

## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

<b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b>
<p>1. Датум и орган који је именовео комисију</p> <p>На 23. електронској седници Наставно-научног већа Технолошког факултета Нови Сад (период одржавања 11.04.2022.) именована је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата маг. инж. технол. Јелене Перовић под насловом „Развој новог безглутенског функционалног флипс производа обогаћеног кореном цикорије (<i>Cichorium intybus</i> L.)”.</p>
<p>2. Састав комисије са назнаком 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:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- др Александар Фиштеш, Редовни професор, Прехрамбено инжењерство, 25.02.2020. године, запослен на Технолошком факултету Нови Сад, Универзитет у Новом Саду, председник комисије;</li><li>- др Весна Тумбас Шапоњац, Ванредни професор, Технолошко-инжењерске хемије, 01.08.2017. године, запослена на Технолошком факултету Нови Сад, Универзитет у Новом Саду, ментор;</li><li>- др Јована Којић, Научни сарадник, Квалитет и безбедност хране биљног порекла, 30.09.2019. године, запослена на Научном институту за прехрамбене технологије у Новом Саду, Универзитет у Новом Саду, члан комисије;</li><li>- др Борис Поповић, Редовни професор, Хемија и биохемија, 28.02.2019. године, запослен на Пољопривредном факултету, Универзитет у Новом Саду, члан комисије;</li><li>- др Предраг Којић, Доцент, Хемијско инжењерство, 10.09.2021. године, запослен на Технолошком факултету Нови Сад, Универзитет у Новом Саду, члан комисије;</li></ul>
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>
<p>1. Име, име једног родитеља, презиме: <b>Јелена, Неђо, Перовић</b></p>
<p>2. Датум рођења, општина, држава: <b>16.06.1993. године, Врбас, Република Србија</b></p>

<p>3. Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив  <b>Технолошки факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду, Прехрамбено инжењерство, Контрола квалитета, мастер инжењер технологије.</b></p>
<p>4. Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија  <b>2017.година, Прехрамбено инжењерство</b></p>
<p>5. Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране:  /</p>
<p>6. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:</p>
<p><b>III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b></p> <p><b>„Развој новог безглутенског функционалног флипс производа оплемењеног кореном цикорије (<i>Cichorium intybus</i> L.)“</b></p>
<p><b>IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>  Навести кратак садржај са назнаком броја страна, поглавља, слика, шема, графикона и сл.</p>
<p>Докторска дисертација је написана на српском језику, латиничним писмом на 218 странице А4 формата, са 71 сликом, 57 табела и 415 литературних навода.  Кључна документацијска информација је написана на српском и енглеском језику и приложена је након насловне стране.  Списак поглавља:  1. Увод (стр. 1-4)  2. Преглед литературе (стр. 5-42)  3. Материјали и методе (стр. 43-66)  4. Резултати и дискусија (стр. 67-170)  5. Закључци (стр. 171-178)  6. Литература (стр. 179-206)  7. Прилози (стр. 207-218)</p>

## **V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:**

У поглављу **Увод** ауторка приказује потребе тржишта за иновативним прехранбеним производима. Штавише, износи дефиницију функционалне хране и наглашава важност процеса екструдирања у креирању здравих флипс производа. Надаље, ауторка посебно наглашава важност цикорије као сировине која је носилац функционалности и садржи различита биоактивна једињења (инулин, сесквитерпенске лактоне, полифенолна једињења, метале и минерала и других). Ово поглавље сумира циљеве докторске дисертације који се односе на развој новог прехранбеног производа, његову карактеризацију, испитивање утицаја процеса производње на особине финалних производа применом два математичка модела (модел вештачке неуронске мреже и регресиони модел типа убрзаног стабла), развој и валидацију HPLC-ELSD методе за детекцију и квантификацију инулина као и оптимизацију процеса производње за добијање производа жељених карактеристика.

