.291	13867.
1.60	1356.	11.935	.144	7.97	79.95	7.73	.174	.003	.084	.737	.078	1.290	13898.
1.75	1271.	10.900	.132	9.10	79.87	8.43	.159	.003	.096	.739	.073	1.289	13915.
1.90	1196.	10.031	.121	10.05	79.80	9.12	.147	.003	.107	.741	.068	1.289	13932.
2.05	1130.	9.290	.112	10.86	79.74	9.82	.137	.002	.116	.743	.064	1.288	13959.
2.20	1071.	8.651	.104	11.56	79.69	10.51	.128	.002	.123	.745	.060	1.288	13984.
2.35	1018.	8.094	.098	12.17	79.64	11.21	.120	.002	.130	.746	.057	1.287	13997.
2.50	971.	7.605	.092	12.70	79.60	11.91	.113	.002	.136	.747	.054	1.287	14021.
2.65	927.	7.171	.087	13.18	79.57	12.60	.107	.002	.142	.748	.052	1.287	14039.
2.80	888.	6.785	.082	13.60	79.54	13.30	.101	.002	.146	.749	.050	1.286	14063.
2.95	852.	6.437	.078	13.98	79.51	13.99	.096	.002	.151	.750	.048	1.286	14078.
3.10	819.	6.124	.074	14.32	79.48	14.69	.091	.002	.155	.751	.046	1.286	14105.
3.25	788.	5.840	.070	14.63	79.46	15.39	.087	.002	.158	.752	.044	1.286	14127.
3.40	760.	5.581	.067	14.91	79.44	16.08	.083	.001	.161	.752	.043	1.285	14139.
3.55	734.	5.343	.064	15.17	79.42	16.78	.080	.001	.164	.753	.041	1.285	14169.
3.70	709.	5.126	.062	15.41	79.40	17.47	.077	.001	.167	.754	.040	1.285	14185.
3.85	687.	4.925	.059	15.63	79.39	18.17	.074	.001	.170	.754	.039	1.285	14204.

