

*Милица Младеновић, Драгољуб Дакић, Сиван Немода,
Срђан Белошевић, Раско Младеновић,
Александар Ерић, Бранислав Рејић*

Институт за нуклеарне науке „Винча”, Београд, Србија

Испитивање сагоревања истрошених уља и масти на полуиндустријској апаратури са флуидизованим слојем

Оригинални научни рад

UDC: 662.753-912

BIBLID: 0350-218X, 34 (2008), 2-3, 147–160

Металуришка индустрија генерише велике количине истрошених уља и масти (из производног процеса топљења и хладне ваљанице), чије одлагање представља проблем са становиштва заштите животне средине. Пошто је постојећа моћ ових материја махом већа или на нивоу постојеће моћи конвенционалних фосилних горива, оптимално решење овог проблема са тачке гледишта енергетске ефикасности и екологије је њихово сагоревање и разградња до нешкодљивих облика. Међутим, због неуједначеног састава, великог садржаја баласта, а посебно велике густине и вискозности, ове материје се тешко могу сагоревати у уобичајеним уређајима за сагоревање течних горива, па истројења у којима би сагоревале, морају бити специјално пројектована за ту сврху. Као решење намеће се технологија термичке дезинтеграције у флуидизованом слоју, који омогућава сагоревање материја најразличитијег порекла и веома неуједначеног састава, уз смањење емисије постојећих и велику термичку инерентност истројења.

У раду су приказани резултати анализе узорка истраживаног горива истрошених уља и масти из топљења хладне ваљанице, даје се опис апаратури и експерименталног поступка на полуиндустријској инсталацији са флуидизованим слојем, а постојећи и детаљан приказ добијених резултата, на основу чега је предложена технолошка шема истројења за еколошки прихватљиво уклањање истрошених уља.

Кључне речи: истрошена уља и масти, флуидизовани слој, тешко течено гориво

Увод

У свету се годишње произведе преко 40 тона мазивих уља, од чега се генерише више од 60% отпадних/искоришћених уља/масти [1]. С тога су ове материје, данас, једне од најзаступљенијих отпадних материја у свету. Бројне су алтернативе за решавање проблема складиштења искоришћених мазива као што је регенерација/рециклажа,

њихово коришћење као сировине за производњу водоника (H_2) [2], затим косагоревање са другим горивима и њихово коришћење у енергетске сврхе [3, 4], као и примарна дезинтеграција и уништење сагоревањем у различитим уређајима за сагоревање. Уколико је садржај РСВ¹ и РСТ¹ у њима мањи од 50 ppm, истрошена мазива се могу регенерисати или употребити као гориво, у супротном се морају уништити сагоревањем².

У погонима хладних и топлих ваљаоница за подмазивање се користе емулзије различитих уља и масти претежно животињског порекла, неравномерног састава, али потенцијално знатне топлотне вредности. Одлагање и уклањање ових материја представља проблем са становишта заштите животне средине. С обзиром на релативну физичко-хемијску сличност посматраних течних, али вискозних и густих материја са тешким течним горивима (ТТГ – мазут, тешке фракције нафте, итд.), намеће се као решење њихово сагоревање. При томе је, међутим, приоритет решавање еколошких проблема, а топлотна вредност испитиваних течних материја омогућава додатну потенцијалну предност коришћењем ослобођене топлотне енергије у производном процесу. С друге стране, сагоревање оваквих течних, али вискозних и густих материја неуједначеног састава није лако решити, уз истовремено задовољење еколошких норми. Последњих деценија прошлог века до данас извршена су и успешно изведена бројна истраживања сагоревања широког спектра течних горива у флуидизованом слоју (ФС). Ова истраживања су укључивала сагоревање тешких фракција нафте, попут мазута [5], асфалта и катрана [6, 7], тешких уља [8], емулзија на бази битумена [9], затим тара [10] и пиролитичких уља [11]. У раду [12] дат је преглед сагоревања у ФС свих могућих отпадних материја почевши од комуналног отпада, пољопривредног отпада, контаминираних земљишта, опасних и потенцијално отровних материја, канализационог муља, истрошених уља и масти, нуспроизвода ископавања угља, дрвно-прерађивачке индустрије и сл. У раду [13] посебан осврт је дат термичкој разградњи канализационог муља, кога карактерише, слично истрошеним мазивима, неуједначен састав, висок садржај баласта, волатила и штетних материја.

Имајући у виду све речено, од стране истраживачког тима Лабораторије за термотехнику и енергетику Института за нуклеарне науке „Винча“ [14], као оптимално решење је предложена технологија сагоревање истрошених уља у флуидизованом слоју, уз смањену емисију гасовитих загађивача и еколошки начин одлагања пепела. Због отежаног дозирања овог горива (истрошених уља и масти) и ради испитивања понашања процеса са горивима са већим садржајем воде, испитивано гориво је мешано са водом.

Обављена су испитивања сагоревања у дуготрајним стационарним режимима рада три узорка горива [15]:

- узорак горива – истрошеног уља из хладне ваљаонице, без додатка воде,
- мешавина достављеног горива са 40% (масених) воде, и
- мешавина достављеног горива са 50% (масених) воде.

