

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)

731/5

(Број захтева)

08.07.2021. године

(Датум)

ЗАХТЕВ**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:

МИХАИЛА (ПРЕДРАГ) МИЛАНОВИЋА

(име, име једног од родитеља и презиме)

КАНДИДАТ **МИХАИЛО (ПРЕДРАГ) МИЛАНОВИЋ** уписан на Докторске студије 2012. год.

(име, име једног од родитеља и презиме)

Поднео је захтев за израду докторске дисертације:

ТЕРМОМЕХАНИЧКИ АСПЕКТИ ПРОЦЕСА СУШЕЊА ОСТАКА ИЗ ПРОИЗВОДЊЕ СОКОВА

Универзитет је дана 01.12.2020. год. својим актом под бр. 61206-4082/2-20 дао сагласност на предлог теме докторске дисертације која је гласила:

ТЕРМОМЕХАНИЧКИ АСПЕКТИ ПРОЦЕСА СУШЕЊА ОСТАКА ИЗ ПРОИЗВОДЊЕ СОКОВА

Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата: **МИХАИЛА (ПРЕДРАГ) МИЛАНОВИЋА**
(име, име једног од родитеља и презиме)

Образована је на седници одржаној 22.04.2021. године, одлуком факултета под бр. 731/3, у саставу:

Име и презиме члана комисије	звање	научна област	установа у којој је запослен
1. Др Мирко Коматина	ред. проф.	Термомеханика	Машински факултет Београд
2. Др Милош Бањац	ред. проф.	Термомеханика	Машински факултет Београд
3. Др Иван Златановић	ванр. проф.	Пољопривредно машинство	Машински факултет Београд
4. Др Небојша Манић	ванр. проф.	Технологија материјала - погонски мат. и сагоревање	Машински факултет Београд
5. Др Бранко Бугарски	ред. проф.	Биохемијско инжењерство	ТМФ Београд

Наставно-научно веће факултета прихватило је извештај Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације на седници одржаној дана 08.07.2021. године.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф.др Радивоје Митровић

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: 731/5
Датум: 08.07.2021. године
Београд, Краљице Марије 16

На основу члана 30. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 76/2005, 100/2007 – аутентично тумачење, 97/2008, 93/2012 и 89/2013), члана 64. Статута Машинског факултета – пречишћени текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета и реферата Комисије у саставу: др Мирко Коматина, ред. проф., ментор, др Милош Бањац, ред. проф., др Иван Златановић, ванр. проф., др Небојша Манић, ванр. проф. и др Бранко Бугарски, ред. проф., ТМФ Београд о оцени докторске дисертације „Термомеханички аспекти процеса сушења остатака из производње сокова“ студента докторских студија **Михаила Милановића, маг. инж. маш.**, Наставно-научно веће Машинског факултета на седници одржаној 08.07.2021. године, донело је следећу

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији „**ТЕРМОМЕХАНИЧКИ АСПЕКТИ ПРОЦЕСА СУШЕЊА ОСТАКА ИЗ ПРОИЗВОДЊЕ СОКОВА**“ студента **МИХАИЛА МИЛАНОВИЋА, маг. инж. маш.**

Докторску дисертацију и реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији доставити на давање сагласности Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду, по истеку рока од 30 дана у коме су били на увиду јавности.

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

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић

ВЕЋУ ДОКТОРСКИХ СТУДИЈА

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Михаила П. Милановића, маг. инж. маш., студента докторских студија

Одлуком **Наставно-научног већа** бр. **731/3** од **22.04.2021.** године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Михаила П. Милановића**, маг. инж. маш., студента Докторских студија Машинског факултета Универзитета у Београду, под насловом

„Термомеханички аспекти процеса сушења остатака из производње сокова“

Након прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат Михаило П. Милановић, маг. инж. маш., уписао је докторске студије на Машинском факултету 2012. године. Кандидату је три пута одобрен продужетак статуса студирања на Докторским академским студијама, и то за школску годину 2018/2019, број молбе 9/13876 од 28.09.2018., за школску 2019/2020, број молбе 15280 од 30.09.2019. и за школску годину 2020/2021, број молбе 9/294 од 25.09.2020. Током докторских студија на Машинском факултету Универзитета у Београду кандидат је положио све испите предвиђене планом и програмом докторских студија са средњом оценом 9,93. Списак положених предмета, предметних професора и оцена је дат у Табели 1.