MERENJA U STACIONARNIM REŽIMIMA RADA EKSPERIMENTALNE APARATURE →

1. REŽIM I:

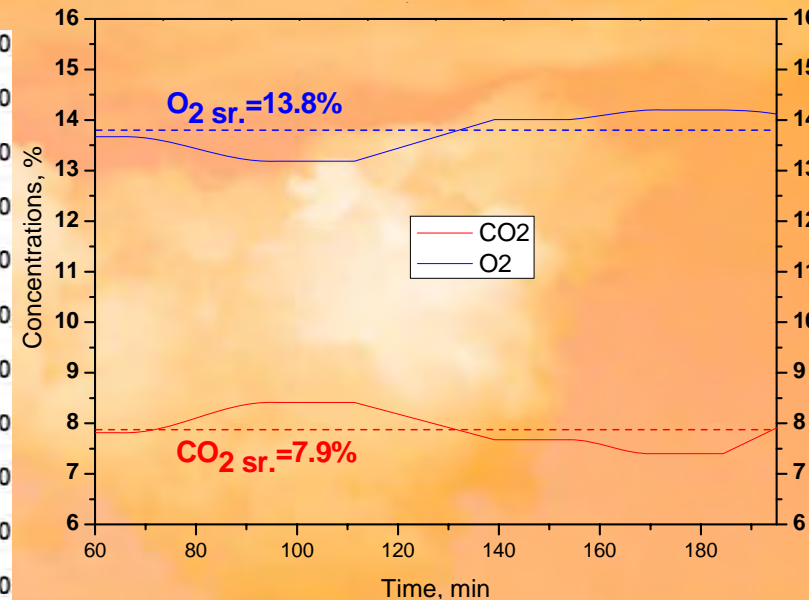
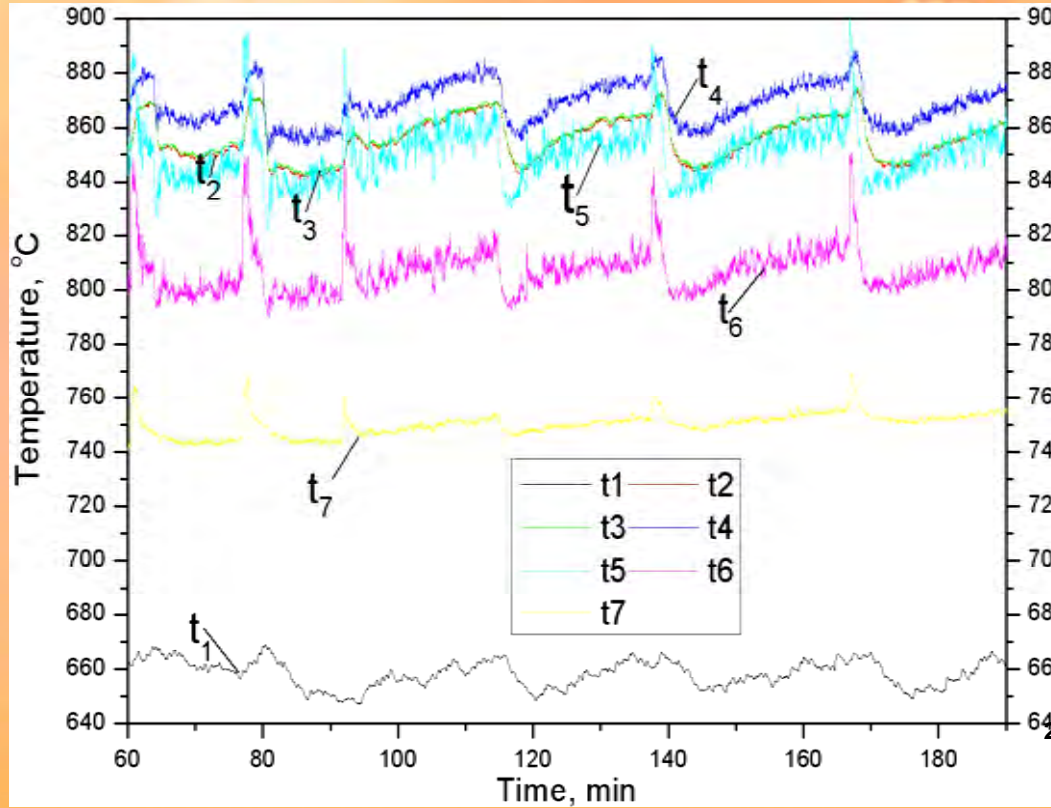
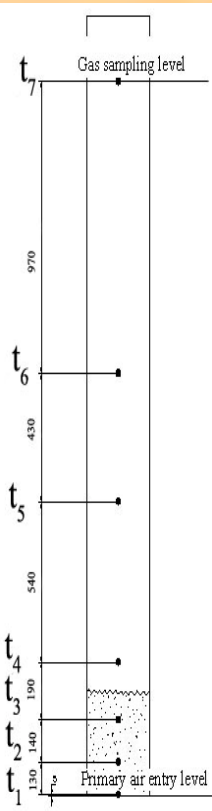
temperatura u sloju 850-860°C

