

ТЕХНОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ НОВИ САД

ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ
кандидата **Сандре Н. Булут**, маг. инж. технологије**I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ**

1. Датум и орган који је именовao комисију
05.03.2021. Наставно-научно веће Технолошког факултета Нови Сад
2. Састав комисије са знаком имена и презимена сваког члана, звања, назива уже научне области за коју је изабран у звање, датума избора у звање и назив факултета, установе у којој је члан комисије запослен:
 - Председник: **др Сунчица Коцић-Танацков**, доцент, Прехрамбено инжењерство, 01.10.2017. године, Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду
 - Ментор: **др Вера Лазих**, редовни професор у пензији, Прехрамбено инжењерство, 08.03.2011. године, Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду
 - Члан: **др Сенка Поповић**, доцент, Прехрамбено инжењерство, 13.07.2017. године, Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду
 - Члан: **др Лидија Петровић**, ванредни професор, Фармацеутско инжењерство, 21.04.2016. године, Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду
 - Члан: **др Тања Петровић**, ванредни професор, Наука о конзервацији, 14.03.2017. године, Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме:
Сандра, Новица, Булут
2. Датум рођења, општина, држава:
28.11.1990., Чапљина, Босна и Херцеговина
3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив
Технолошки факултет Нови Сад, Фармацеутско инжењерство, мастер инжењер технологије
4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија
2014. година, Прехрамбено инжењерство
5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:
/
6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:
/

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Истраживање добијања, карактеризација и оптимизација својстава активног, биоразградивог, амбалажног материјала на бази погаче уљане тикве голице

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Докторска дисертација маг. инж. Сандре Булут је написана на српском језику, ћириличним писмом, на 214 страна А4 формата, са 61 сликом, 24 табеле и 318 литературних навода.

Садржај дисертације подељен је у 7 поглавља на следећи начин:

1. Увод (стр. 1-6)
2. Преглед литературе (стр. 7-60, 12 слика, 3 табеле)
3. Експериментални део (стр. 61-90, 5 слика, 4 табеле)
4. Резултати и дискусија (стр. 91-171, 44 слике, 17 табела)
5. Закључци (стр. 172-177)
6. Литература (стр. 178-200)
7. Прилози (стр. 201-214)

Дисертацију чине и Кључна документацијска информација са сажетком на српском и енглеском језику.

V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У *Уводу* докторске дисертације указано је на значај амбалаже са аспекта њене широке примене, као и са еколошког аспекта утицаја амбалаже на животну средину. Посебна пажња је усмерена на полимерне амбалажне материјале, једне од најзаступљенијих материјала у светској индустрији амбалаже, на њихове предности али и на недостатке, као што је добијање из необновљивих извора, неразградивост и оптерећење животне средине, током производње а посебно након употребе. Након тога, акценат је био на биополимерним амбалажним материјалима, као могућој алтернативи, и једно од могућих решења глобалних проблема употребе синтетских полимера. Посебан осврт је био на композитним филмовима добијеним из нуспроизвода агроиндустрије, у циљу искоришћења органског агро-отпада. Као вредна сировина за добијање биополимерних амбалажних материјала, истакнута је погаче уљане тикве голице, нуспроизвод индустрије уља, богата протеинима, угљеним хидратима, уљима, сировим влакнима и другим компонентама. Указано је на позитивна својства биополимерних амбалажних материјала, посебно у виду форме активних материјала, који су носачи различитих активних једињења. Обзиром на све већу потребу за природним адитивима, нагласак је био на примени етарских уља за добијање активних амбалажних материјала. У наставку је осврт био на значају инкапсулације и β -циклодекстрина, у циљу заштите етарских уља и других активних компоненти од различитих фактора, посебно услова добијања и припреме биополимерних амбалажних материјала. У уводном делу јасно је дефинисан **циљ** докторске дисертације, који представља развој и карактеризацију активних, биополимерних композитних филмова на бази погаче уљане тикве голице, а кога чине пет специфичних циљева.