Табела 1: Списак положених предмета, предметни професори и оцене

	Назив предмета	Предметни професор	Оцена
Обавезни предмети	<i>Виши курс математике</i>	Проф. др Слободан Радојевић	9
	<i>Нумеричке методе</i>	Проф. др Миодраг Спалевић	10
	<i>Одабрана поглавља из механике флуида</i>	Проф. др Светислав Чантрак	10
	<i>ОМНИРиК</i>	Проф. др Милош Недељковић	10
Изборни предмети	<i>Мерења А – општи део</i>	проф. др Добрила Шкатарић	10
	<i>Развој производа у машинству</i>	проф. др Марко Милош	10
	<i>Обновљиви извори енергије</i>	проф. др Мирко Коматина	10
	<i>Енергетска ефикасност у зградама</i>	проф. др Бранислав Живковић	10
	<i>Одабрана поглавља из простирања топлоте и супстанције</i>	проф. др Мирко Коматина	10
Лабораторијски предмети	<i>Истраживање и публиковање I</i>	проф. др Александар Јововић	10
	<i>Истраживање и публиковање II</i>	проф. др Александар Јововић	10
	<i>Истраживање и публиковање III</i>	ванредни проф. Небојша Манић	10
	<i>Истраживање и публиковање IV</i>	проф. др Мирко Коматина	10

У складу са Правилником за докторске студије Машинског факултета, кандидат **Михаило П. Милановић** је успешно урадио и одбранио *Пројекат идеје докторске дисертације* са оценом 10 (десет).

Кандидат Михаило П. Милановић, маг. инж. маш., поднео је захтев за одобрење теме докторске дисертације број 1367/1 од 28.09.2020. године на Машинском факултету Универзитета у Београду. Кандидат је за ментора предложио др Мирка Коматину, редовног професора Машинског факултета у Београду.

Одлуком Наставно-научног већа број 1367/3 од 22.10.2020. године прихваћена је тема докторске дисертације под насловом: „Термомеханички аспекти процеса сушења остатака из производње сокова“ кандидата Михаила П. Милановића, маг. инж. маш., и за ментора је именован др Мирко Коматина, редовни професор Машинског факултета у Београду. Веће научних области техничких наука дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације Михаила П. Милановића, маг. инж. маш., одлуком број 61206-4082/2-20 од 01.12.2020. године.

На основу обавештења проф. др Мирка Коматине, да је кандидат Михаило П. Милановић, маг. инж. маш. завршио докторску дисертацију под насловом: „Термомеханички аспекти процеса сушења остатака из производње сокова“, и предлога Катедре за термомеханику, Наставно-научно веће Машинског факултета у Београду донело је 22.04.2021. године Одлуку број 731/3 о именовању Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације у саставу:

- др Мирко Коматина, редовни професор (**ментор**), Универзитет у Београду, Машински факултет,
- др Милош Баџац, редовни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет,
- др Иван Златановић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет,
- др Небојша Манић, ванредни професор, Универзитет у Београду Машински факултет,
- др Бранко Бугарски, редовни професор, Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација Михаила П. Милановића, маг. инж. маш., под насловом „Термомеханички аспекти процеса сушења остатака из производње сокова“, припада области техничких наука - научној области Машинско инжењерство (ужа научна област Термомеханика) за коју је Машински факултет Универзитета у Београду матичан.

Ментор др Мирко Коматина је редовни професор на Машинском факултету Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци

Михаило П. Милановић, маг. инж. маш., рођен је 1988. године у Београду. Основну школу „Вук Караџић“ и Пету београдску гимназију природно-математичког смера завршио је у Београду са одличним успехом и стеченим Вуковим дипломама за завршено основно и средњошколско образовање.

Школске 2007/08. године уписује Машински факултет Универзитета у Београду, где 2010. године стиче диплому основних академских студија, а потом 2012. године звање Мастер инжењера машинства на одсеку за Процесну технику и заштиту животне средине, са одбрањеним дипломским радом са оценом 10.

Докторат на Машинском факултету у Београду уписује у новембру 2012. године, а од 01.04.2013. је запослен у Иновационом центру Машинског факултета, где и даље ради. Упоредо са својим студијским обавезама, испитним активностима и експерименталним истраживањима, током докторских и мастер студија имао је прилику да учествује на студентским разменама и програмима.

За време Мастер студија, 2011. године, преко организације IAESTE, био је на студентској размени у Хаифи (Израел) где је током 2 месеца радио у Israel Electric Company на побољшању термомеханичких система у термоелектранама.

Током 2013. године, као стипендиста фондације др Зоран Ђинђић, био је на стручној пракси у Манхајму (Немачка) где је 6 месеци радио у фабрици BASF SE на технологијама за складиштење електричне енергије добијене из обновљивих извора енергије.

У току 2015. године био је на усавршавању у Брашову (Румунија) где се 2 месеца бавио ефикасношћу система за складиштење електричне енергије у транспортном сектору.

У току 2018. године боравио је близу месец дана у Талину (Естонија), где је учествовао у програму Pioneers into Practice, организованог од стране глобалне организације за супротстављање климатским променама Climate-KIC. У оквиру програма учествовао је на такмичењу Hackathon где је са својим тимом освојио прво место, што му је омогућило учешће у финалу светског такмичења start-up компанија у Единбургу исте године.

У оквиру програма турске развојне агенције (ТИКА), 2019. године је учествовао на двонедељном семинару о повећању енергетске ефикасности у индустрији, одржаног у Анкари.

У току докторских студија био је ангажован у настави. У току школске 2019/2020 и 2020/2021 био је ангажован на Машинском факултету у Београду на одржавању вежби из предмета Термодинамика Б (ОАС) са фондом часова 0+1.

