

ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКИ
ФАКУЛТЕТ
35/187
(Број захтева)

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ
ВЕЋЕ НАУЧНИХ ОБЛАСТИ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
(Назив већа научне области и коме се захтев упућује)

01.06.2018.
(Датум)

ЗАХТЕВ

за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације

Молимо да, сходно члану 47. ст. 5. тач. 3. Статута Универзитета у Београду („Гласник Универзитета“, број 131/06), дате сагласност на предлог теме докторске дисертације:

„Карактеризација и примена природних хидрогелова за инкапсулацију пробиотске стартер културе“
(пун назив предложене теме докторске дисертације)

НАУЧНА ОБЛАСТ: ТЕХНОЛОШКО ИНЖЕЊЕРСТВО

ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ:

1. Име, име једног од родитеља и презиме кандидата:

НАТАША (Станиша) ОБРАДОВИЋ, дипломирани инжењер технологије

2. Назив и седиште факултета на коме је стекао основно образовање: Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

3. Година дипломирања: 2008.

4. Назив и седиште факултета на коме је стекао мастер образовање: /

5. Година дипломирања: /

Студент је уписан на докторске академске студије школске 2010/2011. године.

На захтев студента, а уз сагласност ментора, декан је донео Решење број 20/86-1 од 28.09.2016. године о продужењу рока за завршетак студија за два семестра школске 2016/2017. године. На захтев студента, а увидом у приложена документа, декан је донео Решење број 20/9 од 21.02.2017. године о мировању права и обавеза студента у шк. 2016/2017. години због неге детета до годину дана. Школске 2017/2018. године важи продужење које је одобрено за шк. 2016/2017. годину, а у којој је била у статусу мировања године.

Обавештавамо Вас да је Наставно-научно веће, на седници одржаној 31.05.2018. године размотрило предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

Прилог:

1. Предлог теме докторске дисертације са образложењем
2. Акт надлежног тела факултета о подобности теме за израду докторске дисертације
3. Подаци о ментору.

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ

за кандидата **Наташа С. Обрадовић**, дипл. инж. технологије

Име и презиме ментора: **Бранко Бугарски**

Звање: редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитет у Београду

Списак радова који квалификују ментора за вођење докторске дисертације:

1. Ђорђевић В., Баланч Б., Белшчак-Цвитановић А., Левић С., Трифковић К., Калушевић А., Костић И., Комес Д., **Бугарски Б.**, Недовић В., *Trends in Encapsulation Technologies for Delivery of Food Bioactive Compounds*, Food Engineering Reviews, 7, 4, 452-490, 2015, ISSN: 1866-7910, IF(2015)=4,375.
2. Трифковић К., Милашиновић Н., Ђорђевић В., Калагасидис Крушић М., Кнежевић-Југовић З., Недовић В., **Бугарски Б.**: *Chitosan microbeads for encapsulation of Thyme (Thymus serpyllum L.) polyphenols*, Carbohydrate Polymers 111, 2014, 901-907, ISSN: 2214-8604, IF(2014)=4,074.
3. Пајић-Лијаковић И., Левић С., Хаднађев М, Стевановић-Дајић З., Радосевић Р., Недовић В., **Бугарски Б.**, *Structural changes of Ca-alginate beads caused by immobilized yeast cell growth*, Biochemical Engineering Journal, 103, 2015, 32-38, ISSN: 1369-703X, IF(2015)=2,892.
4. Обрадовић Н., Крунић Т., Трифковић К., Булатовић М., Ракин М.П., Ракин М.Б., **Бугарски Б.**: *Influence of chitosan coating on mechanical stability of biopolymer carriers with probiotic starter culture in fermented whey beverages*, International Journal of Polymer Science, 2015, 1-8, ISSN: 1687-9422, IF(2013)=1,332.
5. Томовић Н., Трифковић К., Ракин М.Б., Ракин М.П., **Бугарски Б.**: *Influence of compression speed and deformation percentage on mechanical properties of calcium alginate particles*, Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly, 21, 3, 2015, 411-417, ISSN: 1451-9372, IF(2014)=0,892.

Заокружити одговарајућу опцију (А, Б, В или Г):

А) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији техникотехнолошких, природно-математичких и медицинских наука ментор треба да има најмање три рада са SCI, SSCI, AHCI или SCIE листе, као и Math-Net.Ru листе.

Б) У случају менторства дисертације на докторским студијама у групацији друштвено-хуманистичких наука ментор треба да има најмање три рада са релевантне листе научних часописа (Релевантна листа научних часописа обухвата SCI, SSCI, AHCI и SCIE листе, као и ERIH листу, листу часописа које је

Министарство за науку класификовало као М24 и додатну листу часописа коју ће, на предлог универзитета, донети Национални савет за високо образовање. Посебно се вреднују и монографије које Министарство науке класификује као М11, М12, М13, М14, М41 и М51.)

В) У случају израде докторске дисертације према ранијим прописима за кандидате који су стекли академски назив магистра наука ментор треба да има пет радова (референци) које га, по оцени Већа научних области, квалификују за ментора односне дисертације.

Г) У случају да у ужој научној области нема квалификованих наставника, приложити одлуку Већа докторских студија о именовању редовног професора за ментора.

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА

Датум: 08.05.2018.

М.П.