¹ *Polychlorinated biphenyls* $C_{12}H_{10-x}Cl_x$ и *polychlorinated terphenyls* $C_{18}H_{14-x}Cl_x$ (PCBs/PCTs) – спадају у групу синтетичких органских једињења на бази хлора, познатих под називом постојани органски загађивачи (persistent organic pollutants – POPs). Захваљујући својој изванредној хемијској стабилности и отпорности на високим температурама, широко су коришћени (1930–1980) у електрици и у хидрауличким уређајима као компоненте мазива

² Према: European Directive 75/439/EEC on the disposal of waste oil

У раду су приказани резултати анализе узорка испитиваног горива, дат је опис апаратуре и експерименталног поступка, а потом и детаљан приказ експерименталних резултата, на основу чега је предложена технолошка шема постројења за еколошки прихватљиво уклањање истрошених уља.

Карактеризација горива

Резултати техничке анализе горива – истрошених уља и масти из хладне ваљаонице дати су у табл. 1.

Резултати физичко-хемијских испитивања узорака истрошених уља и масти из погона хладне и топле ваљаонице [15] недвосмислено показују да су садржај метала, PCDDs (полихлоровани дибензо-п-диоксини) и PCDFs (полихлоровани дибензофулани), вишеструко мањи од референтних вредности које се односе на опасне материје.

Хемијски састав пепела након сагоревања предметног горива дат је у табл. 2.

Таблица 1. Техничка анализа и топлотна моћ горива

	Са влагом у аналитичком узорку	Без влаге	Без влаге и пепела
Влага [%]	13,21	–	–
Пепео [%]	2,27	2,62	–
Сумпор укупни [%]	0,72	0,83	–
Кокс [%]	2,78	3,20	0,60
С-fix [%]	0,51	0,59	0,60
Испарљиво [%]	84,01	96,80	99,40
Сагорљиво [%]	84,52	97,38	100,00
Топлотна моћ горива			
Горња [kJ/kg]	32.133	37.024	38.018
Доња [kJ/kg]	29.516*	34.389	34.922

* Доња топлотна моћ срачуната на основу елементарног састава мазута, који се узима као гориво најсличније предметном гориву

Таблица 2. Хемијски састав пепела истрошеног уља и масти након сагоревања

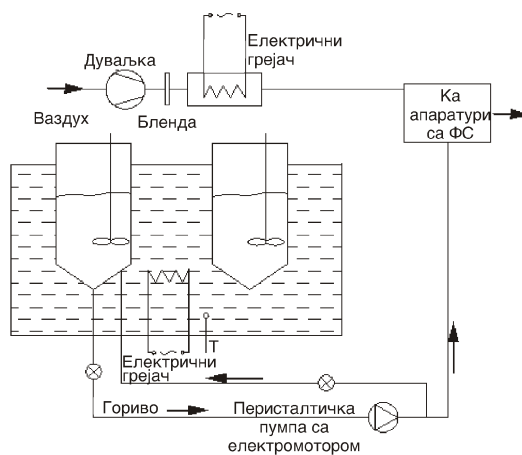
Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Ni	Cr	Cu	Zn	Pb	C	S	Mo	Ti	V	P ₂ O ₅
73,54	3,72	3,18	0,45	0,22	4,68	0,25	0,41	0,23	0,14	1,16	0,32	0,037	1,52	0,37	0,02	0,047	0,02	4,53

Анализа узорака жареног пепела добијеног стехиометријским сагоревањем истрошених уља и масти (сл. 1) указује на то да додавање адитива, приликом сагоревања истрошених емулзија, није потребно, с обзиром на растресит карактер пепела и одсуство трагова топљења. Ови закључци су у складу са резултатима хемијске анализе пепела након сагоревања истрошеног уља у ФС (табл. 2), који указују на висок садржај фериоксида чије дејство на пепео је слично као и адитива, тј. спречава стварање нискотопивих еутектикума.



Слика 1. Жарени узорак пепела добијен сагоревањем горива

потискује загрејано гориво из резервоара ка млазници и апаратури за сагоревање. Гориво, загрејано на 70–90 °C, се у ФС кроз млазницу уводи са стране, косо, дубоко у слој. Млазница за гориво се састоји од две коаксијалне цеви [16]. ТТГ се уводи кроз унутрашњу цев, кроз коју се истовремено уводи и централни ваздух (температуре око 80 °C), који потпомаже транспорт горива кроз млазницу, као и његово распршивање уз истовремено хлађење млазнице. Вод за носећи/централни ваздух се састоји од дуваљке за ваздух и грејача снаге 0,5 kW (сл. 2). Додатно хлађење млазнице постиже се ануларним увођењем ваздуха из околине, кроз другу коаксијалну цев [15].