Школске 2018/2019 и 2019/2020 био је ангажован на Пољопривредном факултету у Земуну, где је држао вежбе из предмета Термодинамика и Компјутерска графика и елементи технолошке опреме.

Течно говори енглески и немачки језик (поседује C1 сертификате), а служи се и француским језиком. Активно користи Microsoft Office, OriginPro, AutoCad и SolidWorks софтверске пакете, а поседује и основно знање Python програмског језика.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Михаила П. Милановића, маг. инж. маш., под насловом „Термомеханички аспекти процеса сушења остатака из производње сокова“, написана је на српском језику, садржи 164 стране формата А4, 87 слике, 42 табеле и списак коришћене литературе који садржи 108 референци.

Дисертација садржи следећа поглавља: Увод, Преглед литературе из области сушења прехранбених материјала, Врсте влаге у прехранбеним материјалима, Просторно-временски модел процеса сушења капиларно-порозних материјала, Преглед постојећих модела процеса сушења прехранбених материјала, Термомеханичка својства прехранбених материјала, Експериментална истраживања, Анализа експерименталних резултата, Поређење експерименталних резултата са сопственим моделом и експериментима и моделима других аутора, Закључак, Литература и Прилози.

Поред наведеног, дисертација садржи захвалницу, резиме на српском и енглеском језику, садржај, биографију аутора и изјаву о ауторству, изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторске дисертације и изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

2.2.1. Увод

У првом поглављу дат је увод у тематику сушења и термомеханичких аспеката процеса сушења остатака из производње сокова. Објашњен је значај коришћења, као и потреба за сушењем остатака из производње сокова (тзв. тропа). Наведена је досадашња примена остатака из производње сокова, као и значај процеса сушења као почетне фазе обраде овог материјала. Такође су дати подаци о производњи остатака из производње сокова у свету и у Србији. Дефинисани су циљ и предмет истраживања, методологија и полазне хипотезе.

2.2.2. Преглед литературе из области сушења прехранбених материјала

У другом делу дат је преглед досадашњих истраживања у вези са сушењем прехранбених материјала, преглед коришћења воћног тропа нектарине и јабуке, као и методе сушења ових материјала. У првом потпоглављу је дат је преглед система за сушење као и подела система сушења према одређеним критеријумима. У другом потпоглављу дати су основни појмови који описују процес сушења, као и класификација влажних материјала према начину понашања у току процеса сушења. У трећем потпоглављу дат је преглед литературе која се бави потрошњом енергије за сушење прехранбених материјала. У четвртом потпоглављу дат је преглед употребе тропа нектарине и јабуке у различите сврхе, као и преглед досадашњих метода сушења овог материјала.

2.2.3. Врсте влаге у прехранбеним материјалима

У трећем поглављу дат је преглед врста влаге које се јављају у прехранбеним материјалима. У првом потпоглављу дата је класификација врста влаге према начину везе влаге са чврстим скелетом материјала. Такође је дата подела према енергији потребној за уклањање влаге из материјала на слободну и везану влагу. Дат је распоред влаге у биљним ткивима, као и у воћном тропу. У другом потпоглављу дато је објашњење механизма преношења влаге кроз влажан материјал заступљених у прехранбеним материјалима. Наведена је подела механизма преношења влаге кроз материјал, при чему је назначено да је приликом сушења прехранбених материјала заступљено истовремено више различитих механизма, а од специфичног материјала и начина довођења топлотног протока зависи доминантност одређених механизма.

2.2.4. Просторно-временски модел процеса сушења капиларно-порозних материјала

У четвртом поглављу развијен је просторно-временски модел сушења при кондуктивно-конвективном довођењу топлотног протока материјалу. Модел је развијен полазећи од Ликовљевих једначина преношења масе и количине топлоте у капиларно-порозним телима. У првом потпоглављу описан је детаљно Ликовљев модел сушења капиларно-порозних материјала. Описане су диференцијалне једначине преношења влаге и количине топлоте коришћењем флуксева влаге узроковане различитим механизмима преношења влаге кроз влажан материјал. У другом потпоглављу дат је приказ сопственог просторно-временског

модела сушења примењеног на материјал воћни троп уводећи одређене претпоставке. У трећем потпоглављу дати су почетни и гранични услови при комбинованом кондуктивно-конвективном сушењу прехранбених материјала у танком слоју.

2.2.5. Преглед постојећих модела процеса сушења прехранбених материјала

У петом поглављу дат је преглед постојећих просторно-временских и временских модела сушења прехранбених материјала. У првом потпоглављу дат је хронолошки развој теорије сушења прехранбених материјала. У другом потпоглављу дат је опис просторно-временских модела процеса сушења, а такође је табеларно дата и систематизација ових модела. У трећем потпоглављу дат је преглед и класификација временских (Lumped) модела сушења који представљају упрошћене моделе сушења изведених из просторно-временских модела сушења, другог Фиковог закона дифузије или Њутновог закона хлађења. Временски модели су подељени на теоријске, полу-емпиријске и емпиријске и тако анализирани. У четвртном потпоглављу дат је сопствени емпиријски модел сушења који је изведен за сушење тропа нектарине и јабуке и даје боље резултате од модела пронађених у литератури за сушење прехранбених материјала. Сопствени модел је трочлани модел који има пет корелационих параметара.

2.2.6. Термомеханичка својства прехранбених материјала

У шестом поглављу дата су термомеханичка својства прехранбених материјала која имају велики утицај у току процеса сушења. У првом потпоглављу дат је опис густине прехранбених материјала, а такође су дате оквирне и измерене вредности густине за троп јабуке и нектарине. У другом потпоглављу описан је ефективни коефицијент дифузије влаге, а такође су дати и изрази за израчунавање ефективног коефицијента дифузије влаге у прехранбеним материјалима коришћењем једначина које је извео Crank (Кранк). У трећем потпоглављу описана је топлотна проводљивост, која је величина која има велики утицај на преношење количине топлоте на материјал у току процеса сушења. У четвртном потпоглављу описана је топлотна моћ.

2.2.7. Експериментална истраживања

У седмом поглављу дат је опис експерименталних истраживања урађених у докторској дисертацији. Експерименти су спроведени у две лабораторије – на Пољопривредном факултету у Земуну и Машинском факултету у Београду. У првом потпоглављу описана је лабораторијска опрема коришћена приликом експеримената. Посебна пажња посвећена је описивању експерименталне лабораторијске сушаре која је осмишљена, пројектована и изведена за потребе испитивања кинетике процеса сушења прехранбених материјала. Друга коришћена опрема укључује: TGA Analyzer, TCi Thermal conductivity analyzer, лабораторијску сушницу, уређај за мерење температуре, као и калориметар са бомбом. У другом потпоглављу описан је коришћени материјал коришћен при испитивању – троп јабуке и нектарине. Описан је начин припреме узорака за сваку појединачну серију експеримената. У трећем потпоглављу детаљно је описана методологија сваке појединачне серије експерименталних истраживања. Дат је број експеримената, као и начин припреме и третирања узорака у току испитивања. Урађена су следећа испитивања:

- Испитивање кинетике процеса сушења воћног тропа
- Испитивање фундаменталних особина материјала
- Мерење потрошње енергије за сушење
- Мерење топлотне проводљивости материјала
- Мерење температуре површине материјала у току процеса сушења
- Мерење количине издвојене влаге из материјала при изотермском сушењу
- Мерење топлотне моћи воћног тропа
- Испитивање процеса сушења материјала термогравиметријском методом

2.2.8. Анализа експерименталних резултата

У осмом поглављу дати су резултати и анализа резултата спроведених експерименталних истраживања. У оквиру експерименталних истраживања за материјал троп нектарине и јабуке одређени су:

- Почетни и равнотежни садржај влаге
- Време сушења
- Кинетика процеса сушења
- Ефективни коефицијент дифузије влаге
- Параметари сопственог математичког модела
- Потрошња енергије за сушење
- Топлотна проводљивост материјала
- Температура површине материјала у току изотермског сушења
- Издвајање влаге из материјала при изотермском сушењу на различитим температурама
- Горња и доња топлотна моћ
- Термогравиметријска анализа материјала

У првом потпоглављу дати су резултати почетне и равнотежне влажности. Просечна почетна влажност износила је 82,24% ($4,63 \pm 0,01 \text{ kg}_w/\text{kg}_{sm}$) за троп нектарине, док је за троп јабуке износила 75,61% ($3,10 \pm 0,01 \text{ kg}_w/\text{kg}_{sm}$). Равнотежна влажност износила је између 0,08 и 0,35 $\text{kg}_w/\text{kg}_{sm}$ за троп нектарине, док је за троп јабуке износила између 0,06 и 0,22 $\text{kg}_w/\text{kg}_{sm}$. У другом потпоглављу дато је време сушења приликом конвективног и комбинованог кондуктивно-конвективног сушења воћног тропа. Време сушења тропа нектарине износило је између 520 и 3140 минута, док је за троп нектарине износило између 832 и 4650 минута. У трећем потпоглављу детаљно је описана кинетика процеса сушења тропа нектарине и јабуке. Описан је карактер кривих сушења при конвективном и комбинованом кондуктивно-конвективном довођењу топлотног протока материјалу. Такође је дат опис механизма преношења влаге у воћном тропу по фазама процеса сушења. Ово представља један од научних доприноса дисертације што је верификовано радом у часопису на SCI листи (линк ка раду <https://doi.org/10.2298/TSCI200312223M>). У четвртном потпоглављу дате су вредности ефективног коефицијента дифузије влаге при конвективном и комбинованом кондуктивно-конвективном довођењу топлотног протока материјалу. Вредности ефективног коефицијента дифузије су се кретале у границама $2,79 - 31,51 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ за троп нектарине, и $2,10 - 26,05 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ за троп јабуке. У петом потпоглављу одређени су параметри сопственог

емпиријског математичког модела и табеларно приказани. У шестом потпоглављу приказани су резултати мерења потрошње енергије у току процеса сушења са грејне подлоге и грејача за ваздух. Добијене су функционалне зависности потрошње енергије од времена сушења, на основу којих је одређена потрошња енергије у току сваког појединачног експеримента извршеног на експерименталној лабораторијској сушари. У седмом потпоглављу одређена је вредност топлотне проводљивости тропа нектарине и јабуке на површинама материјала при различитим вредностима температуре и влажности узорака. У осмом потпоглављу дати су резултати температура површина узорака тропа нектарине и јабуке у току процеса сушења за различите вредности садржаја влаге узорака. У деветом потпоглављу дати су резултати измерене масе испареле влаге из материјала у току изотермског процеса сушења током 2 часа. У десетом потпоглављу дате су измерене вредности горње топлотне моћи, као и израчунате вредности доње топлотне моћи осушеног и у прах самлеведеног тропа нектарине и јабуке. У једанаестом потпоглављу анализирана је промене масе узорака коришћењем термогравиметријске методе при сушењу узорака тропа нектарине и јабуке при брзини загревања од 5 K/min, као и промена масе узорака при изотермској анализи на температурама од 50 до 90°C .

2.2.9. Поређење експерименталних резултата са сопственим моделом и експериментима и моделима других аутора

Да би се установило слагање модела са експерименталним истраживањима, као и са моделима других аутора, у деветом поглављу извршено је поређење сопственог емпиријског математичког модела са резултатима експерименталних истраживања, као и са моделима који су заступљени у литератури за ову и сродне врсте материјала. У првом потпоглављу извршено је поређење сопственог емпиријског математичког модела са сопственим експерименталним резултатима. У другом потпоглављу извршено је поређење сопственог емпиријског математичког модела са моделима других аутора. У трећем потпоглављу извршено је поређење сопствених експерименталних резултата са експерименталним резултатима других аутора према критеријуму ефективног коефицијента дифузије влаге и енергије потребне за сушење. У четвртом потпоглављу дата је анализа грешака мерења.

2.2.10. Закључак

У десетом поглављу дати су закључци рада. Објашњен је значај истраживања, потенцијална примена остварених резултата, као и предлози за даљи рад у овој области.

2.2.11. Литература

У једанаестом поглављу дат је списак литературе коришћене при писању дисертације.

2.2.12. Прилози

У дванаестом поглављу дати су прилози који обухватају средњи почетни садржај влаге неких врста воћа и поврћа, коефицијенти уз Ликовљеве једначине, вредност апсолутне влажности ваздуха на излазу из коморе, експериментално утврђену масу издвојене влаге, као и

максимално могућу количину влаге која се при условима у експерименталној сушари могла издвојити из материјала.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Током израде докторске дисертације, кандидат је користио методе из следећих научних дисциплина: Термодинамике, Преношења количине топлоте и супстанције, Механике флуида, Елемената нумеричке анализе. Процес сушења представља комплексан процес спрегнутог преношења количине топлоте и супстанције при чему значајан утицај имају врста материјала, начин довођења топлотног протока материјалу, дебљина материјала, брзина и количина агенса сушења, итд. Због тога су у овој дисертацији примењене методе описивања процеса сушења најновијим научним теоријским и емпиријским анализама, које су заједно са одговарајућим математичким методама, као и коришћењем одговарајућих софтвера дале задовољавајуће резултате.

Фокус истраживања у докторској дисертацији односи се на питања која су данас веома заступљена у бројним истраживањима у литератури, што указује на актуелност и савременост теме. У прилог томе говоре бројни радови у научним и стручним часописима који су високо реферисани на званичним листама, који су посвећени истраживању процеса сушења прехранбених материјала, а посебно сушења воћа и поврћа. У прегледу истраживања приказани су најзначајнији радови који су имали највећи утицај на истраживања у докторској дисертацији.

Оригиналност истраживања у докторској дисертацији огледа се у иновативном приступу у унапређењу процеса сушења воћног тропа при комбинованом кондуктивно-конвективном довођењу топлотног протока материјалу. Оригиналност истраживања верификована је публикавањем рада у часопису са „импакт“ фактором – Thermal Science. Такође, савременост рада се огледа у испитивању материјала како термогравиметријском методом, тако и на полу-индустријској лабораторијској опреми што повезује фундаменталне особине материјала са процесима који се одигравају у реалним процесима сушења овог материјала.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији Михаила Милановића, маг. инж. маш. наведено је 110 библиографских јединица, од којих већи део чини референтна литература која се односи на методолошке и опште принципе у заступљеној научној области ове дисертације. С обзиром да је истраживање у предметној дисертацији иновативног карактера, Комисија констатује да је кандидат студиозно сублимирао резултате добијене на основу истраживања литературе и на тај начин обезбеђује подлогу за спровођење истраживања предметне докторске дисертације.

Релевантна литература из области сушења прехранбених производа, углавном је коришћена из реферисаних часописа са SCI листе, а највећи број радова датира из периода 2010-2020. године што је у складу са актуелношћу теме.

С обзиром да је истраживање у предметној дисертацији креативног и иновативног карактера, Комисија констатује да је кандидат успешно анализирао резултате добијене на основу истраживања литературе и на тај начин обезбедио подлогу за спровођење истраживања предметне докторске дисертације.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У циљу спровођења експерименталних истраживања осмишљена је, пројектована и направљена лабораторијска, полу-индустријска инсталација за сушење кондуктивно-конвективном методом са одговарајућом мерном и регулационом опремом. Регулациона опрема је одабрана тако да се сви параметри рада инсталације могу варирати у жељеним границама, уз могућност потпуно независне регулације свих компонената система. Такође, коришћена је и друга опрема за експериментална истраживања, укључујући TGA Analyzer, TCi Thermal conductivity analyzer, лабораторијску сушницу, уређај за мерење температуре, као и калориметар са бомбом.

Струјно-техничка мерења урађена су у складу са правилима за одабране методе мерења при чему се водило рачуна о грешкама мерења и баждарењу мерних инструмената. Водило се рачуна да све кључне компоненте инсталације буду пројектоване и постављене као физички доступне.

Просторно-временским и емпиријским моделима квалитативно и квантитативно је описана кинетика процеса сушења воћног остатка. Варирањем релевантних параметара процеса (температуре грејне подлоге, температуре и брзине ваздуха, релативне влажности ваздуха, дебљине узорка и др.) добијени су резултати који могу помоћи у решавању конкретних проблема, као што је, на пример, избор оптималних радних параметара, а све у циљу оптимизације процеса сушења и потрошње енергије.

За испитивање кинетике сушења материјала користила су се два приступа – испитивање материјала у реалним условима на полу-индустријској експерименталној сушари, као и испитивање материјала на фундаменталном нивоу коришћењем термогравиметријске методе.

Осмишљена су и спроведена посебна мерења на основу којих је одређена промена температуре површине материјала, промена топлотне проводљивости у току процеса сушења, као и топлотна моћ.

У току израде дисертације коришћене су научне и инжењерске методе из следећих научних дисциплина:

Термодинамика

Преношење топлоте и супстанције

Механика флуида

Елементи нумеричке анализе

3.4. Примењивост остварених резултата

Квалитет овог истраживања је квалитативно и квантитативно описивање процеса сушења остатака из процеса производње сокова. Одређени су значајни термомеханички параметри материјала остатака из процеса производње сокова – воћног тропа, што заједно са развијеним

просторно-временским и емпиријским моделом даје основу за дубљу анализу термомеханичких аспеката процеса сушења ове врсте материјала. У дисертацији је такође обрађена и специфична потрошња енергије за сушење по килограму издвојене влаге.

Резултати анализе кинетичких параметара, потрошње енергије, као и развијени математички модели могу се применити на сродне материјале, чиме је постигнута општост добијених резултата.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Чланови комисије сматрају да је кандидат показао способност да самостално и системски решава инжењерске и научне проблеме, да користи расположиву литературу и да успешно влада савременим истраживачким методама у области термомеханике. Поседује теоријско знање, које се може посматрати кроз објављене научне радове, а који му дају основу за успешан научно-истраживачки рад. Такође, поседује практично искуство, што је могуће видети из пројектоване и реализоване експерименталне сушаре на Пољопривредном факултету у Земуну, као и из његове биографије, у којој је наведено да је учествовао на радним праксама у Немачкој, Румунији и Израелу. Кандидат Михаило Милановић спровео је успешно експериментална истраживања, као и селекцију метода и техника неопходних за анализу и разумевање процеса сушења остатака из производње сокова. Такође, показао је способност и знање за самосталан научни и истраживачки рад, методолошки исправан приступ праћењу и истраживању постојеће литературе и информација из области истраживања, као и креативност при прикупљању, обради и анализи добијених података. Комисија сматра да кандидат има све потребне квалитете за истраживачки и научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Научни доприноси докторске дисертације су следећи:

- Развијен је сопствени теоријски просторно-временски модел сушења остатака из процеса производње сокова - воћног тропа, при конвективном и кондуктивно-конвективном довођењу топлотног протока материјалу. Модел поседује универзалност, што омогућава да се изврши оптимизација процеса сушења у реалним индустријским условима на постојећим и новим постројењима. Такође, поред просторно-временског модела, развијен је сопствени емпиријски математички модел.
- Одређене су термофизичке карактеристике материјала остатака из процеса производње сокова - воћног тропа. Овим је омогућено квалитативно и квантитативно описивање процеса и појава при комбинованом кондуктивно-конвективном сушењу воћног тропа. Одређено је време сушења, зависност ефективне топлотне проводљивости од температуре и садржаја влаге током процеса сушења, а такође је одређен и ефективни коефицијент дифузије влаге у току процеса сушења.

Научни допринос кандидата – анализа кинетичких параметара процеса сушења остатака из производње сокова објављен је у раду „Kinetic Parameters Identification of Conductive Enhanced Hot Air Drying Process of Food Waste“ и доступан је на адреси <https://doi.org/10.2298/TSCI200312223M> (M22). Наведени научни допринос кандидата, приказан је у поглављу 8 дисертације, потпоглављу 8.3.-8.5., на странама 85-95. Такође, научни допринос је дат у поглављу 4.2. на страни 42, као и у поглављу 5.4. на страни 54.

Теоријски допринос дисертације огледа се у развијању сопственог просторно-временског математичког модела процеса сушења остатака из производње сокова, полазећи од Ликовљевог теорије сушења капиларно-порозних тела. Такође, поред просторно-временског модела, развијен је емпиријски математички модел који за дате услове сушења даје најбоље слагање са експерименталним резултатима за остатке из производње сокова нектарине и јабуке.

Такође, један од значајних научних доприноса овог рада је повезивање истраживања фундаменталних особина материјала воћног тропа коришћењем термогравиметријске анализе спрегнуте и масене спектрометрије са истраживањем процеса сушења овог материјала у реалним процесима сушења у полу-индустријској сушари. Тиме се стиче бољи увид у физикалност процеса сушења ове врсте материјала, као и боље разумевање утицаја геометрије узорака, почетних и граничних услова и процеса на процесе који се одвијају унутар и на површини материјала у току процеса сушења.

Практични допринос истраживања огледа се у могућности оптимизације потрошње енергије за сушење у односу на време сушења коришћењем методе са комбинованим кондуктивно-конвективноим довођењем топлотног протока материјалу.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У току реализације истраживања предметне докторске дисертације уочена су поједина ограничења развијеног просторно-временског и емпиријског модела процеса сушења са комбинованим кондуктивно-конвективним довођењем топлотног протока материјалу, која могу бити смернице за даље правце истраживања у овој области.

- Просторно-временски модел сушења развијен за материјал, граничне и почетне услове коришћен у докторској дисертацији је компликован, захтева експериментално одређивање великог броја параметара и могуће га је решити само нумеричким методама.
- Приликом одређивања ефективног коефицијента дифузије коришћен је модел који је изведен упрошћавањем другог Фиковог закона дифузије при чему су уведене одређене претпоставке, као што су занемаривање промене облика и запремине материјала и хомогеност материјала, које не одговарају у потпуности реалности, што у одређеној мери упрошћава стварну физикалност процеса.

Осим наведених ограничења предложене методологије у докторској дисертацији, предлози за даља истраживања су:

- Анализа термомеханичких карактеристика процеса сушења воћног тропа коришћењем других начина довођења топлотног протока материјалу, као што су, на пример, микроталасно и инфрацрвено сушење.
- Анализа процеса сушења различитих врста остатака из процеса производње сокова са комбинованим кондуктивно-конвективним довођењем топлотног протока материјалу.

Главна ограничење емпиријског математичког модела је што се може применити само на материјал воћни троп и веома сличне материјале, при идентичним условима сушења који су били у току извођења експерименталних истраживања на лабораторијској инсталацији.

Друго ограничење је што се приликом извођења просторно-временског модела, из разматрања изузима скупљање материјала.

У току процеса сушења на експерименталној инсталацији, влага из материјала је издвајана само са једне стране узорака која је била изложена струји ваздуха. Због тога треба истражити разлику у времену сушења када би са обе стране материјала струјао ваздух и упоредити добијене резултате са комбинованом кондуктивно-конвективном методом сушења.

4.3. Верификација научних доприноса

Публиковани радови Михаила Милановића који су проистекли као резултата истраживања у оквиру докторске дисертације:

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. **Milanović, M.**, Komatina, M., Zlatanović, I., Manić, N., Antonijević, D., *Kinetic Parameters Identification of Conductive Enhanced Hot Air Drying Process of Food Waste*, Thermal Science, Vol. 25, No. 3A, pp. 1795-1807, 2021

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

2. **Milanović, M.**, Komatina, M., Manić, N., *Thermomechanical aspects of juice industry residues*, AESMT'21, Ruse, Bulgaria, 14. – 15. June, 2021
3. **Milanović, M.**, Komatina, M., Zlatanović, I., *Technical review on properties, utilization and drying of apple pomace*, ISAE-2017 SYMPOSIUM, 20.-21.10.2017, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu.
4. **Milanović, M.**, Zlatanović, I., Komatina, M., Dražić, M., Gligorević, K., Rudonja, N., Pajić, M., Živković, M., *Analiza uticaja toplotne izolovanosti sekcije grejača tunelske konvektivne sušare na postizanje radnih parametara, energetske efikasnost i ekonomičnost*, Naučno-stručni skup sa međunarodnim učešćem DPT 2018, Zbornik radova (Proceedings)

У оквиру доктората, постигнути су и други резултати, који нису директно повезани са темом докторске дисертације :

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. Jarić, M., Martić, I., Budimir, N., Svetel, I., **Milanović, M.**, *Total costs of shell and tube heat exchangers with concentric helical tube coils*, Thermal Science, Vol. 23, No. 6A, pp. 3661-3673, 2019
2. Milanović, P., Ećim, O., Jelić, M., Tomić, V., **Milanović, M.**, *Dynamic Modeling of a Heating System Using Geothermal Energy and Storage Tank*, Thermal Science, Vol. 16, No. 3, pp. 947-953, 2012

Рад у националном часопису (M53)

3. Ćuprić, N., Milanović, P., **Milanović, M.**, *Umeci za poboljšanje isticanja rastresitih materijala iz bunkera i silosa*, Procesna tehnika, Br.1, str. 14-17, 2011

Саопштење са међународног скупа штампано у целини (M33)

5. Borza P.N., Cotfas, P.A., Cotfas, D.T., **Milanović, M.**, Kadar, M., Komatina, M., Ceuca, I.E., *Design Flow of the intermittent systems connected to the grid enhanced with the hybrid storage solutions*, 5th European Symposium on Super Capacitors & Hybrid Solutions - ESSCAP, April 23-25, 2015, Brasov
6. **Milanović, M.**, Komatina, M., *Skladištenje električne energije dobijene iz obnovljivih izvora energije*, Međunarodni kongres KGH 2015. Zbornik radova, Sekcija 8.
7. Tanasić, N., Ivanović, M., Jankes, G., Stamenić, M., Nikolić, A., **Milanović, M.**, Simonović, T., *Korišćenje otpadne toplote u sistemu ventilacije mašinske hale u papirnoj industriji*, XXI međunarodni simpozijum iz oblasti celuloze, papira, ambalaže i grafike, TMF Beograd, Zbornik radova, 2016.

Саопштење са међународног скупа штампано у изводу (M34)

8. **Milanović, M.**, Komatina, M., *Electricity Storage Systems, SS Hybrid Storage Materials & Systems - Technologies & Applications*, IEEE IES OPTIM14, 2014, Brasov

Пројектне активности

Пројекти финансирани од стране Министарства науке и технолошког развоја Републике Србије

1. Учесник на пројекту „Развој и унапређење технологија за енергетски ефикасно коришћење више форми пољопривредне и шумске биомасе на еколошки прихватљив начин, уз могућност когенерације“, Евиденциони број пројекта ИИИ-42011

Остали пројекти

1. South East Europe Transnational Cooperation programme 4th call, SEE/D/0162/2.4/X, GeoSEE, “Innovative uses of low-temperature geothermal resources in South East Europe”, 2012.-2014.
2. Interreg Danube Transnational Programme, DTP1-502-3.2 3Smart „Smart Building-Smart Grid-Smart City”, 2017-2019.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу прегледа докторске дисертације и горе изнетог, имајући у виду квалитет и научни допринос дисертације, Комисија за преглед, оцену и одбрану ове докторске дисертације закључује да је кандидат Михаило Милановић, маг. инж. маш., успешно завршио докторску дисертацију под називом: „Термомеханички аспекти процеса сушења остатака из производње сокова“. Комисија закључује да дисертација представља значајан и оригиналан научни рад са научним доприносом у научној области Машинско инжењерство, ужа научна област Термомеханика. Комисија закључује да је докторска дисертација урађена сходно стандардима научно истраживачког рада, да испуњава све услове и да је у складу је са Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Машинског факултета Универзитета у Београду. Комисија предлаже Наставно научно већу Машинског факултета у Београду да овај реферат прихвати, да дисертацију стави на увид јавности, да реферат упути на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду и да се након завршених процедура, кандидат, Михаило Милановић маг. инж. маш. позове на усмену одбрану дисертације пред Комисијом у истом овом саставу.

Београд, 28.06.2021.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др **Мирко Коматина**, редовни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др **Милош Бањац**, редовни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др **Иван Златановић**, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др **Небојша Манић**, ванредни професор,
Универзитет у Београду, Машински факултет

.....
др **Бранко Бугарски**, редовни професор,
Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
- МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ –
Број: 731/5
Датум: 08.07.2021. године
Београд, Краљице Марије бр. 16

На основу члана 40. Закона о високом образовању („Службени гласник РС“, број 88/2017 и 27/2018-др. закон), члана 48. Правилника о докторским студијама, члана 64. Статута Машинског факултета - пречишћен текст (број 1136/4 од 28.06.2021. године) и члана 37. Правилника о докторским студијама Машинског факултета, Наставно-научно веће на седници одржаној 08.07.2021. године, донело је

ОДЛУКУ

Усваја се реферат Комисије о урађеној докторској дисертацији „**ТЕРМОМЕХАНИЧКИ АСПЕКТИ ПРОЦЕСА СУШЕЊА ОСТАТАКА ИЗ ПРОИЗВОДЊЕ СОКОВА**“ студента **МИХАИЛА МИЛАНОВИЋА**, магист. инж. маш.

Јавна одбрана докторске дисертације обавиће се по добијању сагласности Универзитета у Београду.

Универзитет у Београду је својом Одлуком број 61206-4082/2-20 од 01.12.2020. године, дао сагласност на предлог теме докторске дисертације.

Објављени радови студента у часописима међународног значаја:

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. **Milanović, M.**, Komatina, M., Zlatanović, I., Manić, N., Antonijević, D., *Kinetic Parameters Identification of Conductive Enhanced Hot Air Drying Process of Food Waste*, Thermal Science, Vol. 25, No. 3A, pp. 1795-1807, 2021

Одлуку доставити: студенту, ментору, Катедри за термомеханику и архиви Факултета.

ДЕКАН
МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

проф. др Радивоје Митровић