

## ИЗВЕШТАЈ О ОЦЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Душица Чоловић (рођ. Иванов), дипл. инж. технологије

<b>I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ</b>	
1.	Датум и орган који је именовео комисију 06.09.2013. године, Наставно-научно веће Технолошког факултета, Универзитета у Новом Саду.
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: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Др Љубинко Левић</b>, редован професор, Хемијско инжењерство, 01.12.2006. године, Технолошки факултет Универзитета у Новом Саду, ментор</li> <li>• <b>Др Етелка Димић</b>, редован професор, Технологија конзервисане хране, 22.03.2007. године, Технолошки факултет Универзитета у Новом Саду, председник комисије</li> <li>• <b>Др Јованка Левић</b>, научни саветник, Биотехничке науке - прехранбено инжењерство, 27.06.2012. године, Научни институт за прехранбене технологије у Новом Саду Универзитета у Новом Саду, члан</li> <li>• <b>Др Бојана Иконић</b>, доцент, Хемијско инжењерство, 16.05.2012. године, Технолошки факултет Универзитета у Новом Саду, члан.</li> </ul>
<b>II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ</b>	
1.	Име, име једног родитеља, презиме: <b>Душица, Стеван, Чоловић</b>
2.	Датум рођења, општина, држава: <b>24.02.1981, Нови Сад, Република Србија</b>
3.	Назив факултета, назив студијског програма дипломских академских студија – мастер и стечени стручни назив <b>Технолошки факултет Универзитета у Новом Саду, Прехранбено инжењерство, Конзервисана храна, Дипломирани инжењер технологије</b>
4.	Година уписа на докторске студије и назив студијског програма докторских студија <b>2008, Прехранбено инжењерство</b>
5.	Назив факултета, назив магистарске тезе, научна област и датум одбране: -
6.	Научна област из које је стечено академско звање магистра наука: -
<b>III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:</b>	
<b>Испитивање утицаја процеса екструдирања на добијање и стабилност функционалног хранива за животиње на бази ланеног семена</b>	

#### IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

Докторска дисертација дип. инж. Душице Чоловић је веома прегледно и јасно изложена у осам поглавља:

- Увод (стр. 1 - 3),
- Преглед литературе (стр. 4 - 50),
- Материјал и методе (стр. 51 - 64),
- Резултати и дискусија (стр. 65 - 130),
- Закључци (стр. 131 - 135),
- Литература (стр. 136 - 158).

Дисертација је написана на 158 нумерисаних страна А4 формата, у 6 поглавља са 47 слика и 32 табеле. Цитирано је 234 литературна навода, а на почетку су дате кључне документацијске информације са кратким изводом на српском и енглеском језику, као и списак скраћеница употребљених у раду.

#### V ВРЕДНОВАЊЕ ПОЈЕДИНИХ ДЕЛОВА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ:

У поглављу **УВОД**, ауторка указује на развој технологије хране за животиње, као и на чињеницу да је ова технологија напредовала далеко од првобитне производње стандардних рецептура за задовољење нутритивних потреба животиња. С обзиром да се кроз исхрану могу модификовати специфичне функције животињског организма, последњих година се развила производња такозване функционалне хране за животиње.

Како је за производњу функционалног хранива у оквиру ове тезе употребљено ланено семе, ауторка даље укратко приказује најзначајније карактеристике ове сировине. Ланено семе је нарочито познато по високом садржају  $\alpha$ -линоленске киселине (ALA), а у исхрани животиња се пре свега користи у циљу промене маснокиселинског састава меса узгајане животиње, тј. како би се повећао садржај есенцијалних масних киселина у меду, а самим тим и у свакодневној човековој исхрани. Основна препрека у употреби ланеног семена као хранива представља присуство антинутритивних материја - цијаногених гликозида. Поменути једињења под дејством ензима  $\beta$ -глюкозидазе ослобађају цијановодоничну киселину, која изазива тровања, неуропатије, панкреатични дијабетес и друга обољења. Да би се избегли нежељени ефекти поменутих антинутритивних материја, пре исхране животиња обавезно је термичко третирање ланеног семена неким од процеса као што су аутоклавирање, пелетирање, тостирање, екструдирање, итд.