У делу **Преглед литературе** детаљно је приказана нутритивна и здравствена значајност цикорије, ботаничка класификација ове биљне врсте, историјат ширења и примене цикорије. Посебна пажња је посвећена корену ове биљке, његовом нутритивном саставу, значајности инулина кога садржи у великом проценту (и до 45% суве материје) као и примени инулина у прехранбеној индустрији. Дат је детаљан приказ досадашње имплементације инулина у најразличитије прехранбене производе, као и његова функција у истим (заменавач масти и/или шећера, модификатор текстуре, функционални састојак и друго). Штавише, ауторка сумира функционална дејства инулина истичући утицај на метаболизам липида, стимулацију имуног система, бифидогени ефекат, подстицање апсорпције магнезијума, калцијума и гвожђа, подстицање апетита и друго. У научној литератури посвећеној медицинским ефектима инулина, најчешће се испитује ефекат овог једињења на дијабетес метилус типа 2 (Т2ДМ). Наиме, инулин као пребиотик има позитиван утицај на цревну микрофлору, и подстиче пролиферацију цревних бактерија. На тај начин се подстиче заштита од колонизације патогених микроорганизама у цревном тракту. Инулин утиче на настанак масних киселина кратких ланаца које повећавају осетљивост на инсулин, смањује апоптозу (програмирану смрт ћелије без запаљења)  $\beta$  ћелија. Ауторка потом истиче важност корена цикорије у исхрани људи, као главног извора сесквитерпенских лактона, секундарних метаболита биљке одговорних за антиоксидативну, анти-инфламаторну, цитотоксичну, и многе друге активности. У даљем тексту овог поглавља представљен је преглед литературе посвећен садржају метала и минерала у корену цикорије, истичући ову сировину богатијом у погледу садржаја фосфора, сумпора, магнезијума, натријума, бакра и цинка, у односу на неке друге ливадске биљке попут беле детелине или љуља. Цикорија или поједини делови ове биљке били су предмет истраживања многобројних научних и клиничких студија са циљем дефинисања једињења одговорних за одређене биоактивности које испољава ова биљка. У том светлу, дат је свеобухватни табеларни приказ прегледа доступне научне литературе са елементима здравствених ефеката цикорије, делова биљке одговорних за ове ефекте, као и једињења заслужна за наведене биоактивности. Важно је напоменути да постоје здравствене тврдње које се односе на употребу цикорије у људској исхрани. Сходно томе, Управа за храну и лекове доделила је екстракту цикорије, као и инулину из корена цикорије, статус безбедних сировина. Показано је да екстракт цикорије није токсичан и није мутаген. Ауторка даје увид у тренутну и потенцијалну примену корена цикорије у производима за људску исхрану. У даљем делу овог поглавља испитан је пиринач и потенцијал брашна ове сировине за креирање безглутенских екструдираних производа, наглашавајући пиринчано брашно одличном основом за имплементацију других сировина са потенцијалном функционалношћу чиме би се формулисали иновативни прехранбени производи. У наставку су представљене предности и недостаци процеса екструдирања, типова производа који се могу формирати применом процеса екструдирања, и функција екстудирања у настанку иновативних прехранбених производа. Штавише, дат је сумаран приказ промена природних компонената током екстудирања (промене протеина, липида, шећера, влакана, скроба, инулина, сесквитерпенских лактона и многих других). Посебну пажњу ауторка посвећује двопужним екструдерима као и њиховој примени у обради иновативних биљних сировина, попут брашна корена и ризома кромпира, батата, јама, чичоке и других.

Поред свега горенаведеног, преглед литературе обухватио је и примену математичког моделовања у прехранбеној индустрији, са посебним акцентом на поређење модела вештачке неуронске мреже, анализе одзивне површине и регресионог модела типа убрзаног стабла, сумирајући

предности и недостатке сваког од поменутих модела, након чега је одлучено који модели ће бити примењени у дефинисању утицаја параметара екструдирања на особине финалних производа.

Поглавље **Материјали и методе** даје информације о постројењима и лабораторијама у којима је извршена производња филс производа, као и карактеризација истих. Описан је примењени дизајн на основу кога су генерисани услови процеса производње као и сам поступак екструдирања. Дате су информације о полазним сировинама (пиринчаном брашну и корену цикорије), као и хемикалијама коришћеним у анализама. Описане су методе примењене за одређивање хемијског састава полазних сировина, експанзије, насипне масе, густине и запремине екструдата, порозности, параметара боје, текстурних карактеристика, реолошких особина, топлотних карактеристика, садржаја резистентног скроба, садржаја сесквитерпенских лактона, инулина, полифенолних једињења, метала и минерала, антиоксидативне активности и редукционе способности, као и сензорских карактеристика. Посебна пажња посвећена је развоју и валидацији хроматографске методе за детекцију и квантификацију инулина. Поред тога описан је и поступак оптимизација спроведених у оквиру ове дисертације, са циљем дефинисања оптималних услова производње неопходних за добијање производа жељених карактеристика.

У делу **Резултати и дискусија** ауторка прегледно и адекватно дискутује добијене резултате. Резултати су приказани методолошки коректно, кроз одговарајуће табеле и слике. Сваки од испитиваних параметара коментарисан је у погледу утицаја процесних параметара екструдирања (садржаја влаге, брзине обртања пужнице и удела корена цикорије) на понашање вредности параметра (порастан или смањење вредности параметра). Дефинисане вредности параметара и образложени утицаји процеса екструдирања на вредности истих односили су се на експанзионе особине, насипну масу, порозност, запремину и густину, параметре боје, текстурне, реолошке и топлотне карактеристике, садржај инулина, сесквитерпенских лактона, полифенолних једињења, резистентног скроба, метала и минерала, и сензорске особине. У овом поглављу детаљно је приказан развој и валидација софистициране аналитичке методе за детекцију и квантификацију инулина, са посебним нагласком на оптималне услове екстракције и пречишћавања инулина, као и услова рада HPLC-ELSD методе. Сумирани резултати свих горенаведених анализа били су укључени у три засебне оптимизације (оптимизација физичко-хемијских особина филс производа, дескриптивних сензорских особина, и сензорских оцена додељених од стране потрошача) где су применом вештачке неуронске мреже и стандардизованих оцена дефинисани оптимални услови производње: 16,3% садржаја влаге, брзина обртања пужнице од 700 о/мин, и удео корена цикорије 30%. Карактеристике оптималног узорка одговарају онима утврђеним код узорка 11.