Слика 2. Шема система за дозирање течног горива

Опис апаратуре

За потребе испитивања подобности сагоревања предметног горива развијена је експериментална апаратура за сагоревање течног горива у ФС, која се састоји од 3 целине:

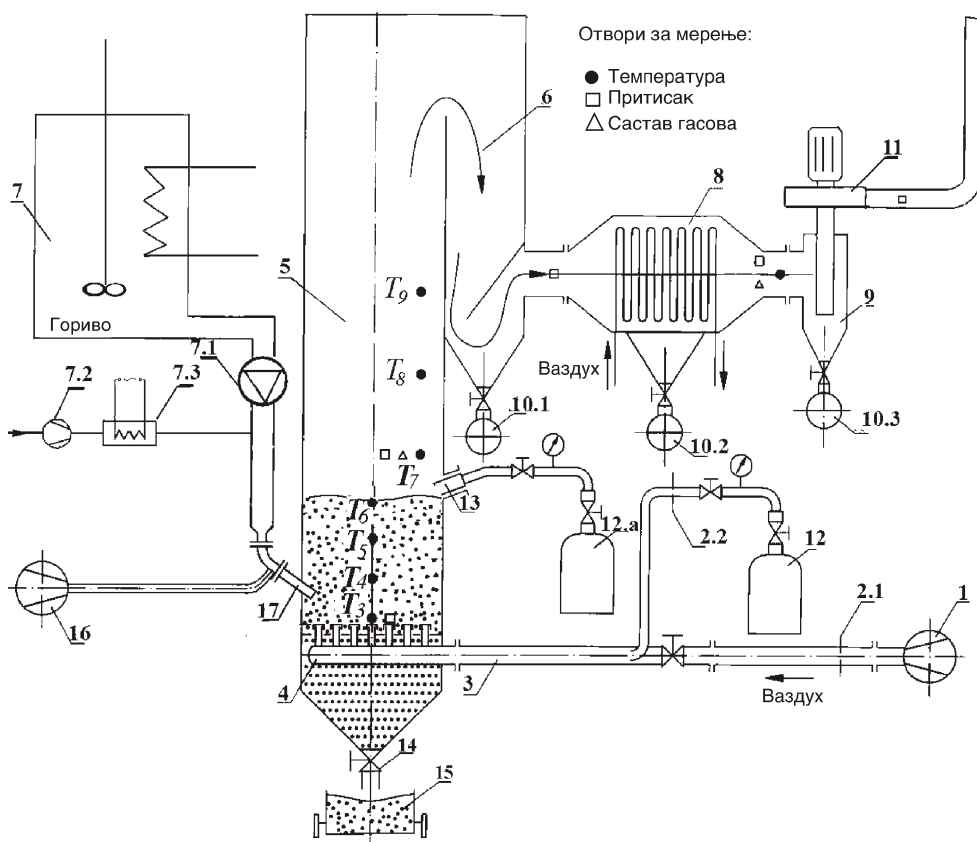
- система за припрему и дозирање течног горива,
- система за сагоревање у ФС, и
- система за анализу гаса и аквизицију температура.

Систем за дозирање чине два резервоара ТТГ (капацитета по 15 л), урођена у води, грејаној електричним грејачем (сл. 2). У њима се меша гориво електричним мешалицама. Перисталтичка дозира пумпа (са континуалним, електронским регулисањем броја обртаја, фреквентним регулатором)

Гориво се у експериментално постројење уводи системом за дозирање горива (7) кроз цев-млазницу (17) у флуидизовани слој (сл. 3). Ваздух се у ФС доводи кроз дистрибутор (4). Димни гасови са честицама догоравају у простору ложишта изнад слоја. Материјал слоја чини кварцни песак средњег пречника 0,8 mm, насипне густине 1585 kg/m³, а висина слоја је 370 mm. Најгрубље честице пепела које се нису задржале у слоју се из струје димних гасова издвајају непосредно након излаза из ложишта (10.1). Димни гасови затим пролазе кроз

ваздушни хладњак (8), испод ког се такође издвајају честице у посуду (10.2). Најфиније честице се уклањају из струје димних гасова у циклону (9). Димни гасови из којих су уклоњене честице се транспортују вентилатором у атмосферу.

Праћење и записивање измереног састава гаса и температуре се обавља помоћу аквизиционог система уз примену софтвера развијеног у Лабораторији за термотехнику и енергетику Института за нуклеарне науке „Винча”.



Слика 3. Шема лабораторијског експерименталног ФС ложишта са дозирањем у слој

(1) – дувалка за примарни ваздух, (2.1, 2.2) – мерне бленде, (3) – електрични грејач, (4) – ваздушна комора са дисјерибутором ваздуха, (5) – ложиште са ФС (I промаја), (6) – механички шаложник честица (II промаја), (7) – систем за дозирање горива, (7.1) – дозирна пумпа, (7.2) – дувалка за носећи ваздух, (7.3) – грејач за носећи ваздух, (8) – хладњак димних гасова, (9) – циклонски оштрашивач, (10.1–10.3) – судови за шалужење честица, (11) – вентил, (12, 12.a) – боце са пропан-бутианом, (13) – жорионик за подјалу, (14) – славина за испуштање материјала из ложишта, (15) – посуда за прикупљање материјала из ложишта, (16) – дувалка за ваздух за хлађење млазнице, (17) – млазница