2. REŽIM II :

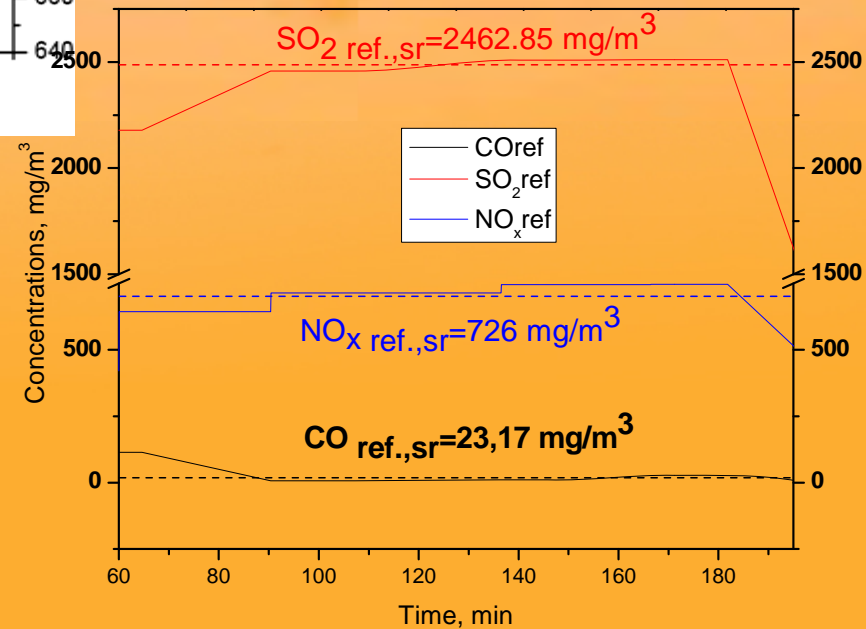
temperatura u sloju 820-830°C

U fluidizovani sloj je pneumatski doziran samleveni uglj Lubnica granulacije $0 < d \leq 2$ mm. Ukupna aktivna visina FS je bila ≈ 400 mm (u nasutom stanju), dok se mesto uvođenja uglja nalazilo na rastojanju od ≈ 150 mm od dna FS, odnosno nivoa na kome se uvodio vazduh za fluidizaciju i sagorevanje.

Rezultati ispitivanja režima I



Koncentracije CO_2 i O_2 (izmerene i srednje vrednosti)



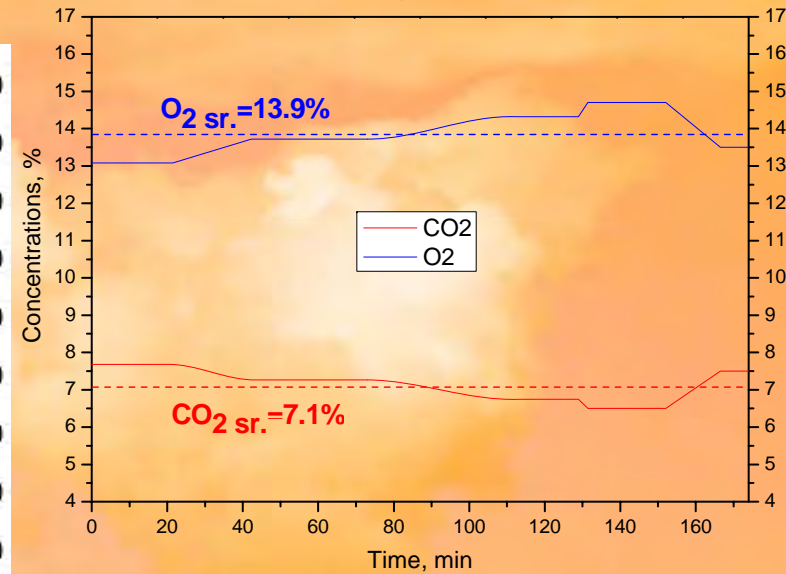
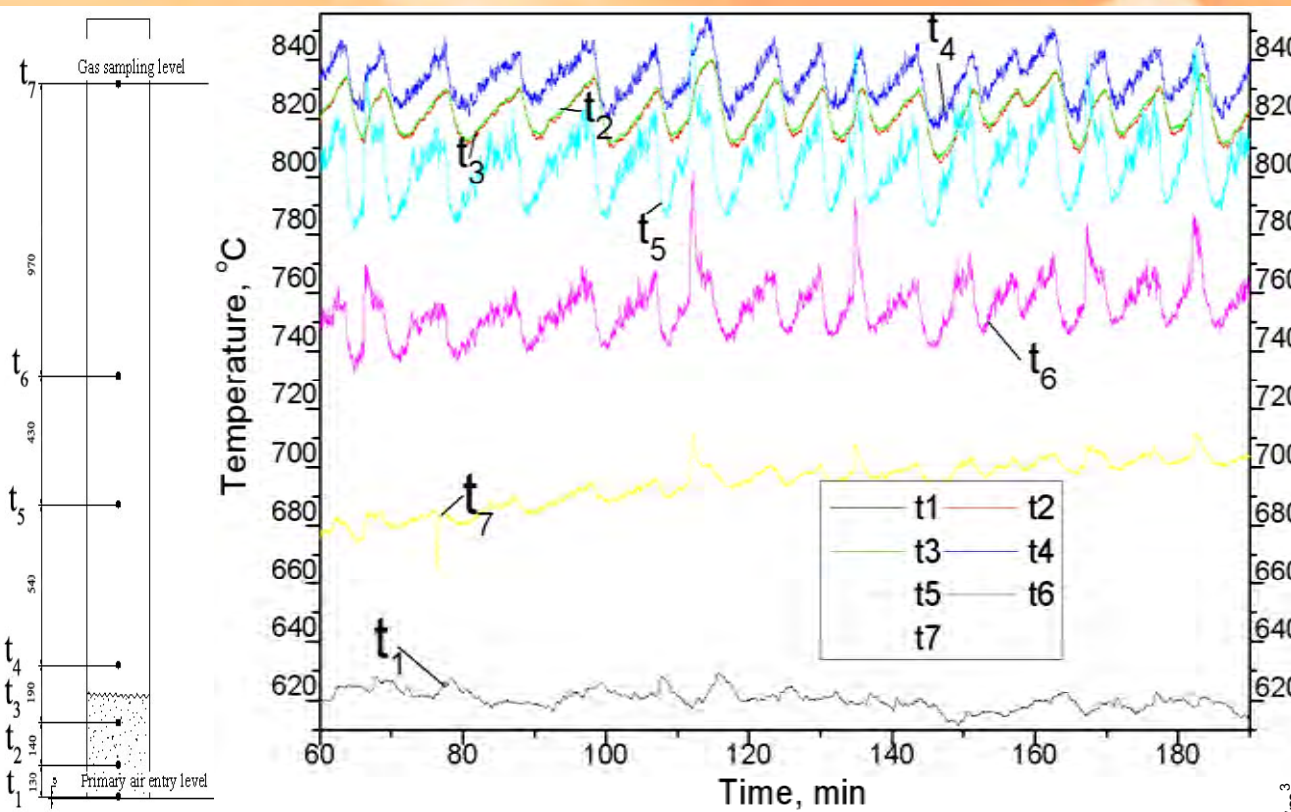
Koncentracije CO , SO_2 i NO pri referentnom sadržaju O_2 ($O_{2ref}=7\%$)