Преглед литературе обухвата научно доказане чињенице и стручна знања из области истраживања докторске дисертације, које су систематизоване у шест целина према тематици коју обрађују. У оквиру прве целине, *Амбалажа и животна средина*, истакнут је значај и улога амбалаже, полимерних амбалажних материјала, њихова примена, предности и недостаци. У другој целини, *Биополимерни амбалажни материјали*, указано је на значај биополимера и биополимерних амбалажних материјала, дата је њихова подела, добијање и карактеризација. Акценат је стављен на композитне биополимерне материјале добијене из нуспроизвода агроиндустрије, а посебна пажња је посвећена биополимерним композитним амбалажним материјалима на бази погаче уљане тикве голице која је детаљно обрађена у трећој целини, *Биополимерни амбалажни материјали на бази погаче уљане тикве голице*. У четвртој целини, *Активни биополимерни амбалажни материјали*, дата је дефиниција, подела и примена активне амбалаже, док је у петој целини, *Примена етарских уља код добијања активних биополимерних амбалажних материјала*, преглед литературе био усмерен на етарска уља, њихов значај, својства, примену и могућност њиховог инкорпорирања у биополимерне материјале, у циљу добијања активних својстава. Дати су недостаци директне примене етарских уља као адитива у прехранбеној индустрији, и могућност решавања ових проблема њиховим инкорпорирањем у амбалажне материјале. Посебан осврт је био на етарска уља ртањског чаја, *Satureja montana* L. и босиљка, *Ocimum basilicum* L., који су представљали основну сировину, поред погаче уљане тикве голице, за израду докторске дисертације. У последњој, шестој целини, *Примена инкапсулације и β -циклодекстрина код добијања активних биополимерних амбалажних материјала*, указано је на значај и циљ инкапсулације, дат је преглед техника инкапсулације, где је посебна пажња била усмерена на молекуларну инклузију применом β -циклодекстрина, механизам формирања инклузионог комплекса, и примена инклузионог комплекса у прехранбеној индустрији и за добијање активних амбалажних материјала.

У **Експерименталном делу** докторске дисертације наведене су коришћене сировине и њихово порекло, хемикалије и реагенси, јасно су дефинисани задаци експерименталног рада на основу постављених циљева докторске дисертације, и дат је детаљан план експерименталног рада са означеним корацима. Задаци експерименталних истраживања подељени су у пет целина. Прва целина обухватала карактеризацију етарских уља *S. montana* и *O. basilicum*, у виду одређивања њиховог хемијског састава, структурних и биолошких особина. Друга целина је обухватала добијање, оптимизацију и карактеризацију активних филмова на бази погаче уљане тикве голице и етарског уља *S. montana* или *O. basilicum*. Оптимизација је извршена додатком различитих концентрација етарских уља у филмогене суспензије, а карактеризација добијених активних биополимерних филмова обухватила је одређивање физичко-механичких, физичко-хемијских, баријерних, структурних и биолошких особина. Трећа целина је обухватала добијање и оптимизацију инклузионог комплекса, применом различитих односа етарског уља *S. montana* и β -циклодекстрина, и различитих поступака сушења добијених инклузионог комплекса, као и њихову карактеризацију одређивањем ефикасности инкапсулације и структурних особина. У четвртој целини експерименталног истраживања, испитана је могућност добијања активних филмова на бази погаче уљане тикве голице и различитих концентрација инклузионог комплекса. Паралелно су произведени филмови на бази погаче уљане тикве голице са додатком чистог етарског уља, у истим концентрацијама, ради лакшег поређења утицаја додатних активних једињења на добијене филмове, и могућег доприноса инкорпорирања инклузионог комплекса у биополимерне филмове. Карактеризација је испитана одређивањем физичко-механичких, физичко-хемијских, баријерних, структурних особина и антиоксидативне активности добијених филмова. У последњој целини експерименталног дела описан је поступак одређивања миграције, отпуштања карвакрола и тимола из биополимерних амбалажних материјала на бази погаче уљане тикве голице, зеина, хитозана, скроба и желатина, са етарским уљем *S. montana* или инклузионом комплексом, у различите модел растворе (96 % етанол, 10 % етанол, дестилована вода, 3 % сирћетна киселина), у циљу одређивања њихове примене као

носача активних једињења.