Испитивање подобности сагоревања предметног горива у флуидизованом слоју

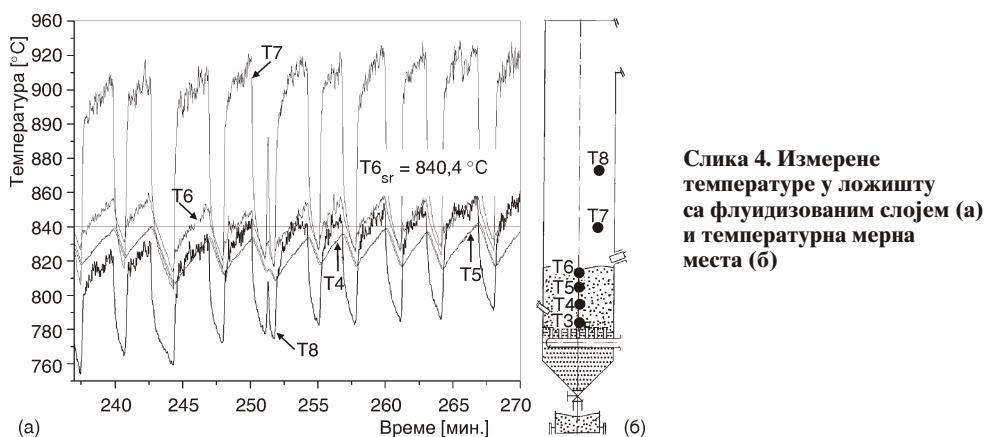
Гориво – истрошена уља и масти из погона хладне ваљаонице сагоревано је у ФС у три стационарна режима и то:

- режим I – доставно гориво, без додатка воде,
- режим II – мешавина горива и воде у односу 60:40%, и
- режим III – мешавина горива и воде у односу 50:50%.

Режим I

Гориво је хомогенизовано константним мешањем електричном мешалицом и загрејано до 70 °C. Коефицијент вишка ваздуха се кретао у интервалу 2–3.

Репрезентативни резултати испитивања представљени су дијаграмима на сликама 4–6.



Вршна места (пикови), односно дисконтинуитети на дијаграмима одговарају тренуцима укључивања односно искључивања дозирне пумпе.

Како се са сл. 4–6 види сагоревање је било стабилно, уз ниску емисију штетних гасова, а зона сагоревања је била смештена у горњем делу ФС (термопарови T4–T6).

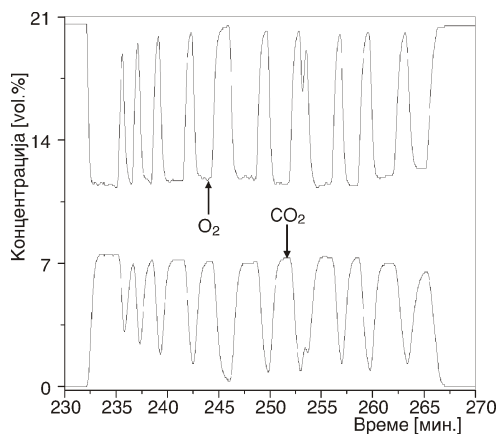
Режим II

Гориво је истрошено уље из хладне ваљаонице помешано са водом у односу 60:40%.

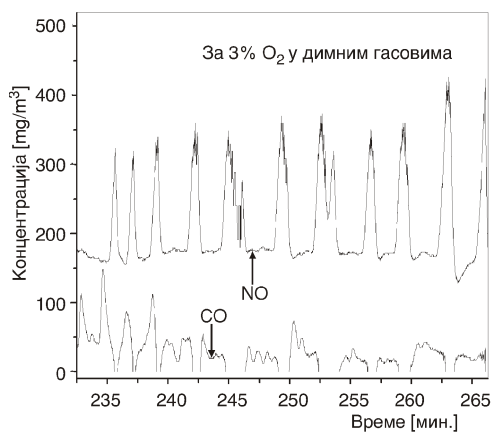
Проток горива: 6,5–7 l/h.

Мешавина уље/вода хомогенизована мешањем електричном мешалицом и загрејана до 70 °C.

Измерени коефицијент вишка ваздуха: 2–3.