Temperature u ložištu (izmerene vrednosti), položaj termoparova -levo

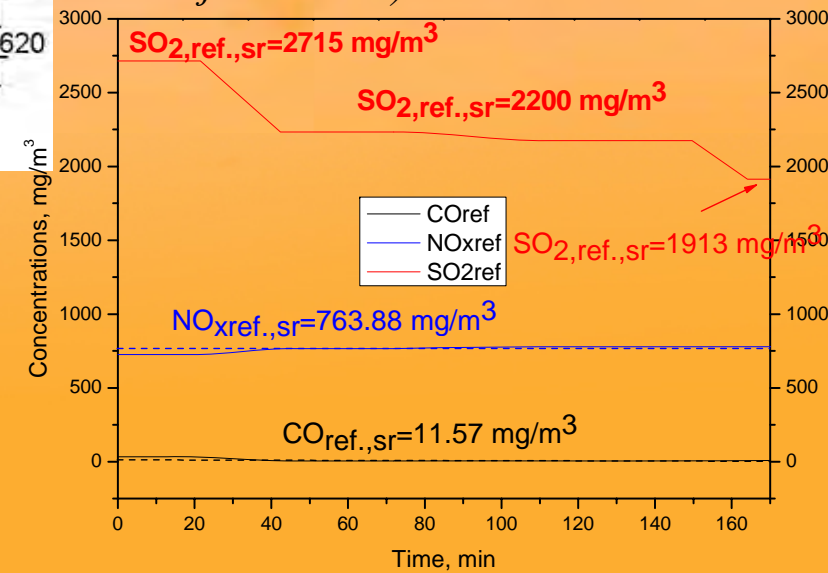
$$t_{2sr}=855.7^{\circ}C, t_{3sr}=856.4^{\circ}C$$

Regulacija temperature u sloju, u oba radna režima je ostvarivana zaustavljanjem doziranja uglja u kratkim intervalima (~ 1 min) čime se objašnjava "testerasti" profili temperatura.