Сумирањем добијених резултата и сагледавањем зависности карактеристика производа од процесних услова производње, дефинисани су **Закључци**, који су представљени концизно и јасно.

**Литература** обухвата 415 адекватних и актуелних литературних навода, обухвативши релевантне изворе везане за тематику истраживања.

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

Таксативно навести називе радова, где и када су објављени. Прво навести најмање један рад објављен или прихваћен за објављивање у часопису са ISI листе односно са листе министарства надлежног за науку када су у питању друштвено-хуманистичке науке или радове који могу заменити овај услов до 01.јануара 2012. године. У случају радова прихваћених за објављивање, таксативно навести називе радова, где и када ће бити објављени и приложити потврду о томе.

M22 – Рад у истакнутом међународном часопису

**Perović Jelena, Kojić Jovana, Krulj Jelena, Pezo Lato, Tumbas Šaponjac Vesna, Ilić Nebojša, Bodroža-Solarov Marija (2022). Inulin Determination by an Improved HPLC-ELSD Method. *Food Analytical Methods*, 15, 1001-1010.**

M21a – Rad у врхунском међународном часопису

**Perović** Jelena, Tumbas Šaponjac Vesna, Kojić Jovana, Krulj Jelena, Moreno A. Diego, García-Viguera Cristina, Bodroža-Solarov Marija, Ilić Nebojša (2021). Chicory (*Cichorium intybus* L.) as a food ingredient – Nutritional composition, bioactivity, safety, and health claims: A review. *Food Chemistry*, 336 (30 January), 127676.

## VII ZAKЉUČCI OДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Први пут је произведен безглутенски флипс производ на бази пиринчаног брашна са додатком корена цикорије за људску употребу. Циљ је био формулисање новог прехранбеног производа чиме би се обогатило тржиште флипс производа, али и креирао нови прехранбени производ са потенцијалном функционалношћу. Поред тога акценгована је употреба корена цикорије с обзиром на то да је Србија један од највећих светских произвођача ове сировине (ФАОСТАТ, 2020). Такође, фаворизовано је успостављање одрживе пољопривредне производње са циљем избегавања настанка отпада (тзв. „*food waste*“) тако што се у оквиру ове дисертације у производњи иновативног флипса користио читав корен цикорије, без заостатка нуспроизвода.

Поступак производње иновативног флипс производа извршен је на двопужном екструдеру приликом чега је формирано укупно 20 флипс производа варирањем параметара производње (садржај влаге полазне смеше од 16,3 до 22,5%, брзина обртања пужнице од 500 до 900 о/мин, и садржај корена цикорије од 20 до 40%). Добијени производи окарактерисани су у физичком, хемијском и сензорском смислу.

Први пут је примењено моделовање убрзаног регресионог стабла (енгл. *Boosted regression tree*, BRT) за предвиђање утицаја процесних параметара екструдирања на карактеристике флипс производа. Поред тога, извршено је поређење предвиђачких способности поменутог BRT модела са оним које је добила вештачка неуронска мрежа (енгл. *Artificial neural network*, ANN).

Аксијална експанзија (АЕ) екструдата опадала је са повећањем садржаја влаге у полазној смеси до одређене границе (19%), док је са даљим повећањем садржаја влаге (>19%) АЕ расла. Смањење АЕ се може објаснити смањењем еластичности теста у цеви екструдера при садржају влаге до 19%, док је већа количина влаге у смеси (>19%) допринела интензивнијем топљењу смеше смањујући пик вискозитет растопљене смеше, при чему се фаворизовало аксијално ширење екструдата. Радијална (РЕ) и латерална (ЛЕ) експанзија су опале са повећањем садржаја влаге услед пластификајућег ефекта воде. Висок садржај влаге довео је до смањења индекса експанзије (ИЕ) услед смањења силе трења и стварања слабијег притиска на матрици. Повећан садржај влаге условљавао је разблаживање материјала у цеви екструдера, омогућавао његов бржи и лакши проток, и скраћивао време неопходно за екструзионо кување. Ови услови су вероватно одговорни за ихибирање формирања великих ваздушних мехурова па самим тим и настанак производа смањене експанзије.