С обзиром да се примена екстудирања у сврху детоксификације намеће као најпогоднији поступак у производњи хране за животиње, ауторка укратко објашњава сам процес и његов утицај на липиде, протеине и угљене хидрате. Како ауторка указује, током процеса екстудирања јавио се проблем истицања ланеног уља, па је као додатна компонента употребљена сунцокретова сачма у циљу адсорпције ланеног уља и спречавања његовог губитка. С обзиром на комплексност самог поступка, правилно подешавање параметара екстудирања је од изузетног значаја, како би се постигли жељени ефекти процеса и избегли евентуални нутритивни губици. Оптимизација екстудирања експерименталним путем је, како ауторка наводи, изузетно обиман, компликован и временски захтеван посао.

Циљ овог рада био је да се оптимизују испитивани процесни параметри екстудирања како би се добило што квалитетније функционално храниво, безбедно за исхрану животиња уз што мањи утрошак енергије. Други циљ доктората био је да се испитају хемијске, оксидативне и микробиолошке промене на храниву у убрзаним условима складиштења, као и да ли додаток витамина Е и карвакрола, односно смеше ова два једињења имају утицај на успоравање промена на произведеном функционалном храниву у току складиштења.

Поглавље **ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ** се састоји из пет основних делова у којима ауторка, служећи се обимном литературом, пише о свим битним сегментима који су у оквиру ове тезе обрађивани. У првом делу, ауторка се бави функционалном храном и хранивом за животиње, дајући дефиницију функционалне хране, преглед историјског развоја и најчешће примењиваних технологија у њеној производњи. На крају првог дела споменути су практични примери примене функционалне хране у исхрани животиња.

У другом делу, ауторка кроз пет целина детаљно обрађује карактеристике ланеног семена као хранива са функционалним карактеристикама. Дати су примери примене ланеног семена у исхрани различитих врста животиња и објашњени позитивни ефекти које ово семе показује. Такође је указано на могуће негативне последице прекомерне употребе ланеног семена. Посебна пажња поклоњена је ланеном уљу, као носиоцу функционалних особина семена, дат је преглед маснокиселинског састава уља у зависности од географског порекла и указано на факторе који имају утицај на састав масних киселина у семену. Ауторка даље пише о протеинима ланеног семена, који по свом аминокиселинском саставу и количини у семену не смеју бити заборављени, а затим и другим присутним једињењима, да би се на самом крају овог дела посветила антинуутритивним материјама.

Трећи део ПРЕГЛЕДА ЛИТЕРАТУРЕ посвећен је проблему оксидације током складиштења хранива богатог мастима, што је логичан след, с обзиром на већ поменути висок садржај уља у ланеном семену. Оно што је карактеристично за ланено уље је висок садржај незасићених масних киселина, које су изузетно реактивне и подложне оксидацији током складиштења. Осим погоршања нутритивног квалитета и органолептичких карактеристика хране, липидна оксидација узрокује стварање високореактивних продуката, који имају негативан утицај на здравље и развој животиња које их конзумирају. Ауторка је потом приказала ток процеса аутооксидације, да би потом изложила чињенице о антиоксидансима, једињењима која имају способност успоравања и делимичног заустављања овог нежељеног процеса. У следеће две целине, ауторка се посвећује витамину Е и карвакролу, једињењима са познатим антиоксидативним дејством, јер су ова два једињења употребљена у делу доктората који се бавио испитивањем складиштења ко-екструдата. Наводе се њихове хемијске структуре и начини деловања. Када је реч о карвакролу, указано је и на његово изражено антимикуробно дејство у хранивима, али и у самом организму животиња.