Rezultati ispitivanja režima II



Koncentracije CO₂ i O₂ (izmerene i srednje vrednosti)

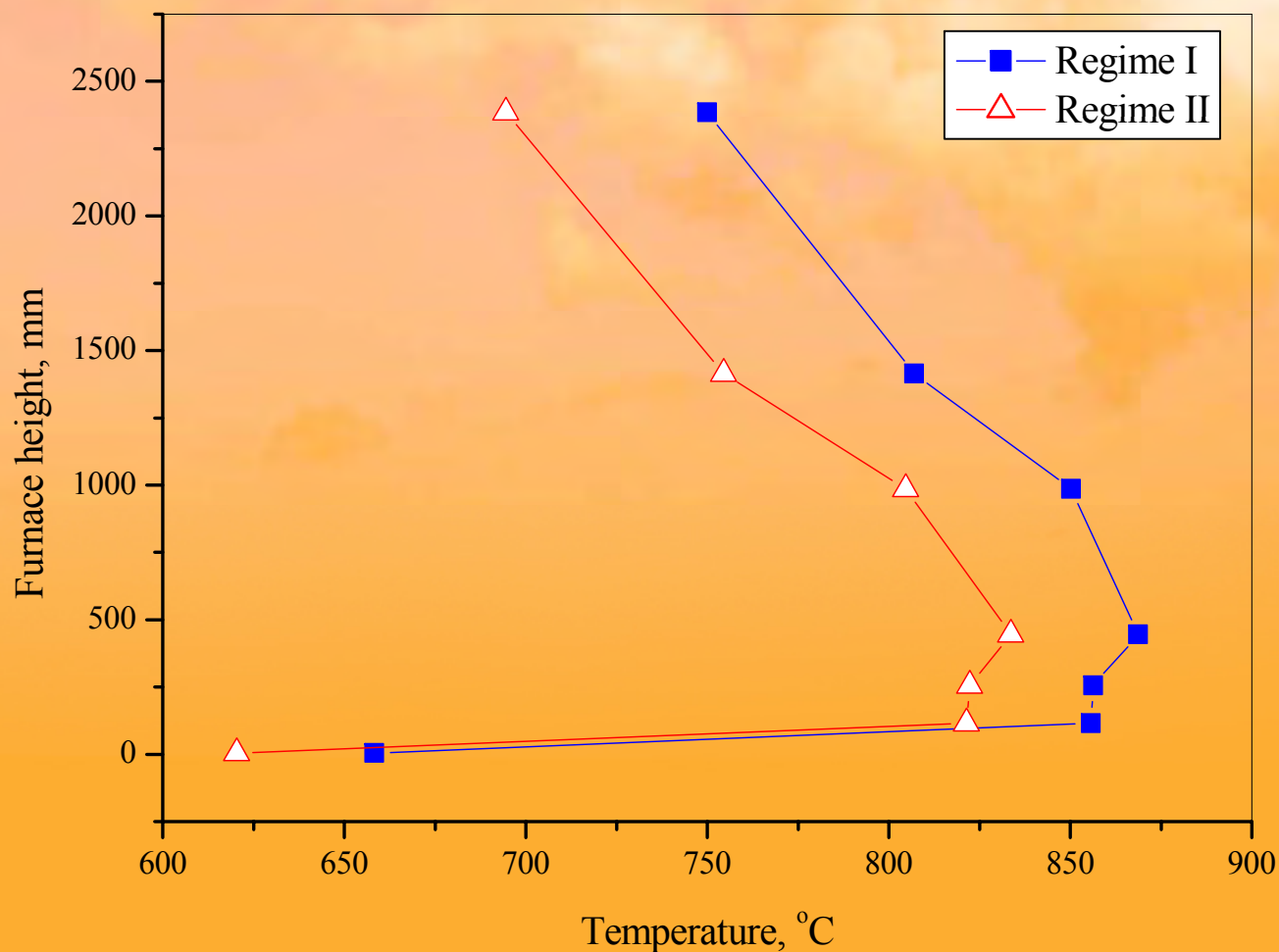


Temperature u ložištu (izmerene vrednosti), položaj termoparova -levo

$t_{2sr}=821.4^\circ\text{C}$, $t_{3sr}=822.3^\circ\text{C}$

Koncentracije CO, SO₂ i NO pri referentnom sadržaju O₂ (O_{2ref}=7%)