Слика 5. Измерене концентрације O_2 и CO_2

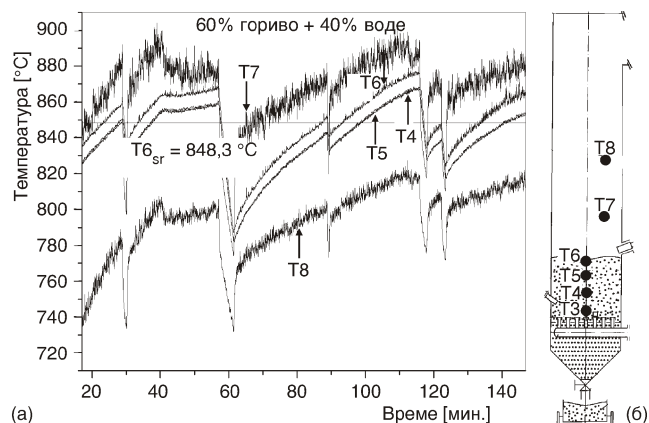


Слика 6. Измерене концентрације CO и NO

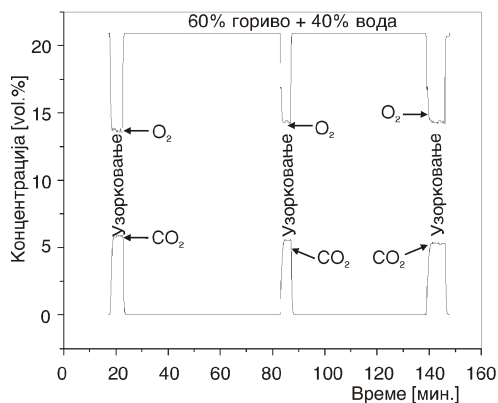
Репрезентативни резултати испитивања представљени су дијаграмима (сл. 7–9).

Дисконтинуитети на дијаграму са сл. 7. настали су у тренуцима превентивног чишћења млазнице.

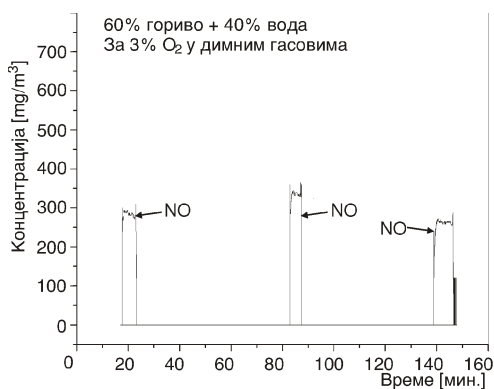
Слика 7. Измерене температуре у ложишту са флуидизованим слојем за режим II (а) и температурна мерна места (б)



Вршна места на дијаграмима датим на сл. 8 и 9 одговарају тренуцима укључивања односно искључивања анализатора гаса. И код овог режима, слично претходном, сагоревање је било стабилно, уз ниску емисију штетних гасова.



Слика 8. Измерене концентрације O₂ и CO₂ за режим II



Слика 9. Измерене вредности концентрација гасова NO за режим II

Режим III

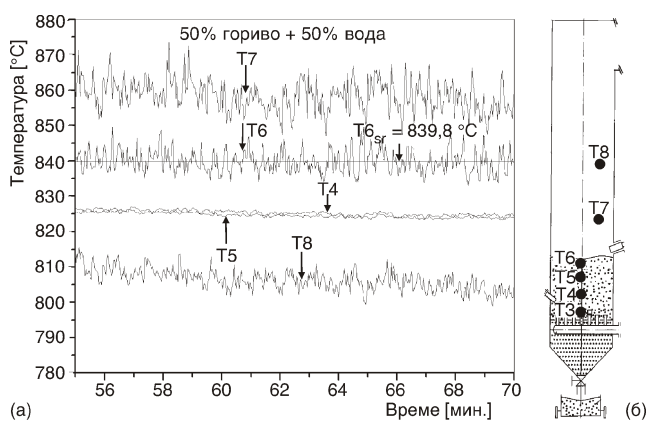
Гориво је истрошено уље из хладне ваљаонице помешано са водом у односу 50:50%.

Проток горива: 6,5–7 l/h.(a)

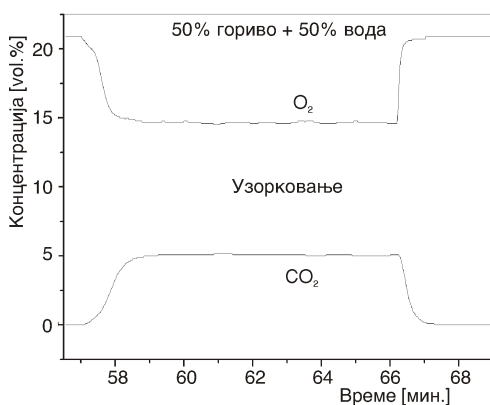
Мешавина уље/вода је хомогенизована мешањем електричном мешалицом и загрејана до 70 °C.

Измерени коефицијент вишка ваздуха 2–3.

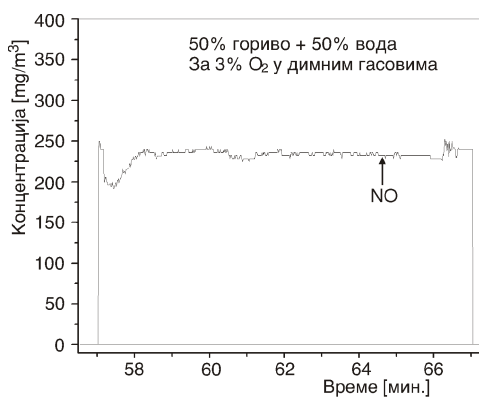
Репрезентативни резултати испитивања представљени су дијаграмима на сл. 10–12.