При брзини обртања пужнице до 700 о/мин АЕ је опадала, након чега се повећавала (>700 о/мин). Повећање брзине обртања пужнице поспешило је аксијално ширење услед мањег притиска на матрици. РЕ и ЛЕ су расле са повећањем брзине обртања пужнице услед повећања сила смицања које се преносе са пужница на материјал унутар цеви екструдера, и тако подстиче формирање униформнијег теста које потом испољава боље експанзионе карактеристике. Повећање брзине обртања пужнице довело је до пораста ИЕ услед постепеног повећања сила смицања унутар цеви екструдера одговорних за макромолекуларну деградацију материјала. Ова околност доводи до постизања уједначеног теста које последично добија боља својства експанзије при изласку из матрице.

Додатак сировине богате влакнима као што је корен цикорије могао је имати утицај на повећање вискозних сила унутар екструдера при чему је фаворизована АЕ. Већа АЕ може бити оправдана смањењем својстава протицања масе услед присуства инулина пореклом из корена цикорије који се такмиче са скробом за доступну воду. Заменом дела скроба сировином богатом влакнима смањује се експанзија скроба у радијалном правцу. Компоненте попут инулина из корена цикорије нису компатибилне са скробом и вероватно бивају поравнате аксијално услед сила смицања у екструдеру, ометајући на тај начин радијално ширење. Влакна наиме смањују еластичне особине скроба што узрокује смањено бубрење и редукцију РЕ и ЛЕ. Повећање удела корена цикорије негативно је утицао на ИЕ јер влакна инулина ометају формирање скробног филма око ваздушастих ћелија редукујући њихово формирање и увећање.

Пораст садржаја воде утицао је на пораст насипне масе (НМ) услед задржавања воде у цеви екструдера што узрокује већу разлику притиска на изласку из матрице и вероватно онемогућава експанзију, те генерише компактније производе. Познато је да су екпанзионе карактеристике флипс производа и њихова насипна маса у негативној корелацији што се види и из резултата ове дисертације ( $r=-0,91$ ,  $p<0,001$ ). Повећање брзине обртања пужнице резултирало је нижом насипном масом јер велика брзина обртања пужнице убрзава нагли пад притиска на матрици, што даје екструдате ниже насипне масе. Инулин из корена цикорије може се сматрати одговорним за благо повећање насипне масе због утицаја на вискозитет теста и формулисање компактне структуре производа.

Примећен је исти тренд понашања параметра запремине и привидне запремине (о чему говори позитивна корелација одређена између ових параметара и то од  $r=0,93$ ,  $p\leq 0,001$ ), као и густине односно привидне густине флипс производа (о чему говори позитивна корелација одређена између ових параметара и то од  $r=0,94$ ,  $p\leq 0,001$ ). Са друге стране, забележене су негативне корелације између запремине и густине екструдата ( $r=-0,93$ ,  $p\leq 0,001$ ), односно привидне запремине и привидне густине ( $r=-0,85$ ,  $p\leq 0,001$ ). Повећање садржаја воде смеше повећавало је густину екструдата. Пораст садржаја воде смањује топљење гранула скроба, чиме се повећава привидна густина. Вода вероватно утиче на промене у молекуларној структури амилопектина из скробних материјала. Високе брзине обртања пужнице смањују вискозитет топљења, убрзавају раст мехурића и дају боље експандоване производе са великом запремином, и мањом (привидном) густином. Додатак корена цикорије је проузроковао повећање густине и смањење запремине због присуства инулина. Сировине богате влакнима као што је корен цикорије највише доприносе повећању густине производа јер утичу на ефикасност „паковања“ молекула. Линеарни полимери као што су прехранбена влакна (инулин) су способни да се боље пакују.

Садржај воде у полазним смешама готово да није имао утицај на порозност испитиваних екструдата, с тим да је забележен тек благи пораст ове карактеристике екструдата са порастом воде. Порозност екструдата расла је са порастом брзине обртања пужнице. Заправо, повећање брзине обртања пужнице изазвало је брже истискивање теста кроз отвор матрице, нагли пад притиска и производњу више паре што је допринело бољој експанзији и већој порозности флипс производа. Додатак корена цикорије негативно је утицао на порозност финалних производа. Инулин пореклом из корена цикорије могао би бити одговоран за ово запажање, услед негативног утицаја на зидове ћелија скробног материјала, спречавање експанзије и настанак густих и мање порозних структура.