Promena srednje temperature po visini ložišta, za oba radna režima



Materijalni bilans rada aparature u oba radna režima

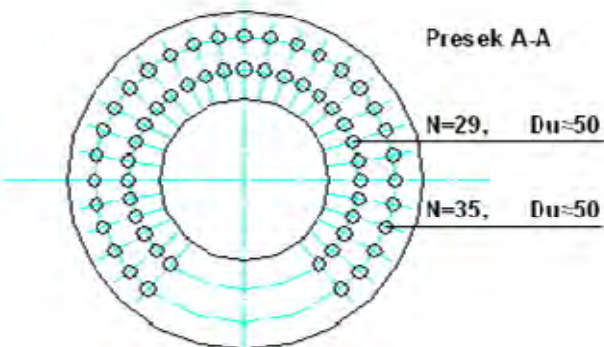
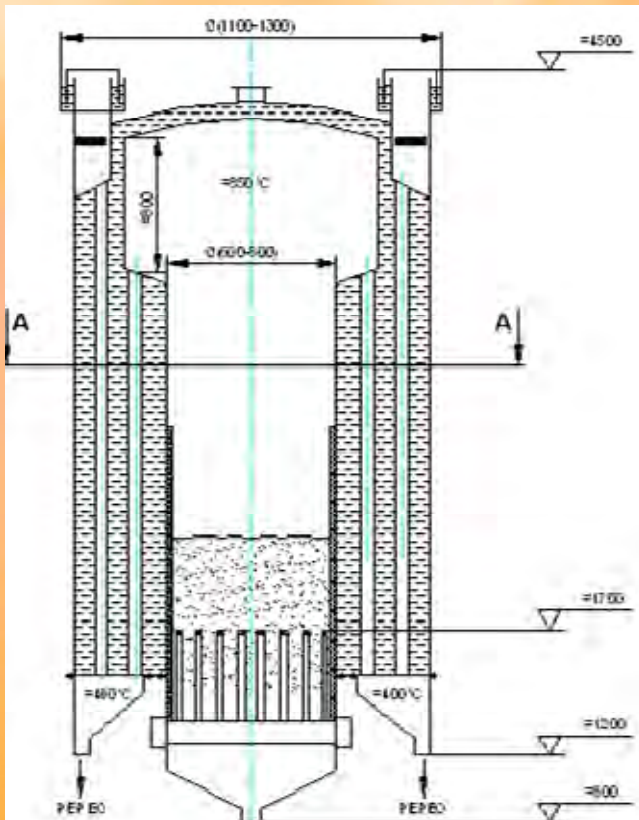
Režim	Protok goriva	m utrošeneog uglja	Prikupljen pepeo				Protok primarnog vazduha	Protok sekundarnog	t_{sred} aktivnog dela sloja
	kg/h	kg	kg				kg/h	kg/h	°C
			Separator 1	Separator 2	Ciklon 1	Ciklon 2			
I	7.77	31.5	2.32	1.05	0.71	0.29	71.53	18.23	856.0
Σ : 4.37 (86% pepela) Izašlo kroz dimnjak: 0.65 (14% pepela)									
II	8.00	29.74	1.9	1.95	0.5	0.45	67.44	18.23	821.8
Σ : 4.8 (83% pepela) Izašlo kroz dimnjak: 0.74 (17% pepela)									

Treba naglasiti da je, u oba radna režima, masa materijala iz ložišta pre i posle eksperimenta bila praktično nepromenjena, što ukazuje na to da nije dolazilo do zadržavanja pepela u materijalu sloja. Na osnovu izmerenih masa pepela prikupljenog u separatorima i otprašivačima, kao i na osnovu tehničke analize goriva izračunat je i udeo čestica letećeg pepela koji je kroz dimnjak ispušten u atmosferu. Ispitivanja uzoraka letećeg pepela iz oba režima, prikupljenih u separatorima i ciklonskim otprašivačima, pokazala su da je u uzorcima bilo vrlo malo sagorljivog (< 3%), tj. da je najveći deo čestica skoro potpuno sagoreo u samom ložištu.