Слика 10. Измерене концентрације O₂ и CO₂ за режим III (а) и температурна мерна места (б)



Слика 11. Измерене концентрације O₂ и CO₂ за режим III



Слика 12. Измерене вредности концентрације гасова CO, SO₂ и NO за режим III

Укупни параметри сагоревања истрошених уља и масти у експериментима у ложишту са флуидизованим слојем

Средње вредности параметара сагоревања предметног горива, тј. истрошених уља и масти, за сва три режима сагоревања у ложишту са флуидизованим слојем дати су у табл. 3 где је λ – коефицијент вишка ваздуха, L_0 – теоријска количина ваздуха потребна за потпуно сагоревање јединичне масе горива, и t_s – теоријска температура сагоревања, а као топлотна моћ дата је доња топлотна моћ горива.

Вишак ваздуха дат у табл. 3, представља средњу вредност λ , која је висока јер узима у обзир и екстремне вредности λ приликом искључења пумпе (због превентивног чишћења млазнице/регулације протока горива) када се довод горива обуставља

Таблица 3. Параметри сагоревања истрошеног уља у експериментима у ложишту са флуидизованим слојем

Режим	λ	L_0 [m ³ /kg]	t_s [C]	Запремински састав сувих продуката сагоревања		Масени проток горива [kg/h]	Масени проток ваздуха [kg/h]	Масени проток продуката сагоревања [kg/h]	Густина продуката сагоревања [kg/m ³]	Топлотна моћ горива [kJ/kg]
				CO ₂ [%]	O ₂ [%]					
I	3,2	11,82	846	4,66	14,73	4,18	158,21	162,27	0,31	36,220
II	2,82	11,82	857	5,34	13,87	5,26	91,36	96,47	0,30	18,485
III	2,70	11,82	842	5,54	13,54	6,33	82,11	88,27	0,30	14,052

што доводи до наглог раста λ за кратко време. Поновним пуштањем пумпе и доводом горива сагоревање се наставља са много нижим λ што одговара реалној вредности.

У сва три режима остварена је ниска емисија штетних гасова у продуктима сагоревања са вредностима датим у табл. 4 (у односу на референтну вредност кисеоника од 3, 7 и 11%).

Таблица 4. Средњи садржај штетних гасова у продуктима сагоревања истрошеног уља у ложишту са флуидизованим слојем

Референтне вредности O ₂ [%]*	Режим	Измерене вредности [mg/m ³]			Референтне вредности** [mg/m ³]			
		CO	NO	NO (сведено на NO ₂)	CO	NO (сведено на NO ₂)		
3	I	50			250	450		
	II			615				
	III			492				
7	I					250	1000	
	II							
	III			382				
11	I	28	111	227			250	500
	II			341				
	III		133	273				

* Референтна вредност O₂ за ложишта са сагоревањем: (1) – у флуидизованом слоју 7%, (2) – биомасе 11%, и (3) – течних и гасовитих горива 3%

**Правилник о граничним вредностима емисије, начину и роковима мерења и евидентирања података, Министарство заштите животне средине Републике Србије

Садржај CO је у свим случајевима знатно нижи од стандардом дозвољених референтних вредности, а такође и за NO, изузев када се мерене вредности своде на 3%O₂, и то у режиму II и III. Средње вредности концентрација NO у режимима I, II и III одговарају средњим вредностима вишка ваздуха λ . Овде треба имати у виду да је дозирање горива вођено квазиконтинуално, тј. пумпа за гориво је периодично радила, па је у тренуцима њеног стартовања долазило до краткотрајног нагомилавања горива и услова подстехиометријског сагоревања, док у реалним условима, када је доток горива константан и λ мање, и концентрација NO ће бити мања. Планира се да постројење за сагоревање истрошених уља и масти, ради повећања степена ефикасности котла, има рецикулацију димних гасова са врха ложишта, чиме би се, у сваком случају, садржај NO_x снизио.

Испитивање састава инертног материјала флуидизованог слоја

Материјал слоја чини кварцни песак средњег пречника 0,8 mm, насипне густине 1585 kg/m³. Висина слоја је 370 mm. Након сагоревања у три дуготрајна стационарна режима добијен је хемијски састав пепела и песка дат у табл. 5.

**Таблица 5. Састав инертног материјала флуидизованог слоја
после дуготрајног сагоревања у слоју**

Узорак	Fe ₂ O ₃ [%]	SiO ₂ [%]	CaO [%]	MgO [%]	Al ₂ O ₃ [%]	K ₂ O [%]	Na ₂ O [%]	S [%]	TiO ₂ [%]	P ₂ O ₅ [%]
Песак слоја	0,98	94,98	1,12	0,12	0,28	0,19	0,28	0,039	0,10	0,50
Сепаратор I	6,96	81,68	2,38	0,48	2,01	0,77	0,2	0,25	0,21	0,65
Сепаратор II	16,25	41,04	14,34	1,93	9,76	3,13	0,68	3,13	0,42	0,62
Циклон	53,19	12,85	8,67	1,32	4,56	0,76	0,56	2,30	0,34	0,41

Честице сакупљене на местима сепарације чврстих честица, по току димних гасова, садрже све мање SiO₂ односно песка, а повећава се садржај пепела богатог фериоксидама, тако да на крају процеса издвајања честица из димних гасова имамо фин, чист летећи пепео без песка из флуидизованог слоја. Запажа се мали садржај оксида калијума у пепелу, што је погодно са становишта синтеровања материјала слоја (K₂O снижава температуру топљења пепела). Слично важи и за садржај Na₂O.