Добијени резултати реализованих експерименталних задатака, заједно са њиховом дискусијом, дати су у поглављу **Резултати и дискусија**. Ово поглавље подељено је у пет целина у складу са постављеним циљевима и експерименталним задацима докторске дисертације. У првој целини, *Карактеризација етарских уља S. montana и O. basilicum*, дати су резултати добијени у оквиру одређивања хемијског састава, структурних особина, укупног садржаја фенола, антиоксидативне и антибактеријске активности поменутих етарских уља, у различитим концентрацијама коришћеним за добијање активних амбалажних материјала. У другој целини, *Карактеризација активних биополимерних филмова на бази погаче уљане тикве голице и етарског уља S. montana или O. basilicum*, представљени су и продискутовани добијени резултати утицаја додатка различитих концентрација етарских уља на физичко-механичке, физичко-хемијске, баријерне, структурне и биолошке особине добијених филмова на бази погаче уљане тикве голице. У трећој целини, *Карактеризација инклузионог комплекса β -циклодекстрин/етарско уље S. montana*, одређена је ефикасност инкапсулације и структурне особине добијених инклузионих комплекса. Применом статистичких података и математичког модела дат је утицај различитих параметара (однос етарског уља *S. montana* и β -циклодекстрина и поступак сушења, за добијање инклузионих комплекса, као и коришћени растварач за одређивање ефикасности инкапсулације), на добијене вредности ефикасности инкапсулације. На основу добијених резултата, статистичке обраде података и математичког модела, изабран је инклузиони комплекс оптималних својстава, за даља испитивања. У четвртој целини, *Карактеризација активних биополимерних филмова на бази погаче уљане тикве голице и инклузионог комплекса*, резултати су обухватили утицај додатка инклузионог комплекса у различитим концентрацијама на физичко-механичке, физичко-хемијске, баријерне, структурне особине и антиоксидативну активност филмова на бази погаче уљане тикве голице. Поређењем са резултатима добијеним за филмове на бази погаче уљане тикве голице са чистим етарским уљем, у истим концентрацијама, указано је на допринос инклузионог комплекса код добијања активних биополимерних амбалажних материјала. У последњој, петој целини, *Миграција карвакрола и тимола из биополимерних активних филмова са етарским уљем S. montana или инклузионим комплексом у модел растворе*, дати су резултати садржаја отпуштеног карвакрола и тимола из различитих биополимерних композитних, полисахаридних и протеинских филмова (на бази погаче уљане тикве голице, зеина, хитозана, скроба и желатина), са етарским уљем *S. montana* или инклузионим комплексом, у различите модел растворе, симулаторе прехранбених намирница. Применом математичког модела вештачке неуронске мреже, дат је модел могућности предвиђања миграције карвакрола и тимола из различитих биополимерних филмова у модел растворе, у функцији врсте биополимерног филма и коришћеног симулатора хране, као и релативни значај утицајних параметара на миграцију карвакрола и тимола.

У поглављу **Закључци**, јасно и концизно су изведени закључци на основу анализе, тумачења и дискусије добијених експерименталних резултата докторске дисертације. Закључци се могу сматрати поузданим и одговарајућим постављеном циљу дисертације.

Поглавље **Литература** садржи 317 литературних навода. Избор литературе је актуелан и примеран тематици која је проучавана, а референце су цитиране на адекватан и правилан начин.

Поред наведених поглавља дисертацију чине и Кључна документацијска информација са сажетком на српском и енглеском језику, Садржај, Списак скраћеница, Списак табела, Списак слика и План третмана података.

VI СПИСАК НАУЧНИХ И СТРУЧНИХ РАДОВА КОЈИ СУ ОБЈАВЉЕНИ ИЛИ ПРИХВАЋЕНИ ЗА ОБЈАВЉИВАЊЕ НА ОСНОВУ РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА У ОКВИРУ РАДА НА ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ

M23

- Bulut, S., Popović, S., Hromiš, N., Šuput, D., Lazić, V., Kocić-Tanackov, S., Dimić, G., Kravić, S. (2020). Antibacterial activity of biopolymer composite materials obtained from pumpkin oil cake and winter savory or basil essential oil against various pathogenic bacteria. *Journal of Food and Nutrition Research*, 59 (3), 250-258.
- Bulut, S., Popović, S., Hromiš, N., Šuput, D., Adamović, D., Lazić, V. (2020) Incorporation of essential oils into pumpkin oil cake-based materials in order to improve their properties and reduce water sensitivity. *Hemijska industrija*, 74 (5), 313-325.

M33

- Bulut, S., Lazić, V., Popović, S., Hromiš, N., Šuput, D., Malbaša, R., Vitas, J. (2018). Influence of surfactant Tween 20 on antioxidant activity of biopolymer films. 4th International Congress „Food Technology, Quality and Safety“ and 18th International Symposium „Feed Technology“ (FoodTech2018), 23-25. October, Novi Sad, 122-127.

M34

- Bulut, S., Popović, S., Hromiš, N., Šuput, D., Lazić, V. (2019). Properties of biopolymer film with essential oils. *Book of abstracts 1st International Conference on Advanced Production and Processing – ICAPP*,

- Bulut, S., Lazić, V., Popović, S., Hromiš, N., Šuput, D. (2016). Influence of different concentrations of glycerol and guar-xanthan on properties of biopolymer composite film. Book of abstracts of The International Bioscience Conference and the 6th International PSU-UNS Bioscience Conference – IBSC 2016, 19-21 September, Novi Sad, 337.

M51

- Bulut, S., Popović, S., Hromiš, N., Šuput, D., Malbaša, R., Vitas, J., Lazić, V. (2019). Incorporation of essential oils into biopolymer films based on pumpkin oil cake in order to improve their antioxidant activity. Journal on Processing and Energy in Agriculture, 23 (4), 162-166.

M64

- Bulut, S., Lazić, V., Popović, S., Hromiš, N., Šuput, D., Malbaša, R., Vitas, J. (2019). Antioxidant activity of biopolymer films based on pumpkin oil cake and essential oils. 6th International Conference Sustainable Postharvest and Food Technologies – INOPTER 2019, 07-12 April, Kladovo, Serbia, 33-34.
- Bulut, S., Hromiš, N., Šuput, D., Lazić, V. (2016). Physico-mechanical and structural properties of biodegradable biofilms based on pumpkin oil cake. Book of Abstracts of Fourth Conference of Young Chemists of Serbia, 5. November, Belgrade, 82.

VII ZAKЉUČCI OДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

На основу реализованих циљева докторске дисертације, добијених и продискутованих резултата, могу се извести следећи закључци:

- У етарском уљу ртањског чаја, *Satureja montana* L., идентификовано је 35 компоненти међу којима је карвакрол са релативним уделом од 47,69 %, представљао основно и најзаступљеније једињење. У већем проценту су били заступљени и *p*-цимен (27,41 %) и γ -терпинен (7,36 %), па је на основу хемијског састава закључено да етарско уље припада фенолном-карвакрол хемотипу. Структурна својства етарског уља *S. montana* потврдила су присуство доминантних једињења, карвакрол и *p*-цимен, поређењем карактеристичних пикова добијених на FTIR спектру. Одређивањем укупног садржаја фенола у етарском уљу, забележен је висок садржај фенола већ при концентрацији од 1 % етарског уља (12,55 mg GK/mL), а са повећањем концентрације (2-5 %) повећао се и садржај фенола у уљу. Способност неутрализације DPPH радикала је била оптимална већ при концентрацији од 1 % (76,32 %), док су веће концентрације (2-5 %) показале активност већу од 90 % ($p > 0,05$). Етарско уље *S. montana*, показало је и значајну редуccionу моћ у свим испитиваним концентрацијама, која је при концентрацији од 1 % етарског уља износила 0,94, а при концентрацији од 2 %, 1,19. Код концентрација већих од 2 % добијене апсорбанце су биле ван опсега. Забележена је и слаба активност неутрализације ОН радикала (око 40 %) за све испитиване концентрације етарског уља. Испитивање антибактеријске активности етарског уља *S. montana* указало је на широк спектар деловања овог етарског уља у концентрацијама већим од 3 %, и показало активност према испитиваним грам-позитивним (*L. monocytogenes*, *S. aureus*, *B. cereus*) и грам-негативним (*E. coli*, *S. Enteritidis*) бактеријама. Најосетљивија бактерија била је *B. cereus*, где је добијена зона инхибиције етарског уља у концентрацији од 5 % била 23 mm, а најмање осетљива бактерија *L. monocytogenes*, где је добијена зона инхибиције етарског уља у концентрацији од 5 % била 10 mm. Претпоставља се да је за оптимална биолошка својства етарског уља *S. montana* одговоран највише карвакрол, али и друге компоненте етарског уља које, услед синергистичког деловања, доприносе његовој активности.

- У етарском уљу босиљка, *Ocimum basilicum* L., идентификована је 51 компонента међу којима је линалол најзаступљенија компонентом са релативним уделом од 43,69 %. Све остале појединачне компоненте биле су присутне у врло малом проценту, мањем од 5 %, а највећи број њих у уделу мањем од 2 %. На основу одређеног хемијског састава закључено је да етарско уље *O. basilicum* припада линалолском хемотипу (хемотип А). Структурна својства етарског уља *O. basilicum* потврдила су присуство најдоминантнијег једињења, линалола, појавом карактеристичних пикова на FTIR спектру. У поређењу са етарским уљем *S. montana*, етарско уље *O. basilicum* је имало значајно нижи садржај фенола, што је утицало и на његову биолошку активност. Добијена је оптимална антиоксидативна активност у виду способности неутрализације DPPH радикала (од 44,37 %, за етарско уље у концентрацији од 1 %, до 91,94 %, за етарско уље у концентрацији од 5 %) и редуccionе моћи (од 0,22, за етарско уље у концентрацији од 1 %, до 0,59 за етарско уље у концентрацији од 5 %), док је приликом одређивања способности неутрализације ОН радикала, етарско уље *O. basilicum* показало про-оксидативну активност у свим испитиваним концентрацијама (1 – 5 %).

- Додатком етарског уља *S. montana* или *O. basilicum* у биополимерне амбалажне материјале на бази погаче улане тикве голице, запажа се њихов значајан утицај на особине добијених филмова. Добијени филмови су имали примесе жућкасте нијансе и јаког ароматичног мириса на етарска уља. Веће концентрације

довеле су до појаве нехомогене површине филма, услед лошије емулзификације, али без видљивих пора или пукотина. Дебљина филмова на бази погаче уљане тикве голице је повећана са додатком етарских уља, док је дошло до слабљења механичких особина филмова, односно до смањења затезне јачине за око 70 %, и издужења при кидању, за око 50 %. За разлику од физичко-механичких особина, додаток етарских уља *S. montana* и *O. basilicum* у биополимерне амбалажне материјале на бази погаче уљане тикве голице, побољшало је физичко-хемијска и баријерна својства, добијених биополимерних филмова. Бубрење филмова у води је значајно смањено и до 28 % након додатка 5 % етарског уља *S. montana*, односно и до 37 % након додатка 5 % етарског уља *O. basilicum* ($p < 0,05$), док је запажено и слабије смањење садржаја воде и укупне растворљивости. Брзина пропустљивости водене паре кроз филмове је смањена за око 30 %. Добијени резултати су указали на повећање хидрофобности биополимерних филмова са додатком липофилних етарских уља са јаким хидрофобним карактером, односно на смањење осетљивости биополимерних филмова на влагу, воду и водену пару. Смањење хидрофилног карактера филмова потврђено је и применом FTIR спектроскопије, услед повећања апсорпције пикова карактеристичних за хидрофобне групе у филму, односно смањење апсорпције пикова карактеристичних за хидрофилне групе у филму. Поред побољшања баријерних својстава филмова према воденој пари, са додатком етарских уља *S. montana* и *O. basilicum*, побољшана су и баријерна својства према UV и VIS светлости. Након додатка етарских уља у биополимерне филмове, дошло је до благог пораст способности неутрализације слободних радикала (DPPH и OH) добијених филмова, при чему је нестао про-оксидативни ефекат самог етарског уља *O. basilicum*. Запажен је и значајни пораста редукционе моћи, и до 63 % након додатка 5 % етарског уља *S. montana*, и до 33 % након додатка 5 % етарског уља *O. basilicum* филмова на бази погаче уљане тикве голице. Додатак етарског уља *S. montana*, у концентрацијама већим од 3 %, значајно је побољшало антибактеријску активност биополимерног филма на бази погаче уљане тикве голице, према различитим грам-позитивним (*L. monocytogenes*, *S. aureus*, *B. cereus*) и грам-негативним (*E. coli*, *S. Enteritidis*) бактеријама. Најосетљивије бактерије биле су *S. Enteritidis*, *B. cereus* и *S. aureus*, где су добијене зоне инхибиције филмова на бази погаче уљане тикве голице са 5 % етарског уља, биле 22 mm, 18,5 mm и 17,5 mm, редом, док су најмање осетљиве бактерије биле *E. coli* и *L. monocytogenes*, код којих су добијене зоне инхибиције истих филмова биле 13 mm. За разлику од етарског уља *S. montana*, додаток етарског уља *O. basilicum* у биополимерне филмове на бази погаче уљане тикве голице, није показао допринос на антибактеријску активност филма.

- Етарско уље *S. montana* је успешно инкапсулирано у β -циклодекстрин, при чему је дошло до формирања инклузионог комплекса при сва три испитана односа етарског уља и β -циклодекстрина (10:90; 15:85; 20:80), код оба поступка сушења (сушница, лиофилизација). Добијени инклузиони комплекси су кристалног, ромбоидног облика, са потпуно различитом морфологијом и значајно мањим пречником честица у поређењу са самим β -циклодекстрином. Настале промене у карактеристичним тракама на FTIR спектру, нестајање, ширење и варијације у интезитету пика, указују на успешно формирање инклузионог комплекса. Однос етарског уља *S. montana* и β -циклодекстрина - 10:90 и сушење у лиофилизатору дало је инклузиони комплекс са највећим процентом ефикасности инкапсулације (88,3 %).

- Додатак инклузионог комплекса у биополимерне амбалажне материјале на бази погаче уљане тикве голице, у концентрацијама 1 % и 2 %, значајно је утицало на особине филмова. Дебљина филмова је значајно повећана, док је код механичких особина затезна јачина значајно повећана и до 55 % код активних филмова са 15 % глицерола, односно и до 35 % код активних филмова са 30 % глицерола, а издужење при кидању значајно смањено и до 95 % код филмова са обе испитиване концентрације глицерола ($p < 0,05$). Као и код додатка чистих етарских уља, физичко-хемијске особине и баријерна својства су значајно побољшана. Осетљивост филмова на влагу, воду и водену пару је смањена, а поређењем са филмовима са чистим етарским уљима, добијено је веће смањење осетљивости, односно мањи садржај воде, мање бубрење у води и мања пропустљивост водене паре за скоро 60 %. Додатком инклузионог комплекса у филмове дошло је до смањења трансмисије светлости филма на бази погаче уљане тикве голице и за 98 % у видљивом делу спектра. FTIR спектри су потврдили присуство инклузионог комплекса у филмовима и нових насталих веза између инклузионог комплекса и компоненти филма. Антиоксидативна активност самог инклузионог комплекса, у виду способности неутрализације DPPH радикала, била је упоредива са антиоксидативном активношћу чистог етарског уља. Постигнуто је и значајно повећање способности неутрализације DPPH радикала активних филмова на бази погаче уљане тикве голице, након додатка 2 % инклузионог комплекса ($p < 0,05$). Поред повећања активности контролног филма, запажена је и значајно већа антиоксидативна активност филма са инклузионом комплексом у поређењу са активношћу филма са чистим етарским уљем у истој концентрацији (2 %). Ови резултати указују на заштиту етарског уља од различитих фактора, њиховим инкорпорирањем у инклузиони комплекс на бази β -циклодекстрина. Такође, указују на могућност добијања активних амбалажних материјала са β -циклодекстрина/етарско уље *S. montana* инклузионом комплексом, што је довело до повећања антиоксидативне активности ових биополимерних филмова.

- Резултати миграције карвакрола су показали да је његов највећи садржај био у модел растворима етанола (96 % и 10 %), обзиром на његову хидрофобну природу и бољу растворљивост у органским растворачима. Већи садржај отпуштеног карвакрола, у сва 4 симулатора хране, имали су филмови са 1 % чистог етарског уља у поређењу са филмовима са додатком 1 % инклузионог комплекса. Ови резултати могу да укажу на чињеницу да није дошло до потпуног отпуштања-миграције карвакрола из инклузионог комплекса у модел растворе, услед заштићености фенолних компоненти етарског уља инкапсулирањем у

инклузиони комплекс, и јаких веза између инклузионог комплекса и биополимерних филмова, па је након инкорпорирања инклузионог комплекса у биополимерне филмове миграција карвакрола била још више отежана. Највећи садржај отпуштеног карвакрола, код сва 4 симулатора прехранбених намирница, добијен је код хитозанских филмова са 1 % етарског уља, који су током анализе највише бубрили у испитиваним модел растворима, чиме је омогућено и лакше мигрирање инкорпорираних активних једињења. Добијени резултати указују на успешно инкапсулирање етарског уља *S. montana* у β -циклодекстрин, и могућност добијања различитих биополимерних амбалажних материјали са додатком инклузионог комплекса β -циклодекстрина и етарског уља *S. montana*. Ови активни биополимерни амбалажни материјали би могли да имају потенцијалну примену као носачи инклузионог комплекса у циљу постизања споријег отпуштања активне компоненте у контакту са производом. Резултати миграције тимола су показали да је садржај отпуштеног тимола у сва четири модел раствора, код свих биополимерних филмова био значајно мањи у поређењу са добијеним вредностима карвакрола, обзиром на његов мањи релативни удео (0,15 %) код испитиваног етарског уља. Као и код карвакрола, највећи садржај отпуштеног тимола забележен је у модел растворима етанола (96 % и 10 %), док код дестиловане воде и 3 % сирћетне киселине, код већине испитиваних филмова, садржај отпуштеног тимола није забележен. За разлику од садржаја отпуштеног карвакрола, у случају тимола биополимерни филмови на бази погаче уљане тикве голице, скроба и хитозана са 1 % инклузионог комплекса показали су веће вредности садржаја отпуштеног тимола у поређењу са филмовима са 1 % етарског уља. Ови резултати можда могу да укажу на слабију могућност инкапсулације тимола у инклузиони комплекс, у поређењу са карвакролом, односно на већи афинитет β -циклодекстрина према карвакролу, што је довело до лакше миграције тимола у испитиване модел растворе.

• На основу добијених и продискутованих резултата, генерално се може закључити да се погача уљане тикве голице може успешно користити за добијање активног, биоразградивог амбалажног материјала са потенцијалом примене у прехранбеној индустрији. Добијени резултати представљају допринос науци али и добру основа за бројне правце будућих истраживања.

VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

Кандидат маг. инж. Сандра Булут је успешно и у целости обавила истраживања предвиђена планом датим у пријави ове докторске дисертације. Приказ резултата докторске дисертације подељен је у јасно конципиране делове, у складу са дефинисаним циљевима. Резултати испитивања проистекли су из реализованих лабораторијских експеримената, обрађени су рачунски и статистички, а приказани табеларно и графички. Дискусија добијених резултата заснована је на поређењу са резултатима објављеним у савременој литератури из ове научне области и проблематике докторске дисертације. На основу тумачења добијених резултата изведени су одговарајући закључци. Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.

IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме

Докторска дисертација је написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.

2. Да ли дисертација садржи све битне елементе

Докторска дисертација садржи све битне елементе.

3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци

Докторска дисертација представља оригиналан допринос науци у области биополимерних амбалажних материјала, посебно активних амбалажних материјала. Оптимизацијом састава филмогене суспензије погаче уљане тикве голице, варирањем додате концентрације етарских уља, добијени су активни филмови са оптималним својствима, посебно побољшаним баријерним својствима према пропустљивости водене паре и светлости, и смањеном осетљивошћу филмова према влаги, води и воденој пари у поређењу са филмовима на бази погаче уљане тикве голице без додатних етарских уља. Након додатка етарских уља, постигнут је и допринос у побољшању биолошке активности, антиоксидативне и антибактеријске активности филмова на бази погаче уљане тикве голице. Развој активних биополимерних амбалажних филмова на бази погаче уљане тикве голице са инклузионим комплексом, представља још један значајан допринос у области науке о биополимерним амбалажним материјалима. Оптимизацијом састава филмогене суспензије погаче уљане тикве голице, варирањем додате концентрације инклузионог комплекса, дало је додатни допринос код смањења осетљивости филмова према влаги, води и воденој пари, као и побољшања баријерних својстава и повећања њихове антиоксидативне активности, у односу на филмове без додатних активних једињења али и у поређењу са филмовима са додатком самих етарских уља у истој концентрацији. Инклузиони комплекс је омогућио очување фенолних компоненти етарског уља, а његов додаток у различите биополимерне материјале, смањио је миграцију активних фенолних једињења у различите модел растворе.

4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања

Недостаци докторске дисертације нису уочени.

X ПРЕДЛОГ:

Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију маг. инж. Сандре Н. Булут, под насловом: „Истраживање добијања, карактеризација и оптимизација својстава активног, биоразградивог, амбалажног материјала на бази погаче уљане тикве голице“ и са задовољством предлаже да се докторска дисертација прихвати, а кандидаткињи одобри одбрана.

др Сунчица Коцић-Танацков, доцент, председник
Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом
Саду

др Вера Лазић, редовни професор у пензији, ментор
Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом
Саду

др Сенка Поповић, доцент, члан
Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом
Саду

др Лидија Петровић, ванредни професор, члан
Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом
Саду

др Тања Петровић, ванредни професор, члан
Пољопривредни факултет, Универзитет у Београду