Rezultati ispitivanja letećeg pepela

			Separator 1	Separator 2	Ciklon 1	Ciklon 2
Režim I	Pepeo	%	98.69	97.22	98.08	96.92
	Sagorljivo		1.31	2.78	1.92	3.08
	Srednji maseni prečnik čestice	μm	157.99	91.66	44.52	42.78
Režim II	Pepeo	%	98.77	96.98	97.87	96.96
	Sagorljivo		1.23	3.02	2.13	3.04
	Srednji maseni prečnik čestice	μm	159.17	93.88	38.91	38.59

IZRADA INDUSTRIJSKOG DEMONSTRACIONOG KOTLA



Montaža pećurki za fluidizaciju na distributor vazduha za fluidizaciju



Radi dobijanja pouzdanijih projektnih parametara realnih postrojenja u toku je izgradnja industrijskog demo-kotla sa FS na kome će se ubuduće ispitivati parametri sagorevanja različitih goriva u FS, sa akcentom na niskovredna goriva i otpadne materije koje je teško ili ih je nemoguće sagoreti u konvencionalnim kotlovima. Maksimalna snaga kotla treba da bude 300 kW, da bude voduogrejni i da radi u režimu 90/65 0C.

Zaključak

- Ostvareno **potpuno i stabilno sagorevanje** stacionarnim režimima u FS. U gasovitim produktima sagorevanja koncentracija CO bila je znatno niža od zakonom propisane maksimalno dozvolje koncentracije ($\text{CO} \ll 250 \text{mg/m}^3$). To ujedno znači i da su gubici usled nedogorelog u gasovitim produktima sagorevanja zanemarljivi. Količina nesagorelog u letećem pepelu je takođe zanemarljiva
- **Zona intenzivnog sagorevanja je locirana unutar FS** uz intenzivan prenos toplote i mase.
- **Komentar kvaliteta sagorevanja sa stanovišta zadovoljenja propisa o zaštiti životne sredine je nešto nepovoljniji.** Koncentracija SO_2 prevazilazi dozvoljene maksimalne granice. Dodavanjem krečnjaka se mogu, relativno lako, spustiti koncentracija i emisija SO_2 . Koncentracija NO_x u gasovitim produktima je bila viša od očekivane usled velikog viška vazduha prilikom izvođenja eksperimenata zbog načina regulacije doziranja goriva. U realnim uslovima, na realnom kotlu sa cirkulacionim FS, očekuje se manja koncentracija NO_x jedinjenja. No, i pored toga mogu se predvideti načini dodatnog smanjenja koncentracije azotnih jedinjenja u gasovitim produktima dodavanjem amonijaka ili nekim drugim načinom.
- Generalno gledajući može se konstatovati da je **ispitani ugalj pogodan za sagorevanje u fluidizovanom sloju**, a samim tim i u postrojenjima sa cirkulacionim FS. Potrebno je samo iskoristiti prednosti sagorevanja u FS i jednostavnim tehničkim rešenjima dovesti koncentracije štetnih gasovitih produkata u zakonom dozvoljene granice.
- Imajući u vidu veličinu vanbilansnih rezervi lignita u Srbiji, i veliki procenat nekomercijalnih ugljeva iz rudnika sa podzemnom eksploatacijom (oko 60% sitnih frakcija) **moguće je graditi savremene, efikasne i ekološki prihvatljive kotlove sa sagorevanjem u fluidizovanom sloju za proizvodnju energije (toplotne i električne) u industriji i u sistemima daljinskog grejanja** sagorevajući ugljeve koji se u kotlovima drugih tipova ne mogu sagorevati, ili se ne može ostvariti potrebna efikasnost sagorevanja i zadovoljiti obavezne ekološke norme .

HVALA NA PAŽNJI!