Рад хрскавости ( $C_w$ ) представља рад који је потребно уложити да дође до пуцања узорка, и веће вредности овог параметра указују на груб и мање хрскав производ. Индекс хрскавости ( $C_i$ ) је позитивна текстулна особина флипс производа, где веће вредности  $C_i$  говоре о хрскавијем производу.  $C_w$  и  $C_i$  су обрнуто пропорционални, што је показано и у резултатима ове дисертације. Пораст воде утицао је на формирање мање хрскавих производа са вишим вредностима  $C_w$  и нижим вредностима  $C_i$ , услед могућег настанка мањег броја ваздушних мехурића и унутрашњих ћелија екструдата. Наиме, услови повећаног садржаја воде могу изазвати такве промене скроба које фаворизују настанак робустних структура које нису лако ломљиве. Потребно је уложити мањи рад да се разруши структура тањих зидова ћелија које се формирају при бржем обртању пужнице при чему се бележи пад  $C_w$  и пораст  $C_i$ . Повећање удела корена цикорије утицало је на повећање  $C_w$  и снижавање  $C_i$ . Наиме, додатак корена цикорије богатог инулином може утицати на повећање дебљине зидова ћелија екструдата што условљава улагање веће вредности рада да се наруши таква структура, чиме се последично смањује индекс хрскавости.

Пораст воде полазне смеше за екстудирање, као и пораст садржаја корена цикорије богатог инулином, резултирали су производима за које је била потреба велика сила компресије ( $F$ ) како би им се нарушила структура. Такви услови производње утицали су на смањење броја формираних пора, на превремено пуцање ваздушних ћелија и самим тим на формирање мање ваздушних структура, дајући збијено паковане екстудате. Ова појава првенствено се може приписати утицају садржаја воде на понашање скроба током екстудирања, док инулин може утицати на повећање јачине зидова ћелија пружајући већи отпор сили током компресије. Пораст брзине обртања

пужнице дао је лакше ломљиве екструдате те самим тим и ниже вредности силе компресије, што може бити објашњено појавом слабљења структура мањих мехурића формираних при таквим условима производње.

Повећање влаге полазне смеше резултирало је екструдатима са мањим вредностима фреквенције лома структуре ( $N_{sr}$ ). Повећање садржаја влаге током екструдирања смањује специфичну механичку енергију и фаворизује настанак грубих структура које пружају велики отпор зида ћелија и мањи број ломова структуре при дејству силе. Пораст брзине обртања пужнице утицао је позитивно на вредности  $N_{sr}$ , услед формирања крхких структура које су бележиле већи број пикова током лома. Обогаћивање екструдата кореном цикорије условило је смањење вредности  $N_{sr}$  услед могућег формирања хомогеније расподеле величина ваздушних ћелија. Лом зидова ћелија приближне чврстоће бележи се као истовремени лом, смањујући забележени број пикова и самим тим вредност  $N_{sr}$ .

Пораст влаге резултирао је производима повећане тврдоће ( $F_{max}$ ), јер вода може имати улогу пластификатора смеше, онемогућити формирање растреситих структура, и дати компактне производе. Са порастом брзине обртања пужнице забележено је смањење тврдоће производа. Брже обртање пужнице ствара јачу силу која брже истискује материјал из цеви екструдера и формира бољу експанзију производа, дајући лакше и мање тврде производе. Повећање садржаја корена цикорије негативно је утицало на текстурне карактеристике производа повећавајући им тврдоћу. Претпоставља се да је присуство пребиотског влакна инулина негативно утицало на тврдоћу производа услед утицаја на дебљину зида ћелија. Инулин вероватно може пружити структурни интегритет екструдатима услед интеракције са другим компонентама присутним у смеси за екстудирање.

Пораст садржаја влаге и инулина смањују број пикова ( $NoP$ ) током компресије. Закључено је да је повећање вредности ових независних промењивих (влаге, садржаја корена цикорије) довело до формирања грубе структуре са повећаном привидном густином. Наиме, повећање удела корена цикорије условило је смањење количине скроба у смешама за екстудирање, што је негативно утицало на формирање ваздушних екстудата који би бележили већи број пикова приликом компресије. Повећана брзина обртања пужнице је била одговорна за настанак већег броја ћелија производа са мањом дебљином зидова и тиме повећавала број пикова током компресије.

Пораст влаге полазног материјала утицао је на смањење вредности светлоће ( $L^*$ ) и удео жуте/плаве боје ( $b^*$ ), док је код удела црвене/зелене боје ( $a^*$ ) забележено само благо смањење. Повећан садржај влаге може допринети биохемијским трансформацијама као што су Maillard-ове реакције тамњења, што изазива редукцију вредности параметара  $L^*$ ,  $a^*$  и  $b^*$ . Са повећањем брзине обртања пужнице повећавале су се вредности  $L^*$ ,  $a^*$  и  $b^*$ . Ови резултати могу бити објашњени краћим задржавањем сировине у цеви екструдера услед веће брзине обртања пужнице, при чему је скраћено време деградације пигмената боје. Додатком корена цикорије у пиринчану базу смањена је светлоћа екструдата и повећане су вредности параметара црвене и жуте боје, услед тамније боје корена цикорије и присуства инулина који доприноси повећању степена неензимске реакције тамњења.