Предлог технолошког поступка за термичку дезинтеграцију горива

Гориво би се складиштило у резервоару, снабдевом грејачима за разгревање. Гориво би се транспортовало пумпом до млазнице, кроз коју би се уз помоћ загрејаног ваздуха удувало у флуидизовани слој.

Потпала би се вршила гасом (из гасне станице или боце), а за подршку ватри може се непосредно изнад слоја увести лако лож-уље, које се до млазнице кроз коју се уводи, транспортује пумпом. Предвиђена је и могућност увођења лаког лож-уља или гаса у сам слој.

При врху ложишта са флуидизованим слојем налазила би се комора са гасним горионом и размењивачем топлоте димни гас – вода, тзв. секундарна комора за догоревање. Ова комора са гасним горионом служи да се на високим температурама сагоре евентуално преостале штетне материје. Конкретно технолошко решење коморе за догоревање, односно колике су температуре потребне (900–1200 °C) за догоревање-спаљивање материја несагорелих у слоју и изнад њега, као и потребан временски интервал задржавања гаса у зависи од карактеризације горива према европским стандардима³.

Загрејана вода из размењивача може да се користи у неком технолошком процесу или као допуна у постојећем систему потрошача топле воде (која се користи за грејање и друге сврхе).

³ Уредбом европског парламента и Савета 1774/2002 извршена је категоризација животињских отпадних материја. Директива 2000/76/ЕС покрива инсинерацијска и коинсинерацијска постројења

Димни гасови би се транспортовали до отпрашивача тј. филтера, где се из њих уклањају честице. Отпрашивач (филтер, циклон или мултициклон) може бити различите конструкције у зависности од жељеног степена издвајања честица.

Честице пепела из слоја, као и честице прикупљене у отпрашивачу, улазе на ново у технолошки процес производње челика због високог садржаја Fe_2O_3 у пепелу.

Предложено технолошко решење не само да решава проблем одлагања истрошених уља и масти на еколошки прихватљив начин, већ истовремено омогућава њихово искоришћење у енергетске сврхе као горива са израженим енергетским потенцијалом.

Закључак

На основу изведених експеримената сагоревања истрошених уља и масти у дуготрајним стационарним режимима може да се закључи следеће:

- сагоревање истрошених уља и масти у дуготрајним стационарним режимима је могуће,
- остварено је стабилно, континуално дозирање и дуготрајно, стационарно сагоревање,
- остварено је ефикасно сагоревање мешавине овог горива и воде, чак су параметри сагоревања повољнији приликом коришћења мешавине овог горива и воде са становишта емисије CO ,
- зона интензивног сагоревања је лоцирана унутар флуидизованог слоја уз интензиван пренос топлоте и масе,
- остварена је ниска емисија штетних гасова у продуктима сагоревања, за угљен моноксид далеко мања од дозвољене, а за NO мања или близу граничних вредности (табл. 3). Даље смањење садржаја NO у димним гасовима је могуће:
 - смањењем вишка ваздуха (рециркулацијом димних гасова),
 - смањењем максималне температуре димних гасова, и
 - коришћењем ове технологије сагоревања могуће је одлагање пепела на еколошко прихватљив начин и то враћањем пепела у процес производње челика.

Предложено решење је вишеструко корисно јер не само да решава проблем одлагања истрошених уља и масти на еколошко прихватљив начин већ истовремено предлаже њихово искоришћење у енергетске сврхе као гориво са израженим енергетским потенцијалом.

Захвалност

Рад је настао као резултат истраживања на пројекту *Енергетски ефикасно сипаљивање шалога из резервоара сирове нафте на еколошко прихватљив начин*, НПЕЕ 232004, Министарства науке Републике Србије.

Литература

- [1] Fuentes, M. J., Font, R., Gomez-Rico, M. F., Martin-Gullon, I., Pyrolysis and Combustion of Waste Lubricant Oil from Diesel Cars: Decomposition and Pollutants, *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 79 (2007), 1-2, 215-226