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

ДП

На основу чл. 40. Закона о високом образовању, чл. 104. став 3. Статута Универзитета у Београду, чл. 40. Статута ТМФ-а и чл. 32. Правилника о докторским студијама ТМФ-а, на седници Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета од 31.05.2018. године, донета је

О Д Л У К А

о прихватању Реферата Комисије за оцену подобности теме и кандидата
за израду докторске дисертације

Прихвата се Реферат Комисије за оцену подобности теме и кандидата и одобрава израда докторске дисертације **Наташи Обрадовић**, дипломираном инжењеру технологије, под називом: „Карактеризација и примена природних хидрогелова за инкапсулацију пробиотске стартер културе“.

Одлуку о давању сагласности на предлог теме докторске дисертације доноси Универзитет у Београду.

За ментора се одређује др Бранко Бугарски, редовни професор Универзитета у Београду, Технолошко-металуршки факултет.

Одлуку доставити: Универзитету у Београду на сагласност, кандидату, ментору, Служби за наставно студентске послове и архиви Факултета.

Д Е К А Н

Проф. др Ђорђе Јанаћковић

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ТЕХНОЛОШКО-МЕТАЛУРШКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Предмет: Подобност теме и кандидата Наташе С. Обрадовић, дипл. инж. техн., за израду докторске дисертације

Одлуком Наставно-научног већа Технолошко-металуршког факултета бр. 35/132 од 12.4.2018. године именовани смо за чланове Комисије за оцену подобности теме и кандидата **Наташе С. Обрадовић** за израду докторске дисертације и научне заснованости теме под називом **"Карактеризација и примена природних хидрогелова за инкапсулацију пробиотске стартер културе"**.

На основу материјала приложеног уз Захтев кандидата, Комисија подноси следећи

РЕФЕРАТ

1. Подаци о кандидату

1.1. Биографски подаци

Наташа С. Обрадовић (девојачко Томовић), дипл. инж. технологије, је рођена 14.06.1984. године у Београду. Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду је уписала школске 2003/04. године на студијском програму Хемијска технологија; студијско подручје Фармацеутско инжењерство и дипломирала 2008. године са просечном оценом 8,46. Дипломски рад на тему "Прорачун и димензионисање дупликаторске посуде за припрему инфузионих раствора "под руководством ментора проф. др Марка Ракина одбранила је са оценом 10.

Докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду је уписала школске 2010/11. године на студијском програму Биохемијско инжењерство и биотехнологија. Положила је све програмом предвиђене испите и одбранила завршни рад на тему "Технике имобилизација пробиотика и моделовање дифузије нутријената кроз честице са имобилисаним ћелијама методом коначних елемената" под руководством ментора проф. др Бранка Бугарског.

Од фебруара 2011. запослена је у Иновационом центру Технолошко-металуршког факултета, у оквиру пројекта интегралних и интердисциплинарних истраживања из области пољопривреде и хране: „Развој нових инкапсулационих и ензимских технологија за производњу биокатализатора и биолошки активних компонената хране у циљу побољшања њене конкурентности, квалитета и безбедности“, Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (број пројекта ИИИ46010). У звање истраживач-приправник изабрана је 15. децембра 2011. године, а у звање истраживач-сарадник 26. фебруара 2015. године. Учествовала је у реализацији Иновационог пројекта „Капсуле здравља у леденом чају“ (Ев. бр. 451-03-2802/2013-16/1) (2014-2015). У периоду 2012-2015. године била је ангажована и у реализацији Еурека пројекта Е!8029 „Оптимизација енергетског биланса сложених система“.

Од 2010. године до данас, Наташа С. Обрадовић је активно учествовала у промоцији и популаризацији науке. У летњем семестру 2015/16 године учествовала је у извођењу вежби из предмета Опрема у биотехнологији, док је у зимском семестру исте године учествовала у реализацији вежби из предмета Пројектовање уређаја и апарата у фармацеутској индустрији. Такође, била је члан стручне комисије за одабир научно-истраживачких радова студената Технолошко-металуршког факултета у Београду који представљају матични факултет на научно-спортској манифестацији Технологијада.

1.2. Стечено научно-истраживачко искуство

Наташа С. Обрадовић је школске 2010/2011. године уписала докторске студије на Технолошко-металуршком факултету Универзитета у Београду на студијском програму Биохемијско инжењерство и биотехнологија. Успешно је положила све испите предвиђене студијским програмом (13) са просечном оценом 9,50 и одбранила завршни рад са оценом 10. Наташа С. Обрадовић је учествовала у реализацији научно-истраживачког пројекта из области интегралних и интердисциплинарних истраживања финансираног од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије под називом „Развој нових инкапсулационих и ензимских технологија за производњу биокатализатора и биолошки активних компонената хране у циљу побољшања њене конкурентности, квалитета и безбедности“ (евиденциони број пројекта ИИИ 46010). Научно-истраживачки рад Наташе С. Обрадовић везан је за инкапсулацију пробиотске стартер културе и биоактивних супстанци у различите природне хидрогел носаче. Учествовала је у реализацији Иновационог пројекта „Капсуле здравља у леденом чају“ од 01.06.2014. године до 31.05.2015. године. У периоду 2012-2015. године, била је ангажована и у реализацији Еурека пројекта Е!8029 „Оптимизација енергетског биланса сложених система“.

Списак положених испита на докторским студијама:

Р. бр.	Назив предмета	ЕСПБ	Оцена
1.	Инжењерство ћелије	5	10
2.	Хемијска кинетика	5	9
3.	Одабрана поглавља инструменталне анализе	7	9
4.	Одабрана поглавља биохемије -витамини	5	10
5.	Феномени преноса у биолошким системима	5	10
6.	Одабрани микробиолошки процеси у заштити животне средине	4	10
7.	Физичко-хемијске основе фармацеутског инжењерства	4	10
8.	Одабрана поглавља пројектовања процеса у биохемијском инжењерству	5	10
9.	Отпорност материјала	4	10
10.	Математичка обрада експерименталних података	5	6
11.	Метода коначних елемената у инжењерству материјала	4	10
12.	Енглески језик	/	10
13.	Завршни испит	30	10
	УКУПНО/ПРОСЕК	83	9,50

Поред наведеног, Наташа С. Обрадовић је прошла континуалну обуку за рад на уређају Универзална тест машина за испитивање механичких карактеристика материјала (Universal Testing Machine, AG-Xplus, Shimadzu) и била је и учесник програма сталног усавршавања „Контролисано ослобађање лека, основни принципи и примена у формулацији терапијских

система“, под руководством проф. Пепаса, одржаног у Београду, у мају 2013. Такође, током студија похађала је тренинг под називом „Припрема успешних пројеката за програм "ХОРИЗОНТ 2020“, у октобру 2015. године.

Наташа С. Обрадовић је од 2010. активно учествовала у промоцији и популаризацији науке кроз учешћа на Сајмовима науке, технике и образовања, представљајући Технолошко-металуршки факултет и Иновациони центар Технолошко-металуршког факултета, као и кроз промоцију факултета ученицима средњих школа и гимназија. У летњем семестру 2015/16 године учествовала је у извођењу вежби из предмета Опрема у биотехнологији, док је у зимском семестру исте године учествовала у реализацији вежби из предмета Пројектовање уређаја и апарата у фармацеутској индустрији. У току свог досадашњег научно-истраживачког рада активно је учествовала и у осмишљавању и реализацији више дипломских, мастер и завршних радова.

Научно-истраживачки рад Наташе С. Обрадовић односи се на развој нових оптималних система на бази природних хидрогелова за инкапсулацију пробиотске стартер културе. Истраживања су усмерена ка биополимерним системима који би били погодни за примену у прехранбеној индустрији, као системи за циљану доставу и заштиту пробиотске стартер културе и биоактивних супстанци.

У досадашњем раду Наташа Обрадовић је као аутор или коаутор објавила 1 рад у врхунском часопису изузетних вредности (M21a), 1 рад у истакнутом међународном часопису (M22), 3 рада у часописима међународног значаја (M23) и 2 рада у часописима међународног значаја верификованих посебном одлуком (M24), 9 радова саопштених на скуповима међународног и националног значаја штампаних у целини или у изводу (3 рада категорије M33, 4 категорије M34, 2 категорије M63) и 1 рад у водећим часописима националног значаја (M51). Такође, била је и коаутор помоћног уџбеника (П32) који се користи у настави на Технолошко-металуршком факултету.

Објављени научни радови и саопштења

Радови објављени у часописима међународног значаја - M20

Рад у међународном часопису изузетних вредности (M21a)

1. Крунић Т., Булатовић М., **Обрадовић Н.**, Вукашиновић-Секулић М., Ракин М.: *Effect of immobilization materials on viability and fermentation activity of dairy starter culture in whey based substrate*, Journal of the Science of Food and Agriculture, Vol 96, No 5, 2016, pp. 1723-9, ISSN: 1097-0010, IF(2016)=2,463.

Рад у истакнутом међународном часопису (M22)

1. **Обрадовић Н.**, Крунић Т., Трифковић К., Булатовић М., Ракин М.П., Ракин М.Б., Бугарски Б.: *Influence of chitosan coating on mechanical stability of biopolymer carriers with probiotic starter culture in fermented whey beverages*, International Journal of Polymer Science, 2015, pp. 1-8, Article ID 732858, ISSN: 1687-9422, IF(2013)=1,322.

Рад у међународном часопису (M23)

1. **Томовић Н.**, Трифковић К., Ракин М.Б., Ракин М.П., Бугарски Б.: *Influence of compression speed and deformation percentage on mechanical properties of calcium alginate particles*, Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly, Vol 21, No 3, 2015, pp. 411-417, ISSN: 1451-9372, IF(2014)=0,892.
2. Димић И., Цвијовић-Алагић И., **Обрадовић Н.**, Петровић Ј., Путић С., Ракин М., Бугарски Б.: *In vitro biocompatibility assessment of Co–Cr–Mo dental cast alloy*, Journal of the Serbian Chemical Society, Vol 80, No 12, 2015, pp. 1541–1552, ISSN: 0352-5139, IF(2015)=0,970.

3. Крунић Т., **Обрадовић Н.**, Булатовић М., Вукашиновић-Секулић М., Трифковић К., Ракин М.: *Impact of carrier material on fermentative activity of encapsulated yoghurt culture in whey based substrate*, Hemijska industrija, Vol 71, No 1, 2017, pp. 41–48, ISSN:2217-7426, IF(2016)=0,459.

Радови у часописима међународног значаја верификовани посебним одлукама (M24)

1. **Томовић Н.**, Димић И., Ракин М., Путић С., Међо Б.: *Influence of working conditions on strength calculation of pressure vessel of austenitic steel according to SRPS EN 13445*, Structural Integrity and Life, Vol 13, No 2, 2013, 137-140, ISSN: 1451-3749.
2. Димић И., **Томовић Н.**, Блажић Ј., Ракин М., Бугарски Б.: *Strength design calculation of a horizontal pressure vessel*, Structural Integrity and Life, 13(2), 2013, 157-161, ISSN: 1451-3749.

Радови у часописима националног значаја – M50

Рад у часопису националног значаја (M51)

1. **Обрадовић Н.**, Крунић Т., Дамњановић И., Вукасиновић-Секулић М., Ракин М.Б., Ракин М.П., Бугарски Б.: *Influence of whey proteins addition on mechanical stability of biopolymer beads with immobilized probiotics*, Tehnika, Vol 70, No 3, 2015, pp. 397-400, ISSN: 0040-2176.

Зборници међународних скупова – M30

Саопштења са међународних скупова штампана у целини (M33)

1. Крунић Т., **Обрадовић Н.**, Булатовић М., Вукашиновић Секулић М., Мојовић Ј., Ракин М.: *Fermentative activity and viability of immobilized probiotic starter culture ABY-6 in whey based substrates*, Proceedings of 2nd International “Food Technology, Quality and Safety” Congress, Novi Sad 2014, pp. 297-302.
2. Булатовић М., Крунић Т., **Обрадовић Н.**, Вукашиновић-Секулић М., Зарић Д., Ракин М.: *Influence of fruit juice addition on quality of fermented whey-based beverage*, , Proceedings of 2nd International “Food Technology, Quality and Safety” Congress, Novi Sad 2014, pp. 303-308
3. Ракин М., Арсић М., Шаркоћевић Ж., Међо Б., **Томовић Н.**, Седмак А.: *Damaged welded pipes for oil and gas rigs exposed to internal pressure – failure estimation*, Proceedings of 19th European Conference on Fracture ECF19, Kazan 2012, pp. 1-7.

Саопштења са међународних скупова штампана у изводу (M34)

1. **Обрадовић Н.**, Крунић Т., Булатовић М., Ракин М.Б., Ракин М.П., Бугарски Б.: *Application of immobilization of probiotics cells in production of functional fermented whey beverages*. Book of Abstracts 7th Central European Congress on Food – CEFood, Ohrid 2014, p. 219.
2. **Обрадовић Н.**, Крунић Т., Дамњановић И., Јенић А., Ракин М.Б., Ракин М. П., Бугарски Б.: *Influence of whey proteins addition on mechanical stability of biopolymer beads with immobilized probiotics*, Book of Abstracts Thirteenth Young Researchers’ Conference Materials Science and Engineering, Belgrade 2014, p. 3.
3. Трифковић К., **Обрадовић Н.**, Ракин М.Б., Ракин М.П., Ђорђевић В., Недовић В., Бугарски Б.: *Mechanical properties of Ca-alginate beads with immobilized probiotic cells – influence of fermentation process*, Book of Abstracts 2nd International Congress „Food Technology, Quality and Safety“, Novi Sad 2014, p. 83.
4. Димић И., **Томовић Н.**, Цвијовић-Алагић И., Ракин М., Бугарски Б.: *Metal ion release from titanium and cobalt-based alloy for dental application*, Book of abstracts Fifteenth annual conference, YUCOMAT 2013, Herceg Novi 2013, p. 146.

Предавања по позиву на скуповима националног значаја–М60

Саопштења са скупова националног значаја штампана у целини (М63)

1. Петровић Ј., Димић И., Стаменовић М., **Томовић Н.**, Путић С.: *Одређивање деформација при дејству унутрашњег притиска код стаклена влакна-полиестер композитних цеви излаганих растворима киселина и база*, Зборник радова са саветовања “Напредни материјали и могућности њихове примене”, Пожаревац 2011, str. 64-73.
2. Димић И., Међо Б., Путић С., **Обрадовић Н.**, Ракин М., Барјактаревић Д.: *Примена материјала на бази титана за израду импланата*, Зборник радова са саветовања “Савремени материјали и могућност њихове примене”, Пожаревац 2015, str. 48-57.

Уџбеници–П30

Објављени практикум или помоћни уџбеника (П32)

1. Ракин М., Путић С., **Томовић Н.**, Ђатовић Б.: *Опрема у фармацеутском инжењерству*, Приручник, Технолошко-металуршки факултет, Београд, 2010, ISBN: 978-86-7401-265-9.

1.3. Оцена подобности кандидата за рад на предложеној теми

На основу досадашњег рада и претходно приказаних резултата остварених током докторских студија, Наташа С. Обрадовић, дипл. инж. технологије, показала је интерес, склоност и способност за бављење научно-истраживачким радом. Наташа С. Обрадовић је аутор или коаутор (1 рада категорије М21а, 1 рада категорије М22, 5 категорија М23 и М24, 9 категорија М33, М34 и М63 и 1 категорије М51). На основу биографских података кандидата и квалитетних научних резултата, Комисија сматра да кандидат испуњава све потребне услове за рад на предложеној теми докторске дисертације.

2. Предмет и циљ истраживања

Предмет истраживања спроведених у оквиру ове докторске дисертације односи се на карактеризацију и формулацију природних хидрогел система за инкапсулацију пробиотске starter културе. С обзиром на растућу свест потрошача о значају пробиотских култура на људско здравље, све је већа примена ових култура у прехранбеној, фармацеутској и козметичкој индустрији. Заправо, пробиотске културе су показале да играју важну улогу у одржавању нормалне цревне микрофлоре, метаболизму лактозе, смањењу нивоа холестерола у крви као и у превенцији неких карцинома [1, 2]. Међутим, да би поменуте културе оствариле жељени терапеутски ефекат неопходно је да остану метаболички активне у производу и да преживе физиолошке услове у желуцу у што већем броју [3-5]. Стога, примена поступака инкапсулације пробиотских култура у биополимерне системе представља атрактивну област у научним истраживањима и има велики значај у заштити култура током производних процеса, гастро-интестиналних услова и у временском периоду који је ограничен роком трајања производа [6, 7]. Конкретно, у предложеним истраживањима рађена је инкапсулација мешане starter културе АБУ-6 у чији састав улазе четири врсте бактерија у следећем односу (*Streptococcus salivarius subsp. thermophilus* 80%, *Lactobacillus acidophilus* 13%, *Bifidobacterium bifidum* 6% i *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* 1%), у природне биополимерне системе који су припремани са додатком сурутке и протеина сурутке. Сурутка је течни споредни производ који заостаје након производње сира и казеина и садржи више од 55% састојака који су присутни у млеку, укључујући протеине сурутке, лактозу, витамине растворљиве у води и минерале. Протеини и пептиди сурутке имају позитиван утицај на имуни, кардиоваскуларни, нервни и гастро-интестинални систем [8]. Узимајући у обзир велики потенцијал сурутке као полазне сировине, све је више функционалних напитака на бази сурутке при чему су носиоци процеса микроорганизми из рода *Lactobacillus* i *Bifidobacterium* од којих већина спада у пробиотике [9]. Поступцима

инкапсулације пробиотске културе омогућава се заштита бактерија у току припреме, сушења, паковања и чувања производа [5, 10]. Такође, оптимизацијом процеса инкапсулације могуће је пројектовати циљано отпуштање култура у гастро-интестиналном тракту. Постоји велики број полимерних материјала који имају примену у инкапсулационе сврхе. Међу њима, природни материјали попут алгината, хитозна, скроба, желатина, ксантан гуме су разматрани као материјали за инкапсулацију пробиотских култура [11, 12]. Калцијум-алгинат је најчешће примењивани носач за инкапсулацију култура пробиотског карактера због своје биокомпатибилности, нетоксичности као и ниске цене сировине. Међутим, показано је и да примена алгината као материјала за инкапсулацију култура има своје недостатке са аспекта порозности носача односно ефикасности процеса инкапсулације и рН осетљивости у гастричним условима [13-15]. Управо из наведених разлога, предмет научног истраживања у оквиру предложене теме је испитивање значаја додатка сурутке и протеина сурутке у обложене и необложене алгинатне носаче, при чему се нови носач анализира с аспекта унапређења ефикасности поступка инкапсулације, раста пробиотске стартер културе, механичке и хемијске стабилности система, контролисаног отпуштања културе и преживљавања у условима гастричног сока. Како поменути хитозаном обложени и необложени системи представљају функционални адитив храни са великим потенцијалом, предмет предложеног истраживања биће формулација и карактерисање ових система.

Циљ истраживања у оквиру докторске дисертације је испитивање хитозаном обложених и необложених калцијум-алгинатних носача за инкапсулацију пробиотске стартер културе, као и примена истих у изради функционалних напитака на бази сурутке. У раду ће бити испитано неколико система за инкапсулацију пробиотске стартер културе, за чије добијање ће се примењивати различите технике. Најпре, припремаће се системи који представљају комбинацију полисахаридног полимера алгината и сурутке за добијање хидрогел честица различите величине са инкапсулираном културом. Алгинат је природни полисахарид, чији водени раствор формира хидрогел при интеракцији са двовалентним јонима, као што су јони калцијума. Међутим, познато је да сам алгинат нема могућност формирања система са контролисаним отпуштањем активне компоненте, па се с тога у склопу ових истраживања у систем уводе сурутка, протеини сурутке и врши облагање хитозаном како би се као резултат добио нови систем са унапређеним карактеристикама у погледу контролисаног отпуштања, повећане ефикасности поступка инкапсулације, хемијске и механичке стабилности као и заштите у условима гастричног сока. За инкапсулацију пробиотске стартер културе биће примењена метода електростатичке екструзије као и техника спреј-сушења. Циљ рада јесте да се сви добијени системи анализирају са аспекта степена ефикасности за инкапсулацију, контролисаног отпуштања микроорганизама, морфологије система и њихових механичких карактеристика, затим да се дефинише како инкапсулација културе и њен раст имају утицај на сам носач. Рад ће обухватити и оптимизацију процеса инкапсулације, варирањем концентрације алгината као и односа алгината, сурутке и протеина сурутке. Након процеса инкапсулације добијене хидрогел честице ће бити додате у ферментациони медијум на бази сурутке и пратити процес ферментације и анализирати његов утицај на носач и вијабилност инкапсулиране културе. Такође, испитаће се и утицај додатка протеина сурутке на структуру самог носача, као и на вијабилност и отпуштање културе током процеса ферментације и потом складиштења производа. Узимајући у обзир да током производних процеса хидрогелови су врло често изложени и механичким силама које могу довести до њиховог оштећења, чиме се ограничава даља примена производа, у наставку предложених истраживања ће се урадити и анализа механичких својстава хидрогел честица и показати значај додатка сурутке на механичку стабилност носача. Посебан акценат ће бити на испитивању стабилности хидрогел честица као и преживљавање инкапсулиране културе у симулираним условима гастро-интестиналног тракта. С обзиром на рН осетљивост носача, анализираће се и допринос облагања носача хитозаном на циљано отпуштање и вијабилности културе као и у погледу заштите алгинатних носача од деградације услед присуству ензима у

симулираним гастро-интестиналним условима. Идеја је да се након свих анализа, добије оптималан хидрогел систем за инкапсулацију пробиотске стартер културе, који ће бити погодан за примену у прехранбеној индустрији као функционални адитив.

Релевантни библиографски извори:

- [1] Prisco A. D., Mauriello G.: *Probiotication of foods: A focus on microencapsulation tool*, Trends in Food Science & Technology, Vol 48, 2016, pp. 27–39.
- [2] Wohlgemuth S., Loh G., Blaut M.: *Recent developments and perspectives in the investigation of probiotic effects*, International Journal of Medical Microbiology, Vol 300, No 1, 2010, pp. 3–10.
- [3] Martín M.J., Lara-Villoslada F., Ruiz M.A., Encarnación M.: *Microencapsulation of bacteria: A review of different technologies and their impact on the probiotic effects*, Innovative Food Science and Emerging Technologies, Vol 27, 2015, pp.15–25.
- [4] Šipailienė A., Petraitytė S.: *Encapsulation of Probiotics: Proper Selection of the Probiotic Strain and the Influence of Encapsulation Technology and Materials on the Viability of Encapsulated Microorganisms*, Probiotics and Antimicrobial Proteins, Vol 10, 2018, pp.1–10.
- [5] Serna-Cock L., Vallejo-Castillo V.: *Probiotic encapsulation*, African Journal of Microbiology Research, Vol 7, No 40, 2013, pp. 4743–4753.
- [6] Krunić, T., Bulatović, M., Obradović, N., Vukašinović-Sekulić, M., Rakin, M.: *Effect of immobilisation materials on viability and fermentation activity of dairy starter culture in whey-based substrate*, Journal of the Science of Food and Agriculture, Vol 96, No 5, 2016, 1723–1729.
- [7] Obradović N., Krunić T., Trifković, K., Bulatović, M., Rakin, M., Rakin, M., Bugarski, B.: *Influence of chitosan coating on mechanical stability of biopolymer carriers with probiotic starter culture in fermented whey beverages*, International Journal of Polymer Science, 2015, pp.1–8.
- [8] Rakin M., Bulatović M., Zarić D., Stamenković-Đoković M., Krunić T., Borić M., Vukašinović-Sekulić M.: *Quality of fermented whey beverage with mil*, Hemijska industrija, Vol 70, No 1, 2016, pp. 91–98.
- [9] Bulatović M., Rakin M., Mojović Lj., Nikolić S., Vukašinović-Sekulić M., Đukić Vuković A.: *Surutka kao sirovina za proizvodnju funkcionalnih napitaka*, Hemijska industrija, Vol 66, No 4, 2012, pp. 567–579.
- [10] Đorđević V., Balanč B., Belščak-Cvitanović A., Levic S., Trifković K., Kalusevic A., Kostic I., Komes D., Bugarski B., Nedovic V.: *Trends in encapsulation technologies for delivery of food bioactive compounds*, Food Engineering Reviews, Vol 7, No 4, 2015, pp. 452–490.
- [11] Burgain C., Gaiani C., Linder M., Scher J.: *Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications*, Journal of Food Engineering, Vol 104, No 4, 2011, pp. 467–483.
- [12] Obradović N., Krunić T., Damnjanović I., Vukasinović-Sekulić M., Rakin M., Rakin M., Bugarski B.: *Influence of whey proteins addition on mechanical stability of biopolymer beads with immobilized probiotics*. Tehnika, Vol 70, No 3 2015, pp.397–400.
- [13] Chen H.-Y., Li X.-Y., Liu B.-J., Meng X.-H.: *Microencapsulation of Lactobacillus bulgaricus and survival assays under simulated gastrointestinal conditions*, Journal of Functional Foods, Vol 29, 2017, pp. 248–255.
- [14] Gouin, S.: *Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends*, Trends in Food Science and Technology, Vol 15, 2004, pp.330–347.
- [15] Shori A.B.: *Microencapsulation Improved Probiotics Survival During Gastric Transit*, HAYATI Journal of Biosciences, Vol 24, No 1, 2017, pp.1–5.

3. Полазне хипотезе

Како је у литератури већ показано, облагањем алгинатних носача могуће је добити адекватан носач за инкапсулацију пробиотских култура. Узимајући у обзир велики значај пробиотика на људско здравље, јавља се све већа потреба за припремом функционалне хране са додатком пробиотика. Вијабилност пробиотских бактерија је од велике важности, с обзиром на то да су пробиотици изложени неповољним условима током процеса производње, складиштења производа као и у гастро-интестиналним условима, веома је битно да преживе у великом броју како би остварили своје позитивно дејство на здравље домаћина. Узимајући у обзир значај заштите културе у поменутим условима, приступа се њиховој инкапсулацији. Стога, предложена истраживања у оквиру ове докторске дисертације полазе од хипотезе да инкапсулација пробиотске стартер културе у обложене и необложене алгинатне хидрогелове доводи до очувања њихове вијабилности и омогућава њихову лакшу имплементацију у прехранбене производе. Такође, омогућено је и контролисано отпуштање пробиотика током процеса ферментације и у гастро-интестиналним условима. При томе се полази од следећих претпоставки:

- Хитозаном обложени као и необложени калцијум-алгинатни носачи са додатком сурутке и протеина сурутке представљају погодне носаче за инкапсулацију пробиотске стартер културе, као и за заштиту културе у гастро-интестиналном тракту.
- Сурутка у свом саставу садржи витамине растворљиве у води, минерале као и протеине и пептиде који имају позитиван утицај на имуни, кардиоваскуларни, нервни и гастро-интестинални систем, па је пожељна у примени у прехранбеној индустрији.
- Функционални ферментисани напитци на бази сурутке са инкапсулираном културом имају унапређени нутритивни квалитет.
- Предложене методе за инкапсулацију (електростатичка екструзија и спреј-сушење) представљају ефикасне методе за инкапсулацију пробиотске стартер културе, могу се користити и у индустријским размерама.
- Применом инкапсулиране пробиотске стартер културе у припреми ферментисаног напитака на бази сурутке могуће је унапредити процес са аспекта заштите културе током процеса ферментације и чувања производа.
- Одабиром адекватног односа сурутке, алгината и протеина сурутке у припреми носача као и облагањем хитозаном, могуће је утицати на финалне карактеристике добијених честица, у смислу њихове величине, морфологије, механичке стабилности, афинитета културе према носачу као и контролисаног отпуштања ћелија.

4. Научне методе истраживања

У поступку реализације научних резултата, односно предмета и циља истраживања, биће коришћене различите методе. За инкапсулацију пробиотске стартер културе у носаче примениће се методе - електростатичка екструзија и спреј-сушење. Коришћена сурутка и ферментациони медијум биће хемијски и микробиолошки испитани. Поступак припреме хидрогел честица електростатичком екструзијом ће се радити у стерилним условима у ламинарној комори. Површинска морфологија, структура и сферичност система ће бити анализирана применом оптичке и скенирајуће електронске микроскопије (ОМ, СЕМ). Испитивање бубрења хидрогелова ће се радити праћењем промена у запремини узорака, при чему ће се као медијум за бубрење користити пуферски раствори који симулирају рН услове гастро-интестиналног тракта у присуству пепсина, панкреатина и жучних соли. Узорци који ће бити припремани за скенирајућу електронску микроскопију претходно ће бити третираны у лиофилизатору. Присуство веза алгинат-сурутка као и алгинат-сурутка-протеини сурутке ће се анализирати инфрацрвеном спектроскопијом са Фуријеовим трансформацијама (ФТИР). Поменутом спектроскопском методом ће утврђивати и постојање веза и интеракције између носача и ферментационог медијума. Механичке карактеристике система биће

испитиване методом компресије помоћу уређаја AG-X plus Universal Testing Machine, Shimadzu, Japan опремљеног мерном ћелијом од 100N. Ефикасност поступка инкапсулације, преживљавање као и контролисано отпуштање културе пратиће се одређивањем броја живих микроорганизама методом бројања на агарним плочама пре и после као и током процеса ферментације. Такође ће бити извршено праћење способности преживљавања културе и стабилности носача у симулираним условима гастро-интестиналног тракта као и током складиштења производа у одређеном временском периоду. Промене у структури система током поменутих услова биће анализирани помоћу реолошких испитивања на уређају Haake Mars rheometer, Thermo Scientific Karlsruhe, Germany а затим ће се на основу добијених експерименталних резултата одабрати адекватан математички модел којим ће се описати реолошко понашање носача и развијати реокинетички модел.

5. Очекивани научни допринос

По завршетку предложених истраживања може се очекивати следећи научни допринос:

- Оптимизација методе (електростатичке екструзије) за инкапсулацију пробиотске стартер културе уз коришћење различитих односа натријум-алгината, сурутке и протеина сурутке.
- Оптимизација методе (спреј-сушење) у смислу припреме алгинатног носача са додатком сурутке, протеина сурутке, трехалозе и млека са ниским садржајем масти као и варирања процесних параметара.
- Унапређење процеса производње напитака на бази сурутке додатком инкапсулиране пробиотске стартер културе у хитозаном обложене и необложене природне хидрогел носаче у циљу повећања пробиотског карактера производа.
- Избор оптималне методе за добијање природних хидрогел носача са пробиотском стартер културом, узимајући у обзир следеће: ефикасност поступка инкапсулације, величину и остале карактеристике добијених носача, вијабилност културе, једноставност поступка и примене у индустријским условима.
- Нова сазнања о интеракцијама између културе и природних хидрогел носача, као и о утицају ових интеракција на вијабилност и отпуштања културе као и механичку стабилност носача.
- Нова сазнања о утицају ферментационог медијума на бази сурутке и процеса ферментације на механизам бубрења и механичке карактеристике природних хидрогел носача.
- Могућност постизања контролисаног отпуштања културе у гастро-интестиналном тракту при чему се повећава заштита пробиотика унешених у организм.
- Одабир адекватног математичког модела као и развој реокинетичког модела који ће описивати реолошко понашање носача током процеса ферментације и гастро-интестиналних услова.
- Карактеризација носача и сагледавање потенцијала хитозаном обложених и необложених природних хидрогелова за инкапсулацију пробиотске стартер културе као функционалних адитива у прехранбеној индустрији.

6. План истраживања и структура рада

Предмет рада ове докторске дисертације је карактеризација природних хидрогелова за инкапсулацију пробиотске стартер културе и њихова примена у прехранбеној индустрији. Предложена дисертација ће бити сачињена из четири целине: прва целина обухвата припрему природних хидрогел носача (калцијум-алгинат са додатком сурутке и протеина сурутке) са инкапсулираном пробиотском стартер културом применом методе електро-статичке екструзије као и облагање поменутих носача хитозаном; у другој целини испитаће се могућности технике спреј-сушења при чему ће се у току припреме носача додати

трехалоза и млеко са ниским садржајем масти како би се пружила додатна заштита културе током поступка инкапсулације, у трећој целини биће испитана примена ових носача у припреми функционалних ферментисаних напитака на бази сурутке; док ће у четвртој целини бити анализирано преживљавање културе у гастро-интестиналним условима као и реолошка својства носача.

Предвиђено је да докторска дисертација има следећа поглавља: *Увод, Теоријски део, Експериментални део, Резултати и дискусија, Закључак и Литература.*

Поглавље *Увод* обухватиће актуелност проблематике, предмет и циљ истраживања и очекивани допринос дисертације.

Теоријски део обухватиће преглед литературе у оквиру досадашњих истраживања на тему коришћења природних хидрогелова за инкапсулацију ћелија, првенствено пробиотских култура, као и она истраживања која се односе на примену различитих метода за инкапсулацију биоактивних супстанци и ћелија. Такође, биће описан значаја пробиотика, сурутке и протеина сурутке на људско здравље као и примене пробиотских бактерија у производњи хране.

Експериментални део обухватиће:

- Материјал и опрему коришћену током рада;
- Детаљан приказ метода (електростатичка екструзија и спреј-сушење) за припрему природних хидрогелова са инкапсулираном пробиотском стартер културом;
- Опис метода за карактеризацију хидрогелова: величина, површинска морфологија и порозност, ефикасност инкапсулације, механичку стабилност;
- Припрему ферментисаних напитака на бази сурутке са додатком природних хидрогелова са инкапсулираном културом;
- Опис методе за одређивање утицаја процеса ферментације и медијума на бази сурутке на механичка својства носача;
- Опис експеримента за утврђивање утицаја додатка сурутке и протеина сурутке у алгинатне носаче на вијабилност пробиотске стартер културе током процеса ферментације.
- Опис експеримената испитивања преживљавања културе у симулираним гастро-интестиналним условима;
- Испитивање реолошких својства носача са инкапсулираном пробиотском стартер културом.

У поглављу *Резултати и дискусија* биће приказана анализа резултата добијених спроведеним експериментима, као и дискусија добијених резултата. Детаљно ће бити упоређени резултати добијени припремом природних хидрогелова са инкапсулираном стартер културом различитим методама. Добијени системи ће се даље карактерисати, а све у циљу селекције оптималне методе, тј. носача са инкапсулираном културом. Такође, биће дискутован утицај облагања носача као и додатка сурутке и протеина сурутке на ефикасност поступка инкапсулације и вијабилност културе током процеса ферментације и складиштења ферментисаног напитка на бази сурутке. Посебан осврт ће бити на упоређивању резултат добијених реолошким испитивањем као и преживљавање културе у поменутих носачима током симулираних гастро-интестиналних услова. Резултати предложеног истраживања ће се поредити са релевантним резултатима доступним у научној литератури. У складу са тим донеће се закључци о потенцијалној примени обложених и необложених природних хидрогелова са додатком сурутке/протеина сурутке за инкапсулацију пробиотске стартер културе у производњи функционалних напитака и прехранбених производа.

У поглављу *Закључак* на основу извршених експеримената биће сумирани сви добијени резултати.

Поглавље *Литература* ће обухватити наводе цитиране у дисертацији, као и радове проистекле у току рада на докторској дисертацији.

7. Закључак и предлог

На основу изнетих података Комисија сматра да је предложена тема докторске дисертације дипл. инж. Наташе Обрадовић „**Карактеризација и примена природних хидрогелова за инкапсулацију пробиотске стартер културе**“ научно заснована и предлаже Наставно-научном већу Технолошко-металуршког факултета Универзитета у Београду, да је прихвати и одобри израду ове дисертације. За ментора се предлаже проф. др Бранко Бугарски, редовни професор Технолошко-металуршког факултета, Универзитета у Београду. Истраживања у оквиру ове дисертације припадају научној области Технолошко инжењерство, ужа научна област Биохемијско инжењерство и биотехнологија, за коју је Технолошко-металуршки факултет Универзитета у Београду, матична установа.

У Београду, 18.05.2018. г.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

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

.....
др Марица Ракин, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко- металуршки факултет

.....
др Марко Ракин, редовни професор
Универзитета у Београду, Технолошко- металуршки факултет

.....
др Ивана Пајић-Лијаковић, научни саветник
Универзитета у Београду, Технолошко- металуршки факултет

.....
др Виктор Недовић, редовни професор
Универзитета у Београду, Пољопривредни факултет