

Универзитет у Београду
Машински факултет

Радмило А. Савић

**Могућност примене пелета и
брикета од биомасе за производњу
топлотне енергије у системима
даљинског грејања Београда**

Докторска дисертација

Београд, 2013. године

Комисија за преглед и одбрану:

Ментор: др Мирољуб Аџић, професор
емеритус, Машински факултет
Универзитета у Београду

Чланови Комисије: др Александар Седмак, редовни
професор, Машински факултет
Универзитета у Београду

др Маја Тодоровић, ванредни
професор, Машински факултет
Универзитета у Београду

др Драган Туцаковић, редовни
професор, Машински факултет
Универзитета у Београду

др Марија Живковић, доцент
Рударско-геолошки факултет
Универзитета у Београду

Датум одбране:

Мојим најмилијим – мојој породици

Предговор

Овај рад је настао после истраживања које сам спровео о могућности примене чврсте биомасе дрвног порекла у реалним условима – у даљинском систему грејања Београда као и на основу вишегодишњег праћења рада постојећег система са новим горивом.

Рад представља круну више од две деценије рада у области чврсте биомасе и њене примене за производњу топлотне енергије. У истом периоду, напори да се у пракси покаже и докаже оправданост примене чврсте биомасе дрвног порекла за енергетске потребе су често били праћени неразумевачем и последично великим отпором.

Тиме је значајнија улога свих који су на било који начин помогли да се спроведе истраживање у реалним условима у пракси примене добијени резултати. Зато им овом приликом исказујем захвалност. У првом реду ментору, професору Мирољубу Аџићу, који је протеклих година био непрекидно на располагању за све стручне консултације и дискусије, али и оне друге, животне, које дају додатну енергију у тешким тренуцима. Није могуће поменути професора, а да се не изрази захвалност за вишеструку помоћ и колеги др Александру Миливојевићу.

Да није било разумевања менаџмента ЈКП „Београдске електране“ за нове идеје, вероватно не би било ни овог истраживања, а ни дисертације, барем не са овом темом. Овом приликом им се захваљујем што су веровали у мене и мој рад.

Посебну захвалност дугујем својој породици, која је имала разумевања за вишегодишњи рад и небројене сате које сам провео на испитивањима и припреми овог рада и велику подршку да до краја истрајем.

Београд, мај, 2013.

Радмило А. Савић

САДРЖАЈ

1	УВОД.....	11
2	ОПИС ПРОБЛЕМА.....	16
2.1	Обновљиви извори енергије.....	18
2.2	Примена ОИЕ у земљама ЕУ.....	21
2.3	Системи даљинског грејања у ЕУ.....	22
2.4	Енергетска ситуација у Србији.....	31
2.5	Даљинско грејање у Србији.....	33
3	ЧВРСТА БИОМАСА.....	35
3.1	Потенцијали биомасе у Србији.....	36
3.2	Основни подаци и карактеристике.....	40
3.3	Еколошки аспекти биомасе.....	47
3.4	Облици чврсте биомасе у примени.....	50
3.4.1	Брикети од дрвне биомасе.....	52
3.4.2	Пелети од дрвне биомасе.....	55
3.4.3	Проблеми у производњи и дистрибуцији брикета и пелета.....	57
3.5	Уређаји за сагоревање биомасе.....	62
4	ПРИПРЕМА ЗА ИСПИТИВАЊЕ У СИСТЕМУ ДАЉИНСКОГ ГРЕЈАЊА БЕОГРАДА.....	64
4.1	О Даљинском грејању Београда.....	64
4.2	Разлози за испитивање.....	67
4.3	Избор локација - топлотних извора.....	69
4.4	Опис и ток испитивања.....	74
5	РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА СА АНАЛИЗОМ.....	76
5.1	Врсте мерења, методе и опрема.....	77
5.1.1	Мерења састава продуката сагоревања.....	77
5.1.2	Мерење потрошње горива.....	80
5.1.3	Мерење протока.....	81
5.1.4	Одређивање количине пепела.....	85
5.2	Техничка анализа горива.....	87
5.2.1	Подаци техничке анализе за пелет.....	87
5.2.2	Техничка анализа за угаљ.....	89
5.2.3	Техничка анализа за брикет.....	90
5.3	Испитивања у топлани „Барајево“.....	92
5.3.1	Полазна испитивања са угљем.....	92
5.3.2	Испитивања са пелетом.....	98
5.3.3	Испитивања са мешавином пелета и угља.....	106
5.3.4	Упоредни преглед показатеља сагоревања угља и пелета.....	113
5.4	Испитивања у топлани „Сремчица“.....	121
5.4.1	Испитивања са угљем.....	121
5.4.2	Испитивања са пелетом.....	122
5.5	Испитивања на котларници „Сењак“.....	130
5.5.1	Испитивања са угљем.....	130

5.5.2	Испитивања са пелетом.....	134
5.5.3	Упоредни преглед показатеља сагоревања угља и пелета	139
5.6	Испитивања у котларницама „Богословија“ и „Миријевски булевар“ 142	
5.6.1	Испитивања са угљем.....	142
5.6.2	Испитивања са пелетом.....	145
5.6.3	Испитивања са брикетом	149
5.6.4	Упоредни преглед сагоревања угља и брикета.....	152
5.7	Примена пелета и брикета у периоду 2008-2012	154
5.8	Анализа резултата.....	159
5.8.1	Емисије CO, NO и SO ₂	159
5.8.2	Емисија CO.....	159
5.8.3	Емисија NO.....	163
5.8.4	Емисије SO ₂	170
6	ЗАКЉУЧАК	171
7	Литература.....	174

Могућност примене пелета и брикета од биомасе за производњу топлотне енергије у системима даљинског грејања Београда

Резиме

Извршена је детаљна анализа могућности примене пелета и брикета од биомасе за производњу топлотне енергије у постојећим котловима система даљинског грејања који су наменски конструисани и развијени за сагоревање угља. На бази те анализе постављена је хипотеза да је у котловима наменски конструисаним за сагоревање угљева могуће успешно сагоревати и дрвне брикете и пелете уз повећан степен корисности и смањену емисију полутаната. На бази пажљиво анализираних концепата и одабира котловских постројења извршена је серија експерименталних истраживања перформанси на више котлова различитих конструкција. Извршена су систематска испитивања која су обухватала праћење свих кључних перформанси котлова, укључујући и састав продуката сагоревања. Добијени резултати су детаљно анализирани што је у потпуности потврдило оправданост хипотезе. Такође, постављен је емпиријски модел којим се предвиђа емисију угљен монооксида за котлове са непокретном решетком малих и средњих снага.

Кључне речи: **Топлотна енергија, даљинско грејање, биомаса, пелети/брикети, сагоревање, екологија**

Научна област: **Машинство.**

Ужа научна област: **Сагоревање.**

UDK: 662.63:697.32(043.3)

Possibilities for Utilization of Wood Briquettes and Pellets for Belgrade District Heating System Heat Production

Abstract

A detailed analysis on possibilities for heat production in coal fuelled boilers for district heating systems making use of wood briquettes and pellets was performed. Based on this analysis a hypothesis was proposed that these boilers could be fuelled with wood briquettes and pellets resulting in improved efficiency and emissions. A careful analysis of this concept resulted in selection of different types of boilers and testing methodology. Detailed systematic experimental research was performed which covered key boiler performance and flue gases pollutants measurements. The obtained results were analyzed which confirmed the hypothesis of improved efficiency and emissions. An empirical model of CO emissions for low and medium thermal power boilers with fixed grates was developed, as well.

Key words: Heat energy, District Heating, biomass, pellets/briquettes, combustion, ecology.

Scientific area: Mechanical Engineering.

Scientific sub-area: Combustion.

UDK: 662.63:697.32(043.3)

Номенклатура

ОИЕ	-	Обновљиви извори енергије
ЈКП	-	Јавно комунално предузеће
СНР	-	Комбиновано постројење за производњу топлотне и електричне енергије
ЕУ	-	Европска унија
FAO	-	Организација УН за исхрану и пољопривреду
ВК	-	Вреловодни катао
ТО	-	Топлана
КО	-	Котларница
тое	-	тона еквивалентног горива
Mtoe	-	милиона тона еквивалентног горива
Mtoe/год	-	милиона тона еквивалентног горива годишње
с€/kWh	-	еуроценти по киловат сату
CO	-	угљенмоноксид
NO	-	азотмоноксид
NO ₂	-	азотдиоксид
SO ₂	-	сумпордиоксид
O ₂	-	кисеоник
CO ₂	-	угљендиоксид
kWh	-	киловат сат
kg	-	килограм
g	-	грам
mg	-	милиграм
m ³	-	запремина
kg/m ³	-	густина
km ²	-	километар квадратни
kJ	-	килоџула
MJ	-	мегаџула
TJ	-	тераџула
MW	-	мегават

GJ	-	гигаџула
MJ/kg	-	Горња топлотна моћ (чврста горива)
MJ/m ³	-	Горња топлотна моћ (чврста горива)
ha	-	хектар
mm	-	милиметар
m	-	метар
m ²	-	метар квадратни
s	-	секунда
°C	-	степен Целзијуса
IC	-	инфрацрвено
ком.	-	комада
% Vol	-	запремински проценти
ppm	-	процентата милионитих делова запремине
m.o	-	мерни опсег
M.M.	-	мерно место
m ³ /h	-	проток
% mass	-	масени проценат
λ	-	коефицијент вишка ваздуха (λ)
tvk	-	температура воде у котлу
tdg	-	температура димних гасова
η_k	-	степен корисности котла

1 УВОД

На Земљи тренутно живи преко седам милијарди људи. Према неким проценама, то је више од укупног броја свих припадника наше популације који су од праисторије ходали планетом. Данашње доба се може назвати и веком технике. Да ли се може замислити и један дан без рачунара, аутомобила, мобилног телефона, грејаног или хлађеног простора? Мало ко је свестан чињенице да је у позадини свега наведеног “њено височанство” - енергија: електрична, топлотна, гориво за возила... Као да немамо времена за то, а требало би. Јер оно што је природа стварала током десетина хиљада година, немилице расипамо само у последњих стотинак година: фосилна горива – нафта, угаљ, природни гас – ресурси који су ограничени, којих је све мање и последично њихове цене су у сталном порасту.

Како је почело? Коришћење енергетских извора почиње у праисторијском добу, са проналаском ватре што је представљало револуционарни догађај у историји људског рода. Праисторијски човек је користио дрво за стварање ватре у пећинама, стално је одржавао, користио за припрему хране, осветљавање и загревање. Ватра, или да се технички изразимо, сагоревање је кроз векове добило готово неограничене размере. Зато се проналазак ватре означава као почетак свесне производње топлоте и првим кораком у промишљенијем коришћењу енергије. Временом је следило коришћење угља, нафте и природног гаса. Да ли је дошло време да се вратимо „дрвету и сунцу“?

Данас, више од цене и несташница фосилних горива требала би да нас забрине последица дугогодишњег нерационалног понашања, коју смо почели да плаћамо (и вероватно ћемо је тек плаћати), а огледа се у загађењу наше животне средине, и локално и глобално посматрано. Климатске промене и озонске рупе као последица загађења атмосфере, су очигледан пример. Глобално загревање планете је последица сагоревања фосилних горива. Под глобалним загревањем се подразумева повећање просечне температуре земљине атмосфере и воде у морима и океанима, а које се у већој мери уочава протеклих 50 година.

Међутим, о узроцима и крајњим последицама глобалног загревања још увек не постоји научни консензус. Најзаступљенија је теорија према којој је глобално загревање последица емисије угљен-диоксида и метана углавном из индустријских постројења у развијеним земљама, као и сагоревања горива за потребе транспорта. Према тој теорији повећана концентрација поменутих гасова доводи до такозваног ефекта стаклене баште у атмосфери. Под притиском активиста за заштиту околине, многе су владе прихватиле ту теорију и потписале Протокол из Кјота, чији је циљ смањивање емисије штетних гасова.

Много активности у развијеним земљама се спроводи и изузетно велика средства улажу у проналажење алтернативних, обновљивих извора енергије, која у мањој мери или уопште не загађују животну средину.

У пракси, више активности треба спроводити паралелно. На првом месту, спречити расипање финалне енергије на месту потрошње, повећати ефикасност система за производњу и дистрибуцију енергије и повећавати удео примарне енергије из обновљивих извора. Није случајно на првом месту потрошач код кога се мора, путем едукације, развити свест о рационалном понашању према енергији. Остало је већ у домену технике и научних достигнућа.

Управо ово су препознали у оквиру ЕУ, где је, Европски Савет у јуну 2010. усвојио стратегију под називом „Европа 2020“ [1.], који има пет главних циљева. Своје место између четири економско-социјалне тематике нашла је и енергетика, што указује на значај ове проблематике. Стратегија предвиђа да се остварити тзв. климатско-енергетски циљ „20/20/20“ – 20% смањења емисије гасова који изазивају ефекат стаклене баште у односу на 1990. годину, (или чак за 30% ако дозволе услови), 20% повећање удела обновљивих извора енергије у финалној потрошњи и за 20% повећање енергетске ефикасности.

Треба имати у виду и Лисабонски споразум из 2000. те године, који је такође дао циљеве за наредну декаду, али које већина земаља ЕУ није постигла. Намеће се питање где је у овим активностима Србија? Да ли можемо да држимо корак са развијеним земљама? Одговор је, на жалост, не. Већ

каснимо више десетина година за њима. Али то не значи да не треба да кренемо, и можемо напредовати крупним корацима, јер нам је доступно искуство других земаља. Уз добру стратегију, велике напоре и учешће свих, а у првом реду државе која треба да препозна свој интерес у овој области, можемо заостатак од три деценије сустићи до те означене 2020.-те уз максимално коришћење домаћих (обновљивих) ресурса.

На подручју данашњег Београда најстарија насеља датирају од 2000. г. пре н.е., из времена неолита, млађег каменог доба, када су људи живели у племенским заједницама. Становало се у земуницама и плетерима — колибама од испреплетаног прућа облепљеног блатом. Као извор топлоте и светлости користило се отворено огњиште са слободним пламеном. Дакле, са првим свесно изграђеним заклонима од хладноће и невремена почиње и њихово загревање. Одвођење дима ван просторије почиње остављањем отвора на крову, али се на проналазак димњака чекало још веома дуго, све до доласка Келта (III в. пре н.е.) и Римљана [2.]. Према римским изворима, са почетка нове ере, на локацији насеобине Сингидуним, прво расте јако утврђење, а затим се развија самоуправни римски град, за који се претпоставља да се простирао до данашњег Железника. У њему су биле подигнуте многе јавне зграде, храмови и купатила, као и велике куће које је требало загрејати, што је обављано помоћу хипокауста – претече данашњег централног грејања. Ложиште се налазило изван зграде и у њему су се ложила дрва. Продукти сагоревања су одвођени кроз међупростор испод пода загреваних просторија или базена. Увођени су и у саме просторије кроз посебне отворе у поду или одвођени у атмосферу. Да би се на критичним површинама спречила кондензација, кроз зидове терми је било случајева пропуштања димних гасова кроз канале, образоване специјалним облицима цигли, тако да се примена хипокауста може сматрати и почетком подног и зидног панелног грејања. Остаци римских терми и хипокауста надени су на месту данашње Француске амбасаде и у парку на Студентском тргу.

Време садашње. Година 2007. Место: Београд. Област: даљинско грејање. Субјекат: Јавно комунално предузеће “Београдске електране”. Примарно гориво: природни гас, мазут, екстра лако уље за ложење и угаљ. Резултат на

енергетској утакмици: фосилна горива – обновљиви извори енергије: 100:0. Да се “електране” налазе у ЕУ, резултат би се брзо промени по следећем моделу: издвоје се постројења која су завршила свој радни век, а при томе користе угаљ или мазут, уколико нема сопствених средстава за инвестиције, подигне се кредит, пројектује и за кратко време изгради потпуно ново постројење специјализовано за сагоревање нпр. чврсте биомасе (које би вероватно уз топлотну енергију производило истовремено и електричну) и тиме поред еколошких оствариле и економске погодности.

Да ли то може да се примени и код нас? Одговор је (опет) не! Нема сопствених средстава за инвестиције, не постоји могућност повољних кредита, нема ни одговарајуће Законске регулативе, а присутан је и отпор било каквој промени.

У оваквој ситуацији, могло је да се покуша само једно: извршити замену горива у постојећим котларницама, без икаквих финансијских средстава – улагања и набавке/уградње нове опреме. Тиме је број могућих топлотних извора за испитивање значајно смањен и сведен само на оне који већ користе чврсто гориво – угаљ.

У периоду јануар-април 2007. године на пет топлотних извора са различитим карактеристика спроведено је испитивање могућности замене угља са чврстом биомасом дрвног порекла у форми пелета и брикета. На основу резултата истраживање, донета је одлука да се са почетком наредне грејне сезоне у девет од укупно 10 топлотних извора обави замена горива. На тај начин остала је у Београду само једна топлана из састава предузећа, која користи угаљ као гориво.

Након тога, протекле четири грејне сезоне без проблема, а са значајним позитивним ефектима, приликом сагоревања утрошено је више од 15.000 тона чврсте биомасе као замене за угаљ.

Практично је доказано да се, и у нашим условима, без инвестиције, може започети са применом чврсте биомасе као основног горива.

Дакле, на основу жеље да се сустигне развијени свет, да се учини нешто по питању загађења, да се примени обновљив извор енергије у производњи

топлотне енергије, настало је и поменуто испитивање, које је прерасло у свакодневну праксу, а чији ће резултати бити приказани на страницама које следе.

2 ОПИС ПРОБЛЕМА

Посматрајући целокупну цивилизацију на почетку 21. века, одмах се примећује заједнички именитељ и темељ свега: енергија! Количина потребне енергије се увећава по два основа – услед повећања броја становника планете и раста специфичне јединичне потребе сваког појединца.

Драстичан пример је Кина где је у периоду од пет године (2000.-2005.) годишња испоручена количина енергије (топле воде и паре) из система даљинског грејања практично удвостручена на 2.110.000 ТЈ [3.] при чему је 40% удео самог грејања.

Практично, потреба за енергијом се креће по зачараној спирали. Узмимо за пример било који технички уређај који се користе у домаћинствима. Исти уређаји, само скромнијег дизајна су коришћени и пре неколико деценија. Телевизор, машине за прање веша, миксери који се још користе, а произведене су пре четрдесетак година, могу се и данас у функционалном стању наћи широм Србије. Исти уређаји, модерног дизајна, купљени пре неколико година су већ на депонијама. Разлог? Једноставан, потрошачко друштво – тенденциозно смањење квалитета производа самих произвођача са циљем да се радни век пројектује тако да издржи период гаранције, а након тога да се поново купи нов, јер поправка често кошта пола цене новог. Неутољива глад за профитом оних који одређују светску економију је превидела једну чињеницу.

Да би се направио нови производ, потребна је енергија. За њега су потребне сировине и полупроизводи, за чију припрему је (опет) потребна енергија. Сировине и полупроизводе треба допремити до фабрика, а затим до продајних места. За то је (опет) потребна енергија. Тако једна сијалица има у себи вероватно материјале са свих континената, и прешла је хиљаде километара да би смо њеним коришћењем троши енергију у истој мери као и сијалица из прошлог века, за чију је производњу требало десет пута мање енергије.

Стручњаци ће се одмах позвати на енергетску ефикасност, да производи сада троше мање енергије. И вероватно су у праву, али тих неколико

процената не може да оправда ону знатно више утрошену у процесима производње. И најзанимљивији део: да би се проблем производа након завршеног радног века решио – опет је потребна енергија. Већина нових „штедљивих“ производа у себи садржи високо токсичне материје, које се морају издвојити и неутралисати (опет енергија), остали делови рециклирати или депоновати (наравно, још енергије). Генерална препорука би могла бити: није довољно само повећавати енергетску ефикасност уређаја, већ треба бољим квалитетом значајно продужити њихов радни век.

За све наведено се пре свега користи електрична енергија добијена из конвенционалних (необновљивих/фосилних) извора. Неконтролисана емисија изазива климатске промене, што значи још енергије да би се очувала угодност у становима и радним просторима, чиме је поменута спирала постала двострука.

Да ли се овакав тренд светске потрошње може променити? Практично би то била немогућа мисија. Мултинационалне компаније се неће тако лако одрећи високих зарада. Да ли се нешто може учинити? Наравно! И ту на сцену, као и увек када су тешки тренуци, на сцену ступају инжењери који морају пронаћи техничка решења да се промене извори енергије, када већ не може у значајнијој мери да се смањи потрошња. И овде се мора ићи у два правца: максимално коришћење обновљивих ресурса у производњи финалне енергије и стварање производа који ће одговарати „моћницима“, али ће омогућити уштеду енергије на месту потрошње, пре свега топлотне енергије и енергије за хлађење (грађевински сектор). Да би се мисија испунила, потребна је и квалитетна законска регулатива и стимулативне мере. Иза треће ставке, по правилу стоје државни органи. Друга позиција је значајна јер развија грађевински сектор кроз производњу и уградњу високо-квалитетних изолационих материјала за објекте, нискоемисионе столарије и друго. Техника је већ дала добра решења, али је проблем висока цена у условима (ко зна које по реду) светске економске кризе.

Зато ћемо се у наредним разматрањима, ограничити се само на први сегмент – изворе енергије. Сегмент који свака земља, у складу са сопственим могућностима и потенцијалима мора да развија.

2.1 Обновљиви извори енергије

Под појмом „обновљиви извори енергије“ (скраћеница ОИЕ или RES - на енглеском „Renewable energy sources” -) се подразумевају ресурси који се могу применити за производњу топлотне или електричне енергије, а који се у природи непрекидно или периодично у целости или барем већим делом обнављају.

Уместо конвенционалних извора енергије, које представљају угаљ, нафта и природни гас, могуће је користи обновљиви ресурсе:

- енергија сунца
- енергија ветра
- геотермална енергија
- енергија биомасе (чврста и течна)
- енергија мора и океана (таласи, плима и осека, унутрашња енергија)
- енергија отпада и депонијског гаса
- енергија малих хидроелектрана

Сунце, извор живота, се може технички посматрати и као хелијумски фузиони реактор који сваке секунде ослобађа и у свемир емитује енормне количине енергије. Део те енергије доспева на нашу планету и изузев дела који се од атмосфере одмах рефлектује, загрева је, омогућава процес кружења воде у природи и „троши“ се на фотосинтезу. Енергију је могуће користити за производњу топлотне енергије (соларни колектори) и електричне (фотонапонски панели). Соларна енергија, обзиром на расположивост је један од перспективнијих обновљивих ресурса.

Еолска енергија (ветар) се хиљадама година користи за добијање механичке енергије. Последњих деценија све је значајнија примена у производњи електричне енергије.

Геотермална енергија представља коришћење топлоте Земљине коре и првенствена је примена у делу топлотне енергије. Географски и локални фактори у многоме утичу на потенцијале и могућу примену. Познати су примери кроз историју да су се директно користили извори топле воде, али

експанзија настаје са развојем топлотних пумпи и бушењем бунара већих дубина и капацитета.

Техничка решења за коришћење енергија из мора и океана већ постоје. Користи се снага таласа за производњу електричне енергије, али је масовнија примена отежана због економских и географских фактора - проблем преноса до потрошача, најпогоднија места су далеко од урбаних зона. Таласи настају деловањем ветра, који је опет последица сунчевих активности. Једносмерна или двосмерна турбинска постројења производе електричну енергију на бази енергије воде при кретању за време плиме и осеке. Производња електричне енергије на бази унутрашње енергије мора је технички познато и огледа се у довођењу топле воде са површине у зону ниског притиска и температуре у дубини, чиме настаје пара која покреће турбине. Услед знатних инвестиционих трошкова не очекује се значајнија примена.

Отпад представља све озбиљан еколошки проблем, обзиром на количине и број насталих депонија. Након издвајања материјала који се може рециклирати, отпад сагорева у спалионицама, у процесу за који је најчешће потребно довести додатну енергију, и као производ добијају се топлотна и електрична енергија. Посебан сегмент је коришћење депонијског гаса, који настаје биолошким процесима разградње у слојевима, који се користи за покретање агрегата за производњу електричне и топлотне енергије.

Мале хидроелектране (снаге до неколико мегавата) енергију речних токова, претварају у електричну енергију. Издвојене су у посебну групу обновљивих извора енергије јер се сматра да, за разлику од великих, не ремете природу – не утичу на екосистеме у свом окружењу. Представљају један од перспективних извора енергије, јер захтевају релативно мале инвестиције и граде се локално, у близини места потрошње, што значајно утиче на трошкове транспорта и губитке.

Из наведеног је јасна мултидисциплинарност и ширина/могућности области обновљивих извора енергије. Аутор овог рада, поступајући у складу са слоганом: „мисли глобално али делуј локално“ се ограничава само на „локално“, односно на изворе који потенцијално могу бити примењени у Србији.

Деценијама ће још Србији своје енергетске потребе, у високом проценту, задовољавати на бази конверзије енергије из угља, природног гаса и нафте. Применом домаћих обновљивих извора енергије нећемо решити све енергетске потребе, али не треба занемарити вишеструке позитивне ефекте њихове примене, првенствено економске, еколошке и социјалне, па чак и када је њихов удео релативно мали.

У Србији се може рачунати, у зависности од региона, на масовније коришћење соларне енергије, енергије ветра, геотермалне енергије и енергије из биомасе. Од наведених извора, у утакмици у којој се бодује потенцијална масовна примена на целој територији, потребан временски период, висина инвестиционих трошкова, екологија и други позитивни ефекти (као што је нпр. дугорочно упошљавање локалне радне снаге, могућност извоза и друго), по свим питањима, далеко испред свих је: биомаса!

Наиме, Србија је земља са обиљем разнородне биомасе у свим регионима, која често, третирана као отпад, прави еколошке проблеме. Примена биомасе у енергетске сврхе је могућа на било ком месту, у домаћинствима и у привреди. За њено прикупљање и евентуално прераду дугорочно је потребна армија радника, што није занемарљиво у условима актуелне високе стопе незапослености. Парадокс је да су потенцијали највећи управо у најмање развијеним зонама, где се за производњу топлотне енергије данас користе угљ и мазут. Инвестиције потребне да би се енергија биомасе претворила у топлотну или електричну су релативно ниске, а потенцијал је у изградњи великог броја малих постројења, што додатно смањује трошкове дистрибуције финалне енергије. У случајевима прераде биомасе у форму пелета и брикета, пласман на инострано тржиште је изванредан.

Нема сумње да је главни фактор убрзаног достизања развијених земаља у енергетској области управо биомаса. Ако би се прагматично изразили, биомаса није ништа друго него ускладиштена енергија Сунца.

Карактеристике биомасе са енергетског становишта, врсте и потенцијали у Србији, поступци припреме и други важни показатељи су изложени у поглављу 2. овог рада.

2.2 Примена ОИЕ у земљама ЕУ

У последње три деценије, када поменете енергију у оквиру развијених земаља ЕУ, скоро увек ћете чути и реч: криза. без обзира да ли се она односи на несташицу појединих енергената, на њихову високу цену, или на загађење које настаје њиховим сагоревањем. Термин криза је толико у употреби да се намеће питање шта заправо изворно значи. Портал „Википедија“ (у верзији на енглеском) нуди одговор: реч криза потиче од грчке речи „κρίσις – krisis“ и означава нестабилну и опасну ситуацију групе људи, заједнице или целог друштва која захтева одлуке. Ако се оде корак даље и потражи дефиниција кинеског термина истог значења, добија се реч двоструког значења: „опасност“ и „прилика“.

Несумњиво је да су стари народи кризу видели као могућност и прилику за нешто ново. Ако то посматрамо у оквиру енергетике са временском одредницом: прва нафтна криза (1973. године), долазимо до одговора на питање када је дошло до стварања интересовања за обновљиве изворе енергије. У јесен те давне године, цене нафте су за неколико дана повећане за 70%, што је у развијеним земљама створило шок и панику.

Илустрације ради, цена барела нафте на светском тржишту 1973. године је износила око 3\$. Седам година касније, цена је достигла 38\$/барел, да би последњих година била константно преко 100\$/барел, са трендом незаустављивог раста, уз незнатне осцилације.

Цела Европа је до прве кризе у потпуности била енергетски зависна од нафте, угља и природног гаса. „Стара дама“ – Европа је реаговала одмах, искористила прилику, те данас имамо читав низ земаља (на пример Скандинавија) које су у великој мери енергетски независне и које максимално користе домаће обновљиве ресурсе. Шта више, на бази обновљивих извора енергије и повећања енергетске ефикасности, поједине земље су изградиле своје, данас изузетно јаке, економије.

Дакле, пре 40 година покренути су механизми који на велика врата уводе у свакодневни живот примену обновљивих извора енергије. Овај процес је у сталном порасту, развијају се нове технике и усавршавају постојеће до те мере

да су обновљиви извори енергије прерасли у посебну индустријску грану. Цео процес је омогућен захваљујући (одговорним) државама које су пронашле и сопствени интерес, донеле планове, усвојиле законе и другу регулативу која је уредила или, боље рећи, усмерила у жељеном правцу и потрошаче и произвођаче енергије.

Значајан, ако не и највећи део енергетске слагалице развијених земаља је сигурно биомаса.

Имајући у виду ограничен простор уводног разматрања, као и обиље податка о примени ОИЕ у ЕУ, ограничићемо се на разматрања само система даљинског грејања, што је са друге стране и основна тема овог рада.

2.3 Системи даљинског грејања у ЕУ

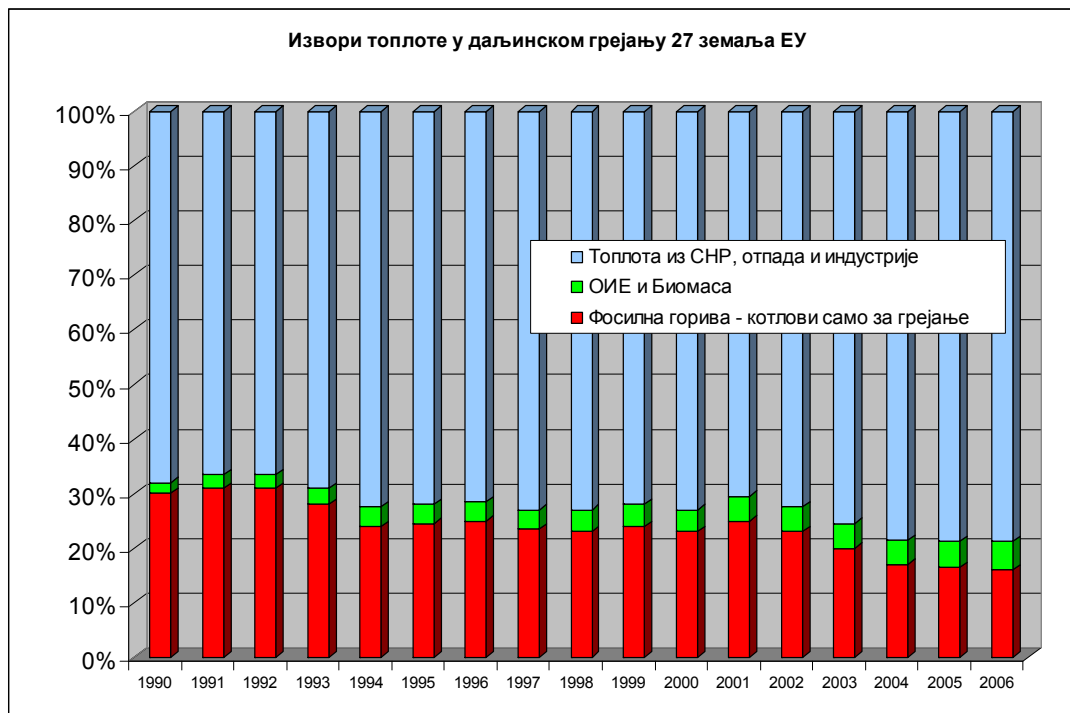
У оквиру ЕУ, укључујући и земље кандидате, испоруку топлотне енергије обавља више од 5.000 предузећа. Дужи низ година се, практично код свих система уочава тренд повећања броја нових прикључених објеката и/или повећање грејане површине постојећих објеката. Такође расте и интересовање за даљинско хлађење у већини земаља.

Велико интересовање за прикључење је последица вишеструких доказаних предности даљинског грејања, али сигурно је имало утицаја и спровођење регулатива ЕУ за овај сектор. Удео обновљивих извора енергије је такође у сталном порасту, као и коришћење енергије из индустријских постројења, која би у противном била „бачена“. Ако се томе придода и значајан удео нових когенерацијских постројења, јасно је зашто удео угља и нафтних деривата у овом сектору константно опада. Ови трендови, за период од 1990. до 2006. године су проказани на слици 1. [4.]. При оваквој расподели треба напоменути редослед коришћења извора топлоте, који не води рачуна о врсти основног горива: за базну потрошњу се користе когенерацијска постројења у индустрији и спалионице смећа (летњи месеци). У случају да су потребе повећане, што је случај од септембра до јуна месеца, топлота се преузима и из осталих индустријских, као и из сопствених когенерацијских

постројења, и тек у случају појаве „пикова“ користе се и котлови који производе само топлотну енергију. Две трећине енергије испоручене од топлотних пумпи су такође сматра рециклираном топлоте. Треба напоменути да су приказане вредности просечне за ЕУ, али да појединачно, у зависности од посматране земље, значајно варирају.

Структура коришћеног горива у стварању топлотне енергије у системима даљинског грејања по земљама је приказана у табели 1. и на слици 2. Учешће биомасе је приказано зеленим пољима. Уочава се Србија се нашла друштву земаља која је користе, иако у најмањем проценту (0,2%) управо захваљујући истраживању које је у овом раду приказано и, последично, коришћењем биомасе у погонима ЈКП „Београдске електране“.

Сектору даљинског грејања у оквиру развијених земаља се предвиђа даљи развој. Поред економских разлога и комфора који пружају ови систему, главни покретач ће сигурно бити законска регулатива која предвиђа повећање удела обновљивих извора енергије и обавезу смањења емисије CO₂. У складу са тим, владе многих земаља су у процесу доношења регулативе за предметну област, или су је већ завршиле и започеле са применом. Дobar пример како национално законодавство може да подржи развој даљинског грејања је немачки „Закон о обновљивим изворима енергије у сектору грејања“ (EEVarmeG), који је ступио на снагу 1. јануара 2009. Овај законодавни акт је дефинисао минимални ниво обновљивих извора енергије који треба да се користи за енергетске потребе грајања нових зграда. Једна од могућности је прикључење на даљински систем грејања под условом да тај систем половину топлотне енергије производи из обновљивих извора енергије и/или комбинованих постројења.



Слика 1. Структура извора топлотне енергије у оквиру 27 земаља ЕУ

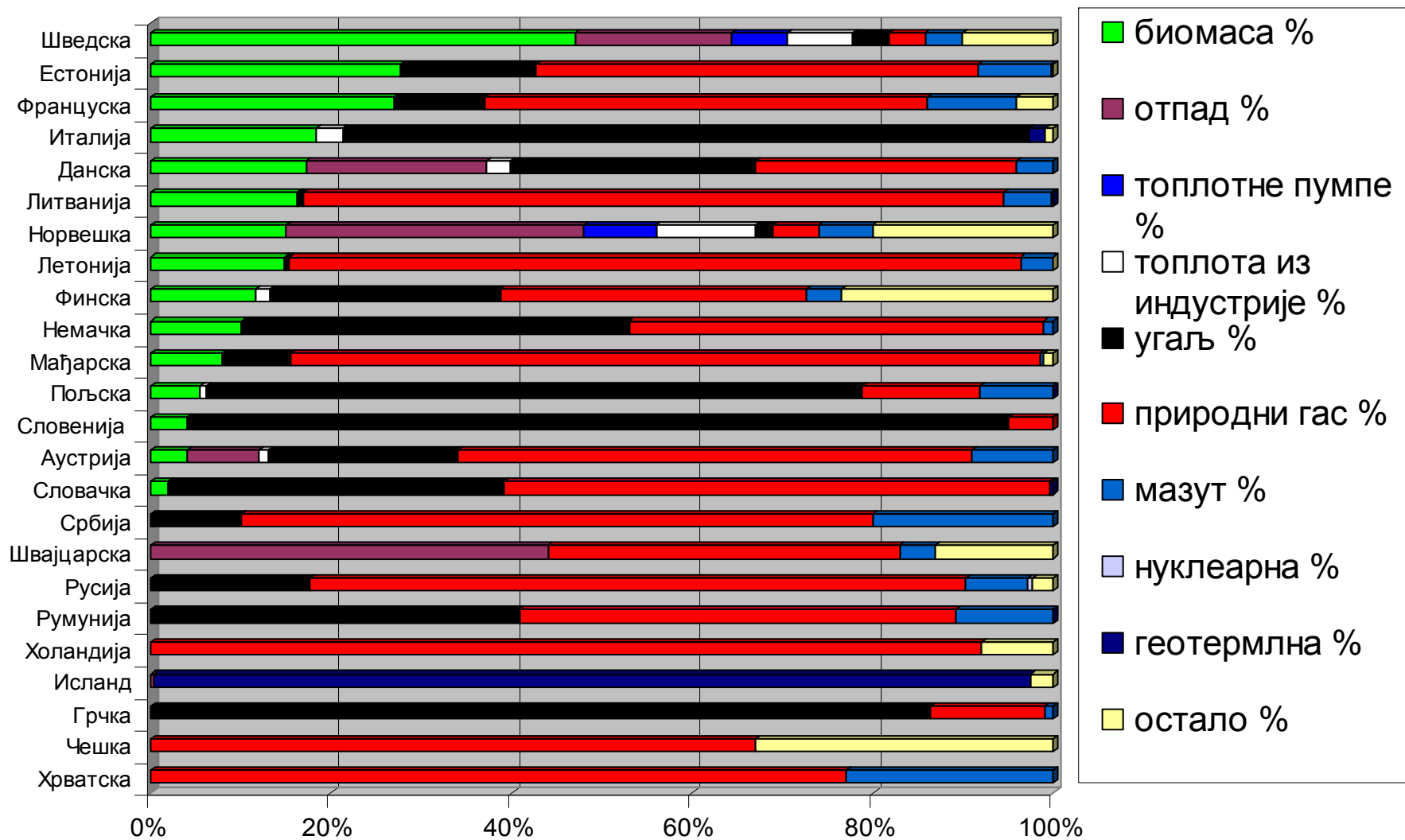
И поред низа предности, постоје и одређене препреке, као што су високи инвестициони трошкови, нарочито у делу дистрибутивне мреже кроз високо урбанизоване зоне. Обзиром да је тржиште енергије у оквиру ЕУ у знатној мери либерализовано, нешто дужи период повраћаја средстава у овој области није превише атрактиван за приватне инвеститоре, нарочито у земљама где се цене топлотне енергије регулисане. Има случајева да су цене и испод оправданих економских трошкова производње и дистрибуције. У процесу регулисања цена и тржишта, треба водити рачуна да се постигне равноправан положај свих енергетских субјеката (на пример расподела трошкова за емисију и трговина CO_2 могу фаворизовати мања постројења у односу на велике системе, што је супротно полазним идејама.

Посебно охрабрује чињеница да нова „Директива о промоцији коришћења енергије из обновљивих извора“ се по први пут односи и на даљинско грејање, а не само на електричну енергију. На основу ове Директиве, државе чланице ће морати да развију националне планове и донесу стратегије за повећање удела обновљивих извора енергије.

Ово већ доноси значајне промене у националним прописима, као део „климатског пакета“ усвојеног од стране Европског Парламента и држава чланица у децембру 2008. године. Сврха регулативе је да обезбеди инструменте политике за постизање циљева договорених у марту 2007. од стране Европског савета: постизање 20% смањења емисија CO₂, достизање удела од најмање 20% обновљивих извора енергије и 20% повећања енергетске ефикасности.

Табела 1. Структура коришћеног горива у стварању топлотне енергије у системима даљинског грејања по земљама

	биомаса	отпад	топлотне пумпе	топлота из индустрије	угаљ	природни гас	мазут	нуклеарна	Гео-термална	остало
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Шведска	47	17,4	6,2	7,2	4,1	3,9	4,1			10,1
Естонија	27,7				15	49	8,1			0,2
Француска	27				10	49	10			4
Италија	18,35		0,02	2,89	76,14				1,7	0,9
Данска	17,2	20		2,7	27,1	29	4			
Литванија	16,2			0,2	0,5	77,6	5,3		0,2	
Норвешка	15	33	8	11	2	5	6			20
Летонија	14,8	0,1			0,5	81	3,5			0,1
Финска	11,6			1,6	25,5	33,9	3,9			23,5
Немачка	10				43	46	1			
Мађарска	8				7,5	83	0,5			1
Пољска	5,4			0,8	72,62	13,08	8		0,1	
Аустрија	4	8		1	21	57	9			
Словенија	4				91	5				
Словачка	2				37,1	60,5			0,4	
Србија	0,1				9,9	70	20			
Хрватска						77,1	22,9			
Чешка						67				33
Грчка					86,49	12,55	0,96			
Исланд		0,3					0,1		97,1	2,5
Холандија						92				8
Румунија					40,82	48,36	10,82	0,002	0,002	
Русија					17,6	72,7	6,9	0,5		2,3
Швајцарска		44				39	4			13



Слика 2. Структура коришћеног горива у стварању топлотне енергије у системима даљинског грејања по земљама

Као један од бољих модела који је доказан у пракси је свакако пример Данске. Треба напоменути да у одређеним сегментима између постоји сличност Данске и Србије, тако да се њихова искуства, уз мање локализације, могу применити и код нас.

Основа даљинског грејања у Данској су, до половине седамдесетих година прошлог века, чинили угаљ и мазут. Након тога је започело увођење природног гаса као енергента и проширење мреже система, а затим и коришћење обновљивих ресурса. Са тадашњих 30%, систем је данас достигао 46% посматрано у односу на укупан број станова [5.]. За протеклих 30 година је емисија CO₂ смањена са 25 на 10 кг/м³. Тренутна структура горива је приказана на слици 3. Потребно је напоменути и да се законска регулатива у области даљинског грејања практично годишње мења и прилагођава променама на тржишту, што даје позитивне ефекте како за енергетске субјекте, тако и за потрошаче. Један од кључних фактора су и планови, краткорочни и дугорочни. Дугорочни планови садрже и пројекције за наредних 50 година и предвиђају више могућих сценарија, у зависности од кретања енергетског тржишта.

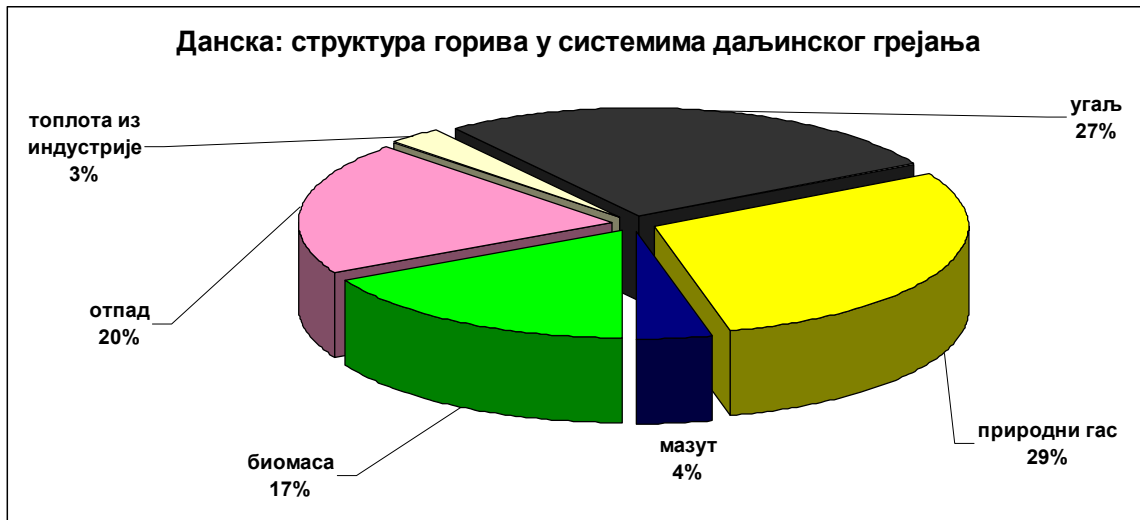
Према већ сачињеним плановима за сектор даљинског грејања, Данска би до 2020. године постигла смањење емисије CO₂ у висини 50%, а до 2030. би могла да постане „CO₂ неутрална“ земља - у области даљинског грејања.

Према актуелном плану, то се постиже комбинацијом следећих мера [5.]:

- Грађевинским мерама на објектима смањити потребе за грејањем за 25%
- Повећање удела даљинског грејања са 46% на 63-70%.
- Барем 70% новоизграђених објеката мора да буде на систему ДГ
- Максимално искористи отпадну топлоту енергетских постројења током лета
- Повећати број акумулатора топлоте, искористити енергију димних гасова и повећати учешће обновљивих извора енергије (соларне, геотермалне енергије и енергије ветра и из биомасе)
- Преостале мање-локалне потребе подмирити топлотним пумпама, котловима на пелет у комбинацији са соларним грејањем и друго.

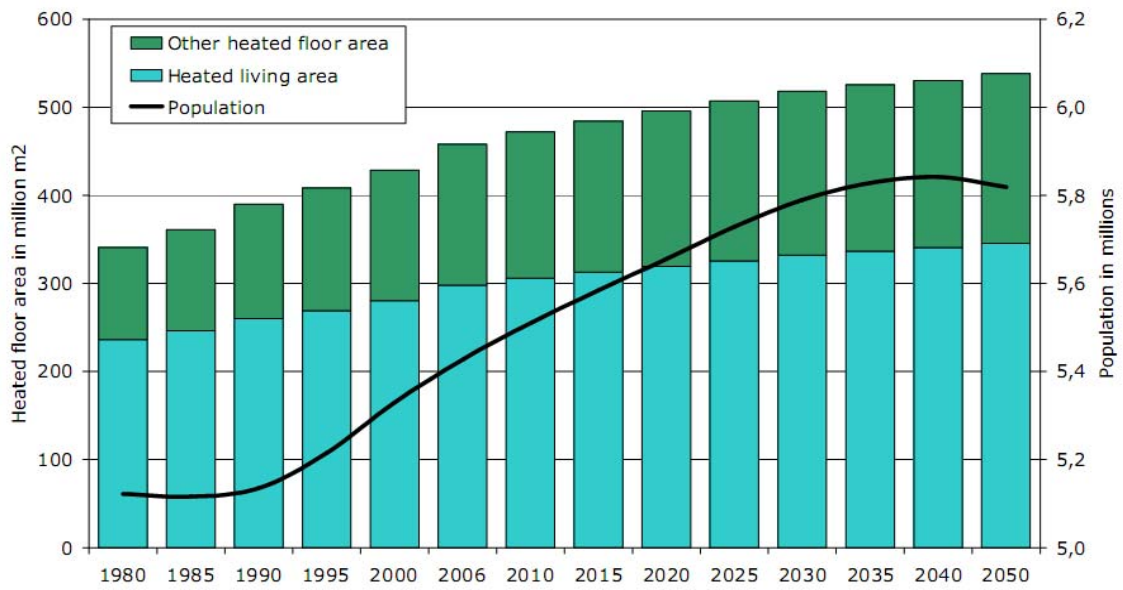
Поред планирања на нивоу државе, за постизање циљева значајан чинилац су локални урбанистичко-енергетски планови развоја. Према овим плановима,

прецизно су дефинисане зоне са врстом снабдевања топлотном енергијом. Тако не долазе у сукоб и нелојалну конкуренцију различити енергетски субјекти, што је и од националног интереса. На пример, у зонама које су означене као „даљинско грејање“ не постоји могућност да се изгради објекат који ће имати неки други извор.

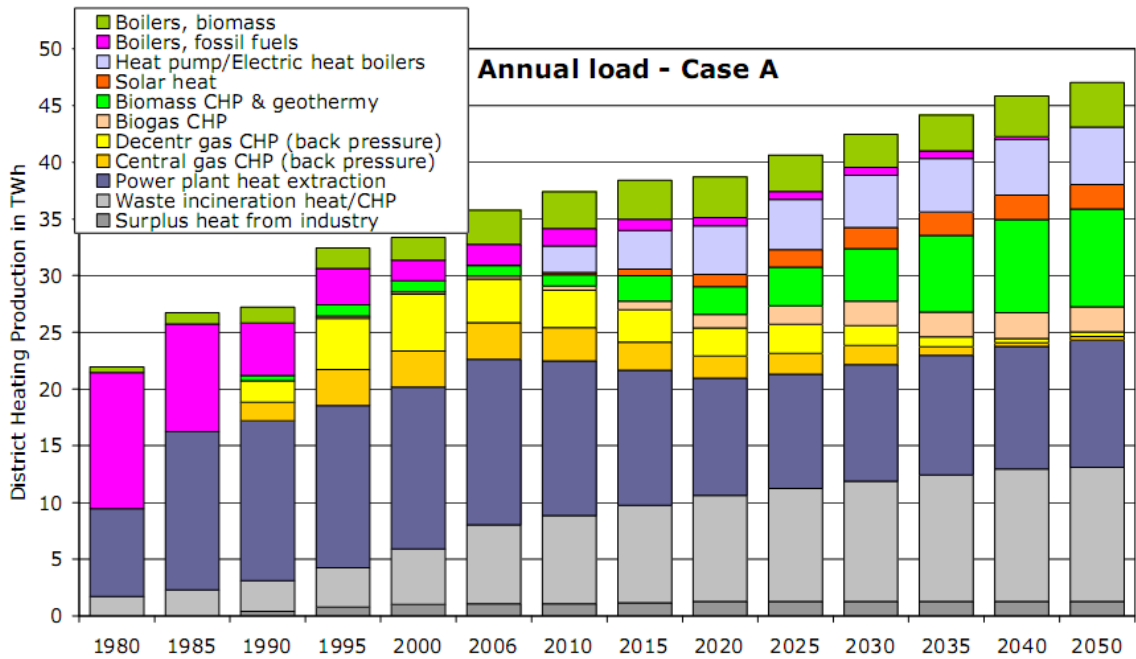


Слика 3. Учешће појединих извора енергије у системима даљинског грејања у Данској

Као илустрација наведеног, на сликама 4. и 5. су пренете оригинални дијаграми преузети са портала данске асоцијације даљинског грејања [5.]



Слика 4: Повећање броја становника у Данској (црна линија), повећање грејне површине на системима даљинског грејања (плава поља) и осталих грејних површина (зелена поља) за период 1980-2010 са пројекцијама до 2050. године



Слика 5. Годишња производња топлотне енергије у даљинским системима грејања (у TWh), смањење удела котлова који користе фосилна горива (љубичаста поља) и повећање удела постројења на биомасу (светло и тамно зелена поља) и других обновљивих вида енергије уз повећање коришћења отпадне топлоте енергетских постројења и индустрије

2.4 Енергетска ситуација у Србији

Енергетика представља један од два основна потпорна стуба сваке државе. О енергетској ситуацији у Србији се деценијама разговара, урађено је много студија, пројеката, планова. Са великим жаљењем мора се констатовати да, нисмо значајно одмакли од стања које је било након прве нафтне кризе. Тада је Србија је била, у енергетском техничком смислу, раме уз раме са Данском (о којој је било речи у претходном сегменту). Данас, ми смо и даље потпуно енергетски зависни од фосилних горива и увоза нафте и њених деривата.

Ресурси обновљивих извора енергије у Србији постоје, техничка решења су позната, инжењерских и научно-стручних капацитета има довољно али... „Али“ ћемо оставити надлежним државним институцијама које морају да формирају одговарајућу законску регулативу.

Зависност од фосилних горива је само део проблема. Нерационално коришћење финалних облика енергије, прекомерно трошење и, последично, еколошки проблеми услед загађења су наша реалност.

Енергија се, у финалном облику, највише троши у објектима, затим у транспорту, индустрији итд. Према подацима Статистичког годишњака Републике Србије [6.] највеће учешће у производњи енергената у Републици Србији у 2009. години имала је производња угља, 45,76%. Увоз од 58,93% у 2009. години имали су нафта и нафтени деривати. У оквиру финалне потрошње у 2009. години највише угља трошило се у сектору Индустрије, 41,06%; у сектору Саобраћаја највише су се трошили нафтени деривати, 69,29%; електрична енергија се највише трошила у сектору Домаћинства, 53,76%, а природни гас у сектору Индустрије, 55,96%.

Место највеће потрошње енергије свих облика је загревање простора. У Србији се за потребе грејања користе, како у домаћинствима тако и у пословним просторима различити извори и системи. Разликују се три основна типа грејања: индивидуално, локално и даљинско. Као извор енергије код индивидуалног грејања се користи електрична енергија, дрво, угаљ и природни гас. Када су у

питању локалне котларнице, гориво је угаљ, лако уље за ложење и мазут. Топлане као топлотни извори даљинског система грејања користе природни гас, мазут и угаљ. Прецизне и потпуне податке није лако прикупити, јер одређени број домаћинства (и све масовније), из економских разлога, а услед значајног диспаритета цена појединих видова енергије, замењују основи – инсталирани вид грејања (природни гас, дрво, угаљ) са грејалицама које користе електричну енергију. Из тог разлога, у табели 2. су приказани оквирни подаци заступљености појединих видова грејања за Србију за 2007. годину [7.].

У постројењима за даљинско грејање, према укупном енергетском билансу за 2010. годину, исказано је учешће природног гаса 18.758 ТЈ, нафте и њених деривата 5.149 ТЈ угља 2.755 ТЈ и огревног дрвета 23 ТЈ [8.]. Укупни енергетски биланс топлана је за 2010. годину 26.685 ТЈ. При томе морамо да приметимо да се под термином „огревно дрво“ приказује пелет и брикет од дрвне биомасе који су у производњи топлотне енергије утрошили ЈКП „Београдске електране“, а на основу испитивања које је предмет овог рада.

Табела 2: Заступљености појединих видова грејања за Србију за 2007. годину [7.].

Укупна број станова у Србији	3.200.000	100%
Станови са електричним грејањем	1.440.000	45%
Станови прикључени на даљинске системе грејања или локалне котларнице	800.000	25%
Индивидуално грејање (дрва, угаљ...)	640.000	20%
Индивидуално грејање на природни гас	320.000	10%

Уместо резимеа о енергетској ситуацији Србије данас, довољно је погледати наводе на порталу Амбасаде СР Немачке у Београду, у делу „Регионални фонд за обновљиве изворе енергије и енергетску ефикасност, све је речено:

„У Србији се користи четири пута више енергије колико је потребно да би се створила јединица бруто националног дохотка него у Немачкој. То је индикатор за чињеницу, да се у Србији веома неефикасно троши енергија иако је има све мање. основни проблем је и даље ниска цена струје која не подстиче уштеду енергије ни у домаћинствима ни у привреди. И у сектору снабдевања топлотном енергијом има проблема: топлане не обрачунавају енергију на основу

потрошње, него на основу квадратуре – значи нема подстицаја за штедњу... на пољу обновљивих извора енергије потенцијал скоро да није уопште искоришћен: био-маса, гео-термални извори и соларна енергија...“ [9.]

Ситуација јесте алармантна, али и решива. Треба започети активности на свим пољима, а првенствено у сегментима где је потрошња највећа, што даје и могућности за највеће уштеде. То је управо потрошња у објектима – енергија потребна за грејање. По успешним моделима земаља ЕУ, проширење система даљинског грејања уз повећање учешћа обновљивих извора енергије у производним погонима.

2.5 Даљинско грејање у Србији

Градња првих топлана је започела 60-тих година прошлог века, и први котлови су, нарочито у мањим местима као гориво користили угаљ. Масовна примена угља већ у неколико наредних година замењена са мазутом као основним горивом – у то време јефтиним и доступним енергентом. Тренд изградње топлана на мазут се одржао двадесетак година, до појаве нафтних криза. Од средине 80-тих доминирају котлови на природни гас, где год је било техничких услова. Котлови који као гориво користе биомасу у топланама у Србији још увек нису изграђени. Занимљив је и податак о инвестицијама у развој даљинског грејања: значајан раст је исказан периоду седамдесетих и осамдесетих година, да би у последњој деценији прошлог века практично био сведен на нулу, што представља главни узрок, и данас присутног, лошијег техничког стања система. До одређене модернизације система је дошло протеклих година, углавном на бази донација и кредита.

У прилог томе говори и чињеница да је просечна старост делова система (котлова и топловода) 25 година. Највише активности / модернизације је било у делу кућних предајних станица, у склопу припрема за наплату према мерењу испоручене топлотне енергије.

Даљинско грејање у Србији данас постоји у 55 градова, колико има и предузећа чија је основна делатност производња и дистрибуција топлотне енергије. У овим градовима се, према подацима Пословног удружења топлана

Србије за 2010. годину [10.] налази 1.306.330 домаћинстава, од којих је само 37,26% прикључено на системе даљинског грејања. Ако се посматра укупан број домаћинстава у Србији, број прикључених стамбених јединица на системе даљинског грејања се креће око 20%. При томе је укупни инсталирани капацитет у 256 засебних топлотних извора 5657 MW, у чему Београд учествује са 2670 MW распоређених у 12 топлана и 53 котларнице. Током просечне грејне сезоне структура утрошеног горива је следећа: природни гас 65%, мазут 18%, угаљ 15% и лако уље за ложење 2%.

Протеклих неколико година ситуација у системима даљинског грејања у Србији се може окарактерисати као критична. Разлога је више, али главни је недостатак средстава за редовно пословање услед високих (стално растућих) трошкова енергената, неекономских цена за испоручену топлотну енергију, недовољно високог степена наплате и друго. Једно од могућих решења је прелазак са паушалног система наплате на наплату према стварно утрошеној количини енергије за објекат / стамбену јединицу. Ову активност би требало да изнесу јединице локалне самоуправе, у чију је надлежност област даљинског грејања пренета према Закону о енергетици из 2004.-те године. Истим Законом, пренета је и надлежност за примену обновљивих извора енергије у системима грејања, али ни до данас нису израђени подзаконска акта који би ову област ближе дефинисала и уредила, а на основу који би даљи рад преузеле локалне управе.

Може се очекивати да, нарочито у мањим градовима, једно од решења буде оријентисање ка обновљивим изворима енергије, чиме би се смањила зависност од скувих увозних деривата нафте, допринело очувању животне средине, у упослила локална радна снага. Апсурд је да у неким срединама, која се налазе у густо пошумљеним деловима, при чему је развијена дрвно прерада, имамо котларнице које користе мазут, а изражен је проблем загађења околине (земљишта и воде) услед неодговорног расипања струготине.

3 ЧВРСТА БИОМАСА

У литератури се могу пронаћи различите дефиниције из области биомасе, процене количина и могућа примена, већ у зависности од аутора. Уочава се и значајна неусклађеност терминологије, као последица недостатака одговарајућих стандарда. Зато ће се наредни подаци базирати на терминологији и подацима коју су публиковани у званичном документу Владе Републике Србије под називом „Акциони план за биомасу 2010 – 2012.“ [11.]. Према овом документу, под термином „биомаса“ се подразумева „биоразградива фракција производа, отпада и остатака из пољопривреде (укључујући и биљне и животињске супстанце), шумарства и дрвне индустрије, као и биоразградиве фракције из комуналног и индустријског отпада чије је коришћење у енергетици допуштено, у складу са одговарајућим прописом из области заштите животне средине“.

Према пореклу, биомаса се може поделити на следеће категорије:

- пољопривредна биомаса
- шумска биомаса.

У пољопривредну биомасу се убрајају: остаци у ратарству, сточарству, воћарству и виноградарству и друго. Шумску биомасу представљају дрво и остаци у шумарству, као и разни отпад из примарне прераде дрвета у дрвној индустрији. Према неким класификацијама, у биомасу се убраја и део градског отпада.

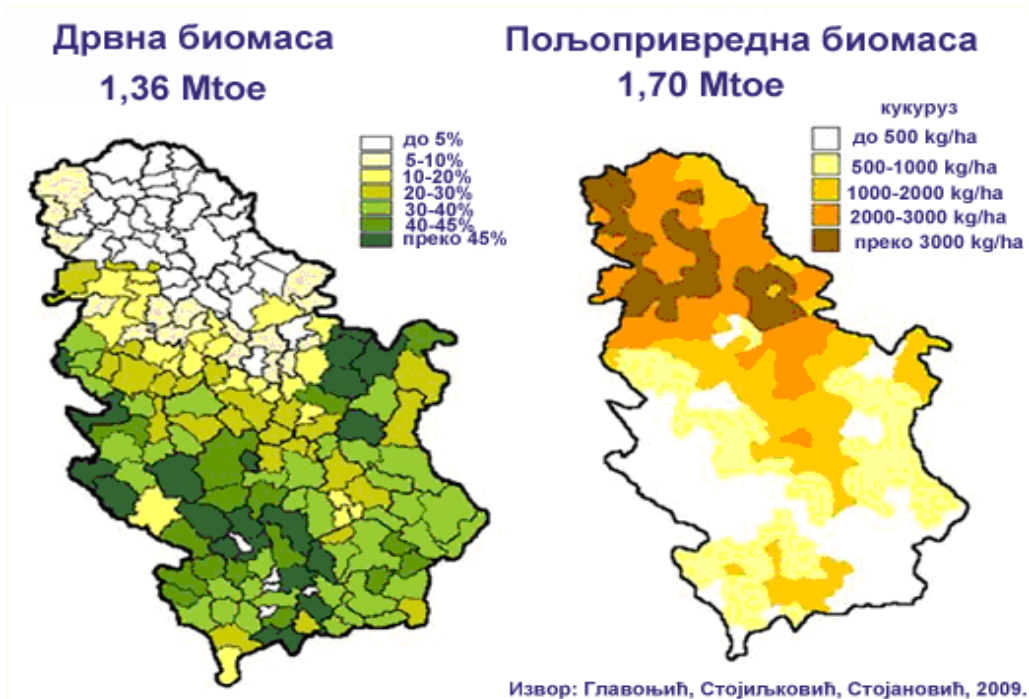
Према агрегатном стању биомаса може бити чврста и течна. Биомаса има примену у производњи топлотне и/или електричне енергије, али и као основа за добијање горива за сектор транспорта (биоетанол и биодизел).

Чврста биомаса, као ресурс за примену у енергетици, за Србију представља велики потенцијал. Сировине има у значајним количинама, географски је добро распоређена, највише заступљена у неразвијеним областима. Технике и технологије за прикупљање, прераду и претварање у топлотну или електричну енергију су познате. Инвеститори су спремни на улагање у ову област. Али недостаје законска регулатива и технички стандарди, јасна стратегија државе као и свест о економској и еколошкој неопходности коришћења овог обновљивог ресурса.

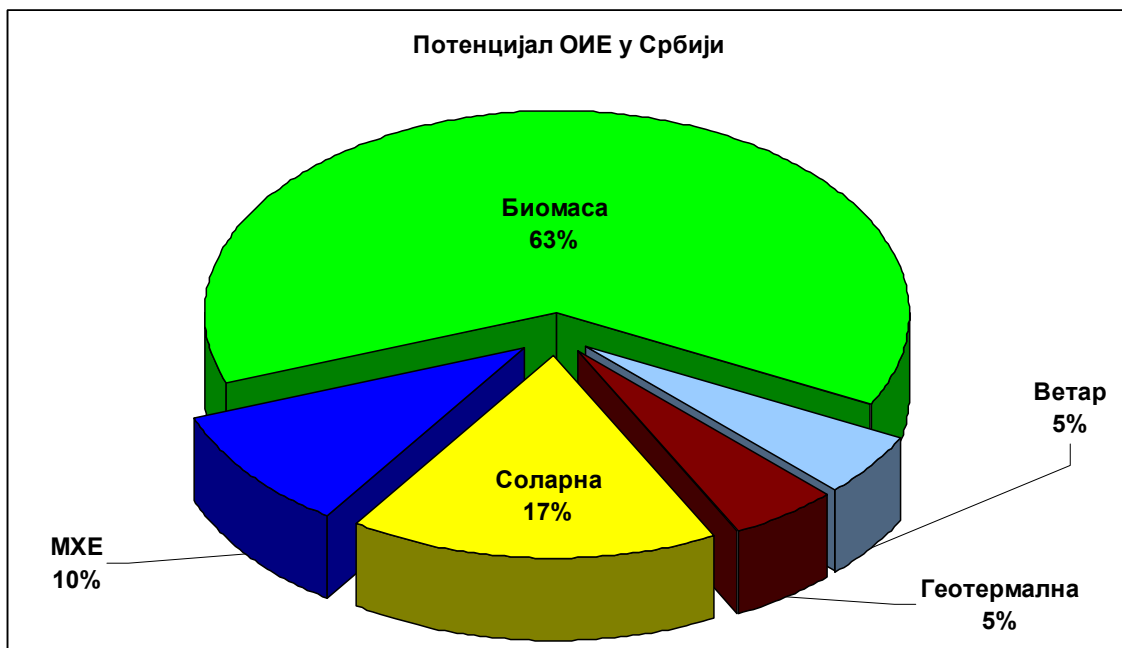
3.1 Потенцијали биомасе у Србији

Географски положај, климатски фактори и конфигурација терена утичу на могућности искоришћења енергије ветра, сунца, водених токова, као и геотермалну и енергију биомасе. Сви наведени облици обновљивих извора енергије заједно имају потенцијал од 4,3 милиона toe на годишњем нивоу. Србија је земља која са обиљем великих обрадивих површина и пределима под шумама. Концентрација обрадивог земљишта је већа у северним деловима, а шумског у преосталим (слика 6.). Од укупне површине Србије, која износи 88.361 km², око 55% припада обрадивом земљишту, а 30% је под шумама. Сходно томе, највећи енергетски потенцијал је управо у биомаси – 2,7 Mtoe/год. Удео пољопривредне биомасе (остаци у ратарству, сточарству, воћарству и виноградарству и примарној преради воћа) износи 1,7 Mtoe/год, а остаци у шумарству и дрвној индустрији (сеча шума и дрвни остаци из примарне прераде и дрвне индустрије) - 1,0 Mtoe/год. [12.].

На слици 7. је приказан процентуални удео појединих обновљивих извора енергије у укупном потенцијалу Србије. Треба напоменути да се у последње две године у литератури могу пронаћи и унеколико различити подаци, вероватно као последица нових истраживања и/или различитих другачијих методологија. Ове разлике се односе само на удео соларне енергије (између 14 и 17%), геотермалну енергију (између 4 и 5%) и мале хидроцентрале (између 10 и 14%), при чему се њихов збир није променио.



Слика 6. Учешће шумског и обрадивог земљишта на територији Србије



Слика 7. Процентуални удео појединих ОИЕ у укупном потенцијалу Србије

Преглед енергетског потенцијала биомасе у Србији је дат у табели 3. [11.]. Приказане вредности за дрвну биомасу су према последњем истраживању по методологији FAO (Организација УН за исхрану и пољопривреду) и оне су, за

потенцијал биомасе из шумарства и дрвне индустрије, веће у односу на претходно приказане (које се и најчешће сусрећу у литератури - око 1,0 Mtoe). У сваком случају, далеко смо од границе потенцијала коришћења биомасе, без обзира коју процену усвојимо, нарочито ако се има у виду званични податак да је у Србији, у 2008. години утрошено 0,3 Mtoe биомасе и то само за производњу топлотне енергије.

Табела 3. Енергетски потенцијал биомасе у Србији

ИЗВОР БИОМАСЕ		Потенцијал (toe)	Потенцијал (GJ)
ДРВНА БИОМАСА		1.527.678	63.309
Огревно дрво		1.150.000	47.657
Шумски отпад		163.760	6.786
Остаци од прераде дрвета		179.563	7.441
Дрвна биомаса од дрвећа изван шума		34.355	14.237
ПОЉОПРИВРЕДНА БИОМАСА		1.670.240	69.217
Остаци пољопривредних култура		1.023.000	42.394
Остаци од гајења воћа и виноградарства		605.000	25.072
Течно стајско ђубриво (за биогаз)		42.240	1.750
БИОГОРИВА ЗА ТРАНСПОРТ		191.305	7.928
УКУПНО	Без горива за транспорт	3.197.918	132.525
БИОМАСА	Са горивом за транспорт	3.389.223	140.453

Са циљем промоције и повећања коришћења биомасе у Србији, донете су 2010. године подстицајне мере, али само за производњу електричне енергије из биомасе. Потпуно је занемарен сектор топлотне енергије, као један од значајних чиниоца у целокупној енергетској потрошњи земље. Слична ситуација је била и у оквиру ЕУ до 2008. године, али је данас исправљена. Зато би надлежне институције требало да у најкраћем року предвиде и сет стимулативних мера за коришћење биомасе у производњи топлотне енергије, тим пре што су техничка решења једноставнија, последично и инвестиције мање, а потенцијали за примену већи.

Илустрације ради, у табели 4. су приказани циљеви за коришћење биомасе и подстицајне тарифе (табела 5.) за производњу електричне енергије [11.]. Подстицајне мере заправо значе да је набавна цена гарантована и фиксна током периода од 12 година. У пракси, ова цена је одређена тако да обезбеди повраћај уложених средстава у року од 12 година, уз покривање свих оперативних трошкова у истом периоду.

Поред наведеног, постављени су и циљеви да се у истом периоду искористе шумски отпаци на нивоу 4.772 toe и дрвна биомаса од прераде дрвета од дрвећа изван шума 3.100 toe. Обзиром да су циљеви дати за период 2010-2012. годину, још увек нема информацијама о резултатима, мада су процене да циљеви неће бити постигнути.

Табела 4. Циљеви за коришћење биомасе у периоду до краја 2012.

Производња електричне енергије (toe)		
Биомаса	Биогас	УКУПНО
4.000	10.660	14.660
Транспорт (toe)		
Биогорива и друга горива из обновљивих извора		УКУПНО
58.390		58.390

Табела 5. Подстицајне тарифе за производњу електричне енергије

БИОМАСА	с€/kWh
Инсталисани капацитет до 500 kW	13,6
Инсталисани капацитет (P) од 500 kW до 5 MW	13,845-0,489*P
Инсталисани капацитет од 5 MW до 10 MW	11,4
БИОГАС	с€/kWh
Инсталисани капацитет до 200 kW	16
Инсталисани капацитет (P) од 200 kW до 2 MW	16,444-2,222*P
Инсталисани капацитет од 2 MW до 10 MW	12

Шумама је у Србији покривено подручје од 2.252.400 хектара (приближно 30% од укупне површине). Процењује се да укупно има 362,5 милиона кубних

метара дрвне масе са просеком од 160,9 m³/ha уз годишњи прираст од 9,079 милиона m³ односно 4,0 m³/ha. При томе не треба занемарити чињеницу да је 47% од наведених количина у приватном власништву, што је погодна ситуација за приватне инвестиције. [12.]

Уколико се искоришћење шумске биомасе буде кретало у жељеном правцу, може се очекивати и повећање укупних количина као последица наменске садње брзорастућих шума за енергетске потребе. Овакве „нове“ шуме су право решење за некултивисана земљишта која се не могу користити као обрадива. Почетком текуће године, ЈП Србија шуме је у сарадњи са ЕПС-ом, РБ „Колубара“ Институтом за шумарство из Београда организовало је садњу огледне плантаже за производњу дрвне биомасе на површинским коповима код Лазаревца. Засађено је 5.000 брзорастућих засада дрвета, које ће за пет година бити искоришћене у енергетске сврхе.

Генерално гледано, овако велики потенцијал чврсте биомасе се може искористити у енергетске сврхе на више начина: за директно загревање животног и радног простора (индивидуално или у системима блоковског и даљинског грејања), самостално или у ко-сагоревању са другим горивима, за добијање топлотне енергије и технолошке паре у индустрији, за производњу електричне енергије и слично.

3.2 Основни подаци и карактеристике

У наредним разматрањима, пажња ће више бити усмерена на чврсту биомасу која је пореклом од дрвета, као и на карактеристике које су значајне за процес сагоревања. Поред расположивих количина, важну улогу за могућу примену имају: хемијски састав, техничке карактеристике (физичке и термичке), као и облик односно форма.

Дрво се састоји од стабла, дебелих грана, танких грана и пања са кореном. У статистикама, производња дрвета у Србији се изражена кроз обим посеченог дрвета. Термин „сеча дрвета“ подразумева све комерцијалне сортименте дрва и дрвне остатке. Највећи удео у сечи дрвећа код нас има буква. Топола је у већем

обиму засађивана тек у последњих пар деценија, нарочито поред канала, великих река и путева. Сада тополе имају значајни удео у укупном обиму сече дрвета и у укупној површини под шумом. Процентуални удео у годишњој сечи појединих врста дрвета за 2006. годину је дат у табели 6. [13.].

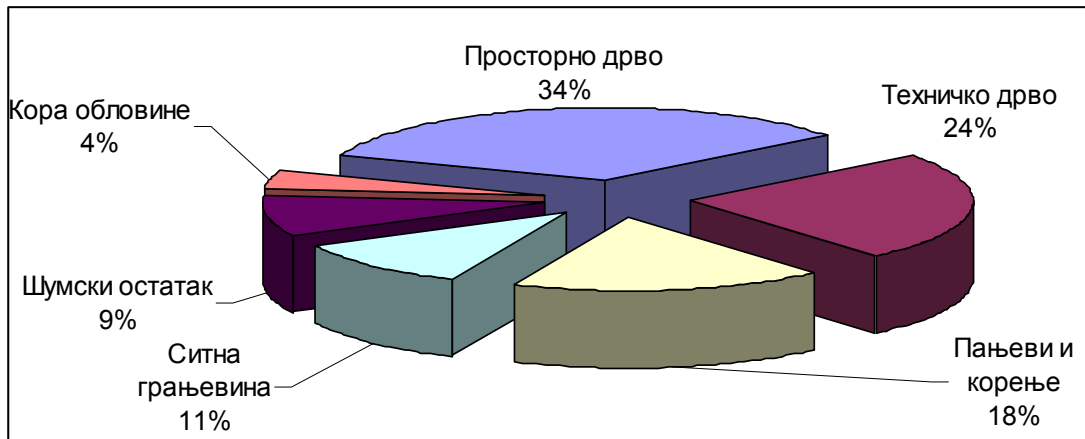
Табела 6. Процентуални удео врсте дрвећа у годишњој сечи

	Врста дрвета	%
Листопадно дрвеће	буква	51,11
	топола	21,28
	храст	12,61
	остало	10,54
Четинари	смрека	1,93
	црни бор	2,23
	остало	0,30

Из шума које су у државном газдовању, половина посеченог дрвета се користи као огревно дрво, а друга половина за индустријске потребе (производњу намештаја, индустрију целулозе и папира, производњу потпорних стубова и шинских прагова и слично. Прецизна евиденција сече дрвета у приватним шумама није поуздана.

Од посеченог дрвета израђују се две групе сортимената: техничко обло дрво и "просторно" дрво. Приликом сече у шуми, настаје и одређена количина отпадног дрвета, чији удео може бити значајан. Након одвожења трупаца, у шуми остаје дрвени остатак у виду пањева и корења, ситне грађевине и лишћа/четина.

Стабло се састоји од неколико категорија дрвета [14.]: техничко (обло) дрво 24%, „просторно” дрво 34%, кора обловине 4%, шумски остатак са кором 9%, ситна грађевина са кором 11% и пањевина са жилама 18%. Приликом прављења биланса занемарени су лишће и четине, чије се учешће креће у границама од 1,5 – 4% од бруто запремине посеченог дрвета. Учешће појединих категорија дрвета приказано је на слици 8.



Слика 8: Процентуално учешће појединих категорија при преради дрвета

Из ових података је јасно да више од 40% од почетне запремине пре сечења остаје у шуми неискоришћено, и додатно прави еколошки проблем. Корен код појединих стабала је тешко извадити, али већи део пања и грана је могуће прикупити и искористи у енергетске сврхе. Процена је да би се само овом активношћу вишеструко увећале количине сировине према садашњој производњи енергетских пелета и брикета. Ово је такође и значајан потенцијал за упошљавање локалне радне снаге у неразвијеним крајевима, на начин како је то већ урађено у развијеним земљама ЕУ. Наиме, код њих је сеча организована да се у паралелном процесу на лицу места обавља уситњавање и прикупљање.

Приликом прераде дрвета у индустрији, при чему се стварају различити полу или финални производи, настаје део дрвне масе који не може даље користити. Остатак је последица коришћења механичког алата (тестера и ножева). Овај остатак може бити: крупан и ситан. Посебно треба напоменути кору као, условно речено, отпад јер њен удео може значајно утицати на карактеристике сировине за формирање енергетских облика.

Сви поступци прераде и обраде дрвета (осим хемијских третмана) не мењају структуру и особину дрвне масе.

Дрвна маса је практично ускладиштена енергија сунца у процесу фотосинтезе, уз учешће воде и угљендиоксида. Према хемијском саставу, структуру биомасе чине: угљеник, водоник, кисеоник, азот и минералне материје. У табели 7. дат је упоредни преглед хемијског састава за различиту врсту биомасе [14.]. Када је дрво у питању, хемијски састав зависи од врсте, његове старости, дела са кога је узет

узорак и друго. У дрвету се угљеник, водоник и кисеоник налазе пре свега у оквиру угљоводоничних једињења. Водоник, поред тога што улази у састав увек присутне влаге, спојен је са кисеоником, у оквиру угљоводоничних једињења. Структуру дрвета, поједностављено гледано чине целулоза и лигнин. Процентуално учешће поменутих компонената у дрвној супстанци мења се од врсте до врсте, али и за различите делове стабла које се анализира. У сувом дрвету лишћара целулоза просечно учествује са 43 – 45%, лигнин са 19 – 26%, док код четинара целулозе има између 53– 54% и лигнина 26 – 29%.

Табела 7. Упоредни преглед хемијског састава за различите врсте биомасе

Хемијски елемент	Слама	Окласак	Љуска сунцокрета	Дрво	Кора од дрвета
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Угљеник	44,84	48,31	50,57	48,5-50,3	50,60
Водоник	5,68	5,74	5,68	6,1-6,5	5,90
Кисеоник + азот	41,48	43,79	41,48	43,6-45,2	40,70
Минералне материје	8,00	2,16	2,27	0,4-0,8	2,80

Да би се дрвна маса користила као гориво, поред хемијских, потребно је знати и друге карактеристике, као што су:

- топлотна моћ
- садржај волатила
- количина и састав пепела
- густина
- садржај влаге и друго.

Топлотне моћи појединих врста дрвећа се могу разликовати до нивоа који значајно утиче на процес сагоревања у котловима. Четинари имају већу топлотну моћ од лишћара што зависи од количине смоластих материја у дрвету.

У табели 8. су дате вредности горњих топлотних моћи за домаће врсте дрвећа и одговарајуће вредности густине [14.].

Табела 8. Горње топлотне моћи и густине неких домаћих врста дрвећа

Врста дрвета	Горња топлотна моћ (MJ/kg)		Густина (kg/m ³)	
	Дрво	Кора	Дрво	Кора
Буква	18,82	18,00	680	580
Храст	18,36	19,70	650	425
Топола	17,26	18,00	410	412
Смрча	19,66	21,20	430	340
Јела	19,46	21,20	430	340
Бор	21,21	20,62	580	300

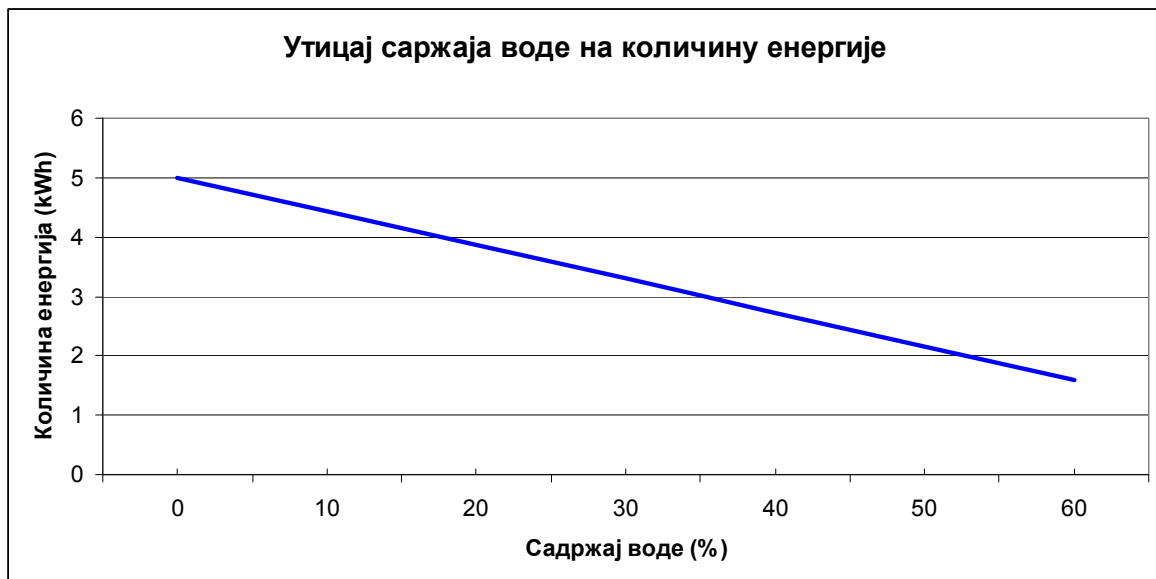
У реалним условима, није могуће искористи целокупну енергију која је садржана у дрвној маси услед одређеног садржаја влаге, која је увек присутна. количина влаге у дрвној маси зависи од много фактора: периода у години када је дрво посечено (период вегетације повећава садржај влаге), времена које је провело након сече, услова у којима је складиштено и друго. У принципу се просечна влажност дрвета из шуме након сечења креће између 40% и 60%. Сушењем на ваздуху, заштићено од атмосферских утицаја, током летњих месеци, влага се може смањити и испод 30%. Сушење се може обављати и принудно, али је за то потребна додатна енергија.

Повећана влажност, поред тога што заузима место горивој маси и тиме смањује топлотну моћ, додатно оптерећује процес сагоревања јер троши део енергије на испаравање. Одређени проценат енергије се утроши и на ослобађање конституционе влаге из дрвета.

Негативан утицај повећаног садржаја влаге у дрвету се уочава кроз смањење топлотне моћи. У табели 9. су дате вредности теоријског прорачуна енергије потребне за испаравање различитог садржаја воде из дрвне масе и преостале корисне енергије, изражене у MJ и kWh, за усвојену средњу вредност топлотне моћи од 18 MJ/kg у апсолутно сувом стању. Ниво енергије у зависности од количине воде приказан је и на слици 9.

Табела 9. Корисна енергија дрвне масе у функцији садржаја воде

Вода	Маса воде	Дрвна маса	Енергија	Енергија за испаравање	Корисна енергија	Корисна енергија
%	kg	kg	MJ	MJ	MJ	kWh
0	0	1,0	18,0	0	18,000	5,000
10	0,1	0,9	16,2	2,44	15,956	4,432
20	0,2	0,8	14,4	4,88	13,912	3,864
30	0,3	0,7	12,6	7,32	11,868	3,297
40	0,4	0,6	10,8	9,76	9,824	2,729
50	0,5	0,5	9,0	12,20	7,780	2,161
60	0,6	0,4	7,2	14,64	5,736	1,593



Слика 9. Смањење количине расположиве енергије са повећањем садржаја воде

За сагоревање је важан и садржај волатила. У дрвној маси, волатили су углавном лакши угљоводоници чији садржај варира у зависности од врсте и годишњег доба када је дрво сечено. Посматрано у апсолутно сувом стању, садржаја волатила се креће око 72-78%. Коксни остатак је допуна до 100%,

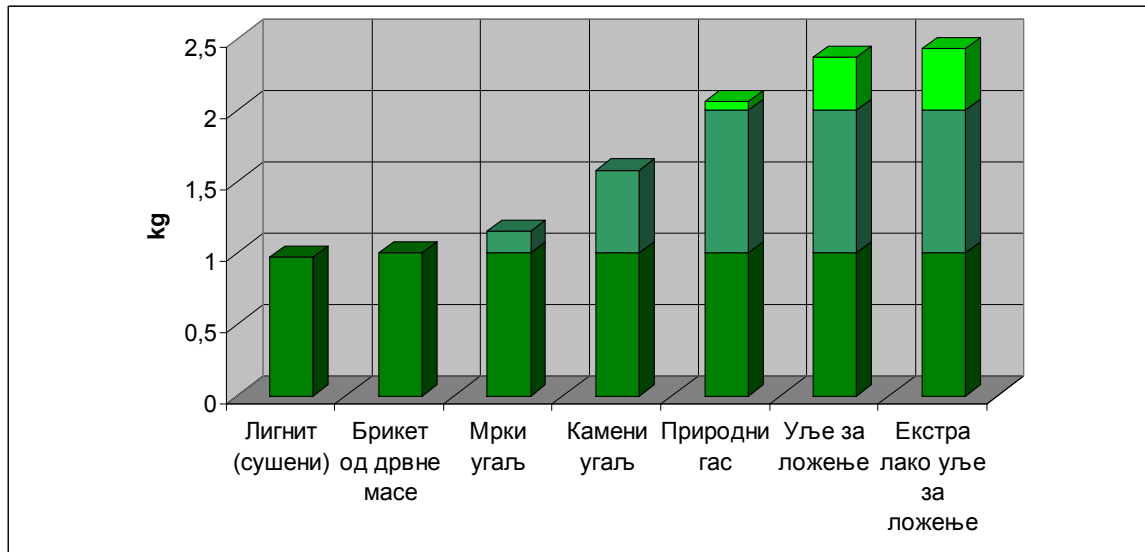
имајући у виду веома мали садржај пепела (до 1%). Садржај пепела у кори дрвета може достићи вредност од 3%, док у самом дрвету најчешће није већи од 0,5%. По структури, пепео од дрвне масе углавном садржи калијум, натријум и магнезијум, па се може користити као природно минерално ђубриво.

Често се поставља питање да ли и у којој мери дрвна маса (одговарајуће форме) може заменити поједина фосилна горива, посматрано само са аспекта садржане количине енергије. У табели 10. је дат упоредни преглед топлотних моћи за више врста горива, изражено у MJ и kWh. „Представник“ дрвне масе је брикет, са 12% влаге.

Табела 10. Упоредни преглед топлотних моћи за различита горива

Просечне топлотне моћи горива по јединици масе/запремине		
Гориво	MJ	kWh
Екстра лако уље за ложење	36,14 MJ/l; 42,50 MJ/kg	10,00kWh/l; 11,80 kWh/kg
Уље за ложење	38,60 MJ/l; 41,50 MJ/kg	10,70kWh/l; 11,50 kWh/kg
Камени угаљ	27,60 MJ/kg	7,67 kWh/kg
Мрки угаљ	20,20 MJ/kg	5,60 kWh/kg
Лигнит (сушени)	17,00 MJ/ kg	4,72 kWh /kg
Природни гас	36,00 MJ/m ³	10,00 kWh/m ³
Електрична енергија	3,60 MJ	1,00 kWh
Брикет од дрвне масе w12%	17,50 MJ/kg	4,86 kWh/kg

Теоријски, у постројењима за сагоревање може да се замени један килограм уља за ложење (у енергетском смислу) са три килограма дрвне масе, односно узимајући у обзир густину: један литар уља за ложење са 2,5 килограма дрвне масе (слика 10.). Обзиром на већ изнете податке о расположивим количинама дрвне биомасе и изузетно високе цене (увозних) деривата нафте, ово је веома охрабрујуће.



Слика 10. Потребна количина дрвне биомасе за замену килограма другог горива

3.3 Еколошки аспекти биомасе

Чврста биомаса, поред тога што представља домаћи енергетски ресурс, увек има и придев: обновљива енергије без емисије CO_2 . При сагоревању биомасе, као и код других горива, емитује се одређена количина продуката сагоревања, као што су угљен-диоксид, водена пара, у малим количинама угљен-моноксид и азотови оксиди. Процесом кружења материје у природи, CO_2 из ваздуха се, процесом фотосинтезе, поново везује у биомасу. Устаљено је мишљење да се укупна количина CO_2 емитована у атмосферу током једне године у целости одмах утроши у наведеном процесу, чиме сагоревање биомасе не утиче на повећање количине CO_2 у атмосфери. Ово је, наравно у идеалном случају, када се стабло сече ручно и користи на лицу места. У стварности, одређена емисија ипак постоји јер је потребна енергија за машинску сечу и транспорт (утрошак дизел горива), као и у поступку прераде и трансформације у погодан облик за сагоревање.

Дакле, да би се биомаса квалитетно искористила за задовољење топлотних потреба, неопходно је утрошити додатну енергију из фосилних горива, што не

умањује значајно целокупан ефекат јер је ред величина емисије CO_2 неколико процената.

Описани процес кружења CO_2 , воде и појединих елемената у природи је приказан на слици 11.



Слика 11. Кружење CO_2 у природи у случају биомасе као горива

Поред позитивног утицаја на количину CO_2 у атмосфери, искоришћење биомасе у процесу сагоревања има и друге предности. Смањује се загађење дрвним отпадом на месту сече шума чиме се омогућава проходност и неометани раст нових биљака, елиминише се локално загађење земљишта и подземних вода у зонама индустријске прераде дрвета. Ово је последица и немарности јер се дрвни отпад, мимо прописа, одлаже свуда и процесом деградације материјала ствара загађење. Познат је пример Нове Вароши, у чијој околини има више од сто стругара и дрвних прерада које су дрвне отпатке годинама просипали свуда (поред путева и водених токова – слика 12.) што је за последицу имало загађење

подземних вода које се користе за пиће. У исто време, у самом насељеном месту, јавни објекти се загревају помоћу угља и мазута.



Слика 12. Детаљи дивљих депонија струготине у околини Нове Вароши

Када је су у питању пољопривредни остаци, мишљења су различита. Пољопривредници сматрају да се они требају сагоревати на њиви како би се минералне материје вратиле у земљиште. Поред тога што ова активност ствара општу опасност по саобраћај и безбедност људи у околини, ствара се и изузетно велико загађење услед неконтролисаног отвореног сагоревања. Термотехничари се зато залажу да се агробiomаса прикупи, претвори у корисну енергију, а пепео након сагоревања врати на њиве.

Посебну групу представља дрвна материја која је у правом смислу отпад: искоришћена дрвна грађа (прагови, стубови, бандере, фабрички подови, намештај и слично). Ова врста отпада у себи често садржи боје, лакове, уља, металне опилке и друге штетне материје те се не може једноставно одлагати на депонијама. Решење је у сагоревању у специјализованим постројењима, која још не постоје у нашој земљи.

Биомаса у принципу не садржи сумпор, осим у малом проценту код пољопривредних остатака (пореклом је из минералних ђубрива), тако да нема ни емисије сумпорних оксида при сагоревању. Сумпорни оксиди из термичких процеса фосилних горива стварају појаву тзв. „киселих киша“. Додатно, емисија угљоводоника из процеса сагоревања биомасе је у занемарљивим количинама у односу на фосилна горива.

Еколошких предности биомасе као еколошког горива има још, али је и ово довољно да добије епитет: „чиста енергија“.

3.4 Облици чврсте биомасе у примени

И поред свих предности, дрвну биомасу није тако једноставно директно користити за процесе сагоревања. Један од проблема је неравномерност расположивих количина током године. Најмање је има управо у периоду највеће потрошње енергије. То повлачи и други отежавајући чинилац: потребно је дрвну биомасу сакупити (у зависности од форме и упаковати), транспортовати и ускладиштити – активности које су повезане са економским факторима, нарочито ако се има у виду разуђеност материјала. У изворном стању, дрвна биомаса има релативно малу запреминску масу, последично малу топлотну моћ по јединици запремине, не баш погодан облик за сагоревање и (најчешће) висок степен влажности.

Форма у којој се дрвна биомаса налази и (локално) расположиве количине је уз техничке карактеристике од пресудног значаја за њену примену. Најчешћи облици дрвне биомасе су:

- огревно дрво
- сечка
- кора
- струготина
- дрвна прашина и друго.

Различити облици дрвне биомасе су приказани на слици 13.



Слика 13. Различити облици дрвне биомасе

Техничка решења са сагоревање дрвне биомасе у изворном облику постоје (нпр. специјализована ложишта/пећи за влажну струготину), али је њихова примена тада, из економских разлога, ограничена на релативно малу зону око места расположивости. Разлог су високи трошкови транспорта. На пример, у камион носивости 25 тона, може се утоварити и сместити просечно осма тона сирове струготине. То најчешће значи да на растојањима већим од 50 километара трошак дизел горива за камион превазилази тржишну вредност превожене материје. Примери из праксе показују да је за енергетске потребе граница исплативости превозења сирове струготине која ће се користити за добијање енергије око тридесетак километара. Решење је у рационализацији простора, не само за транспорт већ и на складишту (складишта дрвне биомасе за енергетске потребе морају бити затвореног типа). Проблем се решава смањењем запремине – сабијањем и смањењем садржаја воде као баласта - сушењем.

Велики проблем у Србији данас представља недостатак стандарда, прописа и техничке регулативе за отпадну дрвну биомасу (и за биомасу уопште). Није дефинисано шта све може бити биомаса за примену у производњи енергије (врста, форма, особине, састав итд). Недостаје и регулатива за прераду дрвне биомасе у облике погодне за сагоревање, за ложне уређаје (пећи и котлове). Немамо ни одговарајуће стандарде за испитивања и сертификацију у свим наведеним сегментима (сировина, производи, уређаји за сагоревање), као ни за специфичне емисије. Углавном се користе општи стандарди и методе за чврста горива из времена када се искључиво користио угаљ и огревно дрво. Проблем ових националних стандарда је лако решити, јер су доступни стандарди развијених земаља и ЕУ, који су годинама модификовани, паралелно са интензивним развојем ове области протекле две деценије. Потребно их је само превести, евентуално у појединим деловима прилагодити локалним специфичностима и усвојити. Надлежне институције ово најављују већ неколико године, али реализације нема. Ово је приморало произвођаче, али и привредне потрошаче да се организују у оквиру секција при Привредној Комори Србије, са циљем да се у области биомасе уведе ред и подстакне бржи развој.

Улога прераде дрвне биомасе у одговарајући облик (смањење запремине и садржаја влаге) има двоструку улогу: утицај на трошкове транспорта и складиштења, као добијање боље геометрије са становишта сагоревања. Технолошки разликујемо два поступка: брикетирање и пелетирање.

3.4.1 Брикети од дрвне биомасе

Поступком брикетирања се ситна дрвна биомаса дејством силе притиска преводи у компактну форму погодну за манипулацију и сагоревање – брикет. Термин брикет („briquettes“) представља енглеску реч за блок чврсте материје (циглу). Историјски гледано, брикетирање је започело 1897. у Америци када је Ellsworth В.А. Zwoyer патентирао поступак за угљену прашину. Популаризацији је значајно допринео Henry Ford када је у својим фабрикама двадесетих година прошлог века започео са брикетирањем дрвог отпада. Данашње пресе у високо аутоматизоване и доступне на тржишту прилагођене различитим материјалима.

Могу бити механичке и хидрауличке. Преса за брикетирање и линија за хлађење брикета у једној домаћој фабрици су приказане на слици 14.

У поступку формирања енергетских брикета од дрвне биомасе, улазна сировина је струготина. Након одвајања механичких нечистоћа које могу бити садржане услед неодговарајуће манипулације (каменчићи, метал и друго) струготина се ослобађа вишка влаге у одговарајућим сушарама (циклонским или ротационим). Удео влаге у материјалу за брикетирање се може разликовати у зависности од карактеристика пресе, али се најчешће креће до 10%. Овако припремљена струготина се уводи у пресу, где се у алату, на повишеној температури услед дејства силе трења и на великом притиску, омекшава лигнин садржан у дрвној биомаси. Формира се компактна форма, која добија чврстину хлађењем и очвршћавањем лигнина. Садржај влаге, величина притиска и уситњеност материјала утичу на физичка својства добијеног брикета. Превише висок или превише низак садржај влаге, недовољан притисак и лоша уситњеност дрвне масе ће довести до формирања брикета које је нестабилан, након напуштања пресе пуца, бубри и распада се. Описаним поступком се запремина полазне дрвне биомасе смањује 8 до 12 пута, чиме се добија густина и преко 1000 kg/m³. Брикет као готов производ се пакује на различите начине, у зависности од захтева купца (велике и мале вреће, кутије...).



Слика 14. Преса за брикетирање дрвне биомасе и линија за хлађење

На нашем тржишту се могу наћи брикети од дрвне биомасе различитих облика и димензија, а најчешћи су цилиндрични (пречника између 50 и 100 mm и дужина до 400 mm), правоугаони, квадратни (са страницама до 100mm).

У Србији је брикетирање дрвне биомасе присутно деценијама, али у малом обиму, углавном при погонима дрвне индустрије. Већи број брикетирница није био дугог века услед неекономичне производње, као последица непоштовања техничког-технолошких прописа, а у неким случајевима и због примене опреме која није одговарала расположивој сировини (трошкови одржавања су били високу услед повећаног хабања делова и слично). Пре изградње постројења, мора се пажљиво урадити елаборат о сировинама и на основу тога стручно изабрати опрема одговарајућа по капацитету и карактеристикама. Изглед брикета од дрвне биомасе је приказан на слици 15.

Брикет од дрвне биомасе је намењен као гориво за индивидуалне котлове и камине, јер захтева ручно ложење. Процењује се да је производња брикета

протеклих година у Србија достигала вредности и до 30.000 тона годишње, од чега је 20.000 тона створено у погонима три велика правна субјекта. Производња брикета код нас исказује тренд опадања, али се у трговинама могу пронаћи увозни брикети, углавном из Словеније, Хрватске и републике Српске.

У оквиру ЕУ се производња брикета протеклих десетак година смањила, или боље речено уступила место погоднијем облику од исте сировине – пелету од дрвне биомасе.

3.4.2 Пелети од дрвне биомасе

Први енергетски пелети су се појавили у време прве нафтне кризе, паралелно у неким Европским земљама и у Америци, али су одмах по њеном окончању пали у заборав. Поступак је „оживео“ последњих година прошлог века у развијеним земљама ЕУ, као последица усвојих пакета стимулативних мера од стране држава. Протеклих десетак година, пелетирање и сам производ – енергетски пелет од дрвне биомасе доживљава експанзију у свим развијеним земљама.

Пелет можемо назвати и мини-брикет, јер се по структури материјала не разликује – користи се у процесу производње иста полазна сировина. Са технолошког становишта, разлика је једино у преси. Пелет се од брикета разликује само по геометрији/димензијама - вишеструко је мањи. Пелет је искључиво цилиндричног облика пречника од 6 до 10 mm, и дужина од 10 до 30 mm. Изглед пелета је приказан на слици 15. Густина пелета се може разликовати у зависности од ложишта за које је намењен.

Припрема сировине је иста као и у случају производње брикета: уситњавање материјала, одстрањивање нечистоћа и сушење. Процес производње пелета је сложенији, јер квалитет добијеног производа у већој мери зависи од утицајних фактора - промене влажности, величине и/или врсте материјала, него у случају производње брикета. У пракси, могуће је у истој фабрици производити, на две паралелне линије истовремено, пелет и брикет, при чему је целокупна припрема материјала до саме пресе заједничка.



Слика 15. Цилиндрични брикет од струготине (лево) и пелет (десно)

Највећа предност пелета у поређењу са брикетом је што омогућава аутоматско дозирање и значајно квалитетнију контролу процеса сагоревања. Равноправно се примењује код индивидуалних кућних ложишта у специјализованим пећима и у индустријским постројењима снаге и неколико мегавата. Процес је развијен до таквог степена аутоматизације, да поједина постројења раде потпуно без људске посаде, путем даљинског управљања, а све што човек треба да уради је да периодично допуњава spremнике за пелет. Другим речима, пелет као чврсто еколошко гориво је испунио по оперативним захтевима енергетских постројења све погодности које пружају течна и гасовита горива. Изузетном комфору при раду са овим обновљивим горивом мора се додати и позитивни еколошки ефекти, али и нижа цена. Проблем могу бити почетна инвестициона улагања и понекад нестабилна цена на тржишту. Наведено не одступа значајно од трошкова и трендова цена код фосилних горива. Изградња постројења на пелет је најисплативије када се гради ново постројење или је планиран капитални ремонт постојећег.

Тренутно се у Србији производња пелета од дрвене биомасе одвија у неколико фабрика, чији је капацитет годишње производње између 5.000 и 30.000 тона. Процењује се да је производња достигла ниво од преко 50.000 тона, и да је, осим неколико процената, сва роба пласирана на тржиште ЕУ. Има најава да ће ускоро почети изградња већих фабрика пелета од остатака ратарске производње

на подручју Војводине. На слици 16. је приказан изглед две пресе за производњу пелета и део линије за хлађење у једној домаћој фабрици.



Слика 16. Пресе за производњу пелета и завршетак линије за хлађење

3.4.3 Проблеми у производњи и дистрибуцији брикета и пелета

Практичне све фабрике за производњу пелета и брикета су у почетку рада исказале одређене проблеме у постизању квалитетног производа. Узроци су различити, од техничко/технолошких проблема до људског фактора. Најчешће је проблем везан за саму сировину и манипулацију са материјалом након производње.

Утицајне карактеристике материјала су: влажност, врста и густина дрвне масе, гранулација, чистоћа и старост материјала. У случајевима када се сировина прикупља из различитих извора, долази до значајних одступања наведених параметара. Пресе и алати су подешени за радне режиме у одређеном (малом) опсегу појединих параметара, тако да се свако одступање одражава на квалитет.

Различите врсте дрвне масе имају и различите густине, што ремети количине дозирањем материјала у пресима, обзиром да раде на „запреминском“ принципу. Резултат је добијање брикета са неодговарајућом масом, најчешће мањом од прописане. Старост дрвне масе која улази у процес пресовања има

утицај на отпоре и на везивање честица, јер краћим боравком на складишту, лигноцелулозни материјал делимично омекшава, па се је и сабијање/везивање олакшано. Одступање гранулације материјала је прихватљиво у одређеним границама, али треба обратити пажњу на добру хомогенизацију масе. Добро уситњен материјал повећава степен сабијености производа, што за последицу има бољу отпорност на лом готовог материјала, већу постојаност и дужи период сагоревања. Механичке примесе у сировини нису допуштене и не утичу у великој мери на квалитет брикета, али изазивају изразито трошење и оштећења алата и других делова система, што значајно подиже трошкове одржавања, последично и цену производа.

Посебан проблем за кориснике енергетских пелета и брикета представља брикет и пелет испоручени у неадекватном квалитету по питању геометрије – делимично деградиран материјал. Након рекламација на квалитет утврђено је да су пелет и брикет у прописаном стању напустили фабрику. Истражујући појаву, аутор овог рада је утврдио да су тачне и тврдње корисника и произвођача. До проблема је дошло накнадно, у току транспорта, а као последица неадекватног хлађења на линији у процесу производње. Другим речима, брикет, односно пелет, су упаковани у затворене вреће недовољно охлађени, те је као последица убрзаног одавања топлоте у затвореном простору при ниском спољним температурама дошло до пуцања и деградације дела материјала. Након усвајања препоруке произвођачима да се пакује само материјал охлађен на температуру околине, појава није више уочена.

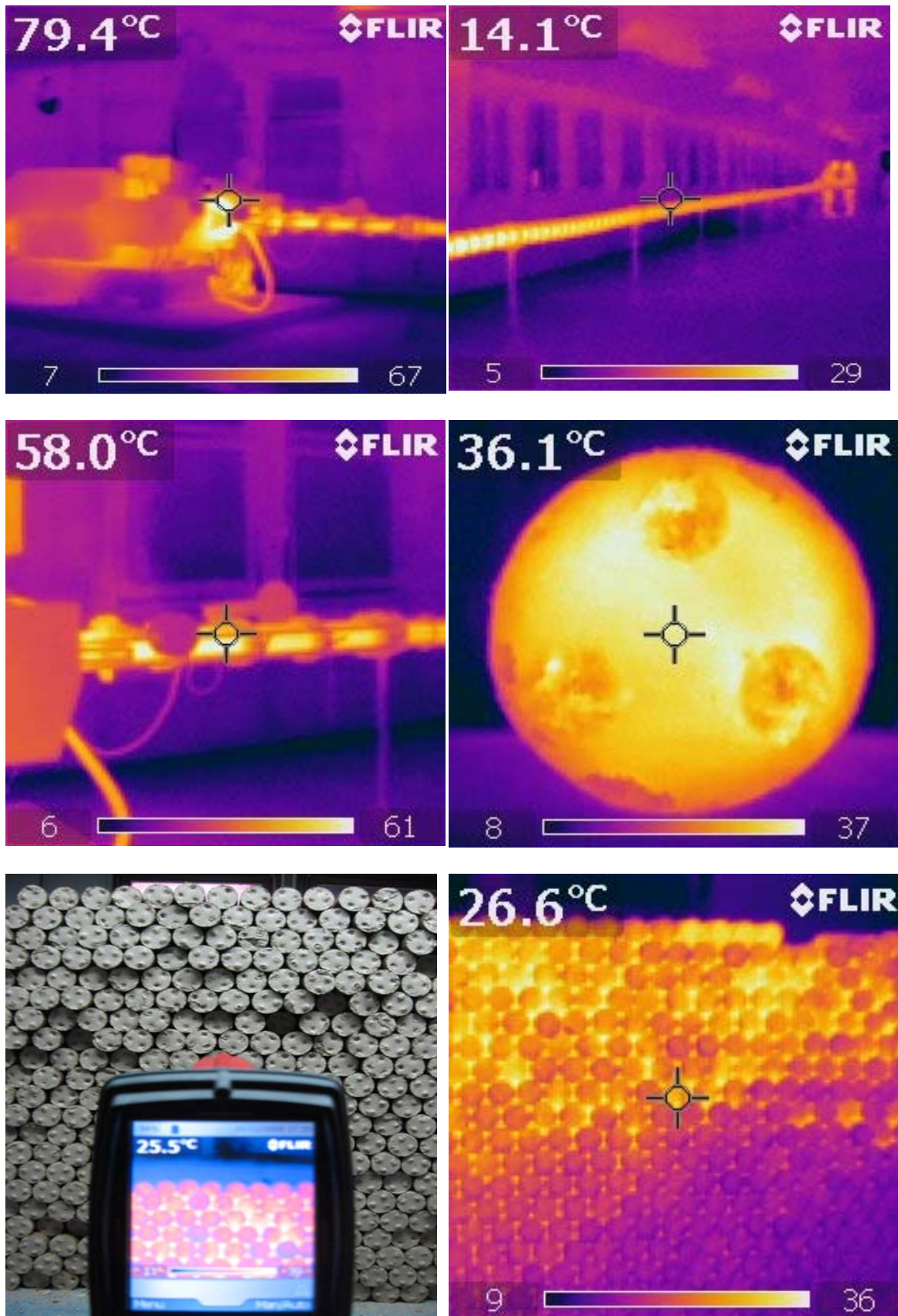
Процес хлађења ће укратко бити презентован на примеру производње брикета. Након пресовања у реалним условима, локална температура брикета на почетку линије за хлађење може достићи вредности до 100 °С, локално и до 150 °С, зависно од карактеристика материјала, садржаја воде и карактеристика пресе. Током фазе хлађења, брикет губи део воде (просечно око 2%), одаје топлоту се добија чврстину. Уколико се процес хлађења не води правилно, може доћи до појаве пукотина и повећане хрпавости површине, у крајњој линији и лома делова брикета.

Процес хлађења брикета се састоји у континуалном клизању на перфорираним тракама или „кавезима“ велике дужине, како би се омогућила

добра циркулација свежег ваздуха за одвођење топлоте. Уколико је хлађење превише брзо или је недовољна дужина линије за хлађење, брикет у средини остаје загрејан, што га накнадно може деградирати.

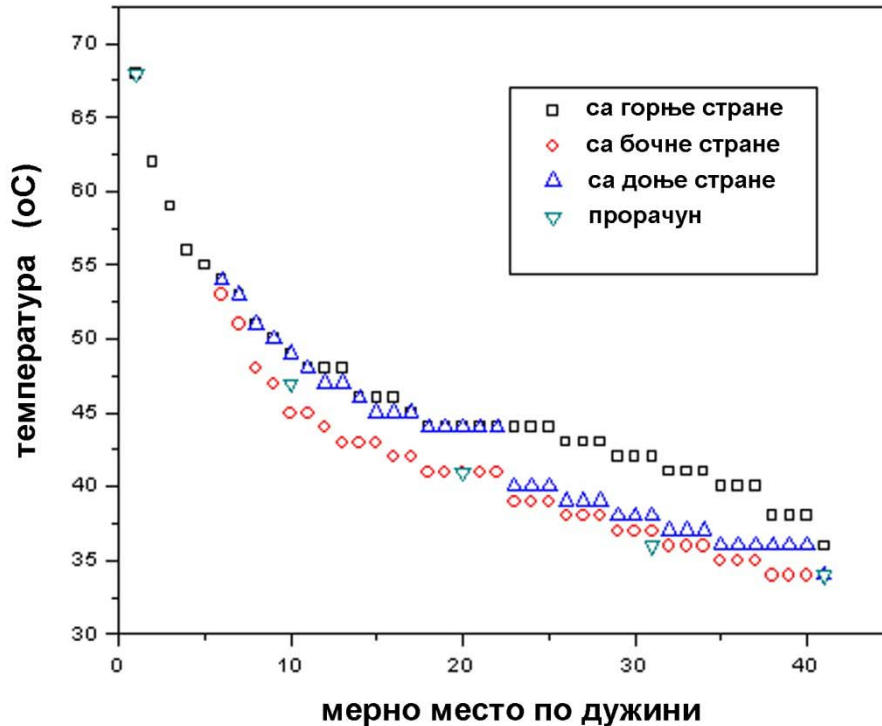
На локалну брзину хлађења (преноса топлоте) брикета, поред физичких параметара, утичу разлика температуре површине брикета и околног ваздуха, влажност, услови струјања ваздуха (природни или принудни) као и геометрија брикета. На расподелу температуре у брикету утиче делом у пренос масе (влаге) и њено испаравање са површине брикета. Имајући у виду да постоји више независних и зависних фактора који утичу на процес хлађења и тиме на квалитет брикета, није могуће унапред прецизно дефинисати оптималну брзину хлађења у конкретним случајевима већ је на основу сазнања и мерења брзине хлађења и расподели температуре потребно пратити конкретну ситуацију и прилагођавати процес.

У том смислу обављена су мерења на линији хлађења и добијени следећи резултати. У конкретној ситуацији брикет, по формирању пресовањем а пре фазе ломљења, клизи по металној стази за хлађење на око 1 м од пода погона. Брикет је цилиндричног облика, велике дужине у односу на пречник, хоризонталног положаја у атмосфери мирног ваздуха у затвореној производној хали. Брзина хоризонталног кретања брикета је око 6 cm/s. Укупна дужина стазе за хлађење је 26,3 метара. Састоји се из 33 сегмената дужине 0,8 метара. На крају стазе брикет се сече/ломи и добијају финални брикети који се складишти у брикетирници. Температура ваздуха у брикетирници је била 10-14 °C. Температура брикета је мерена инфрацрвеном камером (IC) тип InfraCAMTM произвођача FLIR Systems AB, Švedska. Ради се о једном од реномиранијих светских произвођача IC камера. Спектрални опсег камере је од 7,3 до 13 микрометара, мерни опсег температуре од – 10 до 350°C, тачност 2 °C, а подешавање емисивности са резолуцијом од 0,01. Температура површине брикета на линији за хлађење је мерена по пресеку брикета у три тачке: са доње стране, бочно и са горње стране, а по дужини брикета, у 42 пресека. Термовизијски снимци хлађења брикета дуж линије за хлађење дати су на слици 17.



Слика 17. Термовизијски снимци брикета при хлађењу на линији и у погону

Температуре брикета у функцији положаја на линији за хлађење, са интервалом мерења од 11 секунди, односно 0,6 метара приказане су на слици 18.



Слика 18: Температуре брикета у функцији положаја

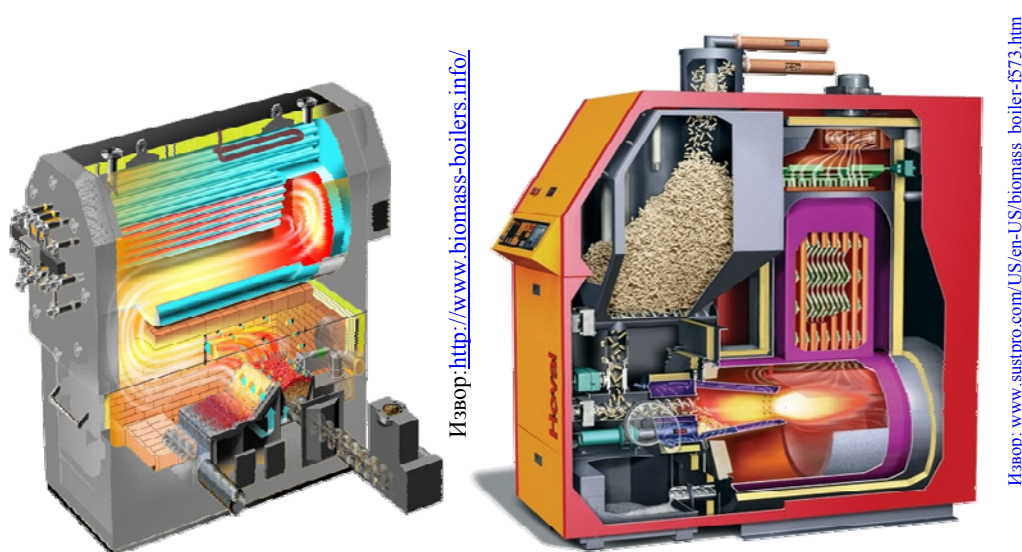
Као што се види измерена температура брикета се креће од 68 до 34 °C. Разлика између измерених температура на бочној, односно горњој површини, која износи највише 5 °C је последица неравномерне расподеле температуре по пресеку брикета, утицаја угаоне координате на коефицијент прелаза топлоте, као и преноса масе (влаге), кроз порозну структуру брикета током процеса преноса топлоте и сушења.

Дата је препорука да се брикети, након линије за хлађење, пре паковања одложе на поду магацина и да се природним путем, на ваздуху, охладе до температуре околине. Мерењима је утврђено да централни део брикета достиже температуру околине за 20 до 25 часова. На овај начин се избегава појава деградације материјала услед заостале топлоте и влаге током складиштења и транспорта.

3.5 Уређаји за сагоревање биомасе

Приликом пројектовања постројења за производњу топлотне енергије, основни податак је гориво (или горива) које ће се користити. Садржај енергије у јединици горива, његове карактеристике, састав, понашање приликом сагоревања су одређујући фактори за избор ложишта, димензије површина за размену топлоте и других елемената енергетског постројења. У развијеним земљама пре инвестирања и пројектовања енергетских постројења, приступа се изради студија које дају одговоре на питања које гориво је доступно, у којој мери и по којој цени. Последица оваквог (позитивног) приступа је да су данас у примени котлови конструкција специјализованих за сагоревање различитих облика чврсте биомасе, која је локално доступна и у већој мери расположива.

Најекономичније је коришћење локалне биомасе у изворном облику – сечка и струготина. При томе котлови имају нешто нижи степен искоришћења и али је цена горива значајније мања. У урбаним срединама се углавном користе котлови на пелет, за енергетска постројења снаге до неколико мегавата. Изглед котла са косом решетком који је специјализован за сагоревање дрвне биомасе у форми сечке и котла за сагоревање пелета је приказан на слици 19.



Слика 19. Пресек котла за сагоревање дрвне биомасе у слоју (лево) и пелет (десно)

Поред већих енергетских постројења, потражња је и за индивидуалним (кућним) котловима и пећима, чији удео у укупној националној потрошњи енергената не сме бити занемарен. Последњих година, обзиром на цену природног гаса, велики напредак остварују котлови на биомасу, често и као комбинација са предгревањем воде путем соларне енергије. Када је реч о земљама ЕУ, практично је немогуће срести индивидуална ложишта која користе угаљ или нафтне деривате. Локални ресурси се максимално користе. Индивидуални котлови и пећи су специјализовани за коришћење пелета као горива и најчешће су снаге од 5 до 50 kW. Пећи обављају сагоревање пелета и директно зрачењем и загревањем ваздуха предају топлоту просторији. Углавном се примењују за загревање појединачних просторија. Котлови на пелет се користе за загревање воде радијаторског грејања за различите објекте. Изглед пећи је приказан на слици 20. као и изглед кућног котла иностраног произвођача „Herz“ и домаћег произвођача „Радијатор – Краљево“.

На тржишту у Србији су већ неколико година доступни котлови и пећи страних произвођача, различитог дизајна, величине и снаге. Интересовање за пелет као гориво је испратила и домаћа привреда, тако да се данас постоји и палета пећи и котлова слична увозним, али са нижим ценама.



Слика 20. Пећ на пелет, кућни котлао на пелет (произвођач Herz) и кућни котлао на пелет домаће производње („Радијатор“ - Краљево); извори: www.hevac.ie/products.php; http://www.alibaba.com/product-gs/461229331/Pellet_stove.html; и http://deltaterm.com/slike/ART_651_1.jpg

4 ПРИПРЕМА ЗА ИСПИТИВАЊЕ У СИСТЕМУ ДАЉИНСКОГ ГРЕЈАЊА БЕОГРАДА

4.1 О Даљинском грејању Београда

„Београдске електране“ настале су 1965. године спајањем предузећа у оснивању „Топлана“ са Новог Београда и старе електране на Дунавском кеју. Од оснивања, основна делатност БЕ била је комбинована производња електричне и топлотне енергије и пренос/дистрибуција топлотне енергије до потрошача. До краја 1989. године БЕ биле су организоване као радна организација и налазиле су се у саставу Здружене Електропривреде Србије.

Скупштина града Београда је 21.12.1989. године на основу Закона о комуналним делатностима и Статута града Београда, донела Решење о организовању Радне организације „Београдске електране“ као Јавног комуналног предузећа.

Поред основне делатности ЈКП „Београдске електране“ су регистроване и за обављање других делатности и то: производњу термоелектричне енергије, дистрибуцију гаса, оправку, одржавање и реконструкцију постројења, опреме и уређаја за производњу и дистрибуцију топлотне и електричне енергије, оправку и одржавање опреме и уређаја за мерење количине топлоте, пројектовање, производњу подстанца и др. Средином 2003. године из биланса је изузето турбинско постројење у делу производње електричне енергије услед његове старости и ниског степена корисности, тако да предузеће данас производи и дистрибуира само топлотну енергију.

Са 64 топлотна извора, топловодном мрежом од преко 600км и са више од 7.500 предајних станица, предузеће представља једну од највећих компанија за производњу и дистрибуцију топлотне енергије на Балкану. Систем даљинског грејања Београда поред блоковских и индивидуалних котларница чини и 15 топлана: Нови Београд, Дунав, Коњарник, Вождовац, Церак, Медаковић, Баново Брдо, Миљаковац, Земун, Миријево, Батајница, Вишњичка Бања, Борча,

Младеновац и Барајево. Из четири извора која нису власништво предузећа обавља се преузимање (куповина) топлотне енергије и дистрибуција корисницима.

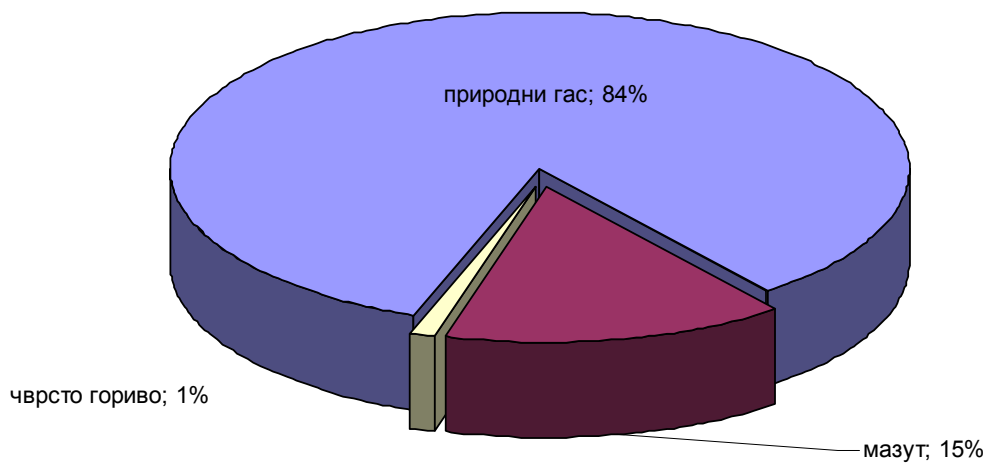
ЈКП “Београдске електране” снабдевају топлотном енергијом 287.159 станова у на ширем подручју града. Укупан номинални производни капацитет износи 2.832 MW. Протеклих година, уградњом економајзера на топланама Нови Београд, Коњарник, Вождовац, Церак и Дунав, повећана је расположива енергија за 36 MW.

Производња и испорука топлотне енергије за загревање санитарне топле воде обавља се током целе године из 11 топлотних извора. Топлотни конзум за припрему потрошне топле воде износи 72 MW, а потрошном топлом водом снабдева се 30.370 станова или 10,6 % од станова који имају даљинско грејање.

Укупна инсталисана активна снага код потрошача износи 3.015 MW према подацима из септембра 2011. године. Укупни активни конзум код потрошача у септембру 2011. године износи 20.912.820 м². Од укупног активног конзума на стамбени простор односи се 16.527.907 м² или 79%, а на пословни простор 701.586 KW што преведено у м² износи 4.384.913 м² или 21%.

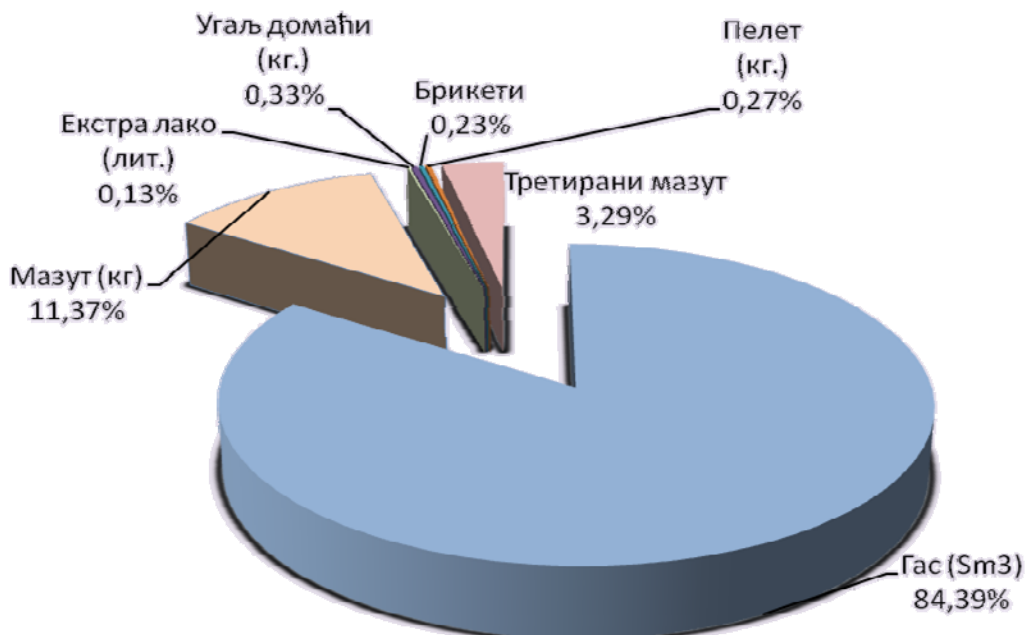
Као примарно гориво до 2008. године користио се природни гас, мазут, екстра лако уље за ложење и угаљ. Свођењем различитих врста енергената преко њихових калоричних вредности на еквивалентни мазут долази се до цифре од просечно 200.000 тона за просечну грејну сезону.

Структура утрошеног горива за грејну сезону варира у зависности од расположивости појединих врста горива и њихове тренутне цене, али се углавном креће у интервалима: природни гас 80-85%, мазут 11-15% и чврста горива до 1% (слика 21.) [15.].



Слика 21. Структура утрошеног горива за просечну грејну сезону

Од 2008. године 70% од годишње количине угља је замењено са пелетом и брикетом од дрвне биомасе, тако да годишњи биланс сада изгледа како је приказано на слици 22.



Слика 22. Структура горива утрошеног током грејне сезоне 2010/11

4.2 Разлози за испитивање

У складу са савременим европским и светским трендовима, а суочени са непрекидним растом цене фосилних горива, ЈКП „Београдске електране” већ више година посебну пажњу посвећују повећању енергетске ефикасности и екологији истражујући могућности за примену обновљивих извора енергије у процесу производње топлотне енергије за грејање града Београда. Проблематика је посебно интересантна када се у обзир узму и проблеми глобалног загревања, као последица сагоревања фосилних горива.

У протеклих 30-так година, ЈКП „Београдске електране” су угасиле више од 1000 локалних котларница, које су као гориво користиле мазут или угаљ, потрошаче повезале на систем великих топлана које као гориво користе природни гас и тиме значајно допринели побољшању квалитета ваздуха за житеље главног града. Ефекат је још значајнији јер су објекти са изворно индивидуалним грејањем у близини траса нових топловода за гашење котларница прикључени на систем као нови корисници. У последњих десет година просечна стопа раста броја нових корисника је око 3%.

Технички није могуће све котларнице угасити на овај начин, или спровести њихову гасификацију. Сигурно је да ће поједине котларнице морати да раде још дужи низ година. За њих је потребно пронаћи квалитетно техничко решење, које је у исто време енергетски, економски и еколошки оправдано.

У предметним котларницама се налазе колови различитих типова и произвођача који топлу воду (врелу воду или пару) производе на бази сагоревања течног или чврстог. Услед многобројних проблема, у првом реду су у фокус дошле котларнице чији котлови које користе угаљ као примарно гориво. Угаљ, као фосилно гориво који производи при сагоревању знатне количине штетних продуката сагоревања

Обзиром да за инвестициона улагања, како је то у уводном делу описано, није било средстава, замена котлова, што је свакако најбоље решење није долазила у обзир. Дакле, котларнице у техничком погледу, морају да остану непромењене. Једино што преостаје је променити гориво, али тако да његове карактеристике буду сличне угљу – сушеном Колубарском лигниту, гранулација орах и коцка. Проналажењем таквог горива се аутор овог рада бавио читаву

деценију. Пелет и брикет од дрвне биомасе су били потенцијално добро решење, али је увек у први план долазило питање економске (не)исплативости, јер није било домаће производње већ је ово “ново” гориво морало да се увезе. У периоду 2005. до 2008. године у Србији је изграђено више постројења за производњу енергетског пелета и брикета од биомасе. Тиме су се створили услови да се у пракси директна замена у постојећим котларницама, јер је под повољним условима овај нови енергент био доступан на домаћем тржишту.

Почетком јануара 2008. године домаћи произвођачи су препознали квалитет ове идеје и донирали количине пелета и брикета које су биле потребне за испитивање. У почетку су сви изражавали сумњу у резултате, јер никоме није било познато да је негде у ширем окружењу ово у пракси и реализовано. Одговор да ли је неко то спровео у дело нису дали ни интернет претраживачи. Без обзира на то, одлучено је да се испитивање обави, и то у реалним условима, директно на топлотним изворима који су у погону, у зимским условима и без нарушавања квалитетне испоруке топлотне енергије потрошачима.

Тако је и настао основни задатак овог испитивања: **да се, на бази конкретних мерења у реалним условима процени могућност директне субституције угља пелетом и брикетом, без икаквих техничких модификација система.**

4.3 Избор локација - топлотних извора

Након доношења одлуке да се испитивања реализују у реалним условима, урађена је детаљна анализа свих котларница и топлана које су у саставу ЈКП „Београдске електране”, а као погонско гориво користе угаљ. Анализирани су сви утицајни параметри:

- тип, врста и снага котла
- начин транспорта и дозирања горива у ложиште
- начин увођења ваздуха у ложиште
- радни медијум (пара или вода)
- складишни простор и приступни путеви за велика транспортна возила
- претходни налази еколошке инспекције.

Као посебан фактор је анализирана близина објеката, њихов број, величина и намена (стамбени, резиденцијални и пословни простори).

Сачињен је план и програм испитивања са динамиком појединих активности, који је усаглашен на састанцима стручног тима формираног за потребе овог испитивања. У све активности је укључен и Проф. Др Мирољуб Ацић, редовни професор на Катедри за Термотехнику, Лабораторија за горива и сагоревање на Машинском факултету Универзитета у Београду.

Изабрано је две топлане и три котларнице у којима ће се испитивање обавити. Оваквим избором су „покривени” сви типови котлова за чврста горива и начини дозирања горива/ваздуха, што ће резултате учинити репрезентативним. Обухваћено је:

- типови котлова: блок, стрмоцевни, чланкасти
- транспорт горива: тракасти, елеваторски, ручни
- додавање горива: механичко (пужно и импулсно) и ручно
- увођење ваздуха у ложиште: принудно и природно
- одвајање чврстих честица из продуката сагоревања: циклонски и без одвајања.

За испитивање, које је обављено у периоду фебруар-април 2008. су изабрани, уз карактеристике као што следи, следећи топлотни извори:

Топлана “Барајево”: Тракасти транспортер за унутрашњи пренос горива, топловодни блок котлови, константно додавање горива помоћу пужног додавача, принудно (вентилаторско) увођење ваздуха у ложиште, циклонско одвајање чврстих честица из продуката сагоревања, близина већег броја објеката колективног становања.

Технички подаци топлане “Барајево” су:

-	Инсталирани капацитет	7,675 MW
-	Број котловских јединица	5
-	Појединачна снага котла	1,535 MW
-	Тип котла	REMAX-GA
-	Година производње котлова	1986/89
-	Гориво	угаљ “сушени Вреоци - Колубара”
-	Гранулација	орак
-	Температурски режим котлова	110/70 °C
-	Капацитет прикључених потрошача	4,26 MW
-	Грејна површина	35903 м ²
-	Тип подстанција	директне
-	Температурски режим топловода	110/70 °C
-	Температурски режим КГИ	90/70 °C

Обзиром да су прва, најобимнија и најразличитија испитивања обављена на топлани “Барајево”, биће презентовано неколико додатних податка.

Топлана ”Барајево” је пуштена у рад октобра 1987 године. Првобитно је била у саставу комуналног предузећа ”10 октобар” из Барајева, да би 1996. године била предата ЈКП ”Београдске електране”. Низом активности током протеклих година, подигнут је технички ниво квалитета рада и руковања постројењем. Изглед топлане „Барајево“ приказан је на слици 23.



Слика 23. Топлана „Барајево“ и насеље које снабдева топлотном енергијом
ГОРИВО: Котлови као гориво користе угаљ чија је топлотна моћ око 16 MJ са карактеристиком топлјивости шљаке изнад 1150 °C. Угаљ мора бити гранулације 10-50 мм (орак). Користи се угаљ “сушени Вреоци - Колубара”. Према упутству за руковање које је дао произвођач, ови котлови могу радити и са дрвеним отпадом у гранулацији до 80мм, али са малим садржајем влаге, прашине и ситнијих фракција.

СКЛАДИШНИ ПРОСТОР: Складишни простор за чврсто гориво се налази у продужетку топлане и у директној је вези са котловским јединицама путем тракастог транспортера и вертикалног додавача. Складишни простор (слика 24.) је полуотвореног типа, наткривен и са две стране делимично ограђен. Попуно отворен са чеоне стране (за улазак камиона – истовар). Корисна површина основе је 700 м², у принципу се угаљ складишти до 1,5 м висински. Имајући у виду насипну густину угља величине орак, капацитет складишта је око 1000 тона.



Слика 24. Складишни простор топлане „Барајево“

Топлана “Сремчица”: Елеваторски и тракасти транспортери за унутрашњи пренос горива, вреловодни стрмоцевни котлови, механички импулсни додавачи горива, принудно (вентилаторско) увођење ваздуха у ложиште, циклонско одвајање чврстих честица из продуката сагоревања, одвођење шљаке мокрим поступком, близина већег броја објеката колективног становања.

Технички подаци топлане „Сремчица“ су:

-	Инсталирани капацитет	7 MW
-	Број котловских јединица	2 ком.
-	Појединачна снага котла	3,5 MW
-	Тип котла	ТЕ 203-Минел котлоградња
-	Година производње котлова	1989 год.
-	Гориво	угаљ “сушени Вреоци - Колубара”
-	Гранулација	орак
-	Температурски режим котлова	150/100 °C
-	Капацитет прикључених потрошача	5238,78 KW
-	Грејна површина	45,747 м ²
-	Тип подстанца	индиректне
-	Температурски режим топловода	150/75 °C
-	Температурски режим КГИ	90/70 °C

Котларница “Сењак”: Канална допрема горива до складишта, ручно пуњење бункера, топоводни блок котлови, константно додавање горива помоћу пужног додавача, принудно (вентилаторско) увођење ваздуха у ложиште, циклонско

одвајање чврстих честица из продуката сагоревања, близина резиденцијалних објеката.

Технички подаци котларнице “Сењак” су:

-	Инсталирани капацитет	2,4 MW
-	Број котловских јединица	2
-	Појединачна снага котла	1,2 MW
-	Тип котла	Remax GA-1000 ТПК-Загреб
-	Година производње котлова	1990.год.
-	Гориво	угаљ “сушени Вреоци - Колубара”
-	Гранулација	орак
-	Температурски режим котлова	110/70 °C
-	Капацитет прикључених потрошача	1616,90 KW
-	Грејна површина	11.409 м ²
-	Тип подстананица	директне и индиректне
-	Температурски режим топловода	110/70 °C
-	Температурски режим КГИ	90/70 °C

Котларница “Богословија”: Ручно пуњење котлова, природно струјање ваздуха кроз ложиште, топловодни чланкасти котлови, близина стамбених и објеката посебне намене.

Технички подаци котларнице “Богословија” су:

-	Инсталирани капацитет	1.488 MW
-	Број котловских јединица	3 ком.
-	Појединачна снага котла	0.744 MW
-	Тип котла	BVV-640
-	Година производње котлова	1967 год.
-	Гориво	угаљ “сушени Вреоци - Колубара”
-	Гранулација	коцка
-	Температурски режим котлова	90/70 °C
-	Капацитет прикључених потрошача	864.9 KW
-	Грејна површина	6178 м ²
-	Тип подстананица	HEMA

- Температурски режим топловода 90/70 °C
- Температурски режим КГИ 90/70 °C

Котларница “Миријевски булевар”: Ручно пуњење котлова, природно струјање ваздуха кроз ложиште, парни чланкасти котлови, налази су унутар великог објекта колективног становања.

Технички подаци котларнице „Миријевски Булевар 2“ су:

- Инсталирани капацитет 0.904 MW
- Број котловских јединица 4 ком.
- Појединачна снага котла 0.226 MW
- Тип котла НЕО ВУЛКАН 3-87.14
- Година производње котлова 1965 год.
- Гориво угаљ “сушени Вреоци - Колубара”
- Гранулација коцка
- Температурски режим котлова 90/70 °C
- Капацитет прикључених потрошача 713.9 KW
- Грејна површина 5099 м²
- Тип подстанца НЕМА
- Температурски режим топловода 90/70 °C
- Температурски режим КГИ 90/70 °C

4.4 Опис и ток испитивања

Планом је предвиђено да основне податке представљају параметри уобичајеног рада са угљем. Праћење параметра се одвија од јутарњег старта до постизања радног режима и његово одржавање током дана. Током ноћног прекида, транспортни системи и котлови се у потпуности очисте од угља или остатака његовог сагоревања. Наредног дана, на истом објекту, на истом котлу, понављају се све активности, идентично као да се ради са угљем, али се као гориво користи пелет.

Овај поступак је једнообразно понављан на сваком појединачном топлотном извору.

Целокупна испитивања су спровођена искључиво у присуству и под контролом аутора овог рада и у присуству тима акредитоване лабораторије која је била задужена за сва мерења. Присуство надлежних за извршење испитивања је било неопходно обзиром да се ради о котловима релативно веће снаге (до 3,5MW), да је у питању сагоревање новог горива за које се нису могла наћи претходна искуства и да се све одвија у реалном систему са редовном испоруком топлотне енергије корисницима, што није смело бити угрожено. Пре сваког почетка рада котла, обављан је преглед котла и инсталација.

У случају када су резултати примене пелета били незадовољавајући, као што је то случај код котлова са ручним ложењем, од даљег испитивања са пелетом се одустајало и сутрадан на истом котлу, према истој процедури, обављало испитивање са брикетима.

Након првог сета мерења на свим котловима, на изабраним топлотним изворима су понављана испитивања, али са одређеним модификацијама радних параметара са циљем постизања максималних енергетских и еколошких ефеката. Жеља је била да се експерименталним путем одреде карактеристични параметри на основу којих ће се прописати процедуре рада и обавити обука руковооца, и тиме створити услови за безбедан прелазак на ново гориво.

Основна испитивања угаљ/биомаса су спроведена на свим објектима. Додатно, на топлани “Барајево” су урађена и додатна испитивања сагоревања мешавина пелета и угља (удео угља 25% и 50%), али искључиво због даљих теоријских разматрања, као и одређивања понашања котла уколико дође до мешања горива на складишту.

Преглед планираног горива за испитивање по топлотним изворима је дат у табели 11.

Табела 11. Планирана врста горива за испитивање према топлотним изворима

Топлотни извор	УГАЉ	ПЕЛЕТ	БРИКЕТ
ТО „Барајево“	ДА	ДА	НЕ
ТО „Сремчица“	ДА	ДА	НЕ
КО „Сењак“	ДА	ДА	НЕ
КО „Богословија“	ДА	ДА	ДА
КО „Миријевски булевар“	ДА	ДА	ДА

5 РЕЗУЛТАТИ ИСПИТИВАЊА СА АНАЛИЗОМ

У овом поглављу ће бити приказани сви подаци релевантни за обављена испитивања, као што су:

- опис свих мерења са примењеним методама и инструментима/уређајима
- техничке анализе коришћених горива
- резултати полазних испитивања са угљем
- резултати испитивања са биомасом
- упоредни приказ добијених резултата

Обзиром да је након спроведеног испитивања, на бази Извештаја донета одлука да се започне са масовном заменом угља пелетом и брикетом од дрвне биомасе, те да су исти били у примени континуално током наредне четири грејне сезоне, биће приказани и збирни показатељи по грејним сезонама, који су у пракси потврдили резултате основног испитивања и оправданост примене новог горива - обновљивог извора енергије.

Интензивним праћењем квалитет рада топлотних извора током наведеног периода, уочена су места на којима је могуће спровести оптимизацију делова процеса, што је и урађено. Оптимизација се првенствено односила на начин паковања, транспорта и/или допреме горива до складишта, оптимизацију хладног старта постројења када се користи брикет, а један сегмент је захтевао и испитивање на месту производње брикета у циљу повећања његове отпорности приликом транспорта и складиштења.

Током грејне сезоне 2009/10 урађено је испитивање могућности додатног смањења азотових оксида додавањем адитива директно у чврсто гориво (пелет) пре његовог увођења у процес сагоревања.

Протеклих година су се на тржишту појавили брикети других геометријских карактеристика, структуре и састава (дрвна маса у спрашеном стању, агро-брикети од сламе и слично).

На изабраној котларници је обављено упоредно испитивање квалитета сагоревања и продукције топлоте за три различите врсте брикета, у свему према

алгоритму основног испитивања из 2008. године, укључујући и почетно испитивање са угљем.

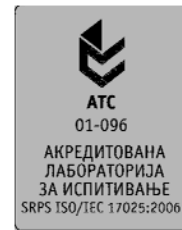
Сви наведени „додатни“ резултати ће такође бити приказани на крају овог поглавља.

5.1 Врсте мерења, методе и опрема

Према плану испитивања, спроведена су мерења састава продуката сагоревања, мерења утрошене количине горива, контролна мерења протока и температуре као и одређивање количине пепела након сагоревања.

5.1.1 Мерења састава продуката сагоревања

Сва мерења састава продуката сагоревања током испитивања, која су коришћена у овом раду, обавила је акредитована Лабораторија за ову врсту испитивања у саставу „Центра за испитивање, квалитет и екологију“ ЈКП „Београдске електране“. Услови испитивања су обезбеђени у складу са



Правилником о граничним вредностима емисије, начину и роковима мерења и евидентирања података (Сл.гл.Р.С, бр.30/97, 35/97), СРПС М.Е2.203:1980.

Методе испитивања су у складу са Упутством за испитивање продуката сагоревања УП.53.540.01 на основу стандарда СРПС М.Е2.203:1980.

Коришћена опрема за испитивање је Гасни анализатор TESTO 350 XL са карактеристикама мерног опсега како је приказано у табели 12.

Димни број је одређиван стандардним уређајем по Бахараковој скали са поделом од „нула“ до „девет“ („0“ нема чврстих честица, „9“ попуно затамњење, велико присуство чађи у продуктима сагоревања).

Табела 12. Карактеристике мерног опсега Гасног анализатора TESTO 350 XL

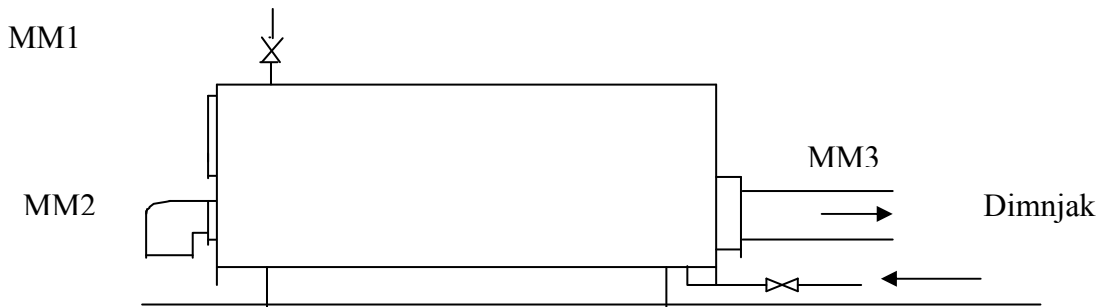
КОМПОНЕНТА	МЕРНИ ОПСЕГ	ТАЧНОСТ
CO	0-10000 ppm	± 5 % m.o
NO	0-3000 ppm	± 5 % m.o
NO ₂	0-500 ppm	± 5 % m.o
SO ₂	0-5000 ppm	± 5 % m.o
O ₂	0-25 % Vol	± 0.8 % m.o
Температура	-40 °C - 1200 °C	± 0,5 % m.o
Брзина	0-40 m/s	± 0.4 m/s

Приликом сваког појединачног мерења, избор положаја мерних места извршен је од стране извођача мерења у складу са стандардима и методама мерења емисије и стварним погонским условима објекта. Приликом мерења на истом котлу, а за различита горива и/или различитом временском периоду, увек су коришћена иста мерна места.

Шема мерних места је саставни део сваког извештаја и има форму као што је то приказано на слици 25.

Током самих мерења и обраде резултата поштован је Правилником о граничним вредностима емисије, начину и роковима мерења и евидентирања података (Сл.гл.Р.С, бр.30/97, 35/97) за постројења одговарајуће инсталисане снаге. Референтна вредност за кисеоник у продуктима сагоревања је 7% када је као гориво коришћен угаљ, а 11% када је у питању биомаса.

На слици 26. је приказан детаљ са мерења састава продуката сагоревања приликом испитивања сагоревања пелета у топлани „Барајево“, а на слици 27. положај мерних сонди приликом истог мерења и визуелна контрола гасова на излазу из димњака при сагоревању пелета (слика 28.).



Слика 25. Шема мерних места на котловима

Легенда уз слику 25. - мерење величине на мерним местима:

М.М. 1 Барометарски притисак околног ваздуха / Спољна температура (Погонски инструмент)

М.М. 2 Температура ваздуха у котларници / Инструмент TESTO 350 XL (Testo GmbH&Co.)

М.М. 2 Мерење количине горива

М.М. 3 Мерење Продуката сагоревања

М.М. 3.1 Запремински удео O_2 , CO_2 , CO , SO_2 , NO и NO_2 у сувим димним гасовима / Инструмент: Гасни анализатор TESTO 350 XL (произвођач Testo GmbH & Co.)

М.М. 3.2 Температура димних гасова на излазу из котла / Инструмент: Гасни анализатор TESTO 350 XL (произвођач Testo GmbH & Co.)

М.М. 3.3 Брзина димних гасова / Инструмент: Гасни анализатор TESTO 350 XL (произвођач Testo GmbH & Co.), / Pitot-Prandtl-ова сонда



Слика 26. Мерење састава продуката сагоревања



Слика 27. Положај мерних сонди



Слика 28. Визуелна контрола димњака за време рада са пелетом

5.1.2 Мерење потрошње горива

Имајући у виду да се ради са чврстим горивом (пелетом, брикетом и угљем) и да котлови нису опремљени уређајима за мерење утрошене количине горива, већ се то ради методама које нису довољно прецизне за потребе овог испитивања, уведене су додатна контролна мерења. Гориво за потребе испитивања се издвоји и ручно измери помоћу динамометара мерног опсега 0 – 10 кг са тачношћу 0,1 кг и мерног опсега 0 - 50 кг са тачношћу 0,5 кг. У случају мерења већих количина, резултат је добијен као збир више парцијалних мерења из мерног опсега уређаја.

Ова мерења су значајна и за одређивања количине пепела након сагоревања, јер је у реалним условима тешко обезбедити идентично масу утрошеног горива, нарочито током вишесатног рада, па се након мерења укупне количине пепела приступило рачунској корекцији.

Код котлова са уређајима за континуално дозирање горива („Барајево“, „Сењак“) кошеви котлова морају да се периодично допуњавају током рада, па је код њих примењено додатно мерење. Имајући у виду да пужни додавачи имају константан број обртаја и да дозирају гориво константном брзином, а да угаљ и пелет имају различите геометријске карактеристике што донекле утиче на масу горива доведену у ложиште, одлучено је да се тачно одреди количина дозираног горива путем мерења масе за одређени временски период, без сагоревања у котлу.

Мерење урађено на следећи начин: котао је потпуно очишћен, у тренутку стартовања пужног додавача је стартован хронометар, гориво је дозирано одређени временски период (15 минута), искључиван је додавач, гориво из ложишта је прикупљено и измерено. Поступак је поновљен по два пута, како за угаљ, тако и за пелет. Друго, контролно мерење није показало одступање у измереној количини горива.

На пример, за 15 минута котао ВК2 је ”издозирао” 54 кг пелета односно 56 кг угља, а котао ВК4 за исти период 62 кг пелета односно 65 килограма угља. На овај начин је одређена потрошња горива по сату континуалног рада. Резултати за прва два котла на којима је испитивање обављено приказани су у табели 13.

Табела 13. Измерена потрошња чврстих горива за котлове у топлани ”Барајево”

	Време	УГАЉ	ПЕЛЕТ
котао ВК2	1 сат	216 кг	224 кг
котао ВК4	1 сат	248 кг	260 кг

Контрола је обављена и праћењем утрошених врећа пелета (машински пакованих у фабрици са познатом тежином) током дуготрајног рада топлане. На слици 29. је приказан изглед ложишта котла са дозированной количином пелета током одређивања потрошње котла.



Слика 29. Пелет у ложишту котла приликом одређивања потрошње

5.1.3 Мерење протока

Имајући у виду чињеницу да су параметри протока воде кроз котлове и магистрале, у стационарном режиму током производног рада топлотних извора који су изабрани за испитивање константне величине, одлучено је да се током првог испитивања у топлани „Барајево“ одговарајуће вредности и измере.

У циљу тачног одређивања протока воде кроз котлове, колекторе и полаз/поврат магистрале, тим акредитоване лабораторије Центра за квалитет, испитивање и екологије је припремила мерна места, обавила потребна мерења и о томе сачинила извештај. Измерени су следећи протоци воде:

- Проток на улазу у котао
- Проток на излазу из котла
- Проток на „бајпасу“ котла
- Проток на потису магистрале
- Проток на поврату магистрале

Протоци су мерени само током првог целодневног испитивања. Из добијених резултата закључено је да нема одступања по питању протока кроз котлове, као и на потису магистрале без обзира на радне режиме те се усваја да се сва мерења квалитета и рада са пелетима и угљем одвијају у стационарном режиму по питању протока. Договорено је да се за остале објекте мерења протока не обављају, већ да се и за њих протоци сматрају за константне величине, без обзира на врсту горива. Постављање опреме за мерење протока, као и диспозиција котлова и транспортног система за гориво су приказане на слици 30.

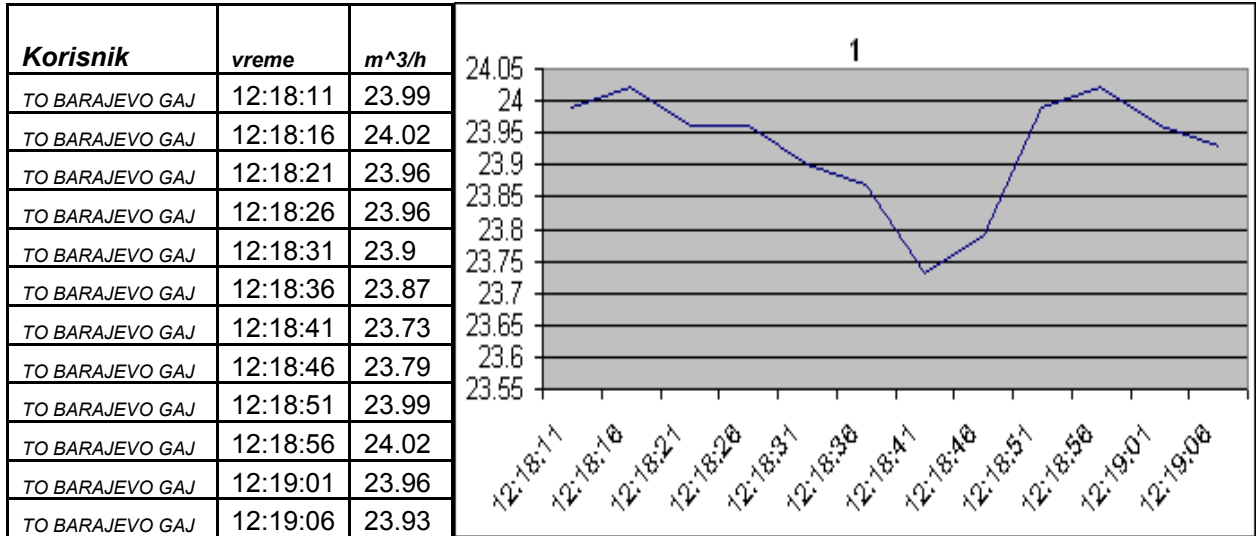
Технички подаци о мерењу протока ултразвучним мерачем на топлани ”Барајево” дати су у табели 14. Сегмент мерења, на коме се види константност протока воде за одређена мерна места је, у оригиналној форми приказан на сликама 31. до 35.



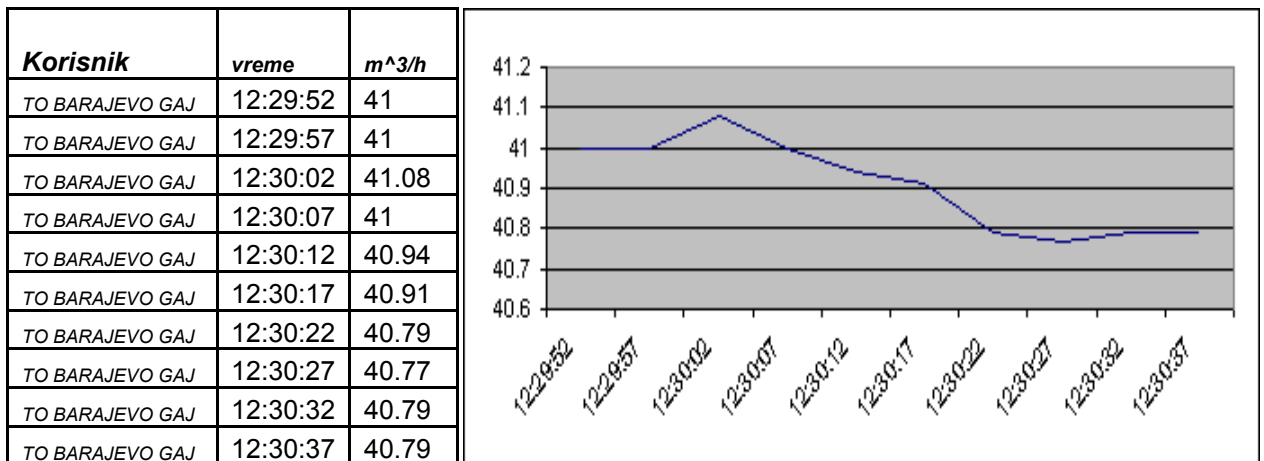
Слика 30. Постављање опреме за мерење протока и диспозиција котлова, тракастог транспортера друге опреме у топлани ”Барајево” - први дана мерења

Табела 14: подаци мерења протока

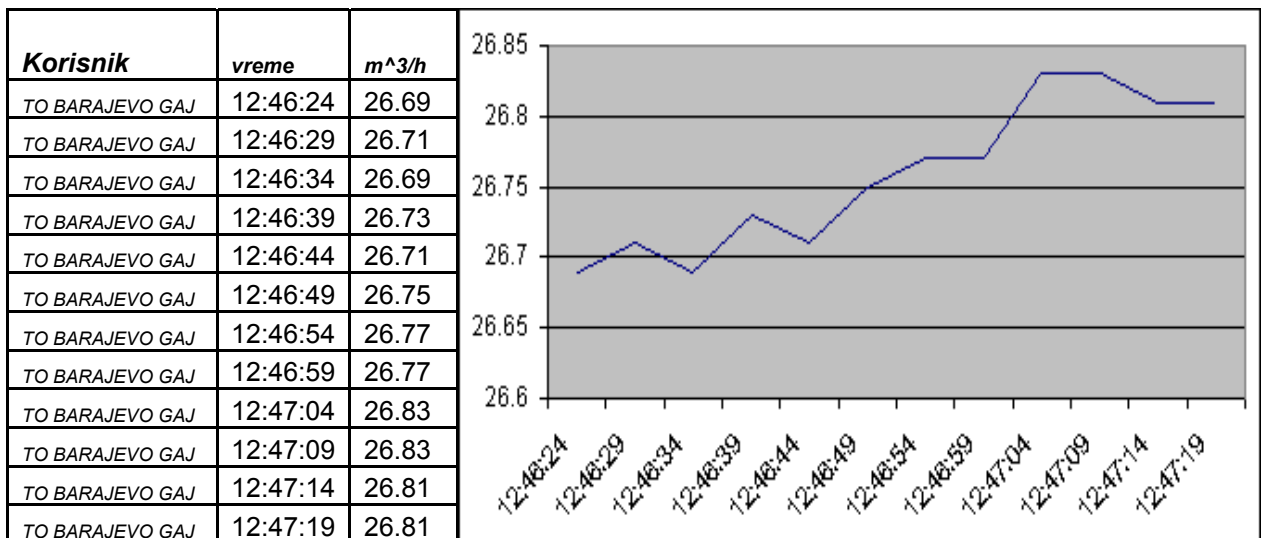
Мерна места	улаз котла 2 излаз котла 2 бајпас котла 2 топловодна магистрала –Гај
Флуид	Вода
Температура флуида	82°C
Технички подаци	улаз котла 2 Ø 108 x 3.6 излаз котла 2 Ø 108 x 3.6 бајпас котла 2 Ø 88.9 x 3.2 топловодна магистрала Ø 159 x 4.5
опрема за мерење	ултразвучни мерач протока UFM 610 P KROHNE ALTOSONIC UFM 610 P Portable system
карактеристике опреме	IP Protection Class Material High Density Foam Dimensions: 275*150*55mm Connections: IP65 Protection Class Temperature range: Operating 0°C to +60°C Max. Humidity at 40°C 85% Accuracy: ± 2% for velocity ≥ 1 m/s 0.02 m/s for velocity < 1 m/s Temperature range: -20°C to +200°C



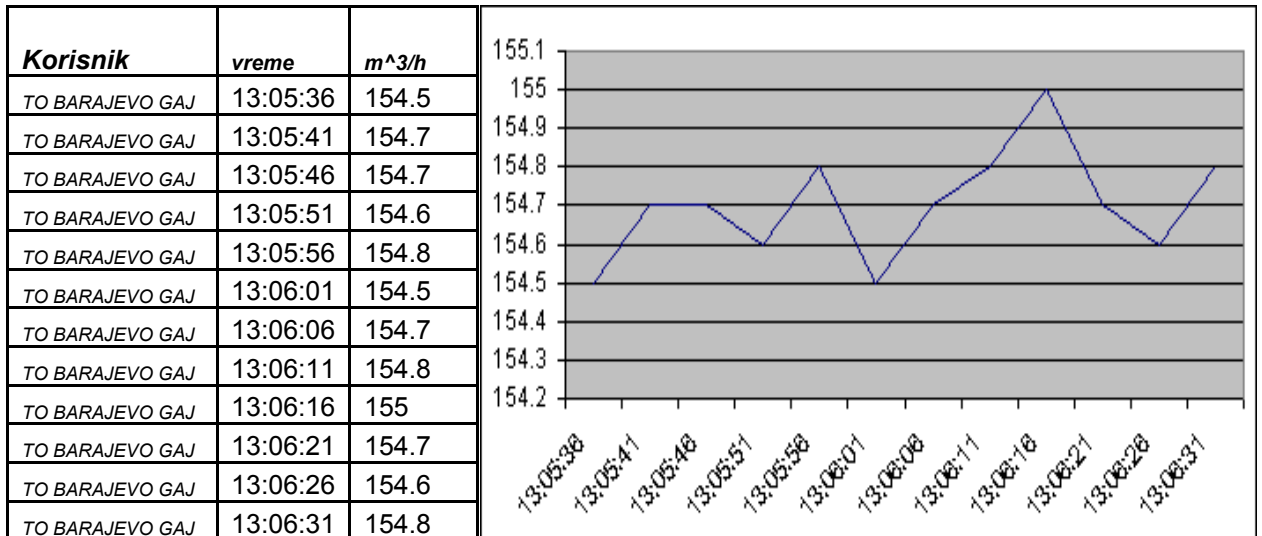
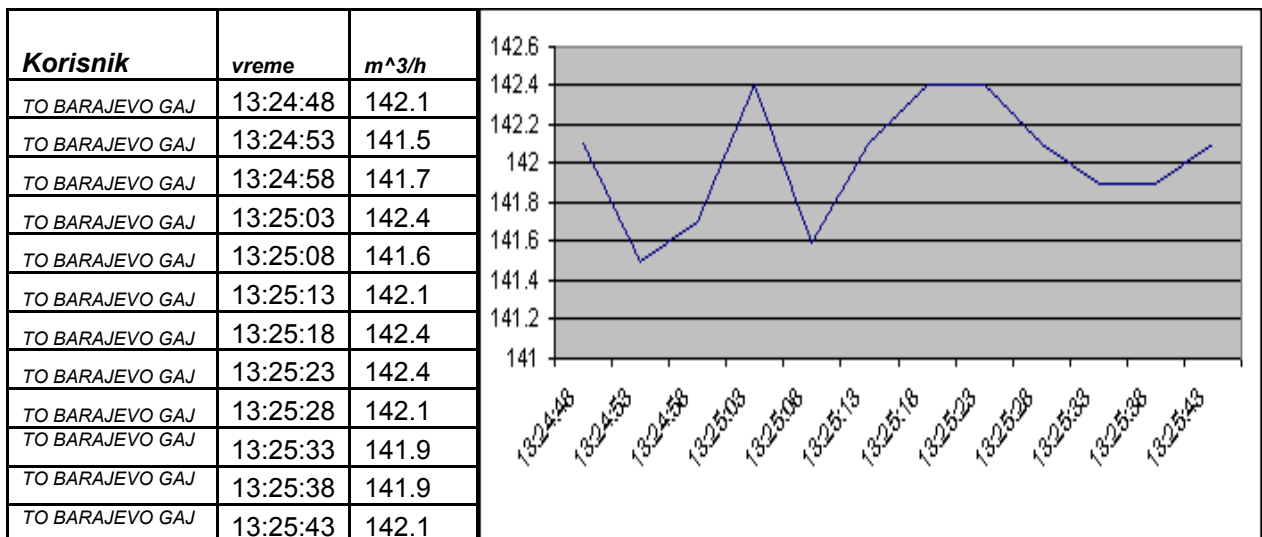
Слика 31. Проток на мерном месту: улаз котла 2 Ø 108 x 3.6



Слика 32. Проток на мерном месту: Излаз котла 2 Ø 108 x 3.6



Слика 33. Проток на мерном месту: Бајпас котла 2 Ø 88.9 x 3.2

Слика 34. Проток на мерном месту: Топловодна магистрала - потис \varnothing 159 x 4.5Слика 35. Проток на мерном месту: топоводна магистрала - поврат \varnothing 159 x 4.5

5.1.4 Одређивање количине пепела

Обзиром да је одређивање количине пепела при раду са чврстим горивима отежано услед његове високе температуре, честог чишћења и растура на складишту, примењена је следећи поступак: котао је пре сваког испитивања потпуно очишћен до металних површина, обављано је испитивање - сагоревање чврстог горива, затим је котао је искључиван, остављан одређени временски

период како би се охладио до температуре околине. Након тога приступало се прикупљању пепела и шљаке из ложишта. Засебно је третиран пепео из пепељара циклона у димном каналу. Свака количина пепела је измерена прецизним динамометром. Маса сваког појединачног горива која је коришћена у испитивању је унапред одређена и позната (измерена). На овај начин је једноставно одредити количину пепела након сагоревања и процентуално га изразити у односу на масу коришћеног горива. Идентичан поступак је поновљен за свако гориво (угаљ, пелет, брикет).

5.2 Техничка анализа горива

Значајан податак за испитивање, као и за сам процес сагоревања, обзиром да се ради са различитим врстама горива су подаци техничке анализе. Без обзира што је свако гориво приликом испоруке имало сертификат са подацима техничке анализе, а имајући у виду да се ради о горивима која су осетљива на начин транспорта и складиштења, одлучено је да се подаци техничке анализе сваког горива одреде у Лабораторији за горива и сагоревање Машинског факултета Универзитета у Београду. Треба имати у виду да произвођачи / испоручиоци чврстог горива обављају периодичне контроле и узорковања, тако да увек може доћи до мањих одступања посматраних карактеристика. Узорковање за одређивање података техничке анализе је обављано директно на почетку испитивања, пре одређивање масе горива, уз поштовање регулативе за узимање узорака.

Коришћена горива су: пелет, угаљ и брикет. За накнадно испитивање, које је описано у уводном делу овог поглавља, коришћене су још две врсте брикета. Са све њих ће у наредним редовима бити приказани подаци техничке анализе.

5.2.1 Подаци техничке анализе за пелет

За прве прорачуне пре самог испитивања коришћени су подаци техничке анализе коју је доставио произвођач. Када су погонска испитивања почела, урађена је контрола у Лабораторији за горива и сагоревање Машинског факултета Универзитета у Београду (топлотна моћ, влага и пепео) и констатовано да нема битних одступања вредности у односу на декларисану. То је разлог што су за испитивања усвојене и коришћене управо те вредности, које су дате у табели 15.

Табела 15. Подаци техничке анализе за пелет коришћен током испитивања

Карактеристика	Јединица	Измерена вредност	Метода	Захтеви према ДИН 51731
Укупна влага	% mass	4.93	ДИН 51718	<12.0
Пепео (550°C)	%mass	0.83	ДИН 51719	<1.50
Садржај сумпора	%mass	0.03	ДИН 51724	<0.08
Доња топлотна моћ	kJ/kg	17304	ДИН 51900-3	17500-19500
Густина	kg/dm ³	1.32	ДИН 52182	1.00-1.40

Током наредне грејне сезоне, набављен је пелет који је у старту имао карактеристике приказане у табели 16.

Табела 16. Подаци техничке анализе за пелет на почетку грејне сезоне 2008/09

Карактеристика	Јединица	Измерена вредност	Метода	Захтеви према ДИН 51731
Укупна влага	% mass	6.22	ДИН 51718	<12.0
Пепео (550°C)	%mass	1.20	ДИН 51719	<1.50
Садржај сумпора	%mass	0	ДИН 51724	<0.08
Доња топлотна моћ	kJ/kg	16.820	ДИН 51900-3	17500-19500
Густина	kg/dm ³	1.18*	ДИН 52182	1.00-1.40

Како је сезона одмицала, топлотна моћ испорученог пелета је показала веће вредности (контролна мерења), да би се све вредности стабилизовале и приближиле вредностима које су коришћене током основног испитивања.

Значајан је податак да је за протекле четири грејне сезоне пелет набављан од три различита произвођача (спровођењем отвореног поступка јавне набавке и формирањем квалификационе листе произвођача), са занемарљивим разликама по питању квалитета, што указује на квалитет домаће производње и може бити значајно у даљем развоју ове области.

Напоменимо да су се на домаћем тржишту појавио и пелет од љуске сунцокрета, али је он пореклом из увоза, као и више пелета „агро“ порекла, са територије Војводине. Испитивање сагоревања за ове врсте пелета нису

спровођене, јер су расположиве количине (још увек) мање од годишњих потреба ЈКП „Београдске електране“.

5.2.2 Техничка анализа за угаљ

На почетку испитивања, према прописима је узет узорак угља директно са складишта у Барајеву (лигнит – сушени „Колубара“). Одређивање података техничке анализе обављено је у Лабораторији за горива и сагоревање Машинског факултета Универзитета у Београду. Добијени резултати су приказани у табели 17. Иста испорука угља је била и за топлану „Сремчица“ и за котларницу „Сењак“ тако да се нису радила нова узорковања и одређивање карактеристика, већ је само путем документације и визуелном контролом констатовано да се ради о истом угљу.

Табела 17. Подаци техничке анализе за узорак угља са складишта топлане „Барајево“

карактеристика	Димензије	Влага - укупна	Пепео	Сумпор	Доња Т. моћ	Густина
јединица	mm	%mass	%mass	%mass	MJ/kg	kg/m ³
вредност	орак	15,73	12,46	1,87	15,22	-

Исти принцип важи и за преостале две котларнице, „Миријевски булевар“ и „Богословија“, где је испитан само узорак из прве, а резултати приказани у табели 18.

Табела 18. Подаци техничке анализе за узорак угља из складишта котларнице „Миријевски булевар 2“

карактеристика	Димензије	Влага - укупна	Пепео	Сумпор	Доња Т. моћ	Густина
јединица	mm	%mass	%mass	%mass	MJ/kg	kg/m ³
вредност	коцка	16,35	14,67	1,92	16,58	-

5.2.3 Техничка анализа за брикет

Код почетног планирања геометрије брикета, урађена је анализа доступних облика на тржишту. Констатован је широк спектар облика и димензија. Набављена је мања количина довољна за једно пуњење котла котларнице „Миријевски булевар“ (по 50 кг): мањег пречника (50 мм) и мање дужине (100мм), већег пречника (90мм) дужине 100мм и 300мм. Без мерења, само визуелном контролом процеса сагоревања на котлу у топлом стању са минималном „подлогом“ жара насталог сагоревањем угља, процењен је најпогоднији облик за испитивање. Изабран је облик са највећим габаритима (пречник 90мм и дужина 300мм). Додатни разлог за испитивање са овим узорком лежи у чињеници да је ово и најзаступљенији облик на тржишту, а циљ овог испитивања је био и накнадна практична примена добијених резултата.

Поред наведених, на тржишту се могу наћи и брикети квадратног и правоугаоног попречног пресека, различитих дужина, као и брикети са рупом у средини. Обзиром на њихову релативно малу заступљеност, ови узорци нису испитивани.

Подаци техничке анализе за брикет од дрвне струготине који су се у испитивању користили су дати у табели 19.

Табела 19. Подаци техничке анализе за брикет од дрвне биомасе - струготина

карактеристика	Димензије	Влага - укупна	Пепео	Сумпор	Доња Т. моћ	Густина
јединица	mm	%mass	%mass	%mass	МЈ/kg	kg/m ³
вредност	Ø90x250	8,92	1,05	0	17.561	1,12

У накнадним испитивањима је коришћен и брикет од дрвне биомасе веома fine гранулације - дрвна прашина и за њега су подаци техничке анализе дати у табели 20. Током истих испитивања коришћен је и брикет агро порекла, у основи од сојине сламе за који су подаци техничке анализе дати у табели 21.

Табела 20. Подаци техничке анализе за брикет од дрвне прашине

Карактеристика	Димензије	Влага - укупна	Пепео	Сумпор	Доња Т. моћ	Густина
јединица	mm	%mass	%mass	%mass	MJ/kg	kg/m ³
вредност	Ø75x100	7,56	1,24	0	16.925	0,88

Табела 21. Подаци техничке анализе за брикет од агро-биомасе (слама)

Карактеристика	Димензије	Влага - укупна	Пепео	Сумпор	Доња Т. моћ	Густина
јединица	mm	%mass	%mass	%mass	MJ/kg	kg/m ³
вредност	Ø60x100	9,65	3,73	0	16.219	0,69

На слици 36. је приказан изглед коришћених брикета и угља.



Слика 36. Брикет од дрвне прашине (горе лево), агро брикет од сламе (горе десно), брикет од дрвне биомасе (доле лево) и узорковање угља

5.3 Испитивања у топлани „Барајево“

Према плану и програму испитивања, прва су реализована у топлани „Барајево“, на начин како је то претходно и описано.

5.3.1 Полазна испитивања са угљем

За почетак испитивања у топлани „Барајево“ обављено је снимање целокупног рада топлане у стандарном режиму са погонским горивом угљем - сушени Вреоци (Колубара). Угаљ је на топлану допремљен камионом, истоварен испред складишта, утоваривачем пребачен у складиште, непосредно у близини отвора транспортера. Помоћу тракастог транспортера, угаљ је пребачен до кошева котлова. Капацитет кошева је између 450 и 500 килограма, у зависности од гранулације угља и његове насипне густине, која унеколико варира зависно од испоруке.

Стекли су се сви услови да започне испитивање. Процедуре рада ће бити описане кроз детаљан опис са конкретним подацима током испитивања.

Процедура стартовања топлане се одвија на следећи начин: топлана је стартовала са радом у четири сата ујутру да би постигла задати режим од 52°C у шест часова. Радни режим се задаје претходно вече из диспечерског центра предузећа на бази прогнозиране температуре за наредни дан. Према потреби, корекција задатог режима се обавља и неколико пута током дана, у зависности од стварних измерених температура.

Старт је обављен са два котла истовремено (ВК2 и ВК4). Укључени су вентилатори свежег ваздуха. Затим су укључени вентилатори у циклонима и на крају пужни додавач горива. Пужни додавач има константан број обртаја, као и вентилатори свежег ваздуха и у циклону, што значи да котло ради на константном оптерећењу. Повећање или смањење температурског режима одлазне воде у мрежи се регулише бројем котлова у раду. Паљење горива у ложишту котла се

обавља помоћу десетак килограма већ припремљеног жара који се равномерно распореди по ложишту. При оваквом начину рада са угљем, потребно је барем једном сваког сата разгрнути угаљ и пепео који сагоревају у ложишту како би се омогућило несметано додавање новог горива и како не би дошло до зачепљења отвора за увођење свежег ваздуха, а као последица топљења пепела и шљаке сагорелог угља.

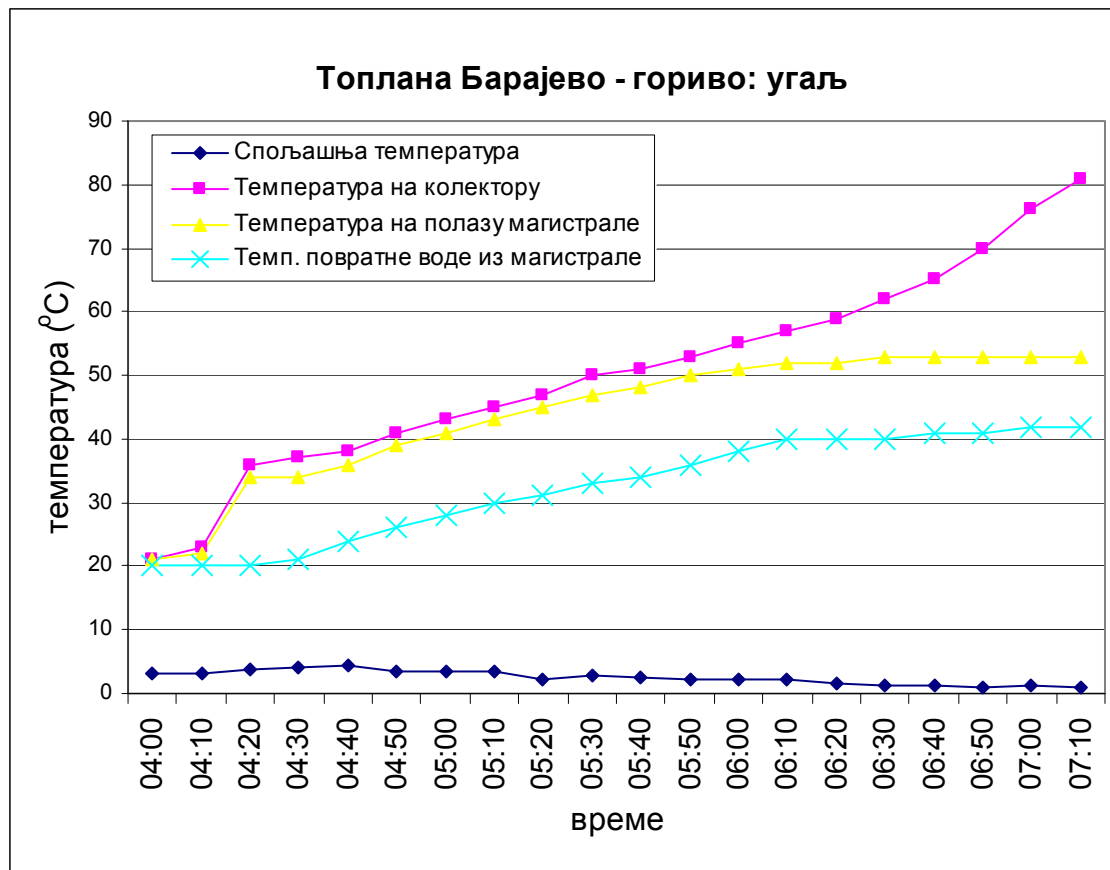
Параметри рада топлане Барајево првог дана испитивања при раду са угљем су приказани у табели 22. и на слици 37. У табели су назначене карактеристични моменти који имају утицаја на промену састава продуката сагоревања. На пример, приликом разгртања долази до драстичног повећања количине угљен-моноксида, често и преко мерног опсега уређаја, тако да наредних неколико минута ово мерење није могуће реализовати. Делимично се нарушава и струјна слика у котлу услед отварања врата и пада притиска, а долази и до мањих температурских осцилација, које уређаји практично не могу да региструју услед инертности котла. Исто важи и за избацивање шљаке из ложишта. У табели је приказан временски период од 04. до 08. часова са интервалом од 10 минута. Праћење параметара је настављено и 6 сати након тога, али је систем у стационарном раду и све појаве/параметри се циклично понављају.

При раду са угљем, акредитована лабораторија Центра за квалитет и екологију при ЈКП “Београдске електране” је обавила испитивање састава продуката сагоревања најсавременијом опремом у складу са стандардима и прописима.

Искуство је показало да котлови на чврста горива не могу да при мерењу покажу стабилне резултате током дуготрајног рада, већ вредности непрекидно осцилују око одређених вредности, у табелама 23. и 24. и сликама 38. и 39. су приказане само карактеристичне вредности за приближно исте температуре димних гасова, а за различите вредности садржаја кисеоника у продуктима сагоревања.

Табела 22. Параметри рада топлане „Барајево“ при раду са угљем

Време	Напомена	Спољашња температура	Температура на колектору	Температура на полазу магистрале	Температура повратне воде из магистрале
1	2	3	4	5	6
04:00	Старт ВК2 и ВК4	3,2	21	21	20
04:10	Укључене цирк.пумпе	3,2	23	22	20
04:20		3,8	36	34	20
04:30		4,2	37	34	21
04:40		4,4	38	36	24
04:50		3,6	41	39	26
05:00	Разгртање шљаке	3,6	43	41	28
05:10		3,4	45	43	30
05:20		2,2	47	45	31
05:30		2,8	50	47	33
05:40		2,4	51	48	34
05:50		2,2	53	50	36
06:00		2,2	55	51	38
06:10	Разгртање шљаке	2,1	57	52	40
06:20		1,5	59	52	40
06:30		1,4	62	53	40
Из ложишта оба котла избачено по двоја колица шљаке – укупно 140 кг					
06:40		1,4	65	53	41
06:50		1,0	70	53	41
07:00		1,2	76	53	42
07:10		1,0	81	53	42
Котлови су постигли максималне задане вредности температура на поврату магистрале и аутоматика је искључила прво један, а затим и други котао					
07:20-12:00 Настављен је рад, али у потпуно стационарном режиму, без промене параметара					
12:00	Услед високе спољашње температуре топлана је прекинула са радом				

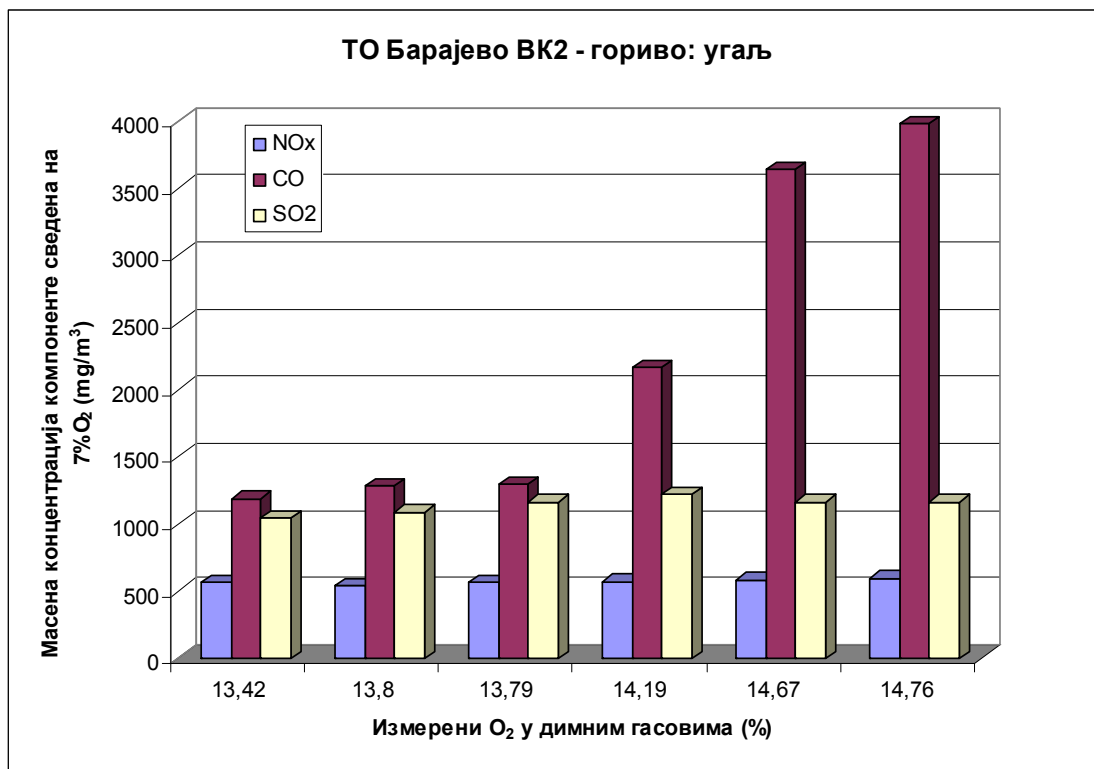


Слика 37. Карактеристични параметри рада топлане Барајево са угљем

Табела 23. Састав продуката сагоревања при раду са угљем котла ВК2, утицај промене количине O₂

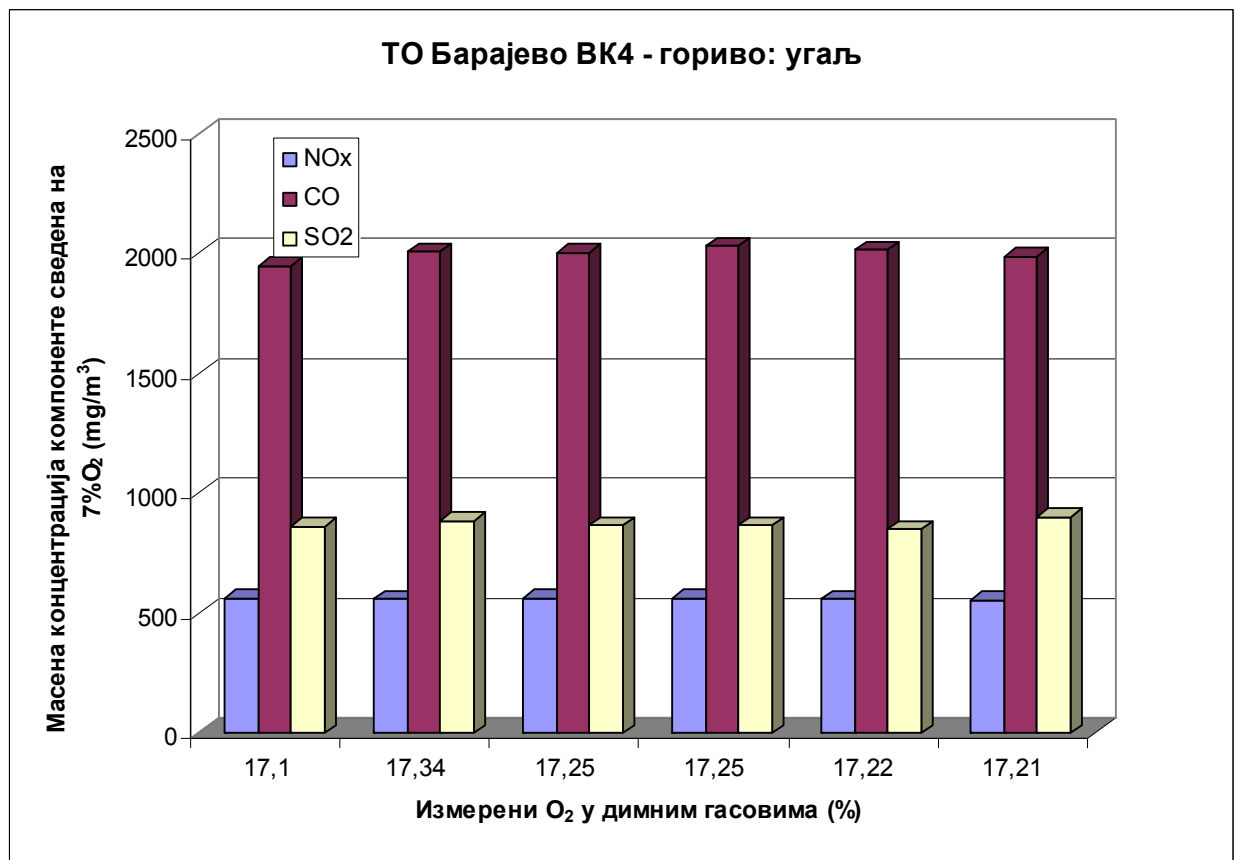
O ₂	%	13.42	13.8	13.79	14.19	14.67	14.76
CO	ppm	513	527	534	842	1315	1417
NO	ppm	129	113	120	109	88	89
NO ₂	ppm	19.6	21.9	22.1	26.8	37.2	40.8
NO _x	mg/m ³	562	538	566	571	586	595
SO ₂	ppm	197	196	210	207	184	181
u _{dg}	%	13.4	14	14.1	15.2	16.2	16.3
lamda	-	2.8	2.9	2.9	3.1	3.3	3.4
CO ₂	%	6.64	6.31	6.32	5.96	5.54	5.47
tvk	°C	22.5	22.4	22.5	21	22.6	22.3
tdg	°C	146.6	146.2	147.4	146.1	143.7	141.7
η _k	%	86.6	86	85.9	84.8	83.8	83.7

Током испитивања, димни број се кретао око 5 по Бахараковој скали (0 нема чврстих честица, 9 попуно затамњење, велико присуство чађи у продуктима сагоревања).

Слика 38. Састав продуката сагоревања при раду са угљем котла ВК2, утицај промене количине O₂

Табела 24. Састав продуката сагоревања при раду са угљем котла ВК4, утицај промене количине O_2

O_2	%	17,1	17,34	17,25	17,25	17,22	17,21
CO	ppm	434	419	429	435	435	430
NO	ppm	67	60	63	63	64	63
NO ₂	ppm	9,5	10,8	10,5	10,2	10	10
NO _x	mg/m ³	560	556	563	561	559	554
SO ₂	ppm	84	81	81	81	80	85
u_{dg}	%	9,5	10,5	10	10,1	10	10,2
lamda	-	5,38	5,73	5,6	5,6	5,55	5,54
CO ₂	%	3,42	3,21	3,29	3,29	3,31	3,32
tvk	°C	16,4	18,1	18,2	18,3	18,3	18,3
tdg	°C	110,9	111,5	111,6	112,1	112,2	113,3
η_k	%	80,5	79,5	80	79,9	80	79,8

Слика 39. Састав продуката сагоревања при раду са угљем котла ВК4, утицај промене количине O_2

5.3.2 Испитивања са пелетом

Пелет је допремљен у топлану ”Барајево” у џамбо врећама тежине од 980 до 1000 кг по комаду. Димензије врећа су 90x90x150 cm. Вреће су са камиона истоварене утоваривачем са додатком кранске руке и смештена у складиште. Током ноћи пред испитивање, комплетно је очишћен од угља или шљаке транспортни систем, тракасти транспортер, котловски кошеви, ложишта котлова ВК1, ВК2 и ВК4 и циклони са циклонетама ових котлова. Ово је урађено како остаци угља или шљаке не би утицали на резултате мерења са пелетом. Котао ВК1 није планиран за мерења, већ је припремљен само као резерва.

Кранском руком утоваривача су подизане вреће са пелетом, довожене тачно изнад полазног отвора транспортера, одвезане са доње стране (”сурла”) и постепено пражњене у полазни бункер тракастог транспортера. Тракастим транспортером је пелет допреман до кошева котлова, који су напуњени и котлови спремни за старт.

Током целе манипулације примећено је да

- практично нема прашине, која је ”у облацима” била приметна код угља
- нема растура пелета са транспортера,
- добро се попуњава простор кошева, боље него код угља
- генерално, све операције се лакше обављају него са угљем
- услови за рад посаде топлане су знатно бољи
- једини уочени проблем је био оптерећење траке по јединици површине као последица веће насипне густине пелета у односу на угљ;

Из наведеног донет је закључак да транспортни систем топлане у Барајеву у потпуности и без икаквих измена задовољава коришћење пелета као горива. Проблем са оптерећењем тракастог транспортера је накнадно решен повећањем угла носећих ваљака тракастог транспортера за приближно 5°.

Припадајући кошеви имају задовољавајући облик. Могућа измена је направити нове који имају ревизионе отворе за чишћење и већу запремину како

би се смањила учестаност операција са погоном тракастог транспортера и тиме продужио његов век.

На слици 40. су приказане џамбо вреће са пелетом у складишту, на слици 41. истовар вреће у прихватни отвор на почетку тракастог транспортера, на слици 42. изглед почетка тракастог транспортера, на слици 43. коси део тракастог транспортера, на слици 44. равна деоница тракастог транспортера, на слици 45. пуњење усмеривача за допуну бункера колова, на слици 46. унутрашњост бункера са пелетом пре додатног пуњења и на слици 47. тренутак када је настао проблем са смицањем траке услед већег оптерећења.



Слика 40. Вреће са пелетом



Слика 41. Истовар вреће у прихватни отвор



Слика 42. Почетак тракастог транспортера



Слика 43. Коси део транспортера



Слика 44. Равна деоница тракастог трансп. Слика 45. Пуњење усмеривача



Слика 46. Пелет у кошу котла Слика 47. Смицање траке на транспортеру

Почетак испитивања рада са пелетом – идентичним процедурама и радним режимима као што је то претходног дана урађено са угљем. И временски услови су били одговарајући, јер су били идентични претходном дану.

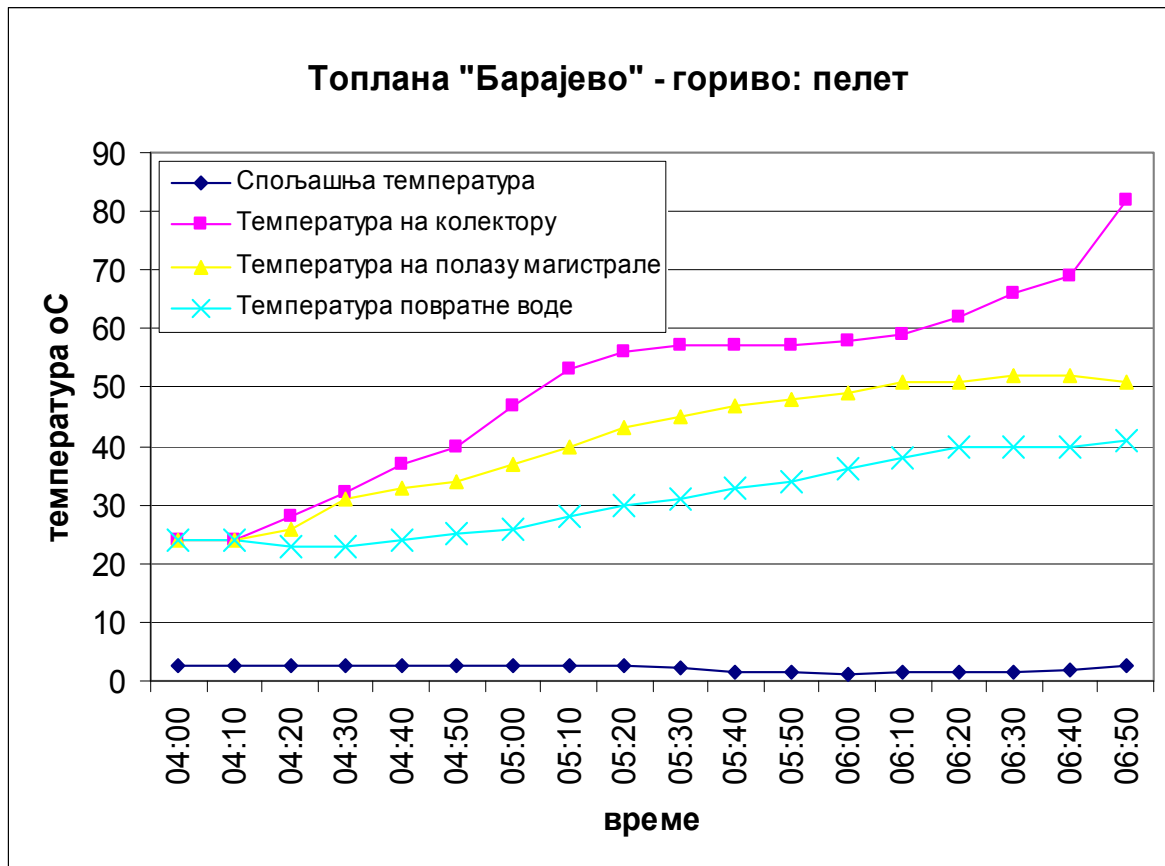
Топлана је стартовала са радом у четири сата и десет минута ујутру са котлом ВК2, а десет минута касније и ВК4, да би постигла задати режим од 52°C у шест часова. Укључени су вентилатори свежег ваздуха. Затим су укључени вентилатори у циклонима и на крају пужни додавач горива. Паљење горива у ложишту котла је обављено помоћу 2 килограма већ припремљеног жара у завршној фази сагоревања, што неће утицати на резултате мерења састава продуката сагоревања. Жар је равномерно распоређен по ложишту. Параметри рада топлане при раду са пелетом су приказани у табели 25. и на слици 48.

Током целокупног испитивања сагоревања пелета у котловима, у укупном трајању од осам часова, котлови нису уопште отварани, јер није било потребе за разгртањем или чишћењем ложишта од пепела као што је то случај код угља, где се ова активност у пракси реализује на сваких сат времена у стационарном режиму рада.

При раду са пелетом, акредитована лабораторија Центра за испитивање, квалитет и екологију при ЈКП “Београдске електране” је обавила испитивање (на исти начин и истом опремом као и код сагоревања угља) састава продуката сагоревања. Урађено је више одређивања димног броја, и он се кретао између 0-1 према Бахараковој скали. Резултати су приказани у табелама 26. и 27. као и на сликама 49. и 50.

Табела 25. Параметри рада топлане „Барајево“ при раду са пелетом

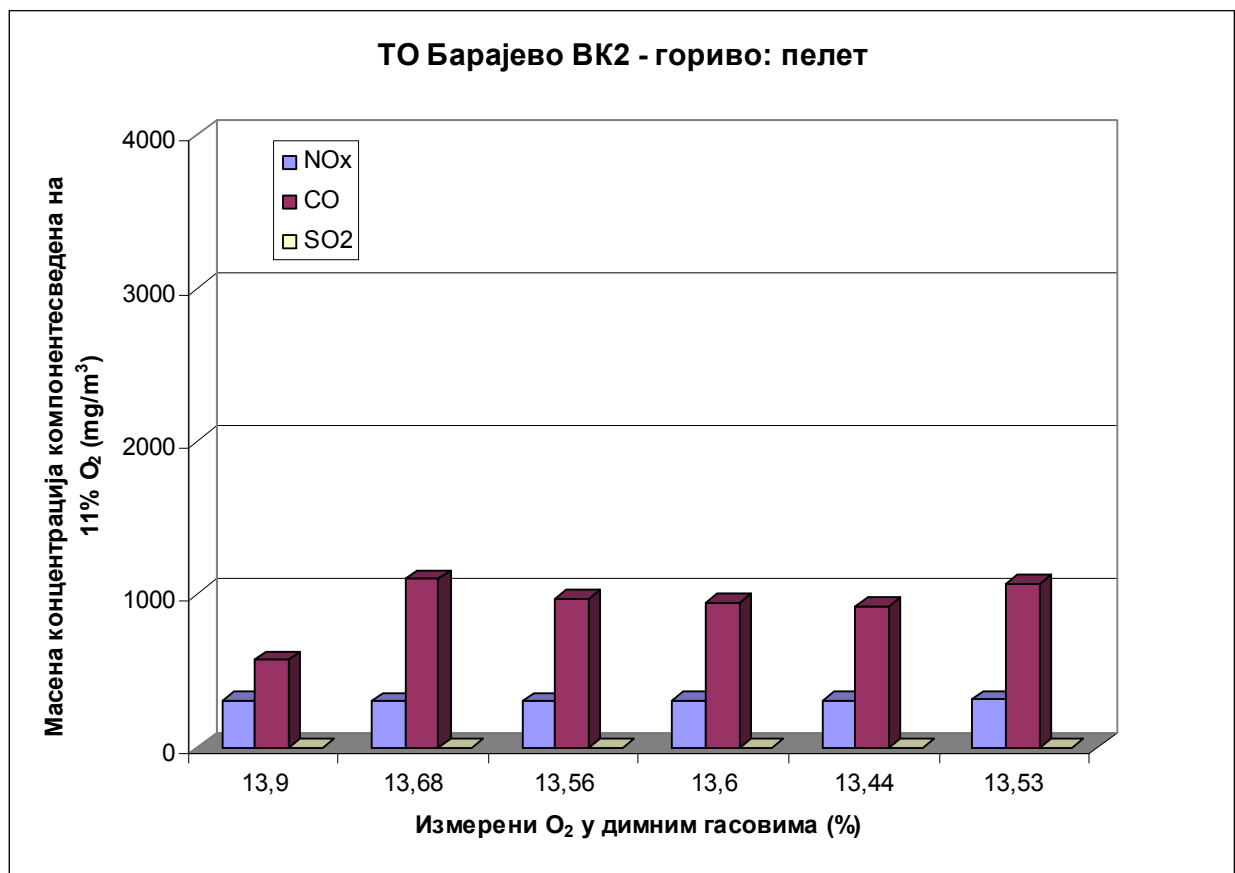
Време	Напомена	Спољашња температура	Температура на колектору	Температура на полазу магистрале	Температура повратне воде из магистрале
04:00		2.4	24	24	24
04:10	Стартован ВК2	2.4	24	24	24
04:20	Стартован ВК4	2.4	28	26	23
04:25	Укључена циркулација кроз магистралу				
04:30		2.4	32	31	23
04:40		2.4	37	33	24
04:50		2.4	40	34	25
05:00		2.4	47	37	26
05:10		2.4	53	40	28
05:20		2.4	56	43	30
05:30		2.2	57	45	31
05:40		1.6	57	47	33
05:50		1.4	57	48	34
06:00		1.2	58	49	36
06:10		1.6	59	51	38
06:20		1.4	62	51	40
06:30		1.6	66	52	40
06:40		1.8	69	52	40
06:50		2.4	82	51	41
Котлови су постигли задате максималне радне температуре и аутоматика их је искључила					
07:00-11:45 Настављен је рад, али у потпуно стационарном режиму, без промене параметара					
11:45	Услед високе спољашње температуре топлана је прекинула са радом				



Слика 48. Карактеристични параметри рада топлане „Барајево“ са пелетом

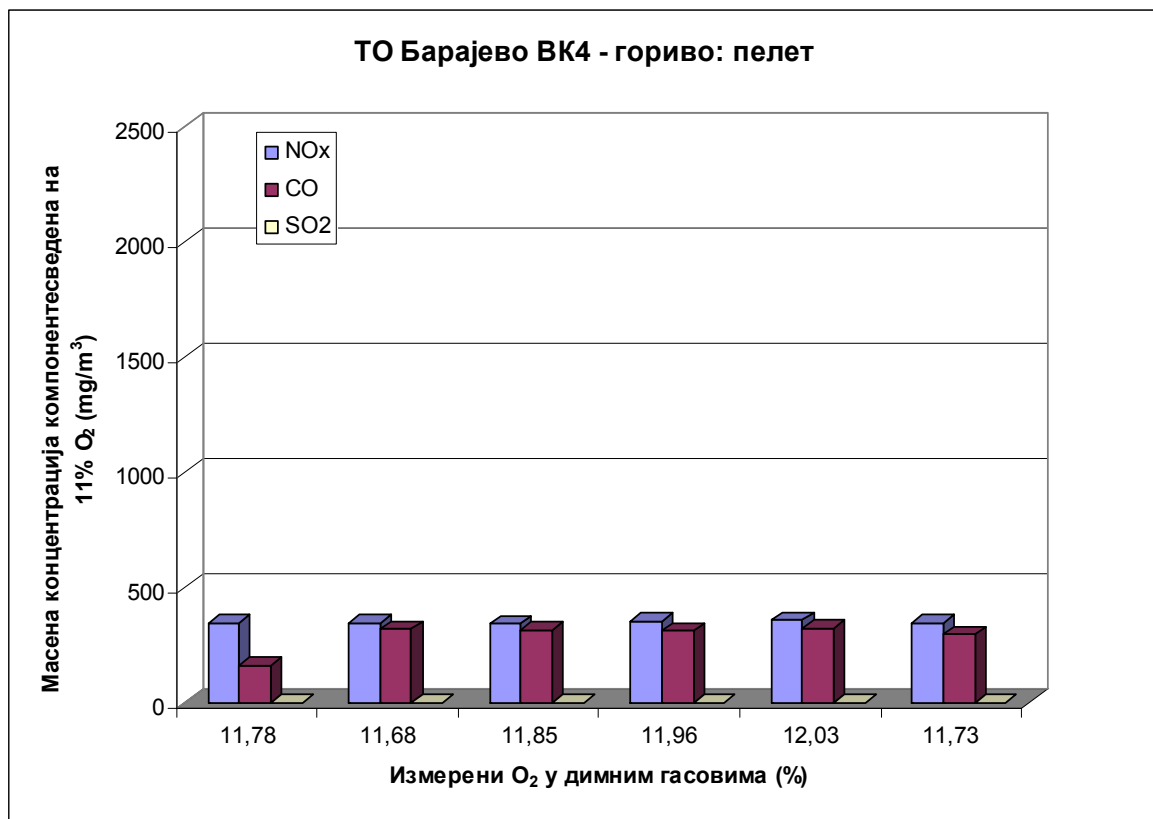
Табела 26. Састав продуката сагоревања при раду са пелетом котла ВК2, утицај промене количине O_2

O_2	%	13.9	13.68	13.56	13.6	13.44	13.53
CO	ppm	323	357	321	312	309	356
NO	ppm	71	72	73	74	75	75
NO ₂	ppm	3.9	4.1	4.5	4.3	4.8	5.7
NO _x	mg/m ³	302	300	299	302	304	309
SO ₂	ppm	0	0	0	0	0	0
u_{dg}	%	16.5	16.1	15.9	15.9	15.7	15.8
lamda	-	2.96	2.87	2.82	2.84	2.78	2.81
CO ₂	%	6.22	6.41	6.52	6.49	6.62	6.55
tvk	°C	18.6	18.5	18.7	19.1	19.1	19.3
tdg	°C	164.2	164.7	165.4	165.6	166.5	165.8
η_k	%	83.5	83.9	84.1	84.1	84.3	84.2

Слика 49. Састав продуката сагоревања при раду са пелетом котла ВК2, утицај промене количине O_2

Табела 27. Састав продуката сагоревања при раду са пелетом котла ВК4, утицај промене количине O_2

O_2	%	11.78	11.68	11.85	11.96	12.03	11.73
CO	ppm	119	132	128	124	128	122
NO	ppm	111	112	109	110	111	112
NO ₂	ppm	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0.2
NO _x	mg/m ³	346	346	342	351	355	347
SO ₂	ppm	0	0	0	0	0	0
u_{dg}	%	18.3	18	18.3	18.5	18.6	18.2
λ_{mda}	-	2.28	2.25	2.29	2.32	2.34	2.26
CO ₂	%	8.08	8.17	8.02	7.92	7.86	8.12
tvk	°C	21.5	23	22.6	23.2	23.7	22.7
tdg	°C	233.2	233.1	232.9	233.5	233.2	234.2
η_k	%	81.5	82	81.7	81.5	81.4	81.8

Слика 50. Састав продуката сагоревања при раду са пелетом котла ВК4, утицај промене количине O_2

5.3.3 Испитивања са мешавином пелета и угља

Иако је испитивање пелета показало изузетне и еколошке и енергетске резултате, обављено је и сагоревање мешавина угља и пелета уз намешавање са уделом угља од 25% и 50%. Изражени однос је у масеним процентима. Ручно је обављено мерење различитих горива, а затим је мешавина хомогенизована и без коришћења транспортног система (ручно - колицима) пребачена у кошеве котлова, како не би дошло до раслојавања материјала што може утицати на хомогеност мешавине. Мешавина 25% је сагоревана у котлу ВК4, а мешавина 50% у котлу ВК2. На слици 51. је приказано ручно хомогенизовање мешавине.



Слика 51. Хомогенизација мешавине

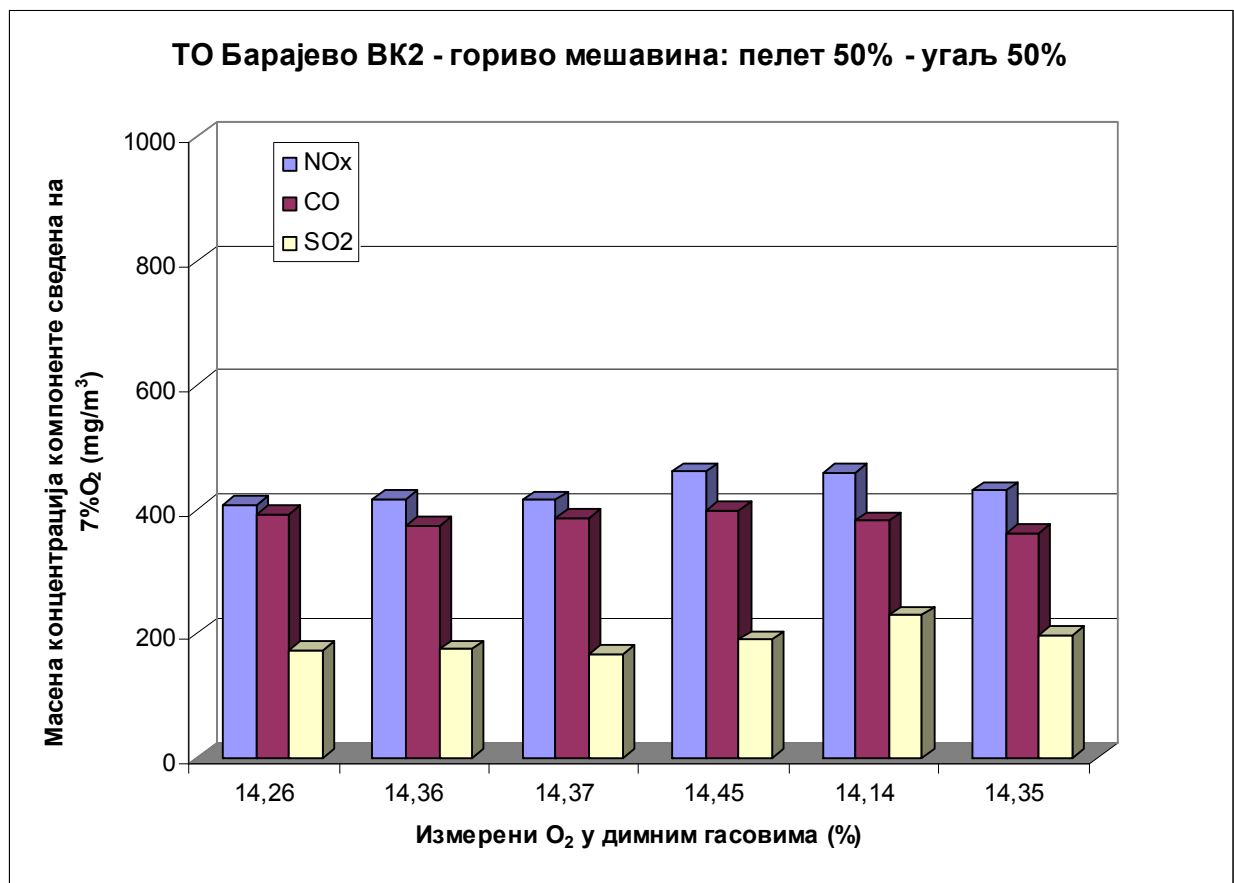
Обе мешавине су се добро показале при сагоревању. Једино је примећена интензивнија појава испаравања влаге из угља пре него што дође до његовог паљења, у котлу који је радио са мешавином 50% угља. Очекивано, дошло је до појаве сумпорних оксида у продуктима сагоревања, и то управо пропорционално уделу угља у горивој маси. Димни број се кретао око вредности 1 до 2 при

сагоревању мешавине 25% угља и између вредности 3 и 4 за сагоревање мешавине од 50%. Да подсетимо, приликом сагоревања угља, ова вредност се кретала од 5 па на више.

Састав продуката сагоревања при раду са мешавином 50% пелет – 50% угаљ је приказана у табели 28. и на слици 52. а при раду са мешавином 75% пелета и 25% угља у табели 29. и на слици 53.

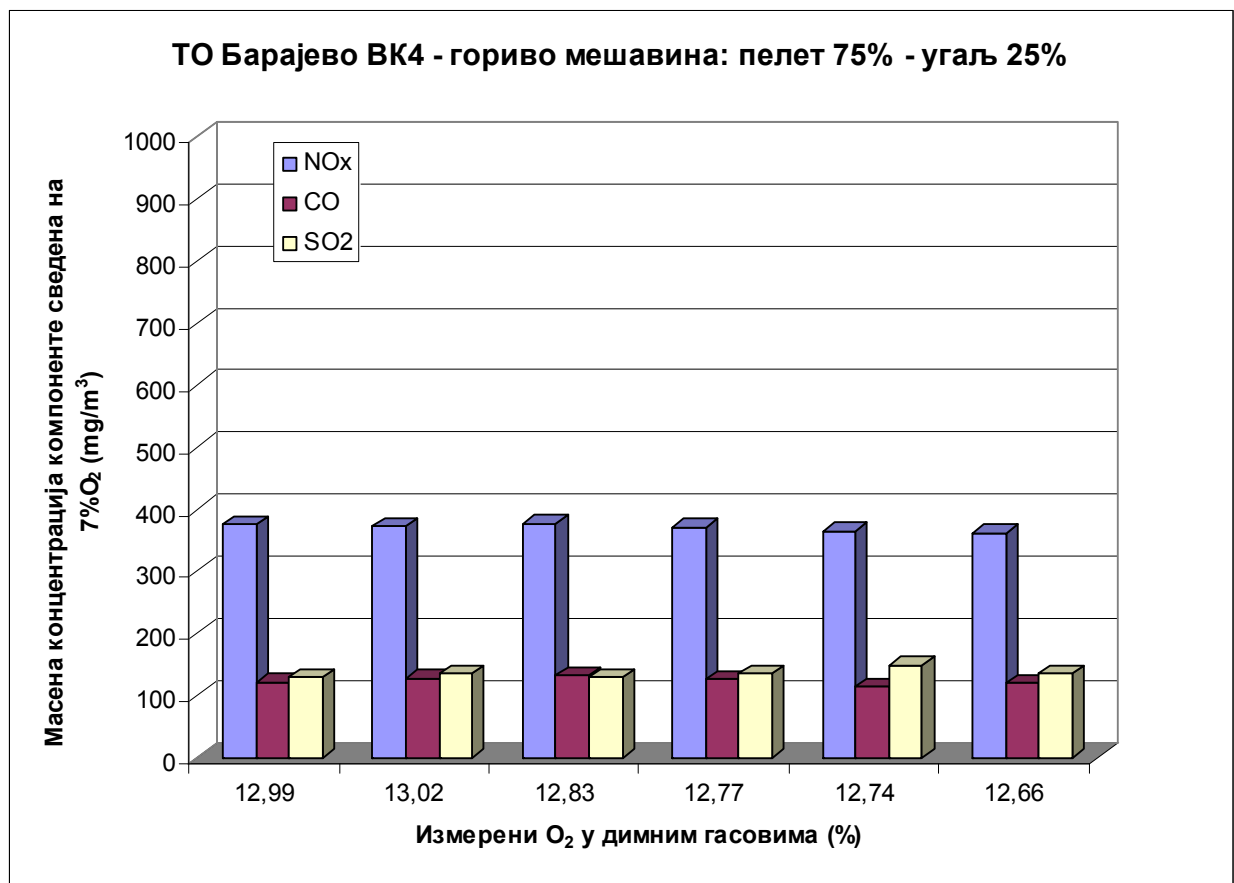
Табела 28. Састав продуката сагоревања при раду са мешавином 50% угља – 50% пелета у котлу ВК2, утицај промене количине O_2

O_2	%	14.26	14.36	14.37	14.45	14.14	14.35
CO	ppm	189	177	183	186	187	172
NO	ppm	74	75	74	78	86	75
NO ₂	ppm	21.1	21.4	22.1	26.6	23.8	24.3
NO _x	mg/m ³	407	417	415	460	459	430
SO ₂	ppm	83	83	79	89	112	94
u_{dg}	%	13.6	13.6	13.9	14.3	13.9	14.3
lamda	-	3.11	3.16	3.17	3.2	3.06	3.16
CO ₂	%	5.91	5.82	5.81	5.74	6.01	5.83
tvk	°C	20.1	21.3	20.7	21.9	22.4	22.9
tdg	°C	134.5	134.5	135.7	139.6	141.7	142.2
η_k	%	86.4	86.4	86.1	85.7	86.1	85.7

Слика 52. Састав продуката сагоревања при раду са мешавином 50% угља – 50% пелета у котлу ВК2, утицај промене количине O_2

Табела 29. Састав продуката сагоревања при раду са мешавином 25% угља – 50% пелета у котлу ВК4, утицај промене количине O_2

O_2	%	12.99	13.02	12.83	12.77	12.74	12.66
CO	ppm	69	73	77	74	67	71
NO	ppm	101	100	104	103	103	102
NO ₂	ppm	3.2	3.2	2.9	2.9	2	2.7
NO _x	mg/m ³	375	372	376	370	365	362
SO ₂	ppm	74	77	75	79	88	80
u_{dg}	%	14.7	14.9	14.8	14.9	15.1	14.9
lamda	-	2.62	2.63	2.57	2.55	2.54	2.52
CO ₂	%	7.02	7	7.16	7.21	7.23	7.31
tvk	°C	19.3	19.4	18.8	18.7	19.4	19.2
tdg	°C	166.9	168.9	170.7	172.8	175.7	175.5
η_k	%	85.3	85.1	85.2	85.1	84.9	85.1

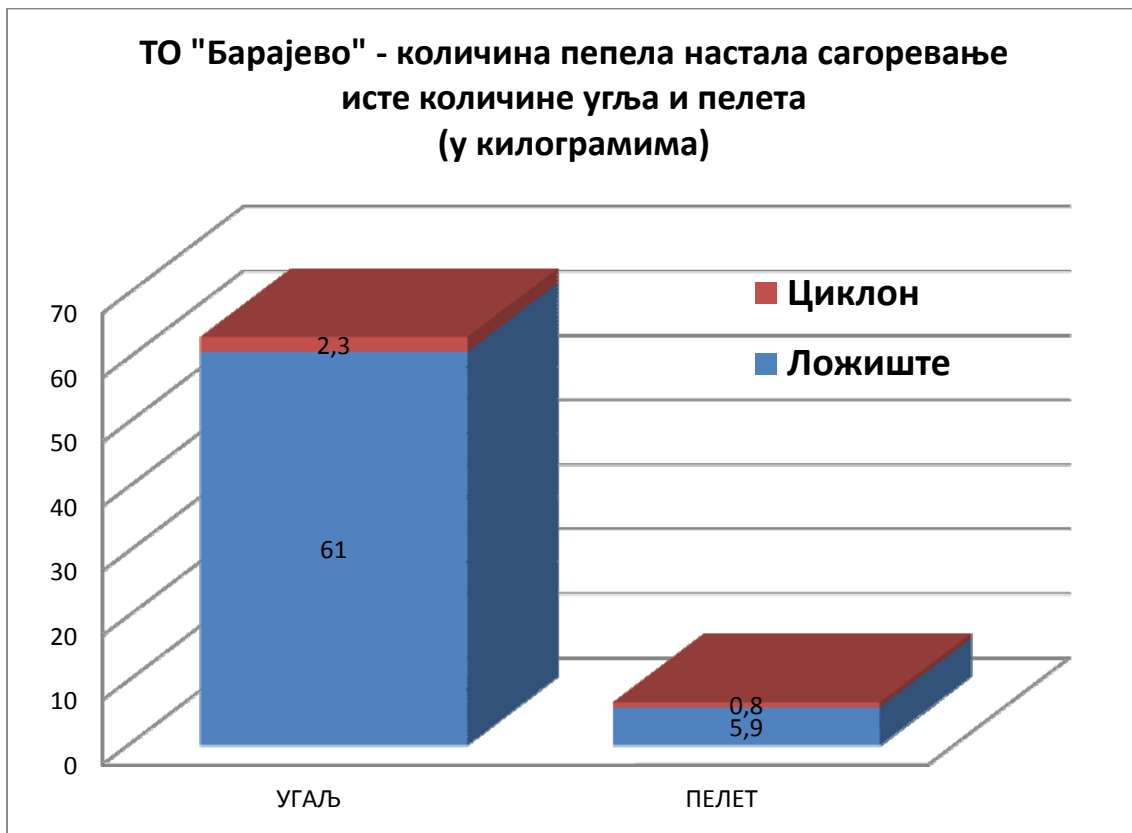
Слика 53. Састав продуката сагоревања при раду са мешавином 25% угља – 75% пелета у котлу ВК4, утицај промене количине O_2

Одмах по завршетку сагоревања пелета, уочена је драстично мања количине насталог пепела. Ове количине су и квантификоване кроз посебно испитивање наредних дана.

Котао је потпуно очишћен, обављено је сагоревање угља током 2 сата при чему је утрошено 450 кг угља, котао је искључен, остављен 24 сата да се потпуно охлади, прикупљен је сав пепео и шљака из ложишта и засебно из пепелара циклона и измерен. Идентичан поступак је поновљен и са количином од 450 кг пелета. Добијени резултати су приказани у табели 30. и на слици 54.

Табела 30. Настале количине пепела и шљаке након сагоревања угља и пелета

	Пепео и шљака из ложишта	Пепео из циклона	УКУПНО
УГАЉ	61 kg	2,3 kg	63,3 kg
ПЕЛЕТ	5,9 kg	0,8 kg	6,7 kg



Слика 54. Настале количине пепела сагоревањем угља и пелета

Према масеном уделу, количина насталог пепела након сагоревања у односу на утрошену количину горива износи око 14% за угаљ, односно око 1,5% за пелет.

Визуелном контролом је констатовано и да се код угља појављују крупни комади настали топљењем и очвршћавањем пепела (згура) који отежавају сагоревање, допрему свежег горива и ваздуха.

Ова појава није уочена код пепела који је настао сагоревањем пелета. Његове Карактеристике су да је ваздушаст и лаган, уколико формира поједине облике, оне се на додир распадају у фину прашину. Ово је значајно и са становишта трошкова складиштења и одвоза шљаке и пепела. Са топлане ”Барајево” је за просечну грејну сезону ускладиштено, а затим утоварено и одвежено преко 220 кубних метара шљаке. Приликом рада са пелетом, ова количина је 10 пута мања, па су тиме и смањени трошкови складиштења, одвожења и депоновања. Другим речима, уместо 22 туре које направи већи камиона специјализован за одвоз шљаке, довољне су две туре.

На слици 55. приказани су детаљи са одређивања количине пепела.



Слика 55. Остатак након сагоревања пелета у ложишту (лево) и угља (десно - у колицима)

На сликама 56. до 58. приказан је изглед пелета током процеса сагоревања у котлу.



Слика 56. Сагоревање пелета у котлу – поглед кроз контролни отвор



Слика 57. Сагоревање пелета у котлу – поглед кроз контролни отвор/кроз врата ложишта

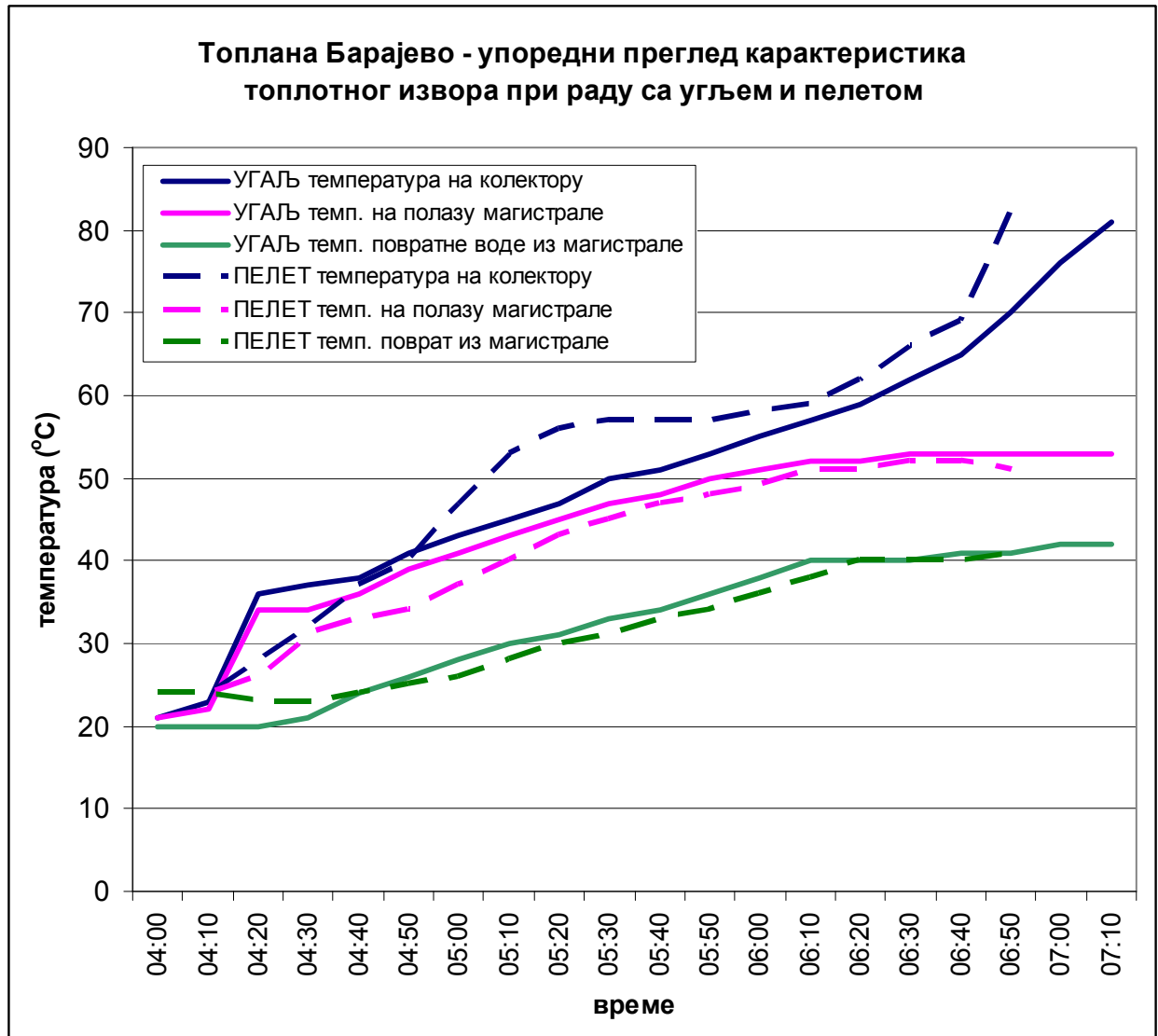


Слика 58. Сагоревање пелета у котлу – поглед кроз отворена врата ложишта

Испитивање сагоревања брикета у топлани „Барајево“ није било у плану, услед техничких немогућности дозирног система.

5.3.4 Упоредни преглед показатеља сагоревања угља и пелета

Поступајући по устаљеној процедури рада са угљем, обављено је и испитивање сагоревања пелета. Обзиром да је све обављено у реалним условима са испоруком топлотне енергије корисницима, констатована је регуларност свих параметара рада топлотног извора. Запажа се да пелет већом брзином развија температуру у котлу. Показатељ је и постигнут радни режим за 15% краћи временски период, при истим спољашњим условима и истим задатим радним режимом. Упоредно су дати карактеристични параметри рада топлотног извора на слици 59. Потреба за чишћењем котлова током рада (одстрањивање пепела и шљаке из ложишта), које се у случају коришћења угља спроводи на свака 2-3 сата, је потпуно елиминисана.



Слика 59. Упоредни приказ карактеристичних параметара рада топлане у случају коришћења угља и пелета као горива

Приликом сагоревања угља у реалним условима у топлани „Барајево“ уочава се значајно присуство загађујућих компоненти, првенствено угљен-моноксида, суморних и азотових оксида. У појединим фазама њихове концентрације су исказивале вредности преко дозвољених граница емисије.

При сагоревању пелета, вредности загађујућих компонента су вишеструко ниже (угљен-моноксид, азотови оксиди, чађ), сумпорни оксиди су потпуно елиминисани. Уочава се и појава веће стабилности састава продуката сагоревања који се првенствено огледа кроз мање осцилације садржаја кисеоника у димном каналу.

Контролно сагоревање пелета је урађено на другој котловској јединици и (без икаквих измена и/или промена у односу на сагоревање угља у истом котлу) постигнуте су још боље вредности састава продуката сагоревања када се користи пелет као гориво. Уочено указује на значајне могућности постизања бољих резултата уколико се обаве одређене промене параметара котлова.

Испитана је и могућност сагоревања мешавине угља и пелета. Нису уочени проблеми у раду, а резултати еколошких карактеристика се погоршавају са повећањем удела угља у мешавини.

Са техничке стране сагледана је и могућност промене горива без заустављања рада котлова, али без мерења састава продуката сагоревања. Наиме, топлана је започела рад са угљем, након два сата рада, у бункере котлова у раду транспортном траком је допремљена количина пелета потребна за наредна два сата рада. Поступак је још једном поновљен са допремањем угља у бункер котлова. Током свих шест сати рада топлане, није дошло до промена режима рада, потребне температуре је регулисала аутоматика укључивањем и искључивањем котлова.

Овим је доказано да се безбедно и без проблема може обавити измена горива без прекида у раду котлова, односно да се може користи чист пелет, или пелет у било којој мешавини са угљем са становишта исправног рада постројења.

На сликама 60. и 61. су приказане упоредно средње вредности мерења компоненти NO_x , CO и SO_2 за угаљ и пелет за котао ВК2, односно котао ВК4 са вредностима прерачунатим на референтну вредност O_2 на 7%.

На слици 62. је дат упоредни преглед средњих вредности мерења компоненти NO_x , CO и SO_2 за угаљ, за две мешавине угаљ/пелет (25% и 50%) и пелет у котловима ВК2 и ВК4 при чему су све вредности прерачунате на референтну вредност O_2 на 7%.

И на крају, али не мање значајна, како са еколошког тако и са финансијског становишта, може се констатовати да угаљ након сагоревања оставља количина пепела у вредности од преко 14% од полазне масе, док пелет након сагоревања продукује само 1,41%.

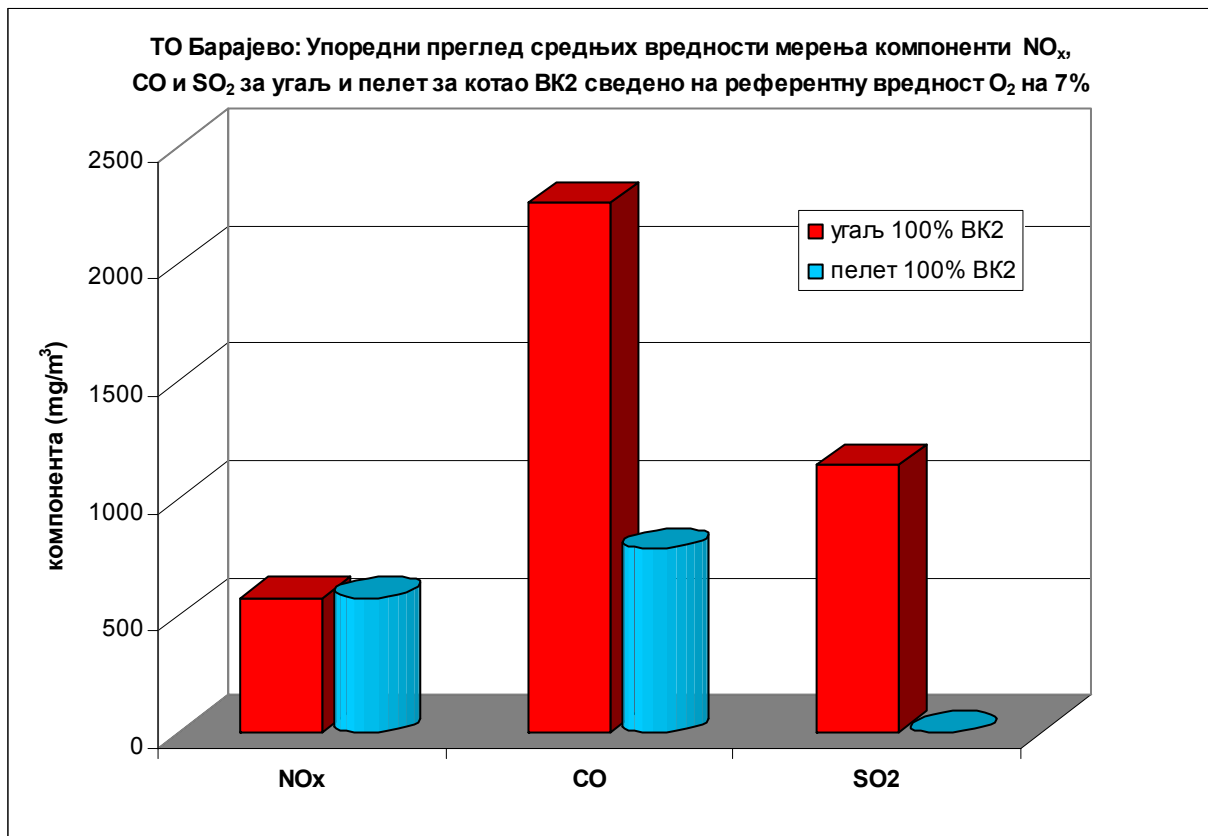
Осим количине, чврсти остаци сагоревања угља и пелета се разликују и по облику структуре: пепео настао сагоревањем угља је чврст, уочавају се комади

већих димензија настале топљењем на високим температурама у ложишту. Додатна карактеристика је непријатног мирис који је карактеристичан за депоније.

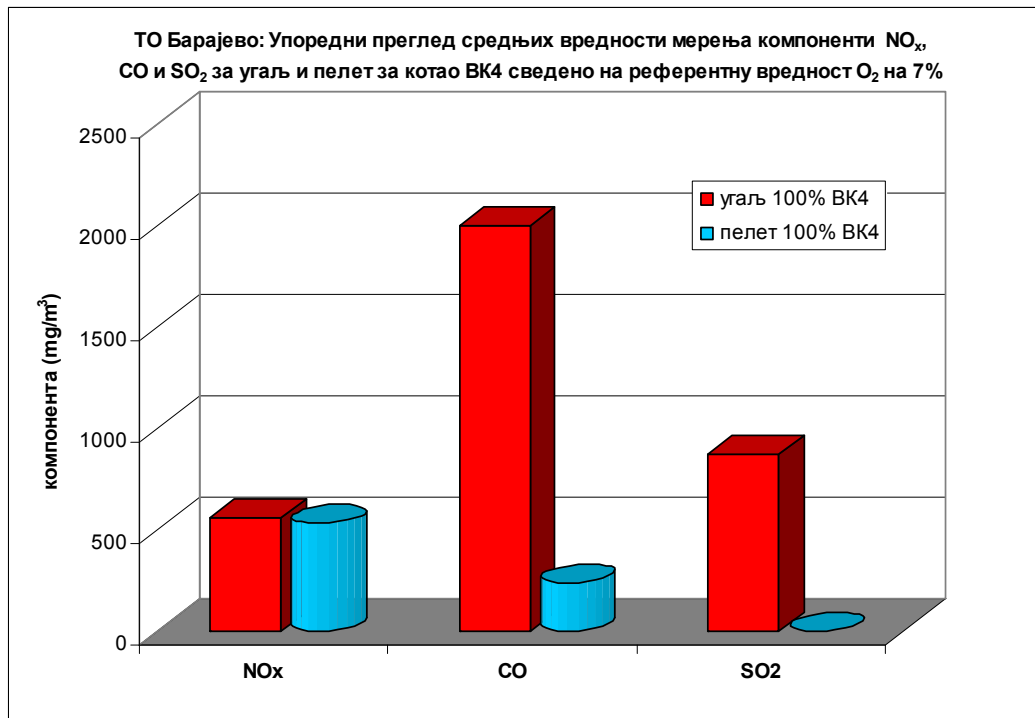
Пепео настао сагоревањем пелета је лак и потпуно у спрашеном стању, без уочених већих комада.

На слици 63. је графички приказана настала количина пепела након сагоревања 450 кг угља, односно 450 кг пелета.

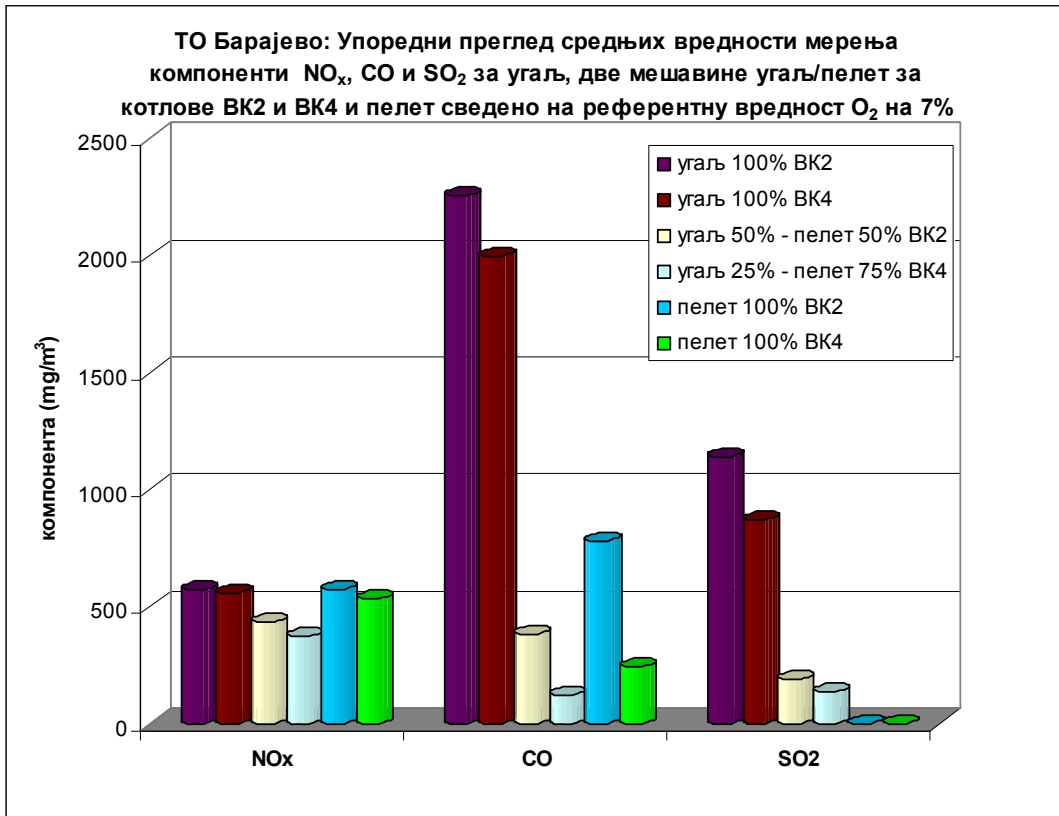
Емисија чврстих материја је значајно мања приликом сагоревања пелета у поређењу са угљем. Поред тога што је ово визуелно констатовано сталним осматрањем димњака, потврђено је и мерењем. По Бахараковој скали угаљ је достигао вредности „5“ до је за пелет резултат био на граници између „0“ и „1“.



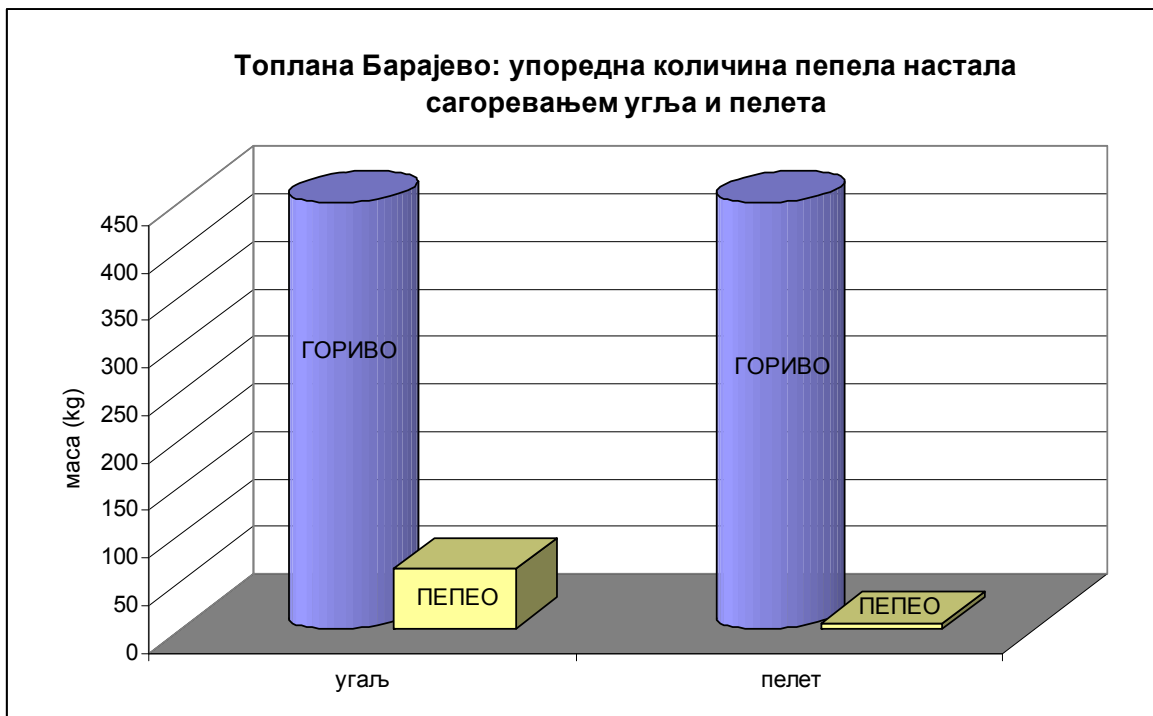
Слика 60. Упоредни преглед средњих вредности мерења компоненти NO_x , CO и SO_2 за угаљ и пелет у котлу ВК2 сведено на вредност O_2 7%



Слика 61. Упоредни преглед средњих вредности мерења компоненти NO_x , CO и SO_2 за угаљ и пелет у котлу ВК4 сведено на вредност O_2 7%



Слика 62. Упоредни преглед средњих вредности мерења компоненти NO_x, CO и SO₂ за угаљ, две мешавине угаљ/пелет и пелет сведено на вредност O₂ 7%



Слика 63. Количина пепела након сагоревања 450 кг угља и 450 кг пелета.

Треба напоменути још једном да је испитивање обављено у реалним условима, на котловима у затеченом стању. Количина ваздуха и његова дистрибуција у ложиште нису мењани подешавани и није мењана карактеристика пужног додавача горива. Имајући то у виду, са дијаграма се уочава да додатном регулацијом ових параметара могу да се постигну знатно боље еколошке карактеристике. При томе је утицај количине/дистрибуције ваздуха и горива значајније утицао на количину емитованог угљенмоноксида него на азотове оксиде. Котао ВК4 је приликом сагоревања угља исказао нешто боље еколошке карактеристике него котао ВК2, а приликом сагоревања пелета и знатно смањење загађујућих компоненти, чак и поређењу са пелетом који је сагоревао у другом котлу.

Исти трендови смањења су исказани и када је у питању сагоревање мешавина угља и пелета. Уочена је и занимљива појава, коју би требало додатно испитати: измерене вредности мешавине нису биле између одговарајућих вредности за пелет, односно угаљ, већ су за оба котла све вредности биле значајно ниже од сваког горива у мешавини засебно. На котлу ВК2 није било разлике у количини азотових оксида при сагоревању пелета и угља, али је количина угљенмоноксида мања за 65% код пелета. Мешавина пола угља -пола пелета је „произвела“ NO_x 24% мање у односу и на пелет и 25% мање у односу на угаљ, двоструко мање CO посматрано у односу на пелет и 83% мање CO у односу на угаљ. Дошло је до појаве сумпорних оксида, али је и њих било мање од очекиване линеарне законитости. Слично је и са измереним вредностима у котлу ВК4. процентуалне вредности смањења су дате у табели 31.

Табела 31. Процентуално смањење емисије NOx и CO за угаљ, пелет и мешавину за котлове ВК2 и ВК4

ВК2	NOx (%)			CO (%)		
	угаљ	пелет	мешавина	угаљ	пелет	мешавина
угаљ		0	-24,28		-65,33	-83,06
пелет	0		-24,88	-65,33		-51,13
мешавина	-24,28	-24,88		-83,06	-51,13	
ВК4	NOx (%)			CO (%)		
	угаљ	пелет	мешавина	угаљ	пелет	мешавина
угаљ		-0,04	-33,79		-87,99	-93,83
пелет	-0,04		-30,40	-87,99		-48,63
мешавина	-33,79	-30,40		-93,83	-48,63	

Генерални закључак за топлану „Барајево“:

Без икаквих измена на топлани могуће је применити пелет од дрвне биомасе са одговарајућим карактеристикама које је имао пелет коришћен током испитивања. За неко наредно испитивање је остављена промена димензија пелета (пречника 8 и 10 мм и већих дужина) који се могу наћи на страним тржиштима, али још увек не и код нас. Могуће је постићи још боље еколошке карактеристике сагоревања, уз одређена материјална улагања, првенствено у уградњу фреквентних регулатора за погон вентилатора свежег ваздуха и погона за дозирање горива. Процењена вредност улагања је 10.000€ за све котлове. Процењено је да би се уложена средства кроз остварене уштеде вратила за 3 до 4 године. Препоручено је и затварање складишта, како би се гориво заштитило од атмосферских утицаја (влаге), што је одмах истог лета и урађено.

5.4 Испитивања у топлани „Сремчица“

Топлана ”Сремчица” се налази на рубном делу блока стамбених зграда за колективно становање. Производња топлотне енергије се обавља помоћу два строцељна котла снаге по 3,5MW произвођача Минел – Београд. Складиште за угаљ је полуотвореног типа, слично као и у топлани ”Барајево”. Од складишта се елеватором са кофама чврсто гориво подиже до треће галерије, одакле се тракастим транспортером допрема до кошева котлова. Кошеви су капацитета од по 15 тона, што омогућава целодневни рад котлова без допуне.

5.4.1 Испитивања са угљем

Испитивање рада топлане са при раду са угљем је обављено према устаљеној процедури. Пре старта котлова, транспортним системом је угаљ допремљен у бункере котлова. Према задатом режиму старт котлова је обављен у 04 часа.

Мерење састава продуката сагоревања није било могуће јер је котао показао нестационарност процеса сагоревања која може довести до погрешних резултата. Планирано је било понављање испитивања уз одређена програмска подешавања процеса дозирања горива, али се од тога одустало јер се, како ће у наставку бити изложено, пелет без одређених измена инсталација не може директно применити на овом топлотном извору. То је и разлог што у раду неће бити презентовани карактеристични параметри рада котла са угљем (немају значај са становишта овог истраживања), већ само поједини значајни детаљи из сегмента испитивања сагоревања пелета.

Треба напоменути чињеницу да је топлана „Сремчица“ у протекле четири године једини објекат из састава ЈКП „Београдске електране“ који као гориво и даље користи само угаљ. И ова топлана може да пређе на коришћење биомасе као основног горива, али су потребна одређена улагања и додатна испитивања.

5.4.2 Испитивања са пелетом

Пелети су камионом допремљени у складиште и одмах транспортним системом пребачени у кош котла ВК1. При коришћењу елеватора и тракастог транспортера за пребацивање пелета није било растура или других проблема у раду. Транспортни систем, кош и сам котао су претходно очишћени од угља и пепела - шљаке.

Механизам којим се дозира гориво у ложиште је механички, импулсни, произвођача Минел – Београд. Принцип рада је следећи: чврсто гориво сопственом тежином пропада у простор механичког додавача са перајима (четири крака на по 90°). Посебним моторима, захваћена количина горива (2 до 3 кг) се убацује у ложиште. Сваки котао је опремљен са по два додавача који “покривају” по половину ложишта. Програмски је могуће подешавати брзину (број) додавања у минути, као и дубину по ложишту на коју ће гориво пасти. На дну ложишта се налази покретна решетка, опремљена отворима за довођење свежег ваздуха. Количина свежег ваздуха у ложишту се обезбеђује (и контролише) вентилаторима. Према потреби, решетка се закреће како би пепео и шљака пропали у део испод ложишта. Овај део је директно хлађен водом. Охлађени остаци сагоревања се прикупљају у колица и одвозе на депонију иза топлане. Услед оваквог поступка, мерење тежине, односно количине пепела није могуће.

Поновљена је идентична процедура као прилико рада са угљем. Старт котла је обављен без проблема. Паљење пелета у ложишту је лако. Дистрибуција ваздуха кроз решетку одговарајућа. Температурски режим је постигнут и пре задатог времена. Испитивање је трајало укупно седам сати са континуалним радом само једног котла. Просечна потрошња пелета је била око једне тоне на сат. Према искуству руковоаца и увидом у дневнике рада, констатовано је да се са овим котлом може постићи максимални радни режим од 70°C када се ради са угљем. На крају испитивања са сагоревањем пелета, задата је температура од 78°C, која је за сат времена и постигнута, а затим је започето растеређење котла. Котао се могао још додатно оптеретити, али то није урађено из безбедносних разлога, имајући у виду старост и стање котла.

Целокупан рад топлане прати SCADA систем. Путем рачунара на термокоманди могу се пратити сви потребни параметри. Карактеристични параметри од тренутка старта, до тренутка постизања режима су дати у табели 32. и у табели 33. и на сликама 64. и 65.

Механички додавач је подешен на аутоматско додавање, идентично као при раду са угљем: 110 секунди дозирања, сваке 4 секунде, па затим 60 до 120 секунди мировања, у зависности од постигнуте температуре.

Састав продуката сагоревања није било могуће измерити, јер котло услед карактера додавања горива (импулсно) није могао да ради у стационарном режиму сагоревања. Наиме, у периодима када нема додавања горива, из димњака се не види дим, квалитет сагоревања је добар, што је и инструментима очитано, димни број је између 0 и 1. Затим стартују уређаји за додавање горива који “набацају” свежи пелет преко постојећег слоја пелета (који квалитетно сагорева на решетки), и услед велике насипне густине долази до појаве “гушења” пламена, односно ометања правилног довођења свежег ваздуха гориву које је већ у процесу сагоревања. Недостатак ваздуха изазива изразито непотпуно сагоревање, што се манифестује појавом густог црног дима из димњака, појаве угљенмооксида у количинама које излазе из мерних опсега уређаја, а димни број достиже максималну вредност на скали тј „9“. Током наредних 60 секунди долази до паљења горњег слоја на решетки (свеже гориво) и котло се враћа у стационарни режим сагоревања и састава продуката сагоревања. Густ црни дим из димњака постаје све светли и на крају се уопште не види. Ово траје око два минута, док не почне поново дозирање свежег горива. Ова појава се јавља и код сагоревања угља, али је значајно мање изражена, и нема појаве црног дима из димњака, услед мање насипне густине и веће гранулације, што у мањој мери омета довођење свежег ваздуха. Неправилност је и последица знатно мањег садржаја волатила у угљу, него што је то случај код пелета. Током свих испитивања, пелет при сагоревању даје знатно виши пламен него угљ, и о томе треба водити рачуна како не би дошло до увлачења пламена у димне цеви котлова или директно у димњаке, нарочито када су кратка ложишта у питању.

Решење овог проблема је промена карактеристике додавача, односно смањење “порција” додатог свежег горива и константно дозирање, без прекида.

На топлани Сремчица ово није уређено јер је идеја целог испитивања “у постојећем стању, као са угљем”. Појава се значајно може смањити и повећавањем гранулације пелета, али тада треба водити рачуна о карактеристикама додавача. Такође је пожељно користи пелет мање густине како би се спречили евентуални проблеми са импулсним додавачима услед малог промера зазора механизма, у који ситнији комади могу да упадну.

Табела 32. Карактеристични параметри рада топлане „Сремчица“ са пелетом

Време	Спољашња температура (°C)	температура димних гасова (°C)	Температура на улазу у котло (°C)	Температура на излазу котла (°C)	Темп. на полазном колектору (°C)	Снага (kW)
03:50	-0.5	20	36	36	36	0
04:00	-0.5	155	53	62	60.5	1113
	Дошло је до застоја на једном механичком додавачу. Наредних 15 минута котло је радио са пола капацитета тј. само са другим механичким додавачем					
04:15	-0.2	160	49	55.6	56	975
04:30	-0.1	176.8	54.5	69.2	70.3	1769
04:40	-0.1	196.9	56.1	71.3	71.9	1828
04:50	-0.1	202.1	63.0	80.1	80.2	2040
05:00	-0.1	205.1	66	83.9	83.7	2030
05:10	-0.1	211.3	74.4	91.6	91.3	2027
05:30	-0.2	217.5	79.7	97.6	97.2	2171
05:40	-0.3	200.2	70.4	87.7	87.5	2075
05:50	-0.3	212	68.6	86.1	86.0	2065
06:15	-0.3	207	70.1	86.1	85.8	1886
06:40	-0.2	207	72.6	87.6	88.1	1814
07:00	-0.6	206.9	71.4	86.2	86.4	1780
07:45	0.0	212.8	66.7	81.6	81.6	1777
08:10	0.3	214.2	62.6	76.9	77.2	1757
08:25	1.0	218.2	61.6	76.6	76.2	1857

У пепелу је примећен и удео потпуно несагорелих пелета, што је последица оштећења појединих сегмента решетке. Потребно је у сваком случају обавити санацију решетке. Ово је и урађено током наредног ремонтног периода.

Према искуству непосредних руковаоца, пелет као гориво знатно брже подиже температуру у котлу и у мрежи, него када се ради са угљем. Нема ни карактеристичног мириса сумпора у простору око котлова.

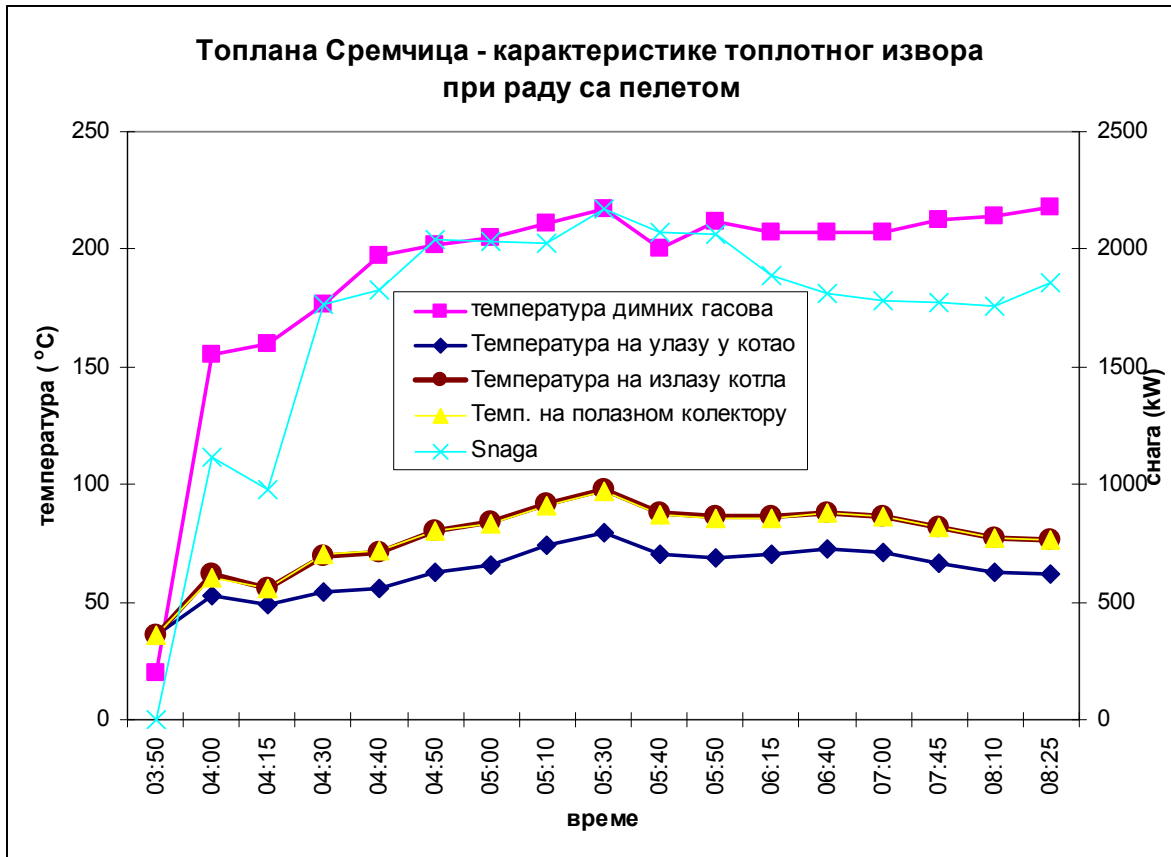
За овај тип механичког додавача и котла је потребна већа гранулација горива (минимално $\phi 10$ или $\phi 12$ мм).

Без обзира на чињеницу да на овој топлани није могуће директно применити пелет као гориво (брикет није из техничких разлога био у плану) урађен је сет фотографија које могу бити корисне у неким другим испитивањима, па ће оне у већем обиму овде бити приказане. На слици 66. је приказан изглед топлане „Сремчица“ са покривено складиштем за чврсто гориво, на слици 67. је приказан део транспортног система у делу елеватора и тракастог транспортера као и уређај за додавање горива у ложиште, на слици 68. је приказан тракасти транспортер и пелет у бункеру котла, на слици 69. је приказан детаљ сагоревања пелета у котлу и отворена врата ложишта, на слици 70. је приказан детаљ ручног додавање пелета у ложиште након пропада услед интервенције на додавачу и још један детаљ сагоревања пелета у ложишту.

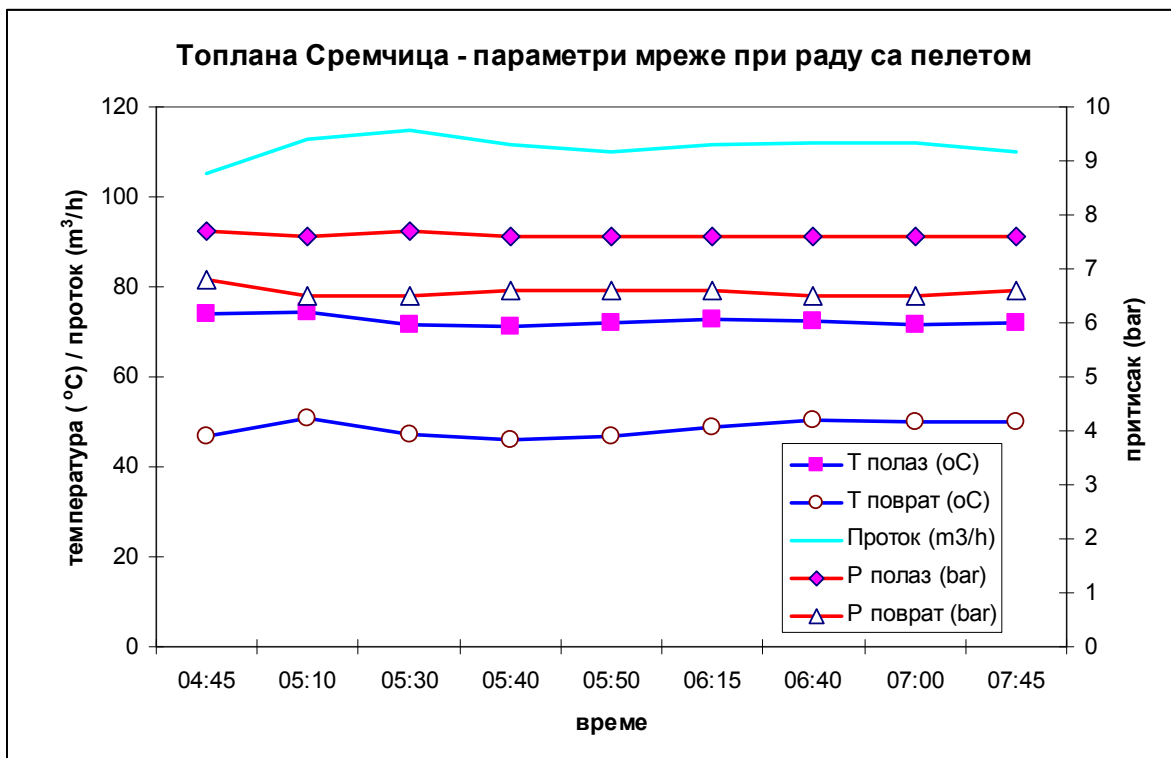
Табела 33. Карактеристични параметри рада мреже топлане „Сремчица“ при раду са пелетом

ПАРАМЕТРИ МРЕЖЕ					
ВРЕМЕ	Т полаз (°C)	Р полаз (bar)	Т поврат (°C)	Р поврат (bar)	Проток (m ³ /h)
04:45	74.2	7.7	47	6.8	105.4
05:10	74.5	7.6	50.7	6.5	112.7
05:30	71.7	7.7	47.2	6.5	114.7
05:40	71.3	7.6	46.0	6.6	111.7
05:50	72.2	7.6	46.8	6.6	110
06:15	72.7	7.6	49.0	6.6	111.6
06:40	72.5	7.6	50.5	6.5	112
07:00	71.7	7.6	49.9	6.5	112
07:45	72.1	7.6	50.0	6.6	110

На сликама 71. и 72. је приказано сагоревање пелета у ложишту из посебног угла - кроз ревизиони отвор, а на слици 73. детаљи са термокоманде топлане „Сремчица“ и детаљи са монитора SCADA система.



Слика 64. Карактеристике топлотног извора при раду са пелетом



Слика 65. Карактеристични параметри мреже при раду са пелетом



Слика 66. Топлана “Сремчица” и покривено складиште за чврсто гориво



Слика 67. Део транспортног система - елеватора и тракасти транспортер (лево) и уређај за додавање горива у ложиште (десно)



Слика 68. Тракасти транспортер (лево) и пелет у бункеру котла (десно)



Слика 69. Сагоревање пелета у котлу (лево) и отворена врата ложишта (десно)



Слика 70. Ручно додавање пелета у ложиште након пропада услед интервенције на додавачу (лево) и сагоревање пелета у ложишту (десно)



Слика 71. Сагоревање пелета у ложишту – поглед кроз ревизиони отвор



Слика 72. Сагоревање пелета у ложишту – поглед кроз ревизиони отвор



Слика 73. Монитор на термокоманди – приказ података које прикупља SCADA систем

5.5 Испитивања на котларници „Сењак“

Котларница ”Сењак” је технички слична топлани ”Барајево”, али три пута мања, са два инсталирана котла типа (REMAX-GA), снаге по 1 MW. Конзум је у тренутку испитивања био 1,1MW уз најаву да ће ускоро бити прикључено још 0,5MW нових потрошача, што је и реализовано пред следећу грејну сезону. Зато је задатак био још тежи, јер је потребно из постојећег извора остварити поуздану производњу топлотне енергије на пројектованом капацитету. Разлика је и у положају котларнице, која се налази у средишту густо насељене зоне са дипломатским и другим резиденцијалним објектима.

Складиште за чврсто гориво је затвореног типа и налази се у саставу котларнице, мањег капацитета и може да прими максимално 60 тона угља. Допремање горива у складиште је путем цеви $\phi 600$ у дужини 30 метара и висинском разликом од 15 метара. Пуњење котлова је ручно, директним пребацивањем (путем колица) из складишта у кошеве котлова, чији је капацитет око 300 килограма. Старт и рад са котловима је даље идентичан као и у топлани ”Барајево”. Шљака се ручно одстрањује из котлова и пребацује у контејнер које се налази поред котларнице. Просечна потрошња угља је 750 тона по грејној сезони.

5.5.1 Испитивања са угљем

За испитивање је изабран котао ВК1, који је припремљен и детаљно очишћен од пепела и шљаке. Из магацина котларнице угаљ је редовним поступком ручно пренет и напуњен бункер котла. Старт котла је, према устаљено пракси, у складу са задатим режимом стартован у 4 сата. Визуелном контролом излаза димних гасова из димњака, констатована је „видљивост“ дима, а након сат времена од старта, на колима која су била паркирана у непосредној близини објекта, примећене су честица чађи. Након постизања радних параметара топлотног извора, дим је постао светлији, али га је и даље било могуће видети. Све наведене појаве су редовне приликом сваког старта.

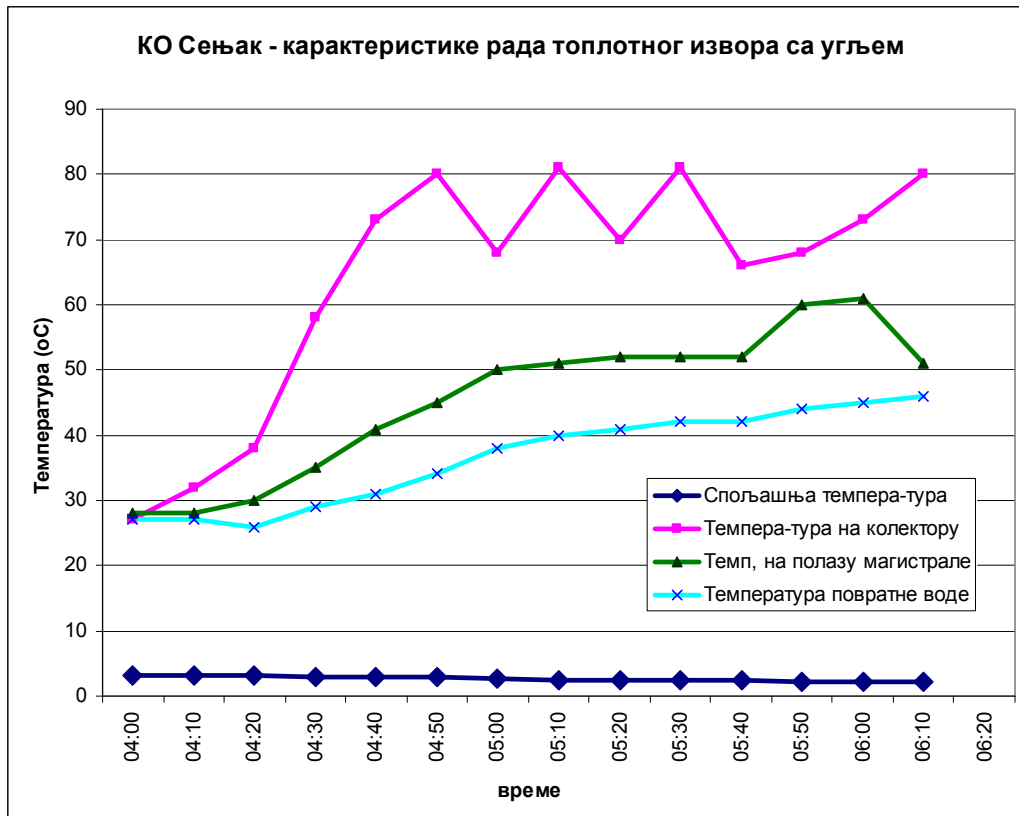
Параметри рада котларнице, при сагоревању угља су дате у табели 34. а исте вредности су приказане и на слици 74.

У табели 35. су дате вредности састава продуката сагоревања при раду котла ВК1 са угљем за различите вредности O_2 .

На слици 75. су графички приказане вредности из табеле 35. - састав продуката сагоревања при раду котла ВК1 са угљем.

Табела 34. Параметри рада котларнице „Сењак“ при раду са угљем

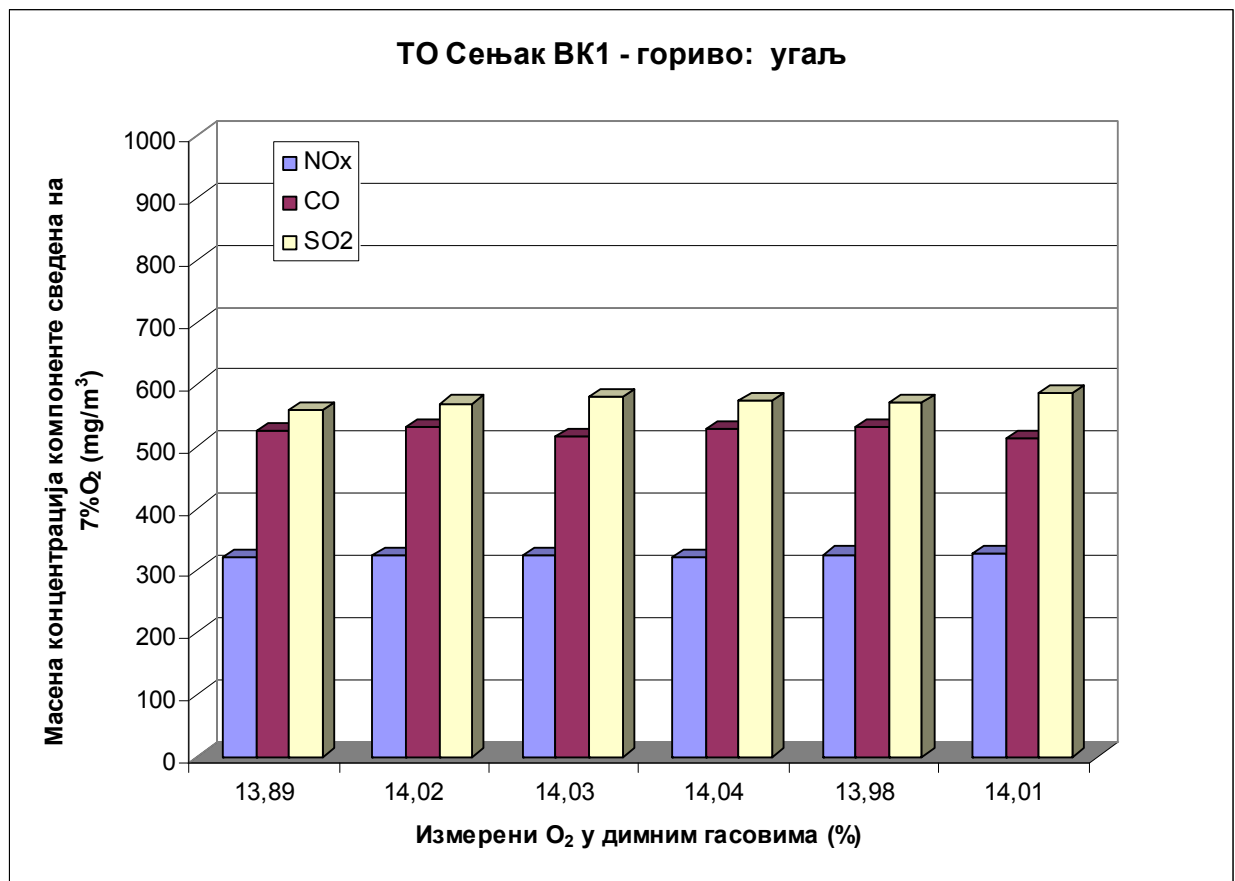
Време	Напомена	Спољашња температура	Темпера-тура на колектору	Темп. на полазу магистрале	Температура повратне воде
04:00	Старт ВК1	3.2	27	28	27
04:10		3.2	32	28	27
04:20		3.1	38	30	26
04:30		3.0	58	35	29
04:40		2.8	73	41	31
04:50		2.8	80	45	34
Постигнута температура на излазу котла – аутоматика искључила					
05:00	Старт ВК1	2.7	68	50	38
05:10		2.5	81	51	40
05:20		2.5	70	52	41
05:30		2.4	81	52	42
Постигнута температура на излазу котла – аутоматика искључила					
05:40	Старт ВК1	2.4	66	52	42
05:50		2.2	68	60	44
06:00		2.1	73	61	45
06:10		2.2	80	51	46
Постигнута температура на излазу котла – аутоматика искључила					
06:20 - 11:15 Настављен рад са угљем као горивом, сви параметри су стабилни те се неће у овој табели понављати					
11:15	Топлана је зауставила рад услед високе спољашње температуре				



Слика 74. Параметри рада котларнице „Сењак“ при раду са угљем

Табела 35. Састав продуката сагоревања при раду са угљем котла ВК1, утицај промене количине O_2

O_2	%	13,89	14,02	14,03	14,04	13,98	14,01
CO	ppm	266	265	256	262	266	256
NO	ppm	79	79	78	78	79	79
NO ₂	ppm	0	0	0	0	0	0
NO _x	mg/m ³	321	323	323	321	325	326
SO ₂	ppm	283	284	288	285	286	292
u_{dg}	%	8,6	8,4	8,6	8,6	8,5	8,6
lamda	-	2,95	3	3,02	3,02	3	3
CO ₂	%	6,23	6,14	6,1	6,1	6,15	6,12
tvk	°C	16,8	17,9	16,3	16,5	15,6	14,9
tdg	°C	90,3	89	88,2	88,2	87,7	87,5
η_k	%	91,4	91,6	91,4	91,4	91,5	91,4

Слика 75. Састав продуката сагоревања при раду са угљем котла ВК1, утицај промене количине O_2

5.5.2 Испитивања са пелетом

Испитивање је обављено на котлу ВК1. Котао и циклони су потпуно очишћени и припремљени за испитивање. На бази претходних искустава сагоревања пелета да се брже постиже задати режим, котао није стартован у четири сата као када се ради са угљем, већ двадесет минута касније. И поред тога, режим је постигнут на време, чак и неколико минута раније него при раду са угљем. Потпала је извршена са око 2 килограма жара од угља. Визуелном контролом није примећен дим из димњака, нити fine честице чађи које су карактеристичне за старт када се ради са угљем. Након три сата рада, потпуно у стационарном режиму, акредитована лабораторија Центра за квалитет је обавила испитивање састава продуката сагоревања. За време испитивања, аутоматика је подешена да не искључује котао услед постигнуте температуре, како се не би променио састав продуката сагоревања.

Испитивање је успешно обављено, иако је рађено у реалном стању котла, који је предвиђен за капитални ремонт. Измерене емисије штетних продуката сагоревања су далеко испод дозвољених граница за овај тип ложишта. Након постизања задате температуре, аутоматика је искључивала котао. Паузе у раду су трајале 15 до 20 минута, затим је аутоматика укључивала котао који би радио 5 до 7 минута, а затим се поново искључивао, и тако циклично до тренутка искључивање топлане услед високе спољашње температуре.

Параметри рада котларнице „Сењак“ (изглед котларнице приказан на слици 76.) при раду са пелетом су дати у табели 36. и на слици 77.

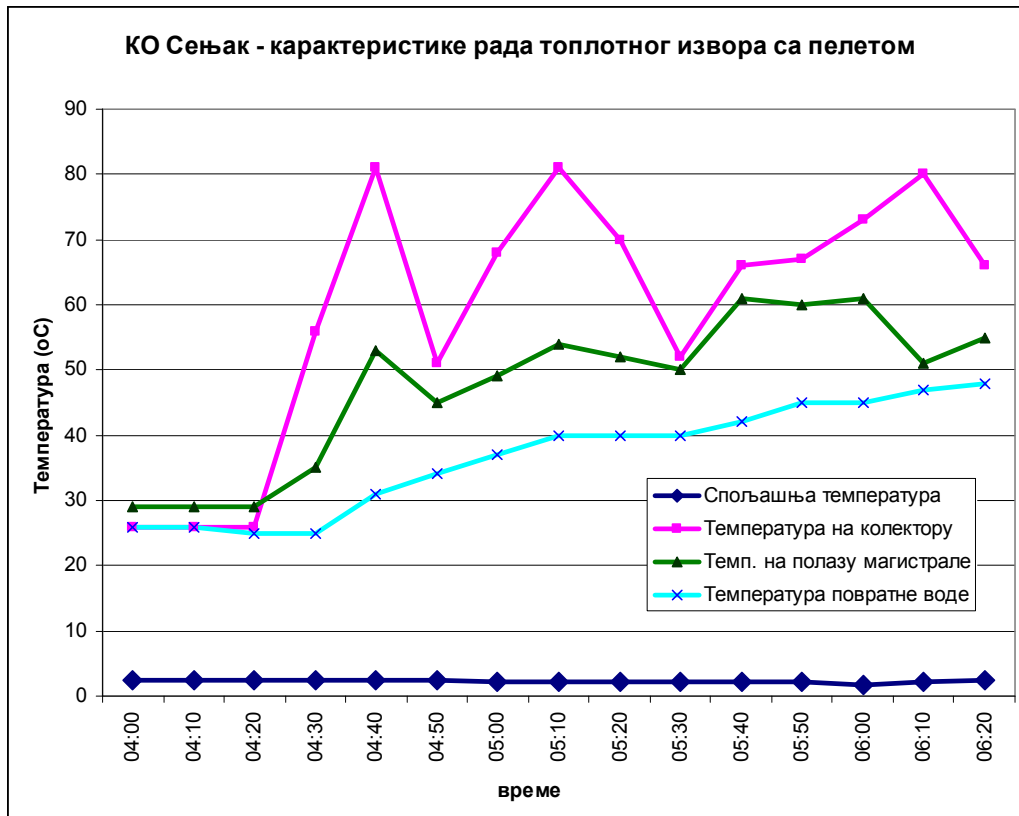
Састав продуката сагоревања за време испитивања сагоревања пелета у КО Сењак је приказан у табели 37. као и на слици 78.



Слика 76. Котларница ”Сењак”

Табела 36. Параметри рада котларнице „Сењак“ при раду са пелетом

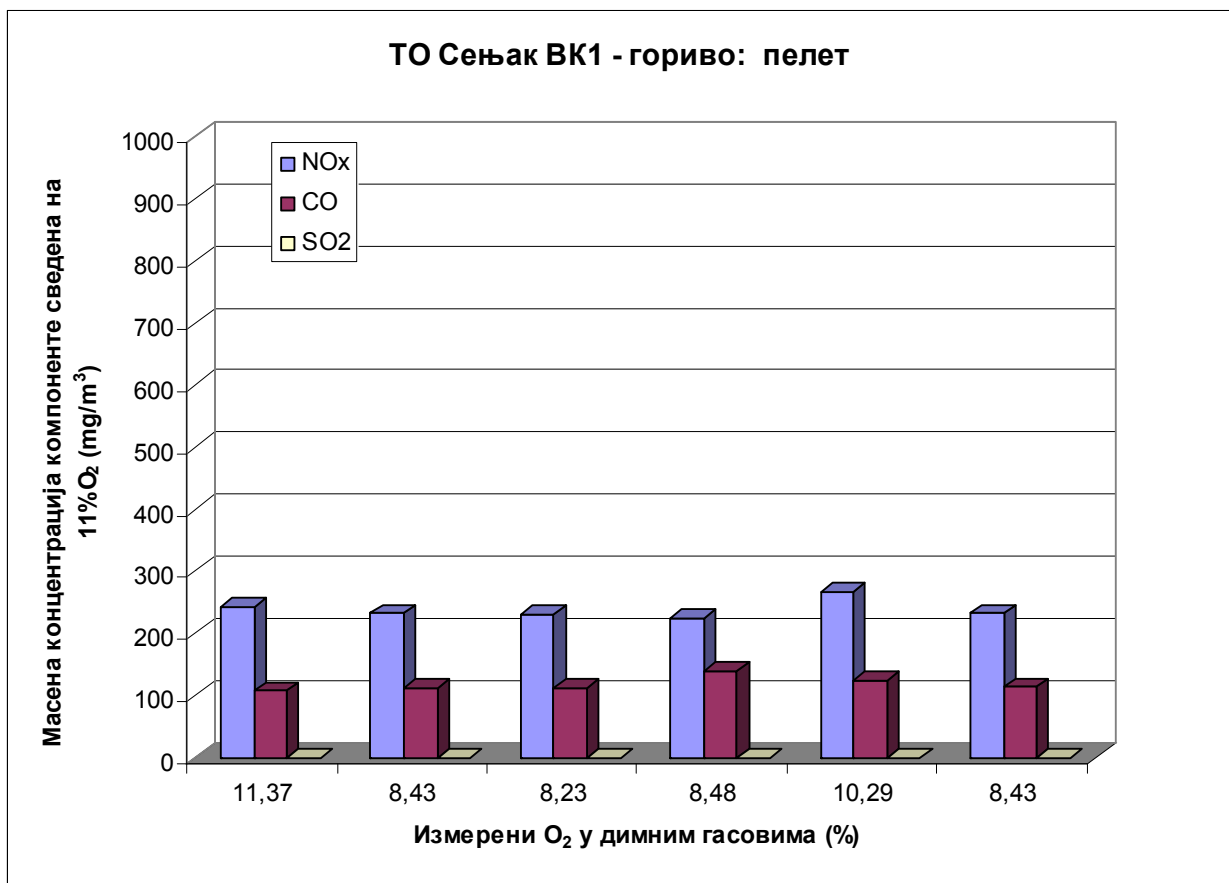
Време	Напомена	Спољашња температура	Темпера-тура на колектору	Темп. полас магистрале	Температура повратне воде
04:00		2.5	26	29	26
04:10		2.4	26	29	26
04:20	Старт ВК1	2.5	26	29	25
04:30		2.5	56	35	25
04:40		2.4	81	53	31
Постигнута температура на излазу котла – аутоматика искључила					
04:50	Старт ВК1	2.3	51	45	34
05:00		2.2	68	49	37
05:10		2.2	81	54	40
Постигнута температура на излазу котла – аутоматика искључила					
05:20		2.2	70	52	40
05:30	Старт ВК1	2.2	52	50	40
05:40		2.2	66	61	42
05:50		2.1	67	60	45
06:00		1.8	73	61	45
06:10		2.1	80	51	47
Постигнута температура на излазу котла – аутоматика искључила					
06:20		2.5	66	55	48
06:30 - 11:00 Настављен рад са пелетом као горивом, сви параметри су стабилни те се неће у овој табели понављати					
11:00	Топлана је зауставила рад услед високе спољашње температуре				



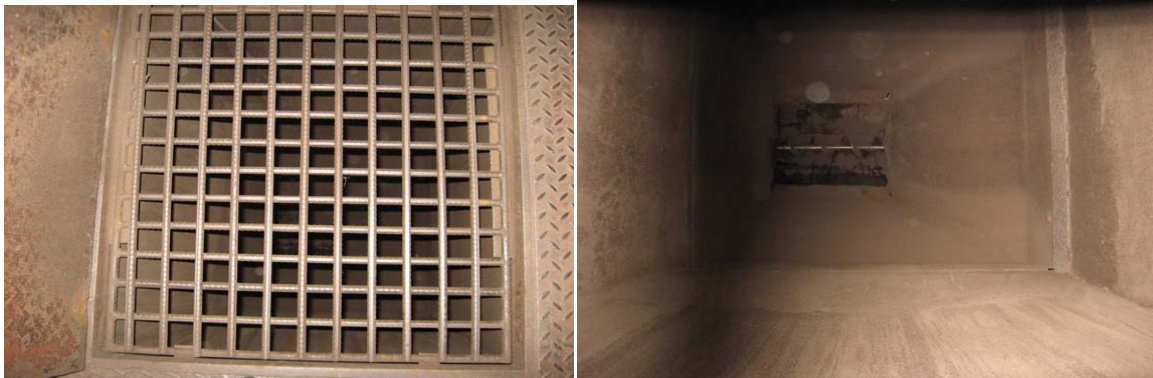
Слика 77. Параметри рада котларнице „Сењак“ при раду са пелетом

Табела 37. Састав продуката сагоревања при раду са пелетом котла ВК1, утицај промене количине O_2

O_2	%	11.37	8.43	8.23	8.48	10.29	8.43
CO	ppm	103	141	142	175	133	142
NO	ppm	81	101	103	97	99	101
NO ₂	ppm	0.7	0.2	0.5	0.2	0.4	0.2
NO _x	mg/m ³	242	232	231	224	267	232
SO ₂	ppm	0	0	0	0	0	0
u_{dg}	%	15.6	12.9	12.7	12.5	14.7	12.9
λ_{mda}	-	2.18	1.67	1.65	1.68	1.96	1.67
CO ₂	%	8.44	11.01	11.19	10.97	9.38	11.01
t_{vk}	°C	24.4	24.3	24.4	25.4	23.4	24.3
t_{dg}	°C	212.6	222.3	222.5	216.2	218.2	222.3
η_k	%	84.4	87.1	87.3	87.4	85.3	87.1

Слика 78. Састав продуката сагоревања при раду са пелетом котла ВК1, утицај промене количине O_2

На слици 79. је приказана решетка котловског коша, као и кош без решетке на којој се види се почетак пужног преносника за увођење горива у ложиште, изглед самог ложишта је приказан на слици 80. као и изглед погонске табла са инструментима, где су очитавани подаци о параметрима рада топлотног извора. Како је сагоревао пелет у ложишту котла ВК1 - поглед кроз отворена врата ложишта је приказан на слици 81.



Слика 79. Решетка котловског коша и кош без решетке (види се почетак пужног вретена)



Слика 80. Ложиште котла ВК1 и табла са инструментима



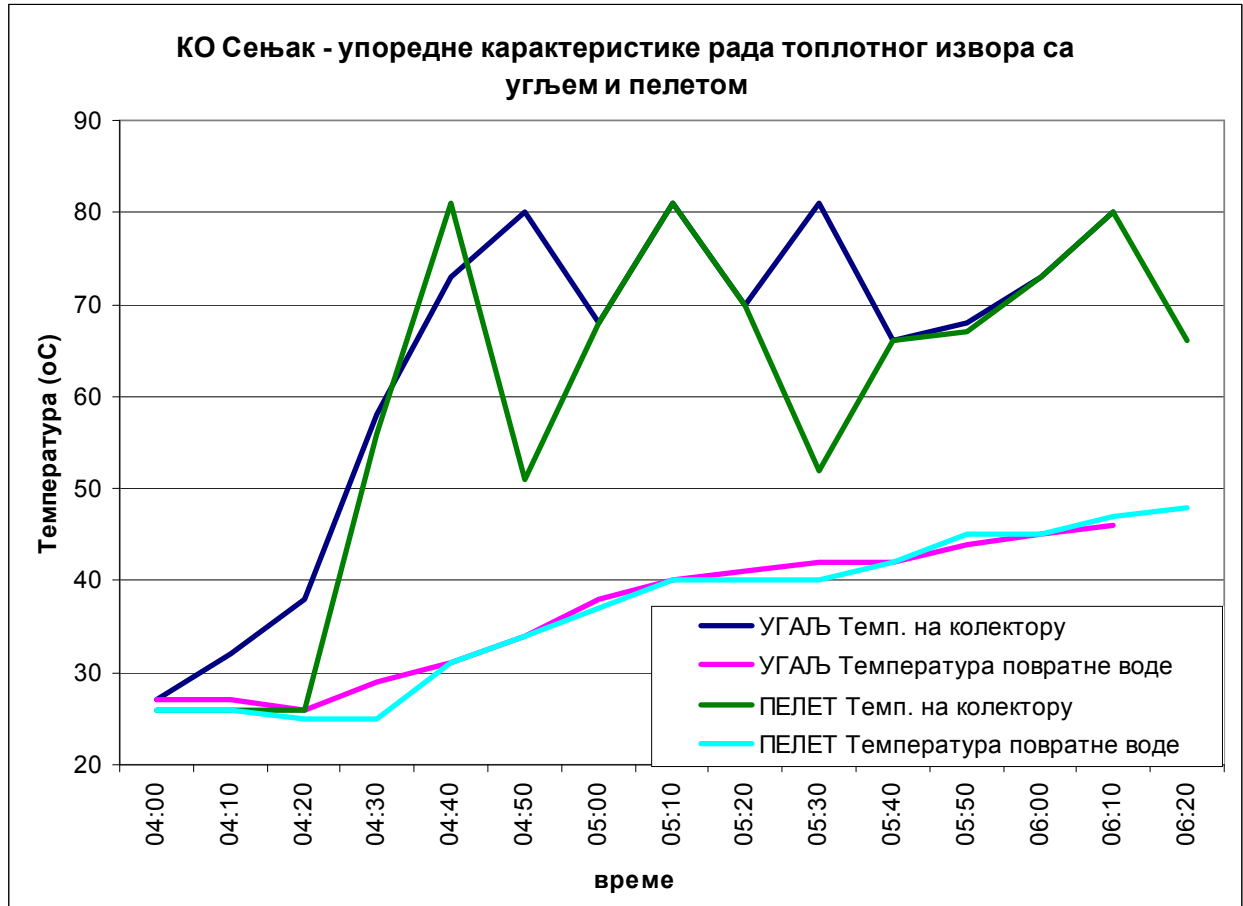
Слика 81. Сагоревање пелета у ложишту котла - поглед кроз отворена врата ложишта

5.5.3 Упоредни преглед показатеља сагоревања угља и пелета

На котларници „Сењак“ је примењен исти модел за испитивање као и на топлани „Барајево“. Током рада са угљем као горивом, утврђене су основне температурске карактеристике овог топлотног извора. Имајући у виду да пелет у краћем временском периоду постиже задате режиме него када се ради са угљем, дат је налог да се старт котлова обави двадесет минута касније. И поред тога, потребан режим је постигнут пре задатог термина. Ово је последица како бржег процеса паљења горива и последично бржег ослобађања топлоте код пелета (услед већег садржаја волатила), тако и мање запремине радног медијума воде у котлу, који се брже загрева. Последица је недовољно време да се топлота преда дистрибутивној мрежи, па долази до краткотрајног искључења рада котла када се постигне максимално подешена температура на излазу из котла.

Ова појава се јасно уочава и на слици 82. где су приказане температуре на колектору, које су практично једнаке температури на излазу из котла. У истом посматраном интервалу од 60 минута, приликом рада са угљем дошло је до три заустављања рада котла и поновног старта, а при раду са пелетом само два. Током дужег рада са пелетом уочен је мањи број стоп/старт секвенци котлова, што утиче на стационарност процеса, али и на животни век котлова и опреме.

На слици 82. је приказан упоредни преглед температурских карактеристика рада котларнице Сењак када се као гориво користи угаљ, односно пелет.



Слика 82. Упоредни преглед температурских карактеристика рада са угљем и пелетом

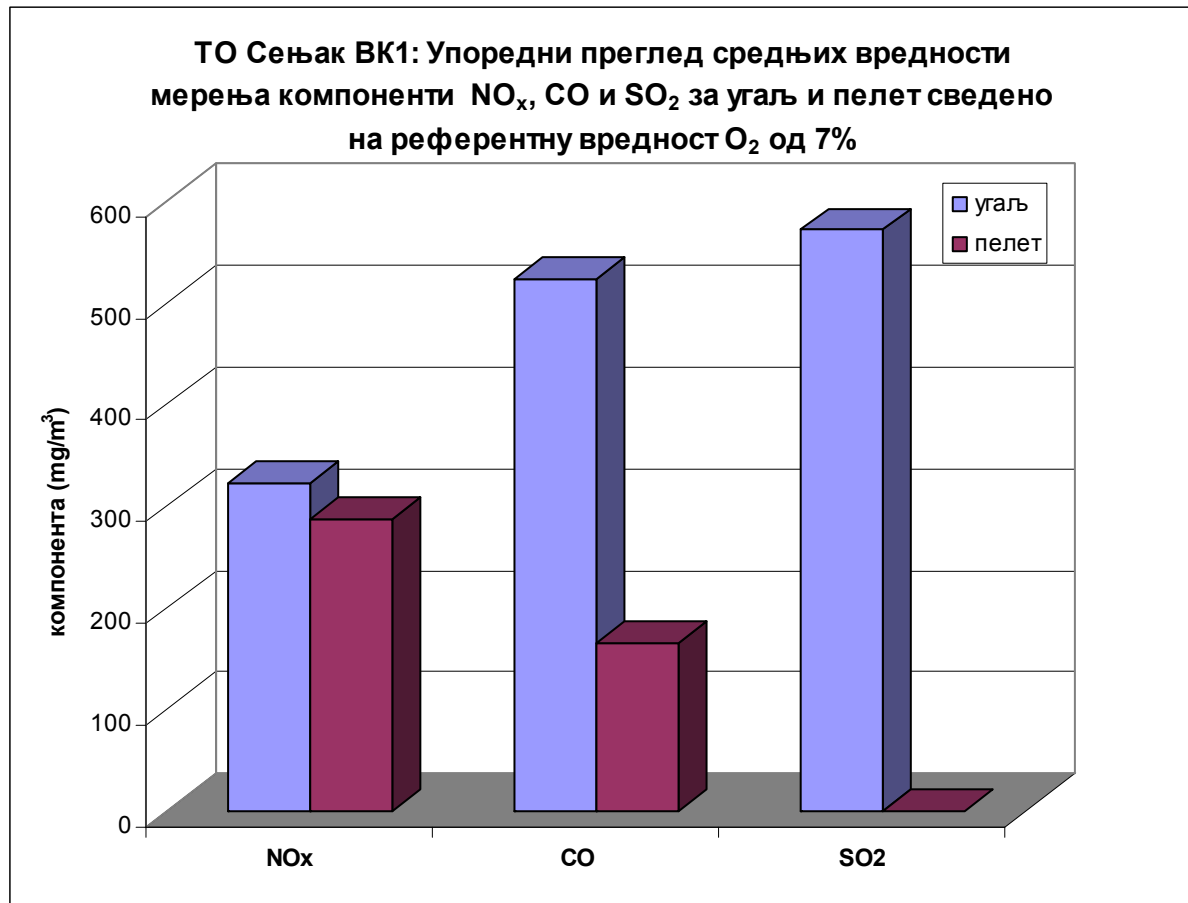
По питању вредности компоненти продуката сагоревања, тренд је исти као и у топлани „Барајево“, али су вредности значајно ниже, чак и када је коришћен угаљ. Разлози су вишеструки: коришћен угаљ није из исте испоруке (мада се ради о истој врсти – сушени лигнит – „Вреоци“), магацински простор за складиштење горива је другачији (затворен), однос снага/димензије ложишта је повољнији и друго.

Ово све је за последицу имало то да су приликом коришћења пелета као горива већ на првом испитивању измерене вредности свих загађујућих материја испод дозвољених вредности.

Додатно, при раду са угљем, котловске јединице у котларници „Сењак“ су показале већу стабилност по питању садржаја кисеоника у димним гасовима, него

котлови у топлани „Барајево“, што је такође последица комбинације већ изнетих фактора.

На слици 83. је приказан упоредни преглед средњих вредности измерених компоненти састава продуката сагоревања приликом сагоревања угља и пелета, прерачуно на вредност O_2 од 7%.



Слика 83. Упоредни преглед средњих вредности измерених компоненти састава продуката сагоревања приликом сагоревања угља и пелета, сведено на вредност O_2 7%.

Генерални закључак за котларницу „Сењак“ је да се пелет може применити као гориво без икаквих измена, при чему се 2 до 3 пута смањује емисија азотових оксида и угљен-моноксида, а потпуно елиминише емисија сумпорних оксида.

5.6 Испитивања у котларницама „Богословија“ и „Миријевски булевар“

Током израде плана и програма испитивања, а на бази анализе карактеристика појединачних топлотних извора, било је евидентно да брикет из техничких разлога неће моћи да се испитује у Барајеву, Сремчици и на Сењаку. Претпостављено је да пелет као гориво за замену угља неће дати жељени квалитет резултата у котларницама са ручним ложењем („Богословија“ и „Миријевски булевар“), али је одлучено да се то у пракси и докаже, а да се затим испита и могућност сагоревања брикета.

5.6.1 Испитивања са угљем

Угаљ се у овим котларницама према устаљеним поступцима користи и више од 40 година. Руковаоци су искусни, па је преостало само да се „сними“ поступак рада како би се поновио са другим горивима (пелетом и брикетом).

Услед незнатних одступања понашања угља, значајне нестационарности процеса сагоревања, биће приказани само испитивање спроведено у котларници „Миријевски булевар“.

На основу задатог режима одлазне температура ка корисницима у 6 часова, посада припреми (очисти) котао, обави прво пуњење са угљем и у одговарајуће време (у посматраном случају) сат раније за задати режим од 42 °С, обави паљење помоћу унапред припремљеног жара. У току наредних сат времена, угаљ се ручно разгнут како би се побољшао проток ваздуха кроз слој угља и обезбедило боље сагоревање.

Режим је постигнут на време, без других активности. Наредна четири сата, угаљ је искуствено допуњаван у ложиште, уз одстрањивање пепела и шљаке из ложишта уз два наврата, при чему је изгубљен и део несагорелог угља. Шљака и пепео су водом хлађени и колицима депоновани у за то одређен простор.

Мерењем састава продуката сагоревања је потврђена уочена нестационарност процеса, тако да континуално мерење у дужем временском

периоду није могуће спровести. Мерења су зато обављена током шест периода, а резултати су меморисани када су све вредности биле стабилне.

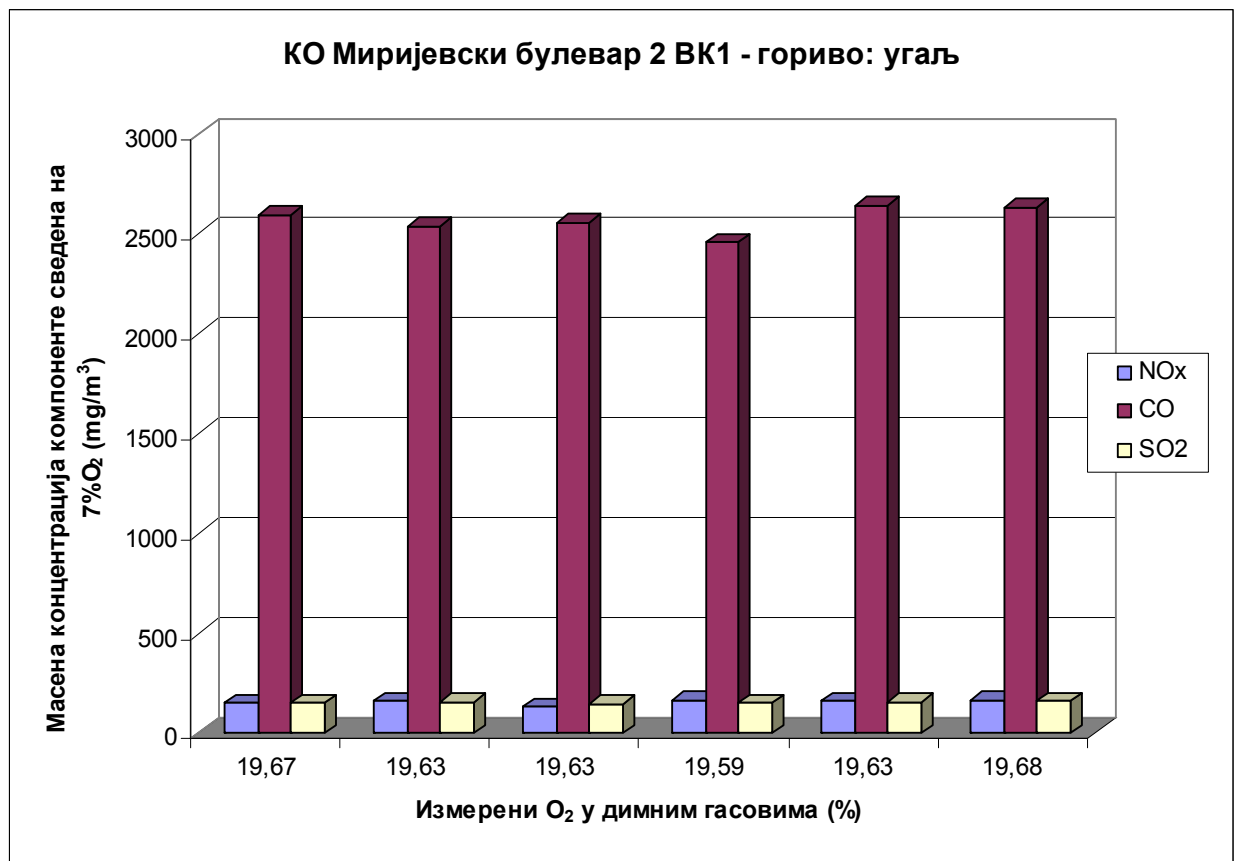
Услови за рад у самој котларници су отежани, услед присутне fine прашине од угља приликом манипулације и након разгртања угља у ложишту. Карактеристичан мирис сагорелог сумпора је редовна појава.

Састав продуката сагоревања при раду са угљем котла ВК1 су приказани у табели 38. и на слици 84.

На слици 85. је приказан изглед угља у ложишту котла у последњој фази сагоревања, и дим из димњака котларнице „Богословија“ током коришћења угља као горива.

Табела 38. Састав продуката сагоревања при раду са угљем котла ВК1, утицај промене количине O_2

O_2	%	19,67	19,63	19,63	19,59	19,63	19,68
CO	ppm	246	248	250	247	258	248
NO	ppm	7	7	6	8	7	7
NO ₂	ppm	0	0	0	0	0	0
NO _x	mg/m ³	149	157	132	164	157	163
SO ₂	ppm	14	15	14	15	15	15
u_{dg}	%	38,5	37,7	37,6	36,6	38,1	39
lamda	-	15,81	15,36	15,29	14,88	15,38	15,92
CO ₂	%	1,16	1,2	1,2	1,24	1,2	1,16
tvk	°C	21,6	21,8	21,8	22,1	22	22
tdg	°C	87	87,7	87,9	88,4	88,4	87,9
η_k	%	61,5	62,3	62,4	63,3	61,9	61

Табела 84. Састав продуката сагоревања при раду са угљем котла ВК1, у зависности од количине O_2 у димним гасовима



Слика 85. Изглед димњака приликом сагоревања угља и ложиште са угљем

5.6.2 Испитивања са пелетом

Котларнице ”Богословија” и ”Миријевски булевар” су изабране са пробу рада са пелетом јер имају потпуно другу конструкцију котлова у односу на досадашња испитивања. Котао је састављен од ливених чланака. У котларници ”Богословија” се налазе три топоводна котла типа ”Супер Нео Вулкан” снаге по 0,475 MW, а у котларници ”Миријевски булевар” четири парна котла типа ”Нео Вулкан” снаге по 0,226 MW. Произвођач ових котлова је ”Радијатор” – Зрењанин. Котлови, који су иначе веома заступљени по мањим котларницама широм Србије, захтевају специфичан начин рада и немају велике могућности регулације.

Дозирање и пуњење котлова чврстим горивом се обавља ручно, директно кроз отвор на горњој страни ложишта. Количина ваздуха у ложишту се регулише отварањем или затварањем клапни на чеоној страни котла. Циркулација ваздуха је путем промаје, односно природним путем на бази температурске и висинске разлике котла и излаза димњака.

Отвори за увођење ваздуха (растојање) између чланака котлова је приближно правоугаоног облика и димензија 40x200 мм, што је веће од димензија пелета и изазива велику количину пропада у пепељару. Обзиром да пепељара представља доњи део ложишта, догоревање пелета у овом сегменту котла није изгубљена енергија, већ се са свежим ваздухом топлота уноси у ложиште, али ствара друге проблеме током рада.

У очишћено ложиште котла је (без паљења) дозирана количина пелета и констатовано да је скоро 20% горива одмах пропало кроз решетку ложишта ка пепељари. Могуће решење је било да се преко постојеће решетке додатно уради друга, са мањим отворима, али то би изискивало трошкове и не би било у циљу истраживања (примена у постојећем стању). Следећи корак би вероватно било уградња вентилатора свежег ваздуха како би се савладали новонастали отпори и „савладала“ већа насипна густина пелета, што представља већ значајне измене инсталације.

Да би се избегла појава пропада пелета, у ложишту је формиран слој од жара крупнијих комада угља. Преко њега је формиран слој пелета који је сагоревао високим пламеном тамно жуте боје са смеђе црним врховима (дифузни пламен) што указује на неадекватну количину/брзину ваздуха, услед велике насипне густине пелета.

Мерење састава продуката сагоревања нису обављена јер се ради није могуће добити репрезентативне резултате, услед значајне количине угља која се користи као подлога. Према изгледу пламена, јасно је било да је састав продуката сагоревања далеко изнад дозвољених граница, нарочито СО компонента. И поред свих проблема, котлови су радили на пелет, остварили потребне режиме, уз учестало додавање новог горива и спречавање појаве високог пламена.

На бази тога, за котлове оваквог типа, не препоручује се примена пелета као горива, барем не ситније гранулације. Примена пелета већих гранулација се приближава брикетима, који су погоднији за оваква ложишта.

Као илустрација наведеног, изглед зграде у којој се налази котларница, изглед котлова, подешавање количине ваздуха, пуњење ложишта пелетом, формирање подлоге од ужареног угља, ситуација након додавања пелета, као и сагоревање пелета из више углова приказани су на слика 86. до 91.



Слика 86. Зграда у којој се налази котларница Миријевски булевар 2 и котлови



Слика 87. Подешавање количине ваздуха у ложишту и пуњење котла пелетом



Слика 88. Формирање подлога од жара (угаљ) и ложиште котла након допуне пелетом



Слика 89. Ложиште котла (горњи део) и пепељара за пепео (доњи део)



Слика 90. Решетка пре почетка испитивања и изглед пламена кроз ревизиони отвор



Слика 91. Сагоревање пелета – поглед кроз отвор за пуњење горива (горњи део котла)

5.6.3 Испитивања са брикетом

Услед незнатних одступања понашања брикета и сагласности резултата, биће приказани само испитивање спроведено у котларници „Миријевски булевар“.

Према стандардној процедури, како је рађено и са угљем као примарним горивом, припремљени су брикети за испитивање, допремљени до котла и додати у ложиште. Да би се режим постигао, потребно је паралелно стартовање два котла. Обављено је паљење брикета у сваком котлу са по два килограма претходно припремљеног жара, и праћен процес сагоревања. Задат је режим од 40°C за 06 часова, па је котао стартован у 05 часова. Примећено је формирање вишег пламена него када је у питању угаљ. Из безбедностних разлога је дат налог да се маса дозираног брикета смањи два пута у односу на стандардни начин рада са угљем, а да се интервали између два пуњења ложишта смање на пола. као и код угља, након сваког пуњења је потребно ручно разгртање горива у ложишту, како би се обезбедили квалитетни услови за сагоревање и једнако температурско оптерећење котла. Температурски режим је постигнут на време, и са периодичним допуњавањем једнаких количина горива одржаван са одступањем од једног степена. Осим одлазне и повратне температуре у кућну инсталацију, остали радни параметри нису могли да се прате јер за то не постоји опрема у котларници. Количина пепела није мерена, али је упоређивањем прикупљеног пепела и шљаке закључено да су резултати сагласни са већ спроведених испитивања на другим топлотним изворима тј. количина пепела је приближно 10 пута мања него приликом сагоревања угља. Ово је потврђено и дуготрајним радом котларница током наредних грејних сезона.

На слици 92. је приказано сагоревање брикета у ложишту котла.

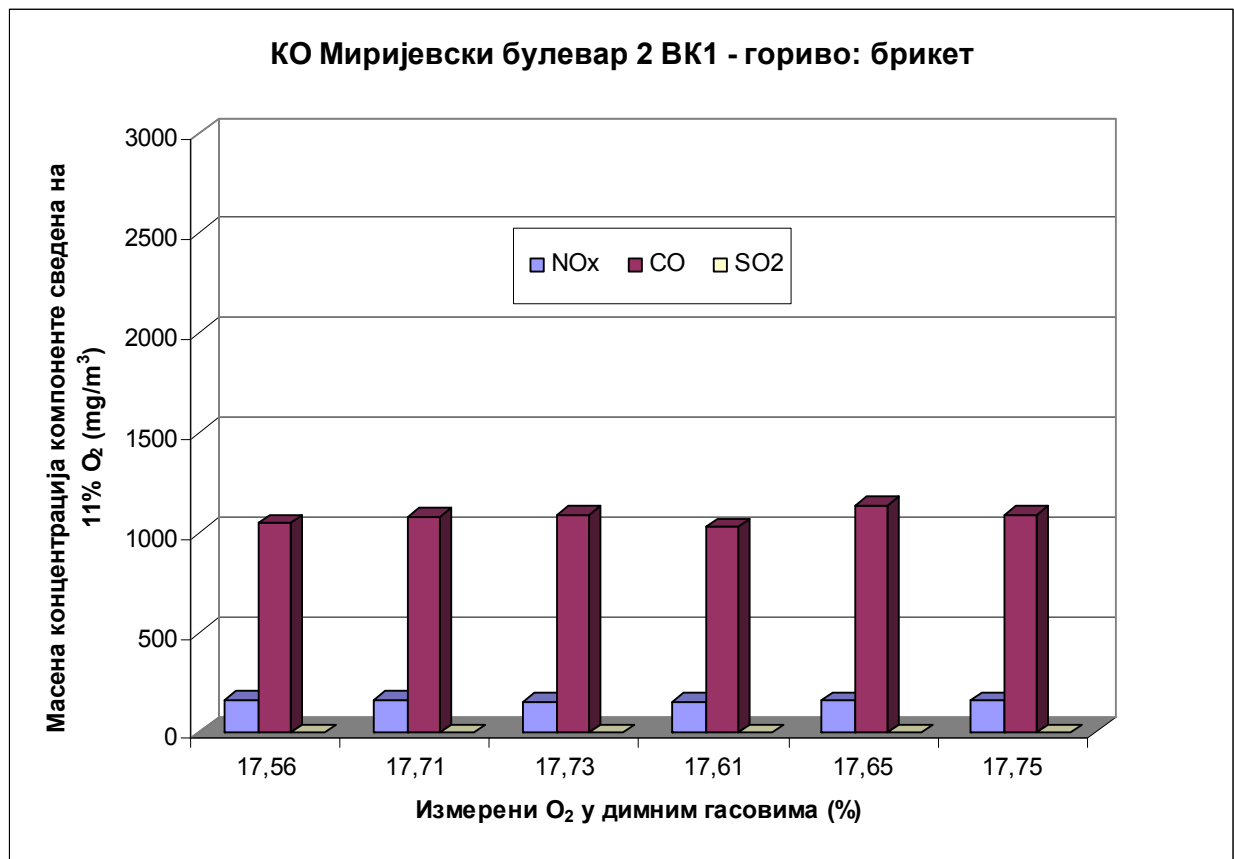


Слика 92. Сагоревање брикета у ложишту котла

Исти тим као и код претходних испитивања састава продуката сагоревања је обавио мерења, и резултати су приказани у табели 39. и на слици 93.

Табела 39. Састав продуката сагоревања при раду са брикетом

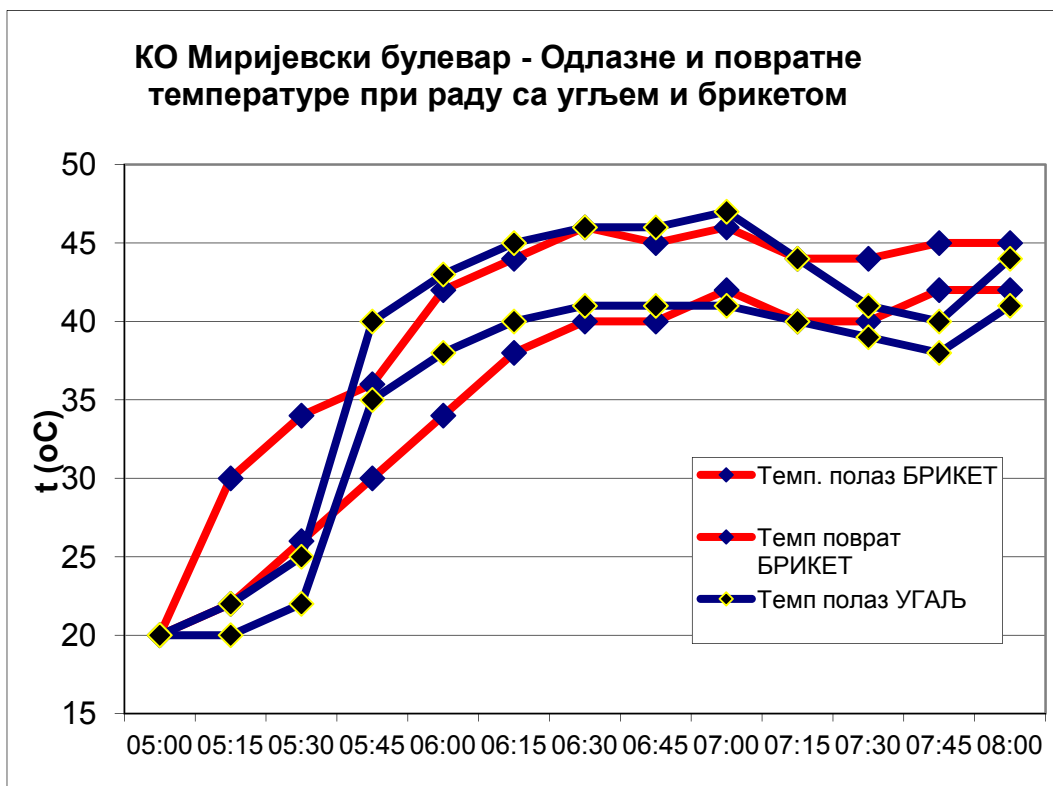
O ₂	%	17,56	17,71	17,73	17,61	17,65	17,75
CO	ppm	360	356	356	348	380	354
NO	ppm	34	33	31	32	30	32
NO ₂	ppm	0	0	0	0,2	0,5	0
NO _x	mg/m ³	164	163	155	154	161	159
SO ₂	ppm	0	0	0	0	0	0
u _{dg}	%	47,5	48,7	48,3	46,8	49,8	48,2
lamda	-	6,11	6,39	6,42	6,19	6,67	6,46
CO ₂	%	3,32	3,18	3,16	3,28	3,058	3,14
tvk	°C	10,5	10,4	10,4	10,2	10,2	10,2
tdg	°C	241,7	238,1	235,1	235,8	233,5	232,7
η _k	%	52,5	51,3	51,7	53,2	50,2	51,8



Слика 93. Састав продуката сагоревања при раду са брикетом

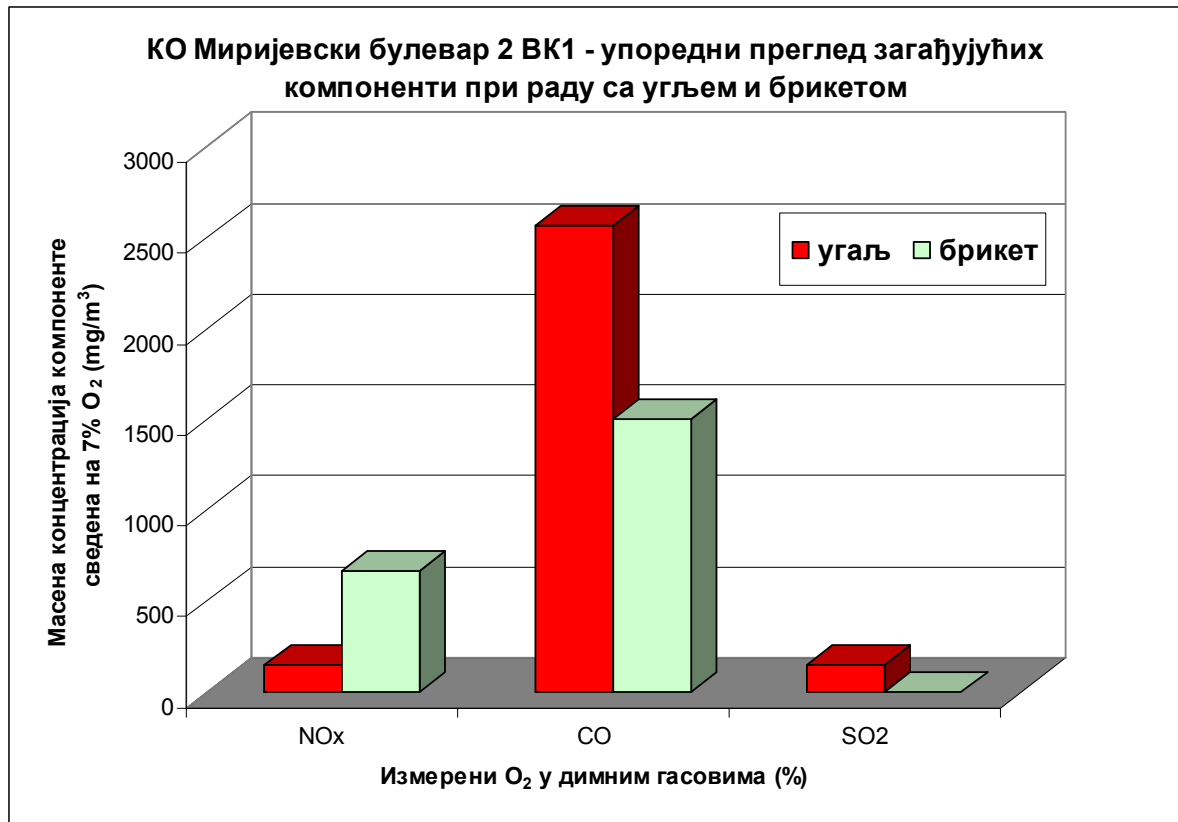
5.6.4 Упоредни преглед сагоревања угља и брикета

Обављање потребних испитивања у котларницама са ручним ложењем је знатно теже него код топлотних извора са аутоматским дозирањем горива, какви су „Барајево“ и „Сењак“. Разлог је изразита нестационарност процеса сагоревања, која у појединим фазама потпуно онемогућава мерења. Све податке који се односе на овај тип котларница, генерално треба узимати са одређеном резервом, јер је фактор утицаја руковаоца на цео процес сагоревања велики (количина додатог горива се може разликовати, интервал између два пуњења је различит, као и квалитет разгртања / распоређивања горива по дубини ложишта). Ове појаве су израженије код угља јер се делимично могу код брикета усталити (брикети су у паковању познате тежине, лакше је распоређивање по ложишту и слично). Током испитивања, сви наведени утицаји су максимално елиминисани. На слици 94. су приказане упоредно измерене вредности полазних и повратних температура грејног система при раду са угљем и брикетом, у функцији времена. Уочава се да брикет у почетку брже ослобађа топлоту и има мање температурске осцилације.



Слика 94. Упоредни приказ карактеристичних температура при раду са угљем и брикетом

Мерења су показала да је код брикета потпуно елиминисана емисија сумпорних оксида, као и да је смањена емисија азотових оксида и угљен-мооксида. Упоредни приказ средњих вредности већег броја мерења, сведено на исту вредност кисеоника су приказани на слици 95.



Слика 95. Упоредни приказ компоненти димних гасова за угаљ и брикет

Генерални закључак за котларнице са ручним ложењем је да се угаљ у може успешно заменити са брикетима од дрвне биомасе већег пречника и дужина. При томе се мора водити рачуна о количини додатог горива, јер брикет формира, услед већег садржаја волатила, висок пламен, а сам процес сагоревања се брже одвија.

5.7 Примена пелета и брикета у периоду 2008-2012

Након обраде резултата испитивања које је у овом раду изложено, формиран је Извештај и резултати су презентовани менаџменту ЈКП „Београдске електране“. Донета је одлука да се од наредне грејне сезоне започне са коришћењем обновљивог извора енергије – чврсте биомасе дрвног порекла у форми пелета и брикета у свему како је то у Извештају препоручено.

Одређене су техничке карактеристике новог горива, формирани критеријуми, процењене потребне количине за предстојећу грејну сезону и спроведен отворени поступак набавке у складу са одредбама Закона о јавним набавка Републике Србије. По окончању поступка потписани су уговори са произвођачима.

Тиме је, са почетком грејне сезоне 2008/2009 започео процес коришћења пелета и брикета као замене за угаљ. Пре старта сезоне, састављена су упутства за руковоаце и обављена додатна обука. Било је потребно одређено време да се руковоаоци привикну на ново гориво и нове процедуре у раду, обзиром да се деценијама пре тога радило по устаљеним процедура само са угљем. Имајући то у виду, као да има заосталих количина угља, руковоаоцима је препуштено да у почетку раде са угљем или са мешавином биомасе и угља, нарочито у случајевима тзв. хладног старта котлова.

Почетни проблеми су брзо превазиђени. Руковоаоци су, може се рећи стидљиво, првих дана додавали по 10% или 20% брикета. Из дана у дан је проценат повећаван да би већ за месец дана почели са коришћењем искључиво брикета. Занимљив је податак да се ово дешавало само на местима где се користи брикет, док је пелет од првог дана коришћен без мешања са угљем.

Угаљ се и данас у малим количинама може затећи у котларницама на подручју Карабурме и користи се за одржавање жара током ноћи када котлови не раде, јер брикет није исказао ту способност.

Уз обиље података у раду, лоцирана су места где се може унапредити цео процес. То се првенствено огледало у начину паковања брикета. Прве испоруке су биле у џамбо врећама од 1000 кг, што је доводило до ломљења и растура одређеног процента брикета. Већ за наредну грејну сезону паковање је било у

врећама просечне тежине 20кг. За трећу грејну сезону је и то примењено, тако да се данас брикети испоручују у картонски кутијама масе 20кг, упаковане на палете, што је омогућило максимално искоришћење ограничених складишних капацитета.

Код пелета није било измена у погледу паковања. За топлану „Барајево“ се испоручују џамбо вреће од 1 тоне, за котларницу „Сењак“ вреће од 20кг.

Урађене су поједине мање оптимизације (промена корака пужног додача на Сењаку, увођење додатне аутоматике на Барајеву и слично)

Спроведено је још једно испитивање – могућност смањења количине угљен монооксида у продуктима сагоревања додавањем адитива директно у пелет пре увођења у ложиште котла. Коришћени су адитиви: "PAC-KK-S MgNit" (у течном стању) и "PAC-KK-S NaI" (у форми прашкасте материје). Током испитивања постигнути су добри резултати у смањењу емисије посматране компоненте димних гасова.

На тржишту се сваке сезоне појаве нови енергетски производи од биомасе, разноврсни како по геометрији, тако и по саставу. Све је више брикета и пелета чији је сировински састав од остатака ратарске производње. Током грејне сезоне 2009/10 је урађено упоредно испитивање квалитета сагоревања три различита брикета (основни подаци су дати у поглављу „техничка анализа горива“). Циљ овог истраживања је био да се оцени утицај састава брикета на енергетске и еколошке карактеристике. Као илустрација добијених резултата, у табели 40. су упоредно приказане средње вредности специфичне емисије за три загађујуће компоненте: азотове оксиде, сумпорне оксиде и угљенмоноксид. Исти подаци су приказани и на слици 96.

Табела 40. Средње вредности специфичних емисија за 4 различита горива

Специфична емисија	Јединица	Угаљ	Брикет 1	Брикет 2	Брикет 3
p_{CO}	mg/kwh	2066	1955	3523	4225
p_{SO_2}	mg/kwh	1462	0	0	140
p_{NO_x}	mg/kwh	639	455	274	646
Tdg	°C	201,1	189,6	201,0	225,3

Напомена: Брикет 1: сировина - дрвна струготина; Брикет 2: сировина - дрвна прашина; Брикет 3: сировина – слама



Слика 96. Средње вредности специфичних емисија за 4 различита горива

Као и код испитивања из 2008. године, угаљ је коришћен као основа за упоређивање. Важно је напоменути да током рада са брикетима од дрвне прашине и брикетима од сламе нису могли да се постигну и одрже захтевани параметри продукције топле воде, који су са угљем и брикетом од струготине са лакоћом

постигнути и одржавани. Код брикета 2 је уочена брза деградација основног материјала, његово пропадање у пепељару (слично као код испитивања сагоревања пелета у овом котлу) и изразито лоша дистрибуција ваздуха неопходног за квалитетно сагоревање. Брикети су углавном радили у зони непотпуног сагоревања, што се види и из повећане емисије CO. Код брикета од сламе је примећена појава високог пламена који је досезао до почетка димног канала, што није прихватљиво из безбедносних разлога. Код овог брикета је дошло и до појаве сумпорних оксида у продуктима сагоревања, чије је порекло вероватно из минералних ђубрива која се на њивама користе. У оквиру ЕУ се већ годинама у стручним круговима воде полемике око могућности примене остатака ратарске производње у процесима добијања енергије путем сагоревања, управо из разлога високе токсичности материја, па и када се налазе у малим количинама, чије је порекло из вештачких ђубрива.

* * *

Претходне четири грејне сезоне радило се према упутствима проистеклим из испитивања које је предмет овог рада. И то без икаквих застоја у раду, оштећења опреме или других проблема, што даје својеврсну верификацију резултата испитивања.

У прилог томе говоре и утрошене количине горива (пелета и брикета) у протеклом периоду, у девет топлотних извора ЈКП „Београдске електране“. Од 2008. до краја 2012. године укупно је утрошено 15.000 тона овог обновљивог ресурса домаће производње и претворено у топлотну енергију која је испоручена корисницима.

Процене указују да је тиме елиминисана потрошња од минимално 20.000 тона лигнита, што значи да је у ваздух изнад Београда спречена емисија значајних количина сумпорних оксида, азотових оксида, чађи и угљен монооксида. Истовремено је дат допринос глобалном загревању кроз смањење емисије CO₂ за више од 21.000 тона.

Детаљнији преглед утрошених количина по грејним сезонама дат је у табели 41.

Табела 41. Утрошене количине биомасе по грејним сезонама

	УКУПНО	грејна сезона			
		2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012
ПЕЛЕТ (тона)	5.837	1.297	1.263	2.027	1.250
БРИКЕТ (тона)	8.902	2.317	2.159	2.326	2.100

Иако економска анализа није предмет овог рада, важно је напоменути да је, према ценама природног гаса и мазута из марта 2012. године, цена произведене јединице енергије у даљинским системима грејања на бази пелета и брикета двоструко нижа, што може имати велики значај као опредељујући фактор у будућим инвестицијама у овој области.

5.8 Анализа резултата

5.8.1 Емисије CO, NO и SO₂

У овом подпоглављу биће анализирани емисије угљен монооксида (CO), оксида азота (NO) и сумпор диоксида (SO₂).

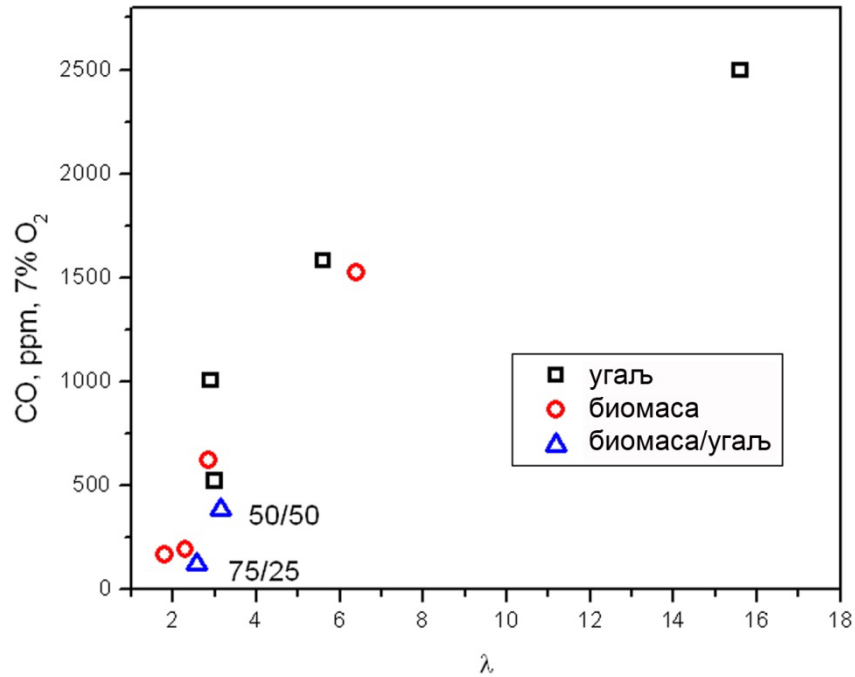
Граничне вредности емисије за угљен монооксид (CO), оксиде азота (NO_x), сумпор диоксид (SO₂) и прашкасте материје за мала и средња постројења за сагоревање, у зависности од врсте горива која се користи, прописане су одговарајућим законским актима.

5.8.2 Емисија CO

При сагоревању фосилних горива CO се брзо формира у фронту пламена у присуству O, OH и H радикала, а затим споро формира угљен диоксид реагујући са OH. Налази се у значајним равнотежним концентрацијама у условима дисоцијације продуката сагоревања. За присуство CO у коначним продуктима сагоревања су повољни чиниоци недовољна количина ваздуха, лоше мешање горива и ваздуха, ниска температура и недовољно расположиво време за реакцију CO у CO₂.

Зависно од топлотне снаге постројења и врсте горива, законска акта предвиђају свођење мерених вредности на различите вредности концентрације кисеоника у димним гасовима. Тај приступ онемогућује реално сагледавање утицаја променљивих па су у овом раду, имајући у виду чињеницу да су котлови предвиђени да користе угаљ као гориво, сви резултати сведени на 7% O₂ у сувим продуктима сагоревања. Утицај притиска и температуре је избегнут коришћењем запреминског учешћа компоненте гаса у гасној смеси.

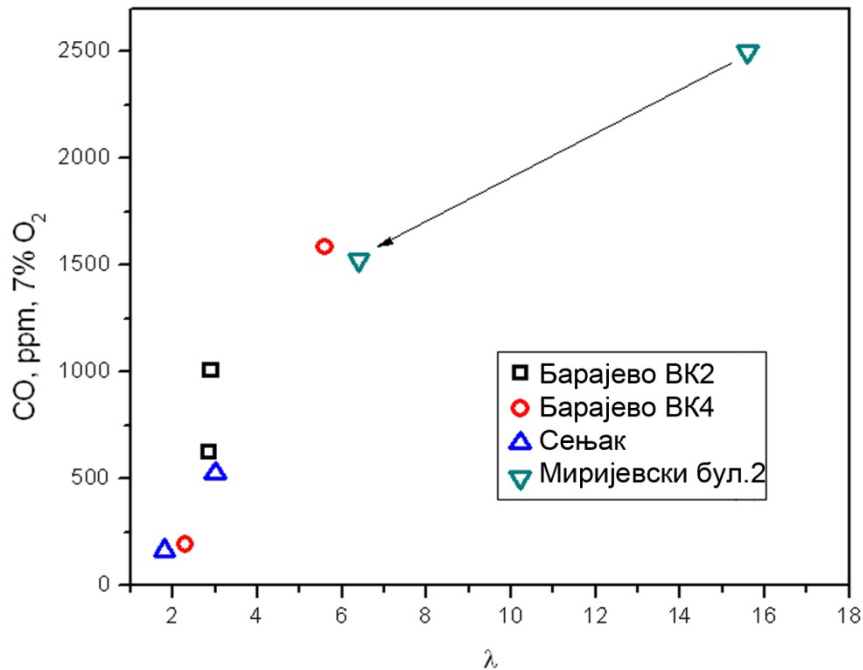
На слици 97. дате су измерене вредности CO у зависности од коефицијента вишка ваздуха, за топлану Барајево, и котларнице Сењак и Миријевски булевар 2.



Слика 97. CO у зависности од коефицијента вишка ваздуха за сва коришћена горива и све топлане.

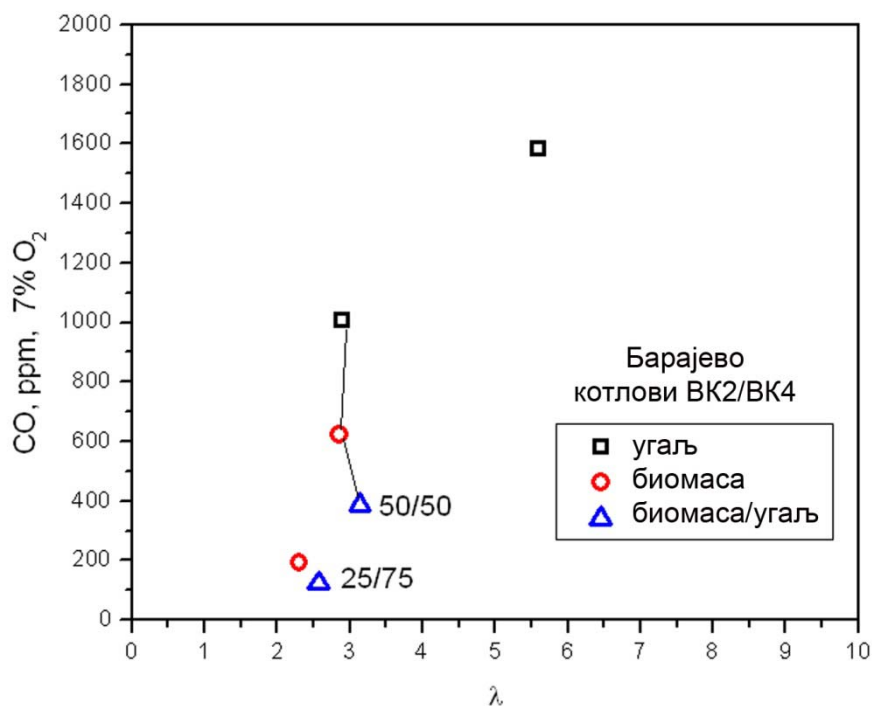
Резултати показују добру корелацију емисије CO и коефицијента вишка ваздуха. Емисија CO изразито расте при расту коефицијента вишка ваздуха.

На слици 98. се уочава да за све топлане емисија CO значајно опада при преласку са угља на биомасу.



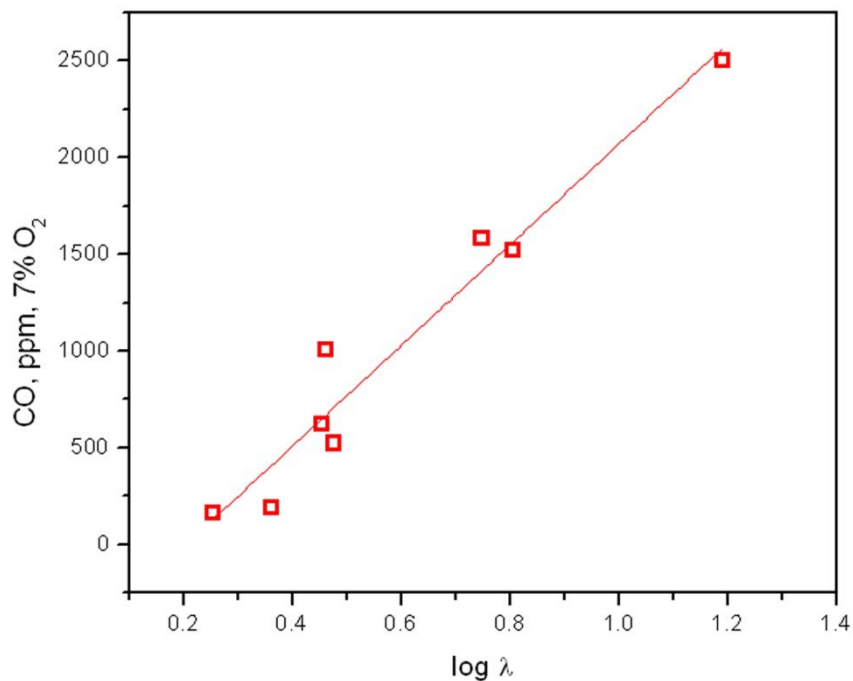
Слика 98. CO у зависности од коефицијента вишка ваздуха и врсте горива за поједине топлане.

На слици 99. се види да је сагоревање мешавина угља и биомасе у котловима топлане Барајево повољније са становишта емисије CO у односу на сагоревање само угља и само биомасе. Вероватан разлог лежи у чињеници да је садржај коксног остатка угља 40-50% а дрвне масе око 20%. Садржај волатила дрвета је око два пута већи у односу на угаљ. Хомогенизовану мешавину биомаса/угаљ карактерише истовремено горење комада ужареног кокса угља (дужа фаза сагоревања угља) који у додиру са пелетом повећава брзина издвајања, загревања и паљења волатила и тако убрзава сагоревање CO у ложишту.



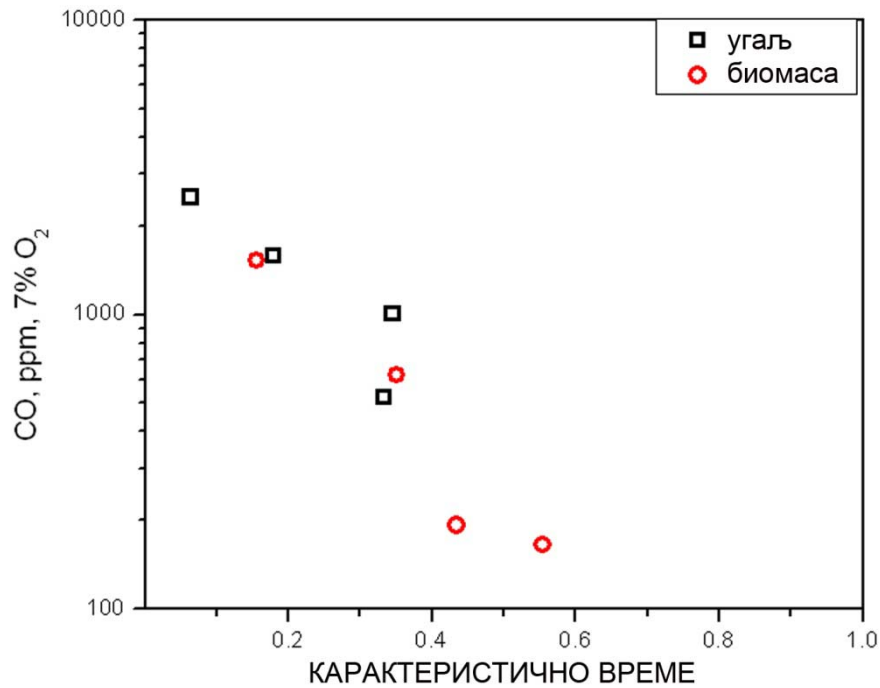
Слика 99. CO у зависности од коефицијента вишка ваздуха за два котла топлане Барајево и различита горива.

Корелација емисије CO и логаритма коефицијента вишка ваздуха је приближно линеарна, што је приказано на слици 100.



Слика 100. CO у зависности од коефицијента вишка ваздуха и врсте горива (угаљ и биомаса) за све топлотне изворе.

Коефицијент вишка ваздуха и карактеристично време боравка реагујуће гасне струје у ложишту су обрнуто пропорционални. Дијаграм на слици 101. потврђује да уз температуру зоне реакције, која је кључни фактор сагоревања CO у угљен диоксид, важан утицајан чинилац је и карактеристично време боравка.

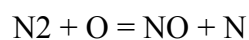


Слика 101. CO у зависности од карактеристичног времена боравка у ложишту и врсте горива (угаљ и биомаса) за све топлотне изворе

5.8.3 Емисија NO

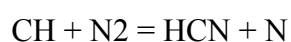
Сматра се да три механизма контролишу емисију NO:

Термички NO је карактеристичан за високе температуре. Кључна реакција

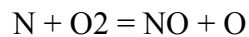
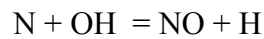
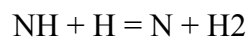
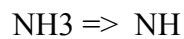


је релативно спора и контролише брзину настајања NO.

Брзи NO настаје деловањем CH групе која реагују са молекуларним азотом на релативно ниским температурама, формирајући цијано групу HCN

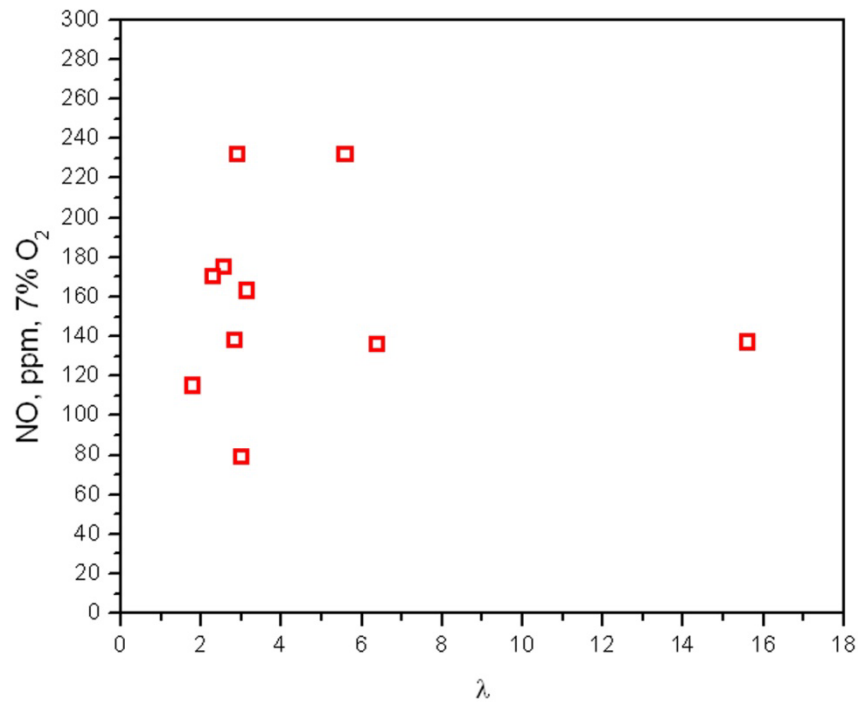


Горивни NO се односи на азот који је у структури молекула горива и који током сагоревања другачијим механизмом у односу на термички и брзи, формира NO. С обзиром на садржај волатила у биомаси, азот из горива брзо прелази у NH₃ и цијано групу HCN, који даље реагују:

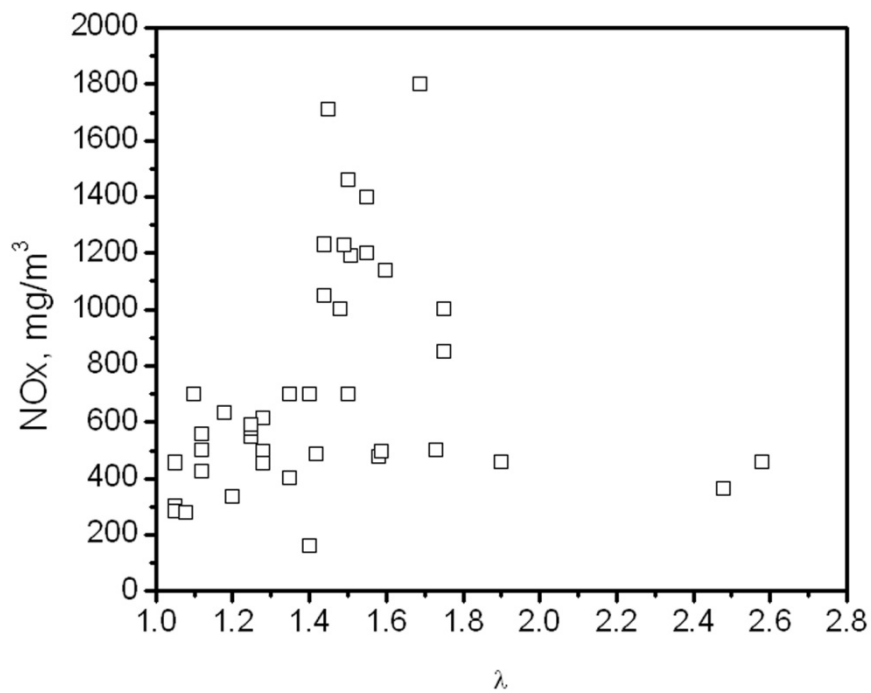


У пракси, интеракције хемијске кинетике, турбулентног струјања, преноса масе и топлоте су у тој мери испреплетени што отежава предвиђање настајања NO.

Када су у питању резултати измерених вредности NO, као што се на слици 102. уочава, нема корелације између емисије NO и коефицијента вишка ваздуха. Ово потврђује сазнање групе аутора (Аџић, Јованић, Гавриловић) за случај великих термоенергетских постројења југоисточне Европе, слика 103.

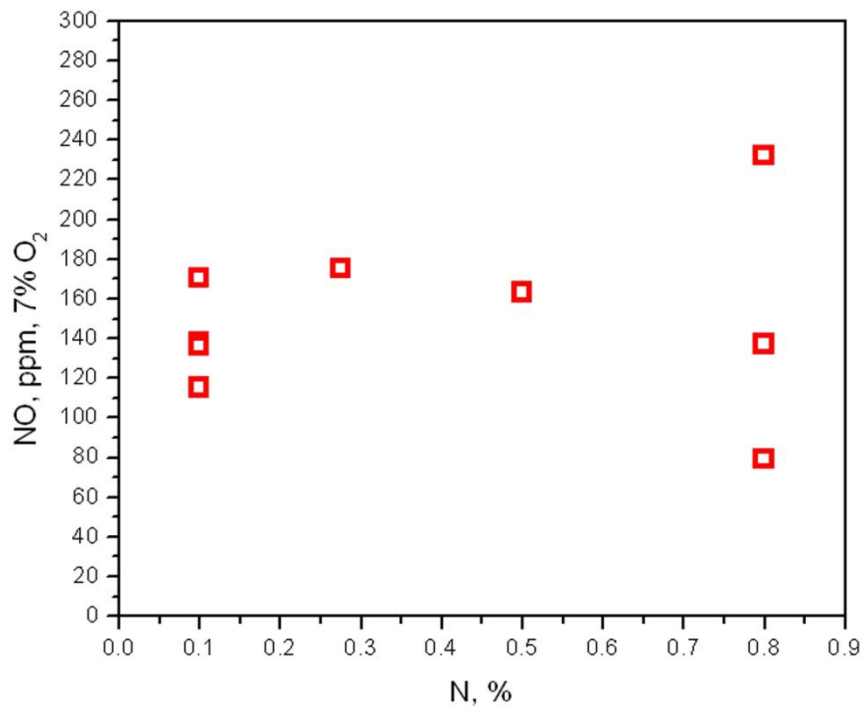


Слика 102. Емисија NO у зависности од коефицијента вишка ваздуха; сва горива (угаљ, биомаса) и све топлане.

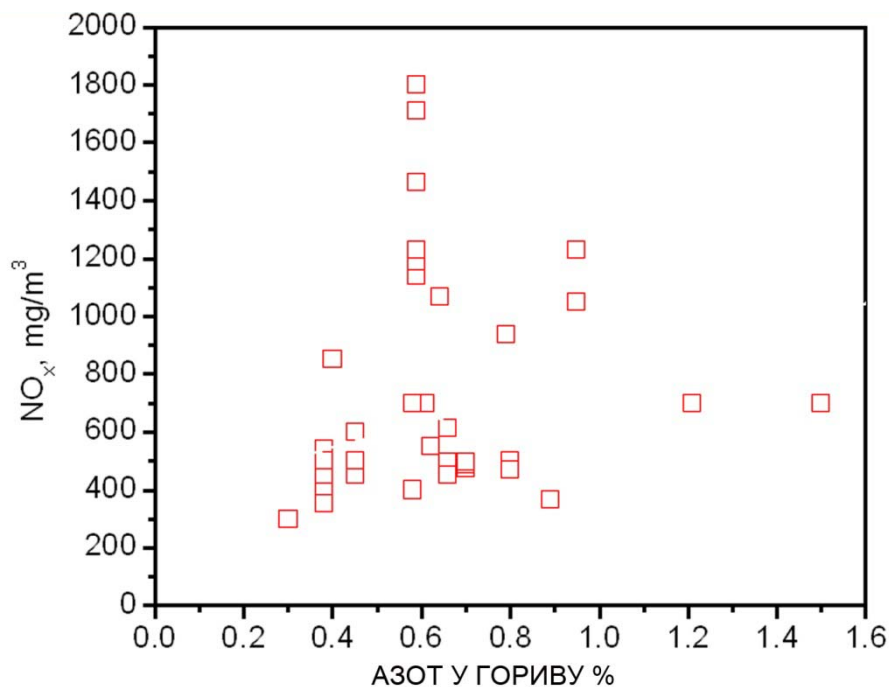


Слика 103. Емисија NO у зависности од коефицијента вишка ваздуха; велика термоенергетска постројења југоисточне Европе.

Слична ситуација је и са утицајем садржаја азота у гориву, слике 104. и 105.
- нема корелације.

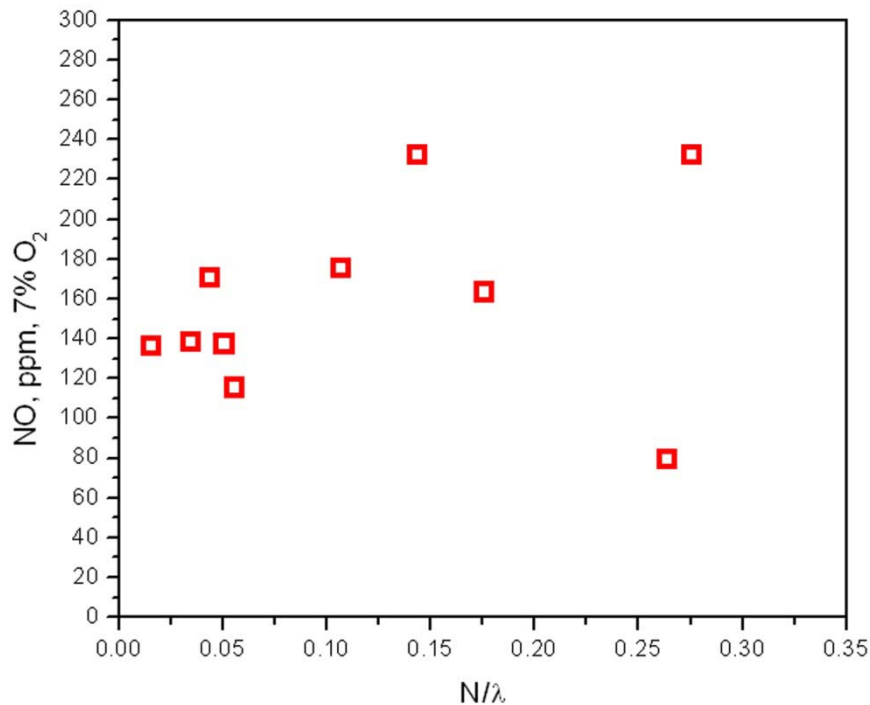


Слика 104. Емисија NO у зависности од садржаја азота у гориву за све топлане.



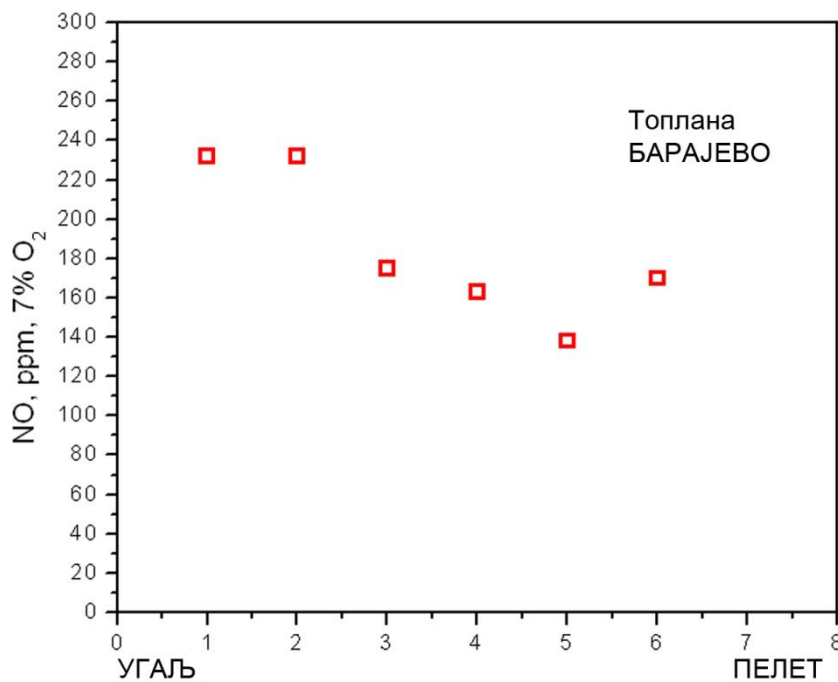
Слика 105. Емисија NO у зависности од садржаја азота у гориву за све топлане.

Теоријски, емисија NO би требало да зависи од садржаја азота у гориву и коефицијента вишка ваздуха. Слика 106. указује на благу корелацију: емисија NO расте са повећањем садржаја азота у гориву и смањењем коефицијента вишка ваздуха.



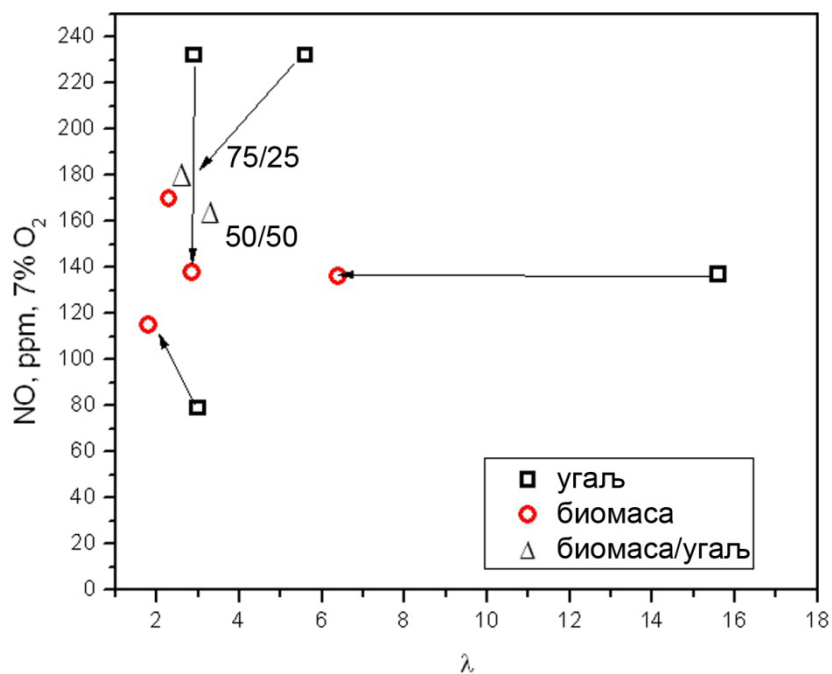
Слика 106. Емисија NO у зависности од односа садржаја азота у гориву и коефицијента вишка ваздуха; сва горива и све топлане.

На слици 107. је приказано поређење емисије NO у зависности од горива (угаљ, биомаса) за топлану Барајево. Очигледан је тренд опадања емисије са повећањем садржаја биомасе.

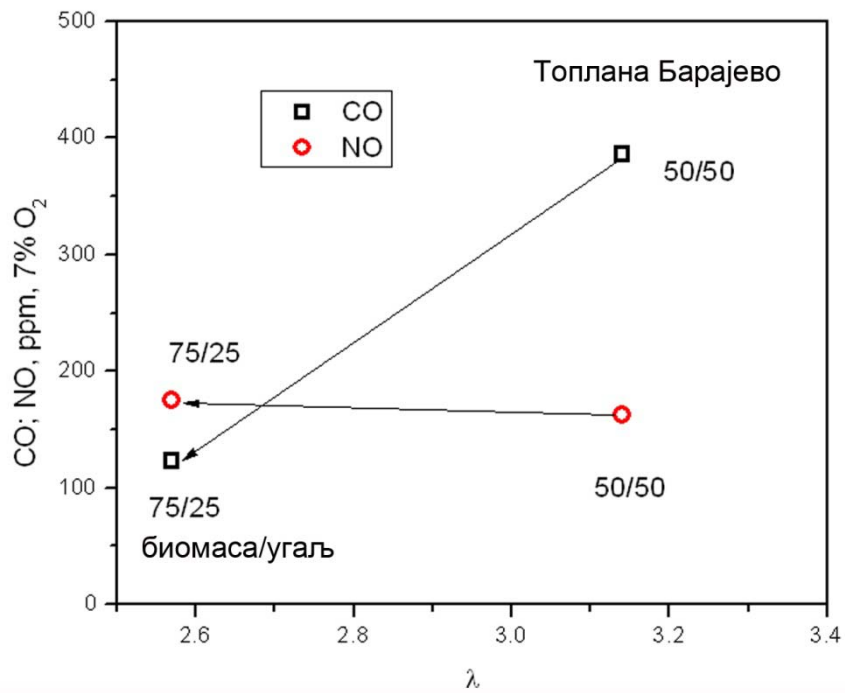


Слика 107. Емисија NO у зависности од горива (угаљ, биомаса); топлана Барајево.

Са друге стране нема јасне корелације емисија NO у зависности од коефицијента вишка ваздуха и горива (угаљ, биомаса) за све котлове, слика 108. и 109.

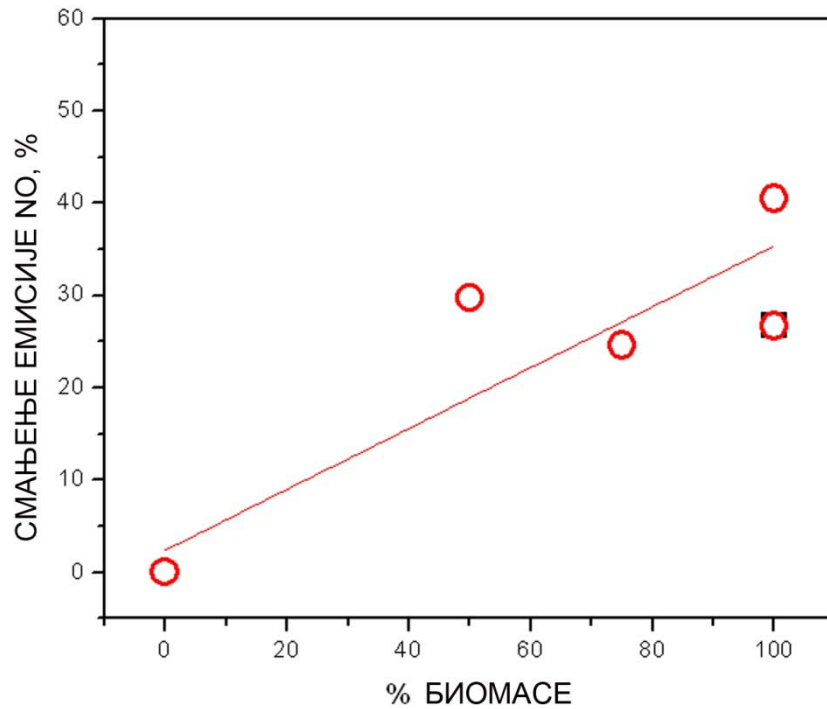


Слика 108. Емисија NO у зависности од коефицијента вишка ваздуха и горива (угаљ, биомаса) за све котлове.



Слика 109. Емисије CO и NO у зависности од коефицијента вишка ваздуха и врсте горива (угаљ и биомаса); топлана Барајево.

Ово потврђује слика 110. смањење емисије NO је приближно линеарна функција садржаја биомасе, што потврђује налазе аутора D. Dayton [17.].



Слика 110. Смањење емисије NO у зависности од садржаја биомасе; топлана Барајево.

Сваки појединачни случај не може да се објасни без нових детаљнијих испитивања. У сваком случају ово потврђује чињеницу да су важни и други утицајни параметри: топлотно оптерећење, геометрија ложишта, карактеристике струјања, рецикулација продуката сагоревања, просторна расподела температуре и коефицијента вишка ваздуха и други фактори. Такође, велики садржај волатила биомасе формира подстехиометријску зону сагоревања која делује редукујуће на већ формиран NO.

5.8.4 Емисије SO₂

Емисија сумпордиоксида је директна функција садржаја горивог сумпора у гориву. Како је присуство сумпора у дрвету, односно у пелету и брикетима, евентуално могуће у веома малим количинама, за разлику од угљева, добијени резултати испитивања неће бити детаљније анализирани.

6 ЗАКЉУЧАК

Србија има значајне потенцијале за примену обновљивих извора енергије у процесима производње топлотне и/или електричне енергије, при чему се занемарљив део тренутно користи. Трећину од укупних потенција чини дрвна биомаса. Како би се створили услови за масовније коришћење, мора се хитно уредити законска регулатива и усвојити одговарајући стандарди у свим сегментима: од категоризација биомасе као сировине, преко поступака прераде и испитивање до ложних уређаја и састава продуката сагоревања. Значајна предност је што развијене земље и ЕУ дрвну биомасу као гориво користе дужи низ година, па су нам искуства доступна. Мора се на националном и локалном нивоу предузети и низ активности на подизању свести о исплативости и неопходности коришћења дрвне биомасе.

Даљински системи грејања, као велики потрошачи примарне енергије у виду фосилних горива, су још далеко од процеса производње топлотне енергије на бази обновљивих ресурса. Изузетак су ЈКП „Београдске електране“, које већ четири грејне сезоне у својим постојећим погонима, користе чврсту биомасу у форми пелета и брикета као замену за угаљ, а на основу испитивања које је тема овог рада.

Спроведена испитивања у реалним условима су доказала да је директна замена угља са чврстом биомасом могућа, без реконструкција и/или финансијских улагања, уз правилан избор геометрије (облика) прерађене отпадне дрвне биомасе, уз прилагођавање основних параметара – количине дозирањег горива и распореда ваздуха у ложишту котлова. Резултати испитивања су потврђени дуготрајним радом постројења која су за испитивање коришћена, и унеколико и побољшани накнадним подешавањима.

Резултати се могу применити и на велики број котларница и топлана у Србији које као гориво користе угаљ, чиме би се значајно допринело смањењу локалног загађења, као и смањењу емисије CO₂ на глобалном нивоу. У топлотним изворима која су завршила радни век и неопходна је реконструкција, треба урадити анализу (локално) расположивих количина и форме дрвне биомасе, пре него што се приступи замени по моделу „исто за исто“. Специјализовани котлови за

сагоревање дрвне биомасе различитих форми имају низ предности и кратко време повраћаја уложених средстава.

У случајевима котлова на чврсто гориво - угаљ, а који су у добром стању, треба размотрити могућност директне замене са пелетом и брикетом, руководећи се следећим техничким препорукама:

- Директна субституција угља са пелетом, без реконструкције или значајније модификације опреме, је могућа код блок и стрмоцевних котлова, опремљених са механичким додавачем горива или другом уређајем за константно дозирања.
- Важан предуслов је и постојање принудног (вентилаторског) увођења ваздуха у ложиште. Вишестепено увођење ваздуха је додатна предност.
- Одвајање чврстих честица из продуката сагоревања (циклони, филтери) није неопходно, јер је њихова количина у димним гасовима при раду са пелетом занемарљива, али је у сваком случају пожељно.
- Еколошки захтеви по питању емисије загађујућих материја, првенствено азотових и сумпорних оксида се могу у потпуности задовољити, а количина угљенмооксида је у директној вези са изабраним параметрима процеса сагоревања и могу се регулацијом количине ваздуха свести на вредности испод дозвољених граница.
- У зависности од типа и снаге котла, величине уређаја за дозирање, количине и начина дистрибуције ваздуха у ложишту, потребно је направити правилан избор пречника и дужине пелета. Величина пелета може унеколико утицати на квалитет сагоревања.
- Након сагоревања, пелет оставља изузетно мале количине пепела, што смањује трошкове одлагања, одвоза и депоновања. При складиштењу треба водити рачуна о заштити пелета од продора атмосфералија.
- Коришћење пелета у котловима који имају ручно дозирање горива и природну промају је могуће, али није препоручљиво. За мање гранулације формира се компактнији слој горива у ложишту што отежава продор природне струје ваздуха и погоршава сагоревање. Могуће је и чешће додавање мање количине

пелета, практично симулирање континуалног дозирања, али тада је потребно повећано ангажовање радне снаге. По правилу овај тип котлова има веће зазоре решетке ложишта, те долази до пропада горива у пепеларе.

- У котловима са мануелним дозирањем горива треба користити брикете од дрвне биомасе одговарајућег облика и техничких карактеристика.
- У било ком типу котла, иницијално и накнадно паљење чврсте биомасе дрвног порекла у форми пелета и брикета је веома лако.
- Манипулација пелетом и брикетом од дрвне биомасе, у односу на угаљ је лака, нема значајнијег подизања прашине или загађења околине.
- Услови рада и ризик по здравље руковаоца у котларницама је значајно побољшано када раде са чврстим биогоривом у односу на угаљ
- Пре евентуалне замене угља чврстом биомасом потребно је урадити претходна испитивања, по моделу који је описан у овом раду.

7 Литература

- [1]. European Council, Brussels, 17 June 2010, Conclusions, internet: http://ec.europa.eu/eu2020/pdf/council_conclusion_17_june_en.pdf
- [2]. Проф. Б. Тодоровић, Загревање у Београду од праисторије до почетка овог века, Климатизација грејање хлађење • број 2/1981.
- [3]. Johannes Jungbauer, EXECUTIVE SUMMARY, District heating & cooling, country by country 2009 Survey, 12
- [4]. Harri-Pekka Korhonen, Effective and competitive heat markets - structural, economical and technical aspects, St. Petersburg 19th May 2011, ERRA licensing committee meeting
- [5]. Anders Dyrelund, Ramboll Denmark Henrik Lund, Aalborg University, The Danish heating sector can be CO2 neutral before 2030; <http://dbdh.dk>
- [6]. http://webrzs.stat.gov.rs/WebSite/repository/documents/00/00/47/94/10_Industrija.pdf
- [7]. П. Васиљевић, Р. Савић, ЈКР “Београдске електране” Rehabilitation of District Heating in Serbia, Euroheat & Power, Enlarged Working Group Energy Policy, 11 September 2008 - Budapest
- [8]. http://webrzs.stat.gov.rs/WebSite/userFiles/file/Energetika/bilans/Ukupan%20energ_etski%20bilans,%202010.pdf
- [9]. http://www.belgrad.diplo.de/contentblob/2057846/Daten/251694/KfW_Regionalni_fond_energ_efikas.pdf
- [10]. Статистички годишњи билтен ПУТС – Пословног удружење топлана Србије 2012.
- [11]. ***: Акциони план за биомасу 2010 – 2012., Република Србија, Министарство рударства и енергетике, <http://www.mre.gov.rs>
- [12]. Б. Главоњић, Љ. Пајовић: Biomass energy resource in Serbia, Regional Conference: Harmonization of methodologies for estimation and sustainable incorporation of biomass and other RES in municipal and national strategies for energy development”, Скопје, Macedonia 4 November 2010
- [13]. Статистички годишњак 2007, Издање: Републички завод за статистику Републике Србије

- [14.]. М. Бркић, М. Тешић Т. Фурман, М. Мартинов, Т. Јанић: Студија „Потенцијали и могућности брикетирања и пелетирања отпадне биомасе на територији покрајине војводине”, М. Бркић, Нови Сад, децембар 2007.
- [15.]. Акредитована Лабораторија за испитивање састава продуката сагоревања Центра за Испитивање, квалитет и екологију ЈКП „Београдске електране“: Извештаји о испитивању састава продуката сагоревања за ТО Барајево, КО Сењак, КО Миријевски булевар 2 за период 2006.-2013. година
- [16.]. М. Аџић, М. Јовановић, М. Гавриловић: NO_x Emissions from Large Combustion Plants of South Eastern Europe, Енергетика, Врњачка бања, 19-23.09.2006.
- [17.]. D. Dayton, A Summary of NO_x Emissions Reduction from Biomass Cofiring, National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-510-32260, 2002.)

Биографија

Име и презиме: Радмило Савић
Датум рођења: 01.06.1965.
Место рођења: Београд
Породично стање: Ожењен, отац троје деце

Школовање:

1972-1980 Основна школа Филип Кљајић - Фића у Београду
1980-1984 XIII Београдска гимназија
1985-1992 Машински факултет Универзитета у Београду
1992-1994 Специјалистичке студије на Машинском факултету Универзитета у Београду
1994-1999 Магистарске студије на Машинском факултету Универзитета у Београду

Кретање у послу:

1992.-1997. Машински факултет Универзитета у Београду
1997.-1997. СЦ „Пинки“ - Београд
1997.-2003. ЈКП „Београдске електране“
2003.-2003. „Унион фриго“ - Београд
2004.-2005. Министарство рударства и енергетике Републике Србије
2005.-2006. Агенција за енергетску ефикасност Републике Србије
2006.- ЈКП „Београдске електране“

Прилог 1.

Изјава о ауторствуПотписани-а РАДМИЛО (АРСЕН) САВИЋ

број индекса _____

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

**Могућност примене пелета и брикета од биомасе за
производњу топлотне енергије у системима
даљинског грејања Београда**

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

Потпис докторанда

У Београду, 07.05.2013. године



Прилог 2.

**Изјава о истоветности штампане и електронске
верзије докторског рада**Име и презиме аутора мр **РАДМИЛО (АРСЕН) САВИЋ** _____

Број индекса _____

Студијски програм _____

Наслов рада „**Могућност примене пелета и брикета од биомасе за
производњу топлотне енергије у системима даљинског грејања
Београда**“ _____Ментор Проф. Др. **Мирољуб Ацић** _____Потписани/а _____ **РАДМИЛО (АРСЕН) САВИЋ** _____

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис докторанда

У Београду, ____07.05.2013. године__



Прилог 3.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

Могућност примене пелета и брикета од биомасе за производњу топлотне енергије у системима даљинског грејања Београда

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

У Београду, 07.05.2013. године

Потпис докторанда