- [2] Ramasamy, K. K., Raissi, A. T., Hydrogen Production from Used Lubricant Oils, *Catalysis Today*, 129 (2007), 3-4, 365-371
- [3] Schneider, D. R., Bogdan, Ž., Effect of Heavy Fuel Oil/Natural Gas Co-Combustion on Pollutant Generation Retrofitted Power Plant, *Applied Thermal Engineering*, 27 (2007), 11-12, 1944-1950
- [4] Andre, R. N., Pinto, F., Franco, C., Dias, M., Gulyurtlu, I., Matos, M. A. A., Cabrita, I., Fluidized Bed Co-Gasification of Coal and Olive Oil Industry Wastes, *Fuel*, 84 (2005), 12-13, 1635-1644
- [5] Miccio, F., Okasha, F. M., Fluidized Bed Combustion and Desulfurization of a Heavy Liquid Fuel, *Chemical Engineering Journal*, 105 (2005), 3, 81-89
- [6] Legros, R., Betreton, C. M. H., Lim, C. J., Li, H., Grace, J. R., Anthony, E. J., Combustion Characteristics of Different Fuels in Pilot Scale Circulating Fluidized Bed Combustor, *Proceedings*, 10th International Conference on FBC, San Francisco, Cal., USA, 1989, Vol. 2, 661-666
- [7] Legros, R., Lim, C. J., Betreton, C. M. H., Grace, J. R., Circulating Fluidized Bed Combustion of Pitch Derived from Heavy Oil Upgrading, *Fuel*, 70 (1991), 12, 1465-1471
- [8] Beacham, B., Marshall, A. R., Experiences and Results of Fluidized Bed Combustion Plant at Renfrew, *Journal of Institute of Energy*, June 1979, 59-64
- [9] Miccio, F., Miccio, M., Repetto, L., Traniello, G. A., Dispersion and Combustion of a Bitumen-Based Emulsion in Bubbling Fluidized Bed, *Proceedings*, 15th International Conference on FBC, 1999, paper no. FBC99-0141, Savannah, Geo., USA
- [10] Kerr, K., Robert, S. D., Fluidized Bed Incineration of Acid Tar Wastes, *Applied Energy*, 35 (1990), 3, 189-243
- [11] Deguchi, A., Hoseda, H., Miura, M., Hiramata, T., Nisizaki, H., Fluidized Bed Combustion of the Pyrolysis Oil from Municipal Waste, *Nenryo Kyokai Shi Journal*, 63 (1984), 12, 1066-1070
- [12] Saxena, S. C., Jotchi, C. K., Fluidized Bed Incineration of Waste Materials, *Prog. Energy Combust. Sci.*, 20 (1994), 4, 281-324
- [13] Werther, J., Ogada, T., Sewage Sludge Combustion, *Prog. Energy Combust. Sci.*, 25 (1999), 1, 55-116
- [14] Ока, С., Грубор, Б., Стање развоја котлова са сагоревањем у циркулационом флуидизованом слоју, Интерни извештај ИБК-ИТЕ-645, Београд-Винча, новембар 1987.
- [15] Младеновић, М., Немода, С., Белошевић, С., Дакић, Д., Младеновић, Р., Ерић, А., Парика, М., Репић, Б., Испитивање сагоревања истрошених уља и масти у флуидизованом слоју при дуготрајном стационарном режиму на полуиндустријској апаратури, Институт за нуклеарне науке „Винча”, Београд, 2007.
- [16] Младеновић, М., Немода, С., Белошевић, С., Дакић, Д., Младеновић, Р., Ерић, А., Паприка, М., Репић, Б., Конструкција млазнице за убризгавање тешког нафтног горива (ТНГ) у флуидизован слој, концепција постројења за сагоревање ТНГ-а и реконструкција постојеће експерименталне инсталације са ФС, Институт за нуклеарне науке „Винча”, Београд, 2006.

Abstract

Investigation of Fluidized Bed Combustion of Used Oils and Greases on a Semi-Industrial Facility

by

Milica MLADENVIĆ, Dragoljub DAKIĆ, Stevan NEMODA, Srdjan BELOŠEVIĆ, Rastko MLADENVIĆ, Aleksandar ERIĆ, and Branislav REPIĆ

**Laboratory for Thermal Engineering and Energy,
Vinča Institute of Nuclear Sciences, Belgrade, Serbia**

Metallurgical industries generate a great amount of waste lubricants (from the productive process of cold and warm rolling mills), the deposition of which represents a problem from the environmental point of view. Since the heating value of these matters is substantially higher or on the same level as the heating value of conventional fossil fuels, the optimal solution of this problem, from the energy efficiency and environmental points of view, is their combustion and disintegration to harmless forms. However, non-uniform composition, high contents of impurities (water, mineral matter), and especially high density and viscosity, makes these substances very difficult to be incinerated in common liquid fuel combustion facilities (furnaces, boilers), therefore these facilities must be designed particularly for that purpose. The solution is thermal disintegration of waste lubricants in the fluidized bed, which enables matters of quite different origin and non-uniform composition to be incinerated, with decreasing the emission of pollutants and a high thermal inertia of the facility.

In this paper, the results of the analysis of examined fuel sample are shown and a description of the facility and the experimental procedure is given, followed by a detailed survey of experimental results, based on which a technological scheme of the facility for environmentally friendly removal of used oils has been proposed.

Key words: used lubrication oil, fluidized bed, heavy liquid fuel

Одговорни аутор / Corresponding author (M. Mladenović)
E-mail: mica@vin.bg.ac.yu