Четврти део посвећен је процесу екструдирања, који је кроз седам целина исцрпно објашњен. Екстудирање је присутно у различитим гранама индустрије већ дуги низ година, а ауторка поред општих карактеристика, даје преглед употребе у технологији хране за животиње. Приказана је подела екструдера према три различита критеријума, а такође је дат технолошки дијаграм процеса производње екстудираних хране. Прва целина у оквиру овог дела бави се једнопужним екструдерима, јер је такав тип употребљен за извођење експрмената у оквиру тезе. Указано је на предности и мане овакве конструкције уређаја, као и на детаље на које треба обратити пажњу приликом практичне употребе уређаја. Ауторка се затим бави критичним факторима при процесу екстудирања, а у следећој целини указује на промене физичко-хемијских карактеристика сировина у поступку екстудирања. Као посебна целина издвојен је утицај екстудирања на масти, управо због значаја ланеног уља. Иако хемијске промене липидне компоненте у екстудираном храниву нису изразите, оне нису занемарљиве. Ауторка се осврће на промене у маснокиселинском саставу, оксидативне и хидролитичке промене и стварање комплекса са амилозном фракцијом скроба. Такође је обрађен утицај липида на процес екстудирања, појава лубрикације, итд. У следећој целини се указује на проблеме који се јављају приликом екстудирања уљарица и објашњава на који начин се додатком сунцокретове сачме могу превазићи поменути проблеми. Потом се ауторка у наредној целини бави утицајем екстудирања на природне токсине да би се у последњој целини осврнула на утицај екстудирања на протеине.

Пети и последњи део ПРЕГЛЕДА ЛИТЕРАТУРЕ бави се експерименталним дизајном који је у докторату примењен и методом одзивне површине (RSM). Ауторка на самом почетку говори о проблемима који се приликом оптимизације неког процеса јављају и указује на предност примене експерименталног дизајна. Потом даје преглед најчешће употребљаваних типова експерименталног планирања, објашњава који се дизајн препоручује за решавање одређеног проблема и пореди ефикасности различитих типова. Даље се описује поступак добијања одзивних површина, начин на који се оне тумаче и указује се на проблеме који се приликом употребе RSM налази. На крају, ауторка објашњава начин оптимизације, методу пожељне (тражене) функције и сам поступак додељивања приоритета испитиваним параметрима.

На основу проучене и систематизоване литературе, комисија закључује да је кандидаткиња била у могућности да анализира и објасни добијене резултате на адекватан начин, те да их упоређи са резултатима других аутора који су радили на истој или сличној проблематици.

Поглавље **МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ** ауторка је поделила у седам целина: материјал, технолошки поступак екструдирања, основне хемијске анализе сировина и ко-екструдата, одређивање садржаја цијаногених гликозида, одређивање састава масних киселина у узорцима, експериментални план и статистичка обрада података и последња целина која се бави складиштењем функционалног хранива при контролисаним условима релативне влажности ваздуха и температуре. У делу материјал, ауторка је укратко дала основне карактеристике сировина које су у експериментима употребљене: ланеног семена, сунцокретове сачме, као и препарата витамина Е и карвакрола.

Надаље, кандидаткиња детаљно описује поступак екструдирања у пилот погону Научног института за прехранбене технологије у Новом Саду. За млевење ланеног семена употребљен је млин чекићар при чему је пречник отвора на сити износио 4 mm. Мешање ланеног семена и сунцокретове сачме изведено је у двоосовинској мешалици у коју је помоћу резервоара за течност дозирана вода, чиме је подешавана полазна влага нетретираног материјала. Овако припремљена сировина екстудирања је под условима који су претходно одређени експерименталним дизајном. Топао екструдат хлађен је у вибро сушници/хладњаку.

Анализе које су изведене на добијеном ко-екструдату подразумевале су основне хемијске анализе, одређивање киселости ко-екструдата, одређивање садржаја HCN у ко-екструдату, одређивање састава масних киселина, одређивање индекса растворљивости азота (NSI), итