

Образац 2.

Факултет Машински

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Веће научних области техничких наука  
(Назив стручног већа коме се захтев упућује, сагласно

члану 6. и чл. 7 став 1. овог правилника)

760/5

(Број захтева)  
22.08.2011. године  
(Датум)

**З А Х Т Е В**  
**за давање сагласности на реферат о урађеној докторској дисертацији**

Молимо да, сходно члану 46. ст. 5 тач. 4. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06)“, дате сагласност на реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата:

**НЕБОЈШЕ (ГОЛУБ) МАНИЋА**

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **НЕБОЈША (ГОЛУБ) МАНИЋ**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Пријавио је докторску дисертацију под називом:

**ОПТИМИЗАЦИЈА И МОДЕЛИРАЊЕ САГОРЕВАЊА ПЕЛЕТА ОД БИОМАСЕ У ПЕЋИМА ЗА ДОМАЋИНСТВО**

Универзитет је дана 10.04.2009. год. својим актом под бр 612-25/61/09 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

**ОПТИМИЗАЦИЈА И МОДЕЛИРАЊЕ САГОРЕВАЊА ПЕЛЕТА ОД БИОМАСЕ У ПЕЋИМА ЗА ДОМАЋИНСТВО**

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **НЕБОЈШЕ (ГОЛУБ) МАНИЋА**

(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 12.05.2011. године, одлуком факултета под бр. 760/2, у саставу:

| Име и презиме члана<br>комисије | звање             | научна област              | установа у којој је запослен  |
|---------------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------------------|
| 1. Др Драгослава Стојиљковић    | Редовни професор  | Погонски мат.и сагоревање  | Машински факултет Београд     |
| 2. Др Мирољуб Ацић              | Професор емеритус | Погонски мат. и сагоревање | Машински факултет Београд     |
| 3. Др Петар Гверо               | Ванредни професор | Термотехнички системи      | Машински факултет у Бања Луци |
| 4. Др Александар Јововић        | Ванредни професор | Процесна техника           | Машински факултет Београд     |
| 5. Др Мирко Коматина            | Редовни професор  | Термомеханика              | Машински факултет Београд     |

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 23.06.2011. године.

ДЕКАН  
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

Прилог: 1. Извештај комисије са предлогом.

2. Акт Наставно-научног већа факултета о усвајању извештаја.

3. Примедбе дате у току стављања извештаја на увид јавности,  
уколико је таквих примедби било.

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –  
Број: 760/4  
Датум: 27.06.2011.године  
Београд, Краљице Марије 16

На основу чл. 128. Закона о високом образовању и извештаја Комисије у саставу: проф.др Драгослава Стојиљковић, ментор, др Мирољуб Ацић, проф.емеритус, проф.др Петар Гверо, МФ Бања Лука, проф.др Александар Јововић, проф.др Мирко Коматина о оцени докторске дисертације „Оптимизација и моделирање сагоревања пелета од биомасе у пећима за домаћинство“ докторанта Небојше Манића, дипл.инж.маш., Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 23.06.2011. године, донело је следећу

### ОДЛУКУ

Усваја се извештај за оцену и одбрану докторске дисертације **„ОПТИМИЗАЦИЈА И МОДЕЛИРАЊЕ САГОРЕВАЊА ПЕЛЕТА ОД БИОМАСЕ У ПЕЋИМА ЗА ДОМАЋИНСТВО“** докторанта **НЕБОЈШЕ МАНИЋА**, дипл.инж.маш.

Одобрава се одбрана докторске дисертације, пошто је докторска дисертација са извештајем Комисије за оцену и одбрану била стављена на увид јавности у трајању од 30 дана, па како је после свих разматрања на ННВ М.Ф. на крају извештај Комисије коначно усвојен, доставља се Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду да да сагласност на извештај о урађеној докторској дисертацији.

Одлуку доставити: Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, докторанту, ментору и архиви факултета.

ДЕКАН  
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић

Београд, 17.06.2011. године

**Предмет:** Извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата  
Небојше Манића, дипл. инж.маш.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета Универзитета у Београду бр. 760/2 од 12.05.2011. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Небојше Манића, дипл. инж. машинства, под називом: «ОПТИМИЗАЦИЈА И МОДЕЛИРАЊЕ САГОРЕВАЊА ПЕЛЕТА ОД БИОМАСЕ У ПЕЋИМА ЗА ДОМАЋИНСТВО», о чему подносимо следећи

## ИЗВЕШТАЈ

### 1. Увод

#### 1.1. Наслов и обим дисертације

Докторска дисертација кандидата Небојше Манића, дипл.инж.маш., под насловом «ОПТИМИЗАЦИЈА И МОДЕЛИРАЊЕ САГОРЕВАЊА ПЕЛЕТА ОД БИОМАСЕ У ПЕЋИМА ЗА ДОМАЋИНСТВО» је изложена на 128 страна и садржи садржи једанаест поглавља.

#### 1.2. Хронологија одобравања израде дисертације

Кандидат Небојша Манић, дипл.инж.маш., пријавио је израду докторске дисертације 16.12.2008. год., под бројем 1423/1 Катедри за технологију материјала Машинског факултета у Београду. Кандидат је за ментора предложио проф. др Драгославу Стојиљковић. На основу пријаве кандидата и предлога Катедре, одлуком ННВ бр. 1423/2 од 25.12.2008. године, прихваћен је предлог теме докторске дисертације, именован ментор проф. др Драгослава Стојиљковић и именована Комисија за подношење извешатаја о испуњености услова кандидата и научне заснованости теме у саставу: проф. др Драгослава Стојиљковић, проф. др Мирољуб Аџић, проф. др Петар Гверо, Машински факултет Универзитет у Бањалуци, проф. др Александар Јововић, проф. др Мирко Коматина

Комисија је поднела извештај (број 300/1 од 17.03.2009.) у коме предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да одобри тему докторске дисертације под радним називом «ОПТИМИЗАЦИЈА И МОДЕЛИРАЊЕ САГОРЕВАЊА ПЕЛЕТА ОД БИОМАСЕ У ПЕЋИМА ЗА ДОМАЋИНСТВО», наводећи да је предложена тема адекватна за израду докторске дисертације, као и да кандидат испуњава све законске и истраживачке квалификације за рад на дисертацији. У вези са захтевом докторанта Небојше Манића, дипл.инж.маш. да се одобри израда докторске дисертације, одлуке Наставно-научног већа Машинског факултета од 25.12.2008. год. о испуњености услова кандидата за израду

докторске дисертације и о именовању ментора, а на основу сагласности Стручног већа за машинске, саобраћајне и организационе науке Универзитета у Београду од 10.04.2009. године, донет је закључак бр. 767/1 од 03.07.2009. год., којом се одобрава рад на теми докторске дисертације «ОПТИМИЗАЦИЈА И МОДЕЛИРАЊЕ САГОРЕВАЊА ПЕЛЕТА ОД БИОМАСЕ У ПЕЋИМА ЗА ДОМАЋИНСТВО», под менторством проф. др Драгославе Стојиљковић.

О завршетку докторске дисертације « ОПТИМИЗАЦИЈА И МОДЕЛИРАЊЕ САГОРЕВАЊА ПЕЛЕТА ОД БИОМАСЕ У ПЕЋИМА ЗА ДОМАЋИНСТВО», ментор проф. др Драгослава Стојиљковић обавестила је Катедру за технологију материјала, као и Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду (допис бр 34/760 од 09.05.2011.). Предложена је Комисија за оцену и одбрану рада у саставу: проф. др Драгослава Стојиљковић, проф. др Мирољуб Ацић, професор емеритус, проф. др Петар Гверо, Машински факултет Бања Лука, проф. др Александар Јововић и проф. др Мирко Коматина.

На основу наведеног дописа Наставно-научно веће је на седници од 12.05.2011. године једногласно усвојило обавештење о завршетку дисертације кандидата небојше Манића под називом «ОПТИМИЗАЦИЈА И МОДЕЛИРАЊЕ САГОРЕВАЊА ПЕЛЕТА ОД БИОМАСЕ У ПЕЋИМА ЗА ДОМАЋИНСТВО» и усвојило предлог Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације (одлука бр. 760/2 од 12.05.2011.год.).

### *1.3. Место дисертације у одговарајућој научној области*

Докторска дисертација «ОПТИМИЗАЦИЈА И МОДЕЛИРАЊЕ САГОРЕВАЊА ПЕЛЕТА ОД БИОМАСЕ У ПЕЋИМА ЗА ДОМАЋИНСТВО» припада области техничких наука, машинство, ужој научној области Технологија материјала - Погонски материјали и сагоревање.

### *1.4. Биографски подаци о кандидату*

Кандидат Небојша Манић је рођен 17.10.1977. године у Панчеву. Основну школу и Гимназију "Урош Предић" је завршио у Панчеву. Школске 1996/97 године уписао је Машински факултет Универзитета у Београду, где је 16.04.2002. године дипломирао на одсеку за процесну технику са просечном оценом 9,11 у току студија и оценом десет на дипломском раду. У току студија кандидат је награђиван за постигнут изваредан успех на Машинском факултету на трећој, четвртој и петој години студија као и за постигнут изваредан успех на Машинском факултету у току студија.

Последипломске (магистарске) студије смер сагоревање уписао је 2002. године и положио све испите. Након увођења новог плана и програма уписао је докторске студије школске 2005/06 године (прелазак са магистарских студија). У циљу реализације програма усавршавања кандидат је положио је све испите предвиђене планом и програмом докторских студија са просечном оценом 10 (десет).

Кандидат Небојша Манић је од 15.05.2002. године запослен као сарадник у Лабораторији за горива и сагоревање Машинског факултета у Београду. Дана 09.04.2010. године изабран је у звање асистента за ужу научну област Технологија материјала - Погонски материјали и сагоревање.

Кандидат је од 2006. године активно учествовао у извођењу наставе (одржавању аудиторних и лабораторијских вежби, припреми колоквијума и писмених испита) на Машинском факултету у Београду из предмета Термодинамика Б, Термодинамика М и Термодинамика 1 на Катедри за термомеханику, из предмета Погонски материјали и сагоревање на Катедри за технологију материјала, и из предмета Дифузионе операције на Катедри за процесну технику. Поред тога био је ангажован на одржавању наставе из предмета Термодинамика (школске 2008/09) на Пољопривредном факултету Универзитета у Београду.

У току 2004. године боравио је на стручном усавршавању у Бриселу Белгија на "Vrije Universiteit Brussel", где је био ангажован на пројекту Европске уније JOR3-CT97-0184 који је подржан од Белгијске владе (пројекат бр. IWT10055). Циљ истраживања на поменутих пројектима је био испитивање енергетских и еколошких карактеристика котла за сагоревања пелета од биомасе у вртлогу.

У оквиру научноистраживачке делатности учествовао је као аутор или ко-аутор у изради радова изложених на симпозијумима и стручним скуповима и научним часописима.

У току рада у Лабораторији био је ангажован на пројектима у оквиру Националног програма Енергетске ефикасности и Технолошког развоја финансираних од стране Министарства науке Републике Србије, као и на експерименталним испитивањима карактеризације узорака чврстих, течних горива и биомасе. Осим ових активности учествовао је на испитивањима емисије штетних и опасних материја на термоенергетским објектима, котларница топлана као и на испитивањима енергетских и еколошких карактеристика пећи и котлова мале снаге.

Пројекти финансирани од Министарства науке и технолошког развоја Републике Србије

1. Пројекат "Развој комбиноване пећи - котла на чврсто гориво", демонстрациони у оквиру Националног програма Енергетске ефикасности Министарства за науку, технологије и развој Републике Србије, 2002.
2. Пројекат "Развој радијационо - конвективне пећи на чврсто гориво", Истраживачко-развојни у оквиру Националног програма Енергетске ефикасности Министарства за науку, технологије и развој Републике Србије, 2002. - 2005. год.
3. Пројекат "Уштеда енергије оптимирањем горива и горионика у ТЕ-ТО Зрењанин" у оквиру Националног програма Енергетске ефикасности Министарства за науку и заштиту животне средине Републике Србије, 2005. – 2006. год.
4. Пројекат "Развој и примена стандарда за емисију продуката сагоревања у Србији у комбинацији са развојем одговарајућих уређаја за грејање и хлађење за енергетско искоришћење остатака биљне производње (BIOPOLY HEAT+COLD)" који је финансиран у оквиру програма ЕУРЕКА, 2005. – 2007. год.
5. Пројекат "Технологија и опрема за мобилно брикетирање брикета константне густине балиране трске" у оквиру Националног програма Енергетске ефикасности Министарства за науку и технологије Републике Србије, 2006. – 2008. год.
6. Пројекат "Развој истраживачко комерцијалног постројења за конверзију отпадних биљних уља у биодизел" (евиденциони број пројекта ЕЕ009) у оквиру Програма истраживања у области технолошког развоја Републике Србије, 2008.-2010. год.
7. Пројекат "Примена биогорива на моторима (ОТО И ДИЗЕЛ) за путничка возила" у оквиру Програма истраживања у области технолошког развоја Републике Србије, 2008.-2010. год.

Пројекти сарадња са привредом

1. "Мерење емисије штетних материја у димном гасу и степен отпрашивања електрофилтера ТЕНТ – А", Уговор. бр. 1263/1, 16.09.2003., наручилац: ЈП ЕПС – ЈП ТЕНТ, 2003-2005.
2. "Студија о стању крематоријума Лешће", Уговора бр. 1650/1 од 27.11.2003., наручилац: Град Београд – Градска управа, 2003-2004.
3. "Испитивање мешавине етил алкохола са безоловним и оловним моторним бензином", Уговор бр. 908/1 од 24.08.2004, наручилац: Акционарско друштво Индустрија шпирита и квасца "Врење", 2004.
4. "Контрола квалитета узорака течних горива", Уговор бр.1166/1, 21.10.2004., наручилац: ЕКО YU A.D., 2004-2005.
5. "Студија допунска геолошка истраживања на површинском копу Дрмно – III фаза", Уговор бр. 124/1 од 26.07.2007, наручилац: ЈП Електропривреда Србије, 2007-2008.

6. "Генерални пројекат са претходном студијом оправданости Одсумпоравања димних гасова ТЕ Костолац Б", Евиденциони број извештаја: 541-2/MF/2007, Уговор бр. 823/1 од 22.09.2006, наручилац: ЈП Електропривреда Србије, 2006-2007.
7. "Идејни пројекат са студијом оправданости Одсумпоравања димних гасова ТЕ Костолац Б", Евиденциони број извештаја: 541-2/MF/2008, Уговор бр. 823/1 од 22.09.2006, наручилац: ЈП Електропривреда Србије, 2007-2008.

Кандидат течно говори енглески језик а служи се и немачким језиком. Активно користи рачунар и то софтверске пакете: Microsoft Office, Autodesk Inventor и AutoCad, Origin, Corel Draw, MathCad, Visual Basic.NET, Reaction Desgin Chemkin, Ansys Fluent, NI Lab View итд, а користи и програмске језике QuickBasic и Microsoft Developer Studio - Fortran.

## **2. Опис дисертације**

### *2.1. Структура и садржај дисертације*

Докторска дисертација кандидата Небојше Манића, дипл.инж.маш., под насловом « ОПТИМИЗАЦИЈА И МОДЕЛИРАЊЕ САГОРЕВАЊА ПЕЛЕТА ОД БИОМАСЕ У ПЕЋИМА ЗА ДОМАЋИНСТВО » је изложена на 128 страна и садржи садржи једанаест поглавља.

Текст је илустрован са 83 слика и дијаграма, као и 42 табеле. У попису коришћене литературе кандидат је навео 82 литературна навода. Дисертација садржи једанаест поглавља, и то:

- Увод
- Опште о биомаси
- Пелети од биомасе
- Уређаји за сагоревање
- Математички модели сагоревања пелета од биомасе у пећима и котловима мале снаге - преглед литературе
- Експериментално испитивање и опис инсталације
- Резултати експерименталних испитивања
- Обрада и анализа резултата експерименталних испитивања
- Дефинисање математичког модела сагоревања пелета од биомасе
- Резултати математичког модела и поређење са експериментално добијеним подацима
- Закључак

### *2.2. Кратак приказ појединачних поглавља*

У Уводу је дат приказ мотивације кандидата за рад на задатој теми, разрађују се постављени циљеви и приказује план рада. Истакнут је предмет докторске дисертације, тј. проблеми при коришћењу биомасе у енергетске сврхе, као и могућности за коришћење биомасе у облику пелета као погодног облика горива у различитим врстама пећи и котлова. С обзиром на комплексност проблема, истакнут је значај савремених захтева како за одговарајући квалитет пелета, тако и уређаја за сагоревање. На основу великог броја расположивих података и истраживања у области производње и сагоревања пелета, јасно је истакнута потреба да се изврши систематизација постојећих сазнања из области процеса пелетирања и сагоревања оваквог облика биомасе у пећима мале снаге, као и да се на пећи одабране конструкције изврше одговарајућа експериментална испитивања и моделирање процеса сагоревања са циљем да се одреди утицај карактеристика горива и радних параметара пећи –(потрошња горива и ваздуха за сагоревање, коефицијент вишка ваздуха, расподела ваздуха за сагоревања по висини пећи – примарни и секундарни ваздух) на енергетске и еколошке карактеристике процеса сагоревања.

У другом поглављу *Опште о биомаси* укратко је изложен значај коришћења биомасе као обновљивог извора енергије, карактеристике биомасе као горива (енергетске карактеристике, еколошке карактеристике, обновљивост, периодичност, хемијски састав), подела биомасе (према агрегатном стању, пореклу, начину припреме) и могућности и недостаци за коришћење. Посебно је обрађен енергетски потенцијал биомасе и значај коришћења биомасе у Србији.

У трећем поглављу *Пелети од биомасе* је дат значај коришћења биомасе у облику пелета као савременог, претходно припремљеног облика чврсте биомасе. Обрађен је утицај различитих сировина при производњи пелета (укључујући и перспективне сировине – енергетске биљке и пољопривредну биомасу) на карактеристике пелета које су значајне за процес сагоревања. Процес производње пелета је приказан према фазама (припрема сировине, пелетирање и обрада после производње) и за сваку фазу детаљно су објашњене утицајне величине (садржај влаге, температура, притисак и др.) које утичу на карактеристике пелета. Посебно је истакнута неопходност испитивања карактеристика пелета као горива према одговарајућим међународним стандардима и њихова класификација која одређује и могућност њихове примене у одговарајућим ложним уређајима (пећи и котлови).

У четвртном поглављу *Уређаји за сагоревање пелета од биомасе* објашњен је утицај специфичности појединих карактеристика различитих облика чврсте биомасе на развој одговарајућих уређаја за сагоревање. С обзиром да пелети од биомасе представљају хомогено биогориво у погледу облика и величина, уједначеног и дефинисаног квалитета, омогућен је аутоматизован начин довођења горива у ложиште. Развој пелета од биомасе условио је последњих година развој великог броја различитих ложних уређаја. Сагоревање пелета од биомасе је описано по фазама, а подела уређаја за сагоревање је приказана у зависности од врсте уређаја, начина довода горива и начина израде. Посебно је приказан преглед енергетских (топлотна снага и степен корисности) и еколошких карактеристика (емисија угљен монооксида и азотних оксида) које ови уређаји морају да задовољавају при различитим условима испитивања (номинална и редукована толпотна снага), према одговарајућим важећим Европским стандардима квалитета.

У петом поглављу *Математички модели сагоревања пелета од биомасе у пећима и котловима мале снаге - преглед литературе* приказани су најважнији механизми при сагоревању пелета, као и преглед до сада коришћених модела. Разматрани модели сагледавају утицај појединих параметара процеса сагоревања (деволатилизација, сагоревање коксног остатка, турбуленција, зрачење) на енергетске и еколошке карактеристике ложних уређаја мале снаге. Посебна пажња је посвећена предложеним и дефинисаним математичким моделима и њиховој потврди са експерименталним истраживањима. Преглед ових литературних извора омогућио је да се на прави начин сагледа проблематика процеса и дефинишу основе за развој сопственог математичког модела.

У шестом поглављу *Експериментално испитивање и опис инсталације* описана је инсталација која је пројектована и изведена у складу са савременим стандардима, као и експериментална испитивања на одабраној пећи мале снаге. Експериментална инсталација омогућава праћење свих параметара процеса сагоревања: улазне величине (потрошња горива, количина, температура и брзина ваздуха за сагоревање), величине процеса сагоревања (коефицијент вишка ваздуха, расподела ваздуха за сагоревања по висини пећи – примарни и секундарни ваздух, температура у ложишту) и излазне величине (температура и састав димног гаса, температура ваздуха за загревање простора, температуре карактеристичних површина пећи). За експериментална испитивања одабрана је пећ декларисане снаге 8,5 kW која се користи за загревање простора. Сачињен је програм и план мерења, који је омогућио дефинисање величина које је неопходно мерити, односно

величина које ће бити израчунате на бази мерења. Детаљно је приказан избор и начин мерења утицајних величина, као и поступак испитивања. За потребе експерименталних испитивања развијен је и одговарајући софтвер за аквизицију података. Експериментална испитивања су обухватила и одређивање карактеристика пелета (техничка и елементарна анализа, димензије и насипна густина).

У седмом поглављу *Резултати експерименталних испитивања* дати су резултати испитивања карактеристика коришћених пелета (три врсте пелета) и процеса сагоревања у пећи (три топлотна оптерећења – минимално, средње и максимално и три интензитета размене топлоте у пећи), укупно девет радних режима испитивања, за свако испитно гориво (укупно 27 серија експерименталних испитивања), које омогућавају образовање базе података за дефинисање граничних услова математичког модела и поређење резултата експерименталних испитивања са резултатима модела. У овом поглављу су приказани и резултати испитивања пелета: техничка и елементарна анализа, димензије и насипна густина. Приказани су резултати експерименталних испитивања за целокупни период испитивања (2 часа) за три одабрана режима рада пећи, као и средње вредности мерених величина (карактеристичне температуре, састав и количина продуката сагоревања). Осим тога указано је на екстремне вредности емисије угљен монооксида при сагоревању једног од испитних горива, уз детаљно објашњење уочене појаве.

У осмом поглављу је дата *Обрада резултата експерименталних испитивања*. На основу експерименталних испитивања извршено је одређивање енергетских (топлотна снага и степен корисности) и еколошких карактеристика (садржај угљен монооксида и азотних оксида у димном гасу) ложног уређаја. Приказана је методологија одређивања ових параметара и њихово поређење са захтевима одговарајућих стандарда. Извршена је детаљна анализа резултата испитивања у зависности од врсте пелета (утицај сировине за производњу пелета) и у зависности од режима рада пећи. На основу обраде резултата експерименталних испитивања дефинисане су величине које ће се користити као параметри математичког модела (потрошња горива, количина ваздуха за сагоревање и карактеристичне температуре граничних површина).

Девето поглавље *Дефинисање математичког модела сагоревања пелета од биомасе* у којем је дефинисан сопствени модел. Дефинисање модела обухватило је усвајање претпоставки које се односе на разматрани физички процес, математичку поставку модела, дефинисање геометрије и граничних услова, као и нумерички поступак решавања једначина модела. Предложен је тродимензионални стационарни модел сагоревања у дефинисаној геометрији ложишта пећи. Претпостављена је непокретна позиција фронта сагоревања у односу на ложиште, довод горива у зону сагоревања је замењен увођењем комада чврстог горива (пелета од биомасе) и претпостављен је двостепени процес сагоревања. У оквиру овог поглавља дефинисане су основне транспортне једначине модела, подмодели дисперзне фазе, транспорт хемијских компоненти и кинетика процеса сагоревања, геометрија прорачунског простора и геометрије мреже модела. За решавање предложеног модела коришћен је софтверски пакет ANSYS FLUENT v12.1.

У десетом поглављу *Анализа резултата математичког модела и експерименталних испитивања*, приказани су резултати математичког модела. Резултати модела представљају енергетске и еколошке карактеристике разматране пећи, као и карактеристике процеса сагоревања, које су упоређене са резултатима експерименталних испитивања. Истовремено приказани су брзинско, температурно и концентрационо поље унутар геометрије модела за изабране режиме испитивања. Посебна пажња посвећена је утицају улазних величина модела (количина и расподела ваздуха за сагоревање и квалитет коришћеног горива) на одвијање процеса сагоревања и одређивање излазних карактеристика пећи (топлотна снага и степен корисности пећи, температура димних гасова, емисија угљен монооксида и азотних

оксида).. У оквиру параметарске анализе модела извршена је анализа промене кинетичких параметара усвојених хемијских реакција сагоревања, на основу резултата експерименталних испитивања. Детаљно је дата дискусија добијених резултата и уочен утицај квалитета пелета (како сировине тако и величина при процесу производње) и конструкције пећи на енергетске и еколошке карактеристике. На тај начин је омогућено да се варирањем утицајних улазних величина и конструкције пећи побољшају енергетске и еколошке карактеристике пећи. Такође, посебан осврт је дат на улогу математичког моделирања процеса сагоревања у пећима мале снаге и оптимирање конструкције пећи по енергетским и еколошким критеријумима.

У једанаестом поглављу *Закључци* изведени су закључци претходних разматрања и дат предлог даљих истраживања која могу бити настављена на изведеној експерименталној инсталацији са одговарајућим додатним величинама које би биле обухваћене испитивањима. Развијени модел може бити коришћен и за даља истраживања, при чему може бити прилагођен и другим системима сагоревања пелета.

Преглед коришћене литературе је дат на крају сваког Поглавља.

### **3. Оцена дисертације**

#### *3.1. Савременост, оригиналност и значај*

Докторска дисертација «ОПТИМИЗАЦИЈА И МОДЕЛИРАЊЕ САГОРЕВАЊА ПЕЛЕТА ОД БИОМАСЕ У ПЕЋИМА ЗА ДОМАЋИНСТВО» представља савремен, оригиналан и значајан допринос разматраној проблематици. Значај ових истраживања огледа се кроз актуелност теме која третира проблематику коришћења биомасе у енергетске сврхе и то применом савременог облика припреме чврсте биомасе (пелети) и сагоревањем пелета у пећима савремене конструкције које се одликују аутоматизацијом процеса уз задовољење прописа о дозвољеним емисијама (угљен моноксид и азотни оксиди) за различите радне параметре пећи. Савременост истраживања потврђују велика улагања у истраживања из ове области која се данас спроводе у свету, а посебно са циљем да се испуне захтеви Директиве 2009/28/ЕЗ, као и напори да се развију модели процеса сагоревања који ће омогућити процену енергетских и еколошких карактеристика пећи и добију одговарајуће побољшане и нове конструкције пећи. Оригиналност се огледа у приступу формирања тродимензионалног модела који претпоставља двостепени процес сагоревања чврстог горива (пелета од биомасе) и омогућава параметарску анализу процеса и одређивање енергетских и еколошких карактеристика ложног уређаја. Резултати истраживања су публиковани и саопштени на научним и стручним скуповима.

#### *3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу*

У докторској дисертацији коришћена је обимна литература из области коришћења биомасе у енергетске сврхе, карактеризације биомасе, пелета и савремених уређаја за сагоревање пелета и модела за проучавање процеса сагоревања пелета у пећима мале снаге (до 30 kW), са акцентом на енергетске и еколошке карактеристике. Ова литература је кандидату послужила као полазна основа за приказ постојећег стања у овој области, везано за проблематику која се тиче докторске дисертације. Коришћена литература представља избор савремене и актуелне литературе на енглеском, немачком, и српском језику, као и одређени број домаћих и иностраних стандарда, а уједно указује и на могућности даљег проширења научног сазнања у датој области.

### *3.3. Анализа примењених научних метода и њихова адекватност за спроведено истраживање*

Истраживања су обухватила теоријску анализу постојећих искустава као и развој система за праћење процеса сагоревања пелета (мерење промене масе горива током сагоревања, протока и расподеле ваздуха за сагоревање, температуре у појединим зонама пећи, састава и количине продукта сагоревања). У оквиру докторске дисертације развијен математички модел који је обухватио у обзир све утицајне параметре процеса сагоревања пелета од биомасе у пећима за домаћинство. Истовремено коришћене су савремене методе за експериментална испитивања карактеристика пелета и процеса сагоревања у складу са важећим европским и домаћим прописима и стандардима из ове области. Обрада експерименталних резултата омогућила је поређење и потврду података добијених на основу дефинисаног математичког модела, чиме је омогућено одређивање утицаја промене улазних величина и конструкције пећи на одвијање процеса сагоревања и енергетске и еколошке карактеристике. Модел који је развијен током израде докторске дисертације омогућава његово коришћење и за будућа истраживања из ове области.

### *3.4. Оцена примењивости и верификације остварених резултата*

Остварени резултати се могу директно применити у пракси, јер се на основу урађених испитивања, јасно дефинишу одређена унапређења која могу бити изведена на испитиваној пећи. Истовремено, добијени резултати су показали значај и утицај квалитета пелета на карактеристике процеса сагоревања и указују на потребу праћења свих утицајних параметара током процес пелетирања како би се добио пелет задовољавајућег квалитета. Развијени модел процеса сагоревања пелета у пећи мале снаге даје врло реалне резултате и може се користити у пракси.

### *3.5. Оцена способности кандидата за самостални научни рад*

Кандидат је током израде ове дисертације показао да је у стању да самостално решава инжењерске и научне проблеме и да успешно влада научним и истраживачким методама, што представља одличну основу за даља достигнућа у науци, што је приказано и јасно дефинисаним препорукама за даља истраживања.

## **4. Остварен научни допринос**

### *4.1. Приказ оствареног научног доприноса*

Полазећи од основног научног циља дисертације, који је био дефинисање најважнијих параметара процеса сагоревања пелета у пећи, који ће омогућити оптимирање процеса по енергетским и еколошким критеријумима и већу аутоматизацију процеса сагоревања, остварени научни допринос огледа се у следећем:

- У циљу проучавања процеса сагоревања пелета, изабране су најважније карактеристике пелета и процеса сагоревања по критеријумима задовољења енергетских и еколошких захтева.
- Извршено је пројектовање и израда експерименталне инсталације за испитивање пећи, према важећем Европском пропису, која се може користити и за будућа испитивања у овој области.
- Извршена су детаљна мерења процеса сагоревања у пећи мале снаге применом савремене опреме и у потпуности у складу са савременом методологијом испитивања. Добијени су оригинални експериментални научни резултати за оцену

процеса сагоревања у пећима мале снаге.

- На основу добијених резултата дата су нова оригинална тумачења појава које се одвијају током процеса сагоревања, посебно у погледу тумачења утицаја квалитета пелета на одвијање процеса сагоревања и повезивање карактеристика процеса пелетирања са енергетским и еколошким карактеристикама ложног уређаја.
- Посебно је дат јасан научни допринос формирањем оригиналног модела процеса сагоревања пелета у пећима мале снаге. Дефинисан је тродимензионални модел са двостепеним процесом сагоревања (описан „брзим хемијским моделом“ – комбиновани модел коначне брзине хемијских реакција и модел распадања вртлога). На основу анализе експерименталних података и података добијених математичким моделом омогућено је да се дефинишу неопходне конструкционе измене пећи са циљем постизања стабилнијег рада и задовољења енергетских и еколошких захтева према савременим стандардима.

Коначан резултат ових истраживања је примена формираног модела у пракси на различитим конструкцијама пећи за сагоревање пелета и добијање што квалитетнијих производа на тржишту, као и усклађивање квалитета горива за коришћење у одговарајућим ложним уређајима.

#### *4.2. Критичка анализа резултата истраживања*

Сагледавањем постојећег стања, циљева истраживања и добијених резултата, може се констатовати да су разрешена сва битна питања и дилеме које су се наметнуле у току истраживања. Имајући у виду значај коришћења биомасе у енергетске сврхе, примену пелета као савременог облика чврсте биомасе, праћење процеса сагоревања у пећима мале снаге на инсталацији изведеној у потпуности по међународним прописима, као и чињеницу да су ова експериментална истраживања новина у нашој земљи, ова докторска дисертација представља важан корак у даљем истраживачком раду у погледу праћења процеса сагоревања по енергетским и еколошким критеријумима. Очекује се имплементација ове дисертације на различитим конструкцијама пећи и са пелетима различитих квалитета, у циљу примене у пракси, јер треба очекивати у нашој земљи, све веће интересовање како за производњу пелета тако и за развој нових конструкција пећи и котлова за њихово сагоревање, што ће допринети већој енергетској ефикасности ових уређаја, као и смањењу емисије штетних и опасних материја и гасова који производе ефекат стаклене баште.

#### *4.3. Очекивана примена резултата у пракси*

Примена резултата који су добијени у овој докторској дисертацији отвара нове перспективе у истраживању и развоју пећи мале снаге (до 30 kW) које се могу користити у домаћинствима. У досадашњој пракси у нашој земљи, коришћене су пећи и котлови за домаћинства релативно застареле конструкције (за сагоревање огревног дрвета или брикета), без аутоматизације процеса сагоревања и са релативно ниским степеном корисности. Највећи број пећи мале снаге које се налазе на тржишту у Србији нису испитиване према савременим међународним стандардима у погледу енергетских и еколошких карактеристика. С друге стране, у ери све већег коришћења обновљивих извора енергије, посебно биомасе и то за загревање домаћинстава и радног простора у институцијама терцијарног сектора (школе и мање здравствене установе), показано је да постоје оправдани разлози за примену пелета и одговарајућих ложних уређаја (пећи и котлова) са потпуно аутоматизованим процесом сагоревања и уз задовољење захтева у погледу енергетске ефикасности и прописа о дозвољеним емисијама (угљен моноксид и азотни оксиди), као и смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште. С обзиром на могућност широке примене пелета и одговарајућих ложних уређаја, посебно је значајно што је у раду доказана могућност праћења и оптимизирања процеса сагоревања, као и развоја нових конструкција,

што директно показује могућност развоја домаће индустрије, односно могућност производње савремених уређаја у складу са међународним стандардима.

Имајући у виду да су овом докторском дисертацијом обухваћени релевантни, реално мерљиви параметри који фигуришу у моделу процеса сагоревања, као и чињеницу да постоје значајни домаћи произвођачи пелета и ложних уређаја, може се очекивати већа примена резултата у пракси и имплементација добијених резултата у домаћој индустрији. С обзиром на трендове у свету, у погледу коришћења биомасе у енергетске сврхе, а самим тим и потреба за коришћењем одговарајућих модела за праћење процеса сагоревања у пећима, може се очекивати да се део резултата из овог истраживања након објављивања, може верификовати и на пећима и ван граница наше земље.

#### *4.4. Верификовани научни доприноси*

Научни допринос докторске дисертације је верификован радовима објављеним у часописима и саопштеним на конференцијама током вишегодишњег истраживања:

##### Рад у врхунском међународном часопису (M21):

1. A. Vencel, N. Manić, V. Popović, M. Mrdak: Possibility of the Abrasive Wear Resistance Determination with Scratch Tester, Tribology Letters, Volume 37, (2010), Number 3, ISSN: 1023-8883, DOI: 10.1007/s11249-009-9556-x, pp. 591-604, Impact factor: NA.

##### Рад у међународном часопису (M23):

1. Stojiljković D. Jovanović V., Radovanović M., Manić N., Radulović I., Perišić S.: Investigation of Combustion Process in Stove Fired on Biomass, Strojinški vestnik – Journal of Mechanical Engineering, Volume 51, (2005), Number 7-8, ISSN: 0039-2480, UDK-UDC: 536.2, pp 426-430, Impact factor: 0,407.
2. Dragoslava D. Stojiljković, Dušan B. Nestorović, Vladimir V. Jovanović, Nebojša G. Manić: Mixtures of bioethanol and gasoline as a fuel for SI engines, Thermal Science, Volume 13, (2009), Issue 3, ISSN: 0354-9836, DOI: 10.2298/TSCI0903219S, pp 219-228, Impact factor: 0,116.

##### Рад у часопису међународног значаја (M24):

1. Stojiljković D. Jovanović V., Radovanović M., Manić N., Radulović I.: Investigation of Combustion Process in Combined Cooker-Boiler Fired on Solid Fuels, Thermal Science, Volume 10 (Suppl.), (2006), Issue 4, ISSN: 0354-9836, DOI:10.2298/TSCI0604121S, pp 121-130.

##### Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M30):

1. Glavonjic B., Stojiljkovic D., Manic N., Wood pellets market in Serbia – production and opportunities for utilization, 19th European Biomass Conference and Exhibition – From Research to industry and Markets, Berlin, Germany, 2011.
2. Manić N., Jovanović V., Stojiljković D., Results of experimental Investigation of small scale pallet stove according to EN 14785, Proceedings of 10th Interantional Conference DEMI 2011, Banja Luka, BiH, 2011.
3. Стојиљковић Д., Јовановић В., Радовановић М., Манић Н., Радуловић И., Перишић С., Household Small Furnaces Fired On Biomass: Increase Of Efficiency And Reduction Of CO Emission, 2nd World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Рим, 2004.
4. Стојиљковић Д., Јовановић В., Радовановић М., Манић Н., Радуловић И., Перишић С., Investigations Of Combustion Process In Stove Fired On Biomass, International Thermal Science Seminar – ITSS II, Блед, 2004.

Саопштење са скупа националног значаја штампано у целини (М60):

1. Стојиљковић Д., Јовановић В., Манић Н., Радуловић И., Радовановић М., Благојевић Ј., Вуковић Ј., Унапређење конструкције комбинованог котла - штедњака МБС 90КВ, ЈУТЕРМ 2003, Златибор, 2003.
2. Стојиљковић Д., Јовановић В., Радовановић М., Манић Н., Радуловић И., Перишић С., Бећаревић Д., Развој радијационо-конвективне пећи на чврсто гориво, Индустијска енергетика 2004, Доњи Милановац, 2004.
3. Новак-Здравковић А., Манић Н., Allard G., De Ruysck J., Optimization of a swirling biomass combustor, Индустијска енергетика 2004, Доњи Милановац, 2004.

## 5. Закључак и предлог

Докторска дисертација под називом «ОПТИМИЗАЦИЈА И МОДЕЛИРАЊЕ САГОРЕВАЊА ПЕЛЕТА ОД БИОМАСЕ У ПЕЋИМА ЗА ДОМАЋИНСТВО» кандидата Набојше Манића, дипл.инж.маш., представља савремен и оригиналан научни допринос кроз свеобухватно сагледавање проблематике сагоревања пелета, као савременог облика припреме чврсте биомасе, у пећима мале снаге (до 30 kW), уз оптимизирање процеса по енергетским и еколошким критеријумима. Формирањем модела процеса сагоревања пелета омогућено је разматрање утицаја карактеристика горива и радних параметара пећи– (потрошња горива и ваздуха за сагоревање, коефицијент вишка ваздуха, расподела ваздуха за сагоревања по висини пећи – примарни и секундарни ваздух) на енергетске и еколошке карактеристике процеса сагоревања. Овако дефинисан модел омогућава сагледавање ефекта конструкционих измена пећи на постизање стабилнијег рада и задовољење енергетских и еколошких захтева према савременим стандардима. На овај начин добија се решење за конструкционе измене пећи које је могуће применити у пракси и добијање домаћег производа који по својим карактеристикама задовољава захтеве савремених међународних стандарда. На основу онога што је приказано у докторској дисертацији и чињеници да је анализирана проблематика веома актуелна у научној јавности, са задовољством се констатује да је кандидат Небојша Манић, дипл.инж.маш., успешно завршио докторску дисертацију у складу са предвиђеним предметом и постављеним циљевима докторске дисертације.

На основу прегледа докторске дисертације од стране Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације под називом «ОПТИМИЗАЦИЈА И МОДЕЛИРАЊЕ САГОРЕВАЊА ПЕЛЕТА ОД БИОМАСЕ У ПЕЋИМА ЗА ДОМАЋИНСТВО» кандидата Небојше Манића, дипл.инж.маш., Комисија за оцену и одбрану са задовољством констатује да је урађена докторска дисертација написана према свим стандардима у научноистраживачком раду, као и да испуњава све услове предвиђене Законом о високом образовању, стандардима и Статутом Машинског факултета у Београду. Комисија предлаже Наставно-научном већу Машинског факултета у Београду да овај Извештај прихвати, дисертацију стави на увид јавности, и упути извештај на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, а да се након тога кандидат позове на јавну одбрану.

У Београду 17.06.2011.год.

**Чланови Комисије за оцену и одбрану:**

---

др Драгослава Стојиљковић, ментор  
ред. проф. Машинског факултета у Београду

---

др Мирољуб Аџић  
проф. емеритус Машинског факултета у Београду

---

др Петар Гверо  
ван. проф. Машинског факултета у Бањалуци

---

др Александар Јововић  
ван. проф. Машинског факултета у Београду

---

др Мирко Коматина  
ред. проф. Машинског факултета у Београду

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –  
Број:760/5  
Датум:  
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 12.2 Статута Машинског факултета у Универзитета у Београду и члана 37. Правилника о докторским студијама, Наставно-научно веће на седници одржаној 23.06.2011. године, донело је

### ОДЛУКУ

I Прихвата се извештај о позитивној оцени урађене докторске дисертације коју је поднео НЕБОЈША МАНИЋ и одобрава јавна одбрана дисертације по добијању сагласности од Универзитета, под насловом: „ОПТИМИЗАЦИЈА И МОДЕЛИРАЊЕ САГОРЕВАЊА ПЕЛЕТА ОД БИОМАСЕ У ПЕЋИМА ЗА ДОМАЋИНСТВО“

II Универзитет је дана 10.04.2009. године, својим актом број 612-25/61/09 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације кандидата.

III Радови кандидата у часопису међународног значаја:

1. Stojiljković D. Jovanović V., Radovanović M., Manić N., Radulović I., Perišić S.: Investigation of Combustion Process in Stove Fired on Biomass, Strojinški vestnik – Journal of Mechanical Engineering, Volume 51, (2005), Number 7-8, ISSN: 0039-2480, UDK-UDC: 536.2, pp 426-430, Impact factor: 0,407. (рад из дисертације)
2. Dragoslava D. Stojiljković, Dušan B. Nestorović, Vladimir V. Jovanović, Nebojša G. Manić: Mixtures of bioethanol and gasoline as a fuel for SI engines, Thermal Science, Volume 13, (2009), Issue 3, ISSN: 0354-9836, DOI: 10.2298/TSCI0903219S, pp 219-228, Impact factor: 0,116.
3. A. Vencel, N. Manić, V. Popović, M. Mrdak: Possibility of the Abrasive Wear Resistance Determination with Scratch Tester, Tribology Letters, Volume 37, (2010), Number 3, ISSN: 1023-8883, DOI: 10.1007/s11249-009-9556-x, pp. 591-604, Impact factor: 1,574.

Одлуку доставити: кандидату, ментору, Катедри за технологију материјала и архиви факултета.

ДЕКАН  
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Проф.др Милорад Милованчевић