Пораст садржаја влаге полазне смеше до 20% утицао је на раст степена желатинизације скроба, док је даље повећање (>20%) изазвало његово смањење. Повећање количине влаге у полазnoj смеси може довести до смањења вискозности скроба и подстицања молекула скроба да се слободно крећу, приликом чега топлота лакше продире у материјал и самим тим поспешује желатинизацију. Пораст влаге изнад 20% изазвао је смањење степена желатинизације вероватно због заштитног ефекта воде чиме се постиже очување молекула скроба. Почетно повећање брзине обртања пужнице (од 500 до 650 о/мин) утицало је на смањење степена желатинизације скроба услед утицаја обртања пужнице на смањење иницијалног вискозитета масе, док су веће вредности обртања пужнице (изнад 650 о/мин) изазвале повећање степена желатинизације скроба услед интензивнијег мешања и уједначеног загревања теста. Удео корена цикорије показао је негативан утицај на степен желатинизације, услед смањења удела скроба неопходног за желатинизацију



заменом са другом нескробном сировином какав је корен цикорије.

Повећање влаге полазне смеше показало је позитиван утицај на пик вискозитета (ПВ), као и на вискозитет топле пасте (ВТП) и вискозитет хладне пасте (ВХП) ( $M > 19\%$ ), док је вредност иницијалног вискозитета (ИВ) благо опадала када је влага била већа од 19%. Ова запажања могу бити објашњена особином воде да делује као пластификатор и смањи силе смицања у цеви екструдера утичући на горепоменуте промене вискозитета. Повећање брзине обртања пужнице условило је повећање вредности ИВ и опадање вредности ПВ, ВТП и ВХП. Ова запажања могу бити објашњена чињеницом да високе вредности брзине обртања пужнице повећавају интензитет и степен кувања тј. желатинизације скроба, дајући високе вредности ИВ. Повећање брзине обртања пужнице (изнад 800 о/мин) вероватно може послешити пораст механичког смицања чиме се смањује вискозитет растопљеног скроба дајући ниске вредности ПВ, ВТП и ВХП. Додатак корена цикорије у пиринчано брашно условио је опадање ИВ и ПВ, док су расле вредности ВТП и ВХП. За ово запажање може бити одговоран инулин пореклом из корена цикорије. Инулин као прехранбено влакно може узети доступну воду која је неопходна скробу за желатинизацију, чиме се смањују пастирајуће особине производа.

Повећање садржаја влаге утицало је на повећање садржаја резистентног скроба (РС). Већи садржај воде довео је до ретроградације скроба приликом чега су се вероватно формирале јаче водоничне молекулске везе у амилозним фракцијама, а повећан садржај амилозе условљава формирање више РС. Брзине обртања пужнице ниже од 750 /мин могле су условити дуже задржавање масе у цеви екструдера, те произвести екструдате са смањеним садржајем РС. Даљи пораст брзине обртања пужнице (изнад 750 о/мин) условио је пораст садржаја РС што се потенцијално може повезати са порастом температуре у скробној маси дајући веће количине желатинизованог скроба, чија ретроградација доводи до формирања РС. Удео корена цикорије до 30% условљавао је повећавање садржаја РС, док је даље повећање удела корена цикорије негативно утицало на садржај РС. Повећање садржаја РС након додатка корена цикорије (до 30%) може бити објашњено феноменом формирања комплекса амилозе и липида пореклом из корена цикорије током процеса екструдирања, што доводи до смањеног бубрења скробних гранула и интензивирања процеса ензимске хидролизе скроба. Са друге стране, додатак корена цикорије у количини већој од 30% може фаворизовати интеракцију скроба и влакана пореклом из цикорије, чиме је смањена количина доступног скроба неопходног за формирање РС.

Повећање садржаја влаге полазне смеше позитивно је утицало на садржај метала и минерала у флипс производима. Такође се може приметити да је у појединим случајевима пораст влаге до одређене вредности (19%) условљавао смањење садржаја одређених минерала и метала (Са, К, Zn и Pb), да би се са даљим повећањем нивоа влаге (изнад 19%) њихов садржај увећао. Повећање садржаја испитиваних елемената у екструдатима може бити последица њихове акумулације у води која је коришћена за навлаживање меша. Повећање брзине обртања пужнице показало је негативан утицај на садржај испитиваних елемената, изузев код Zn. Повећање брзине обртања пужнице могло је утицати на ефикасније везивање јона Zn са влакнима чиме се може допринети очувању овог елемента током процеса екструдирања. Брзина обртања пужнице изнад 700 о/мин условила је повећање садржаја Mg, што је потенцијално последица уништавања антинутритивних једињења (попут танина и фитата) при таквим условима производње чиме се повољно утиче на доступност овог минерала. Додатак корена цикорије очекивано је показао позитиван утицај на садржај свих испитиваних елемената, с обзиром на то да је ова сировина знатно богатија минералима и металима од интереса за овај новокреирани производ, у поређењу са пиринчаним брашном.

Пораст садржаја влаге негативно је утицао на садржај полифенолних једињења. При условима повећаног садржаја влаге могуће је да се фаворизује декарбоксилација фенолних киселина. Током процеса екструдирања може доћи до полимеризације фенолних једињења услед чега се смањује могућност њиховог екстраховања, а последично се смањује и антиоксидативна и редукциона способност, што је показано кроз резултате три примењена теста у овој дисертацији (тест на DPPH<sup>•</sup> радикале, ABTS<sup>+</sup> радикале, и редукциона способност). Повећање брзине обртања пужнице

допринело је повећању садржаја полифенолних једињења до чега долази вероватно услед ослобађања полифенолних једињења из зидова ћелија матрикса током процеса екструдирања. При великим брзинама обртања пужнице може доћи до формирања производа неензимског тамњења фенолне структуре, што се потенцијално одразило на повећан финални садржај слободних и везаних полифенолних једињења, а последично и позитивно на антиоксидативну и редукциону способност флипс производа. Додатак корена цикорије допринео је повећању садржаја слободних и везаних полифенолних једињења, јер је корен цикорије добар извор полифенолних једињења.

Софистицирана аналитичка метода за детекцију и квантификацију инулина поједностављена је у погледу избегавања корака хидролизе и дефинисани су оптимални услови рада на HPLC (високопритисној течној хроматографији). Оптимални услови екстракције инулина подразумевали су однос сировине и екстракционог средства (воде) 1:10, екстракцију 60 минута на 80°C уз додатно екстраховање у ултразвучном купатилу (30 минута), и таложње супернатанта са четири пута већом запремином ацетона у односу на запремину супернатанта током ноћи на 4°C. Колона коришћена за детекцију анализата од интереса (Rezex RSO Oligosaccharide Ag+, Phenomenex, Немачка) загревана је на 80°C, проток мобилне фазе (воде) износио је 0,3 мл/мин, док је сама анализа трајала 16 минута. Оптимални услови рада детектора били су следећи: температуре упаривача (евапоратора) и распршивача (небулајзера) од 80°C, проток гаса од 1,3 СЛМ (енгл. *Standard liters per minut*, Стандардна литра по минути), и појачање сигнала детектора у износу од 1.

Садржај влаге изнад 19% смањивао је садржај инулина услед његовог растварања у води током процеса екструдирања, чиме је инулин изложенији силама смицања и разградњи током производње. Пораст брзине обртања пужнице имао је готово незнатан утицај на садржај инулина, са малом тенденцијом опадања садржаја инулина услед пораста брзине обртања пужнице. Овај феномен може бити објашњен чињеницом да брже обртање пужнице изазива интензивније деловање сила смицања одговорних за деградацију молекула попут инулина. Највећи позитиван утицај на пораст инулина имао је раст удела корена цикорије у флипс производима, што је било и за очекивати с обзиром на то да је корен цикорије један од најбогатијих извора инулина.

Пораст садржаја влаге имао је позитиван утицај на садржај свих испитиваних сесквитерпенских лактона (СЛ) код формиранх флипс производа а услед утицаја већег садржаја влаге на ослобађање СЛ из везаних форми и сложених комплекса. Пораст брзине обртања пужнице до 700 о/мин изазивао је пораст садржаја СЛ, док је даљи раст изнад 700 о/мин негативно утицао на садржај лактона у флипс производима. Претпоставља се да веће брзине обртања пужнице узрокују настанак јачих сила смицања, трења и загревања при чему може доћи до делимичне или потпуне деградације испитиваних лактона. Са друге стране, брзине обртања пужнице до 700 о/мин вероватно узрокују ослобађање лактона везаних у сложеним комплексима са другим једињењима присутним у смешама пиринча и корена цикорије, што је узроковало повећање биодоступности испитаних једињења. Пораст садржаја корена цикорије изазвао је повећање садржаја свих СЛ у формираним флипс производима. Ови резултати су смислени и оправдани чињеницом да је корен цикорије богат сесквитерпенским лактонима.

Сензорском анализом се међу одабраним екструдатима за оцењивање издвојио узорак 11 због своје смеђе-жуте боје и умерене хрскавости, рангирајући се према прихватљивости од стране потрошача одмах након контролног узорка. Овај узорак забележио је добре особине уједначености боје, облика пора, интензитета укупне ароме као и укупне допадљивости изгледа, текстуре, боје и хрскавости међу испитиваним узорцима. Ова запажања говоре у прилог томе да се новокреирани флипс производи са кореном цикорије могу допасти потрошачима уз примену адекватних услова производње.

У циљу дефинисања оптималних услова производње за добијање производа жељених карактеристика спроведене су три засебне оптимизације, применом вештачке неуронске мреже (ANN) и стандардизоване оцене (SS). Прва оптимизација односила се на проналажење узорка оптималних физичко-хемијских особина, друга оптимизација базирала се на одређивању узорка са

<p>најбољим дескриптивним сензорским карактеристикама, док је трећа оптимизација дала одговор који се узорак највише допао потрошачима. Резултати све три оптимизације били су усаглашени и за оптимални резултат дали услове екструдирања и физичко-хемијске и сензорске особине производа који одговарају узорку 11. Дефинисани оптимални услови екструдирања били су 16,3% влаге, 700 о/мин за брзину обртања пужнице и удео корена цикорије од 30%.</p>
<p><b>VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА</b>          Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.</p>
<p>Успешно и у целости су спроведена истраживања која су била предвиђена планом датим у пријави ове дисертације. Забележени резултати су добијени из оригинално постављених експеримената, у складу са дефинисаним циљевима. Резултати истраживања су приказани на систематичан и прегледан начин, у виду табела и слика. Тумачењем добијених резултата донети су одговарајући закључци који дају адекватне одговоре на постављене задатке ове докторске дисертације. На основу свега наведеног, Комисија позитивно оцењује начин приказа и тумачења резултата истраживања.</p>
<p><b>IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b></p>
<p>Експлицитно навести да ли дисертација јесте или није написана у складу са наведеним образложењем, као и да ли она садржи или не садржи све битне елементе. Дати јасне, прецизне и концизне одговоре на 3. и 4. питање:</p>
<p>1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме</p> <p><b>Да, докторска дисертација је у потпуности урађена и написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.</b></p>
<p>2. Да ли дисертација садржи све битне елементе</p> <p><b>Да, докторска дисертација садржи све битне елементе.</b></p>
<p>3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци</p> <p>Дисертација кандидаткиње мастер инжењера технологије Јелене Перовић представља оригиналан допринос науци, дајући увид у могућност имплементације корена цикорије као носиоца биоактивних компоненти у екструдираним производима за људску исхрану, какви су флипс производи. Корен цикорије сматран је потенцијалним носиоцем функционалних једињења као што су прехранбено пробиотско влакно инулин и сесквитерпенски лактони, чији је додаток у пиринчану основу имао сврху креирања иновативног прехранбеног производа намењеног широкој популацији. Оригиналан допринос науци дат је кроз детаљну карактеризацију новоформираних флипс производа, у погледу физичких, хемијских, функционалних и сензорских особина. Надаље, утицаји процесних параметара екстудирања на карактеристике финалних производа испитани су применом два математичка модела формирана применом вештачке неуронске мреже и регресије типа убрзаног стабла. Регресиони модел типа убрзаног стабла први пут се примењује у оквиру ове дисертације за предвиђање утицаја процесних параметара на особине финалног производа код екстудираних хране. На основу анализираних карактеристика производа применом гентеског алгорита и вештачке неуронске мреже дефинисани су оптимални услови производње који би изнедрили производ жељених особина, који се може производити у постројењима индустријских размера. Значајан допринос науци дат је и кроз развој нове софистициране аналитичке методе за детекцију и квантификацију инулина у производима који садрже цикорију. Дефинисани су оптимални услови екстракције и пречишћавања инулина, оптимални услови рада детектора, као и оптимални услови хроматографисања, приликом чега је анализа поједностављена избегавањем корака хидролизе.</p>
<p>4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања</p> <p><b>Нису уочени недостаци у овој докторској дисертацији.</b></p>
<p><b>X ПРЕДЛОГ:</b></p>
<p>На основу укупне оцене дисертације, комисија предлаже:</p>
<p>Комисија позитивно оцењује докторску дисертацију под насловом „Развој новог безглутенског</p>

функционалног флипс производа обогаћеног кореном цикорије (*Cichorium intybus L.*)” и  
предлаже да се она прихвати, а кандидаткињи мастер инжењеру технологије Јелени Перовић одобри  
одбрана.

НАВЕСТИ ИМЕ И ЗВАЊЕ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ  
ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

\_\_\_\_\_  
др Александар Фиштеш, редовни професор

\_\_\_\_\_  
др Весна Тумбас Шапоњац, ванредни професор

\_\_\_\_\_  
др Јована Којић, научни сарадник

\_\_\_\_\_  
др Борис Поповић, редовни професор

\_\_\_\_\_  
др Предраг Којић, доцент

НАПОМЕНА: Члан комисије који не жели да потпише извештај јер се не слаже са мишљењем  
већине чланова комисије, дужан је да унесе у извештај образложење односно разлоге због којих не  
жели да потпише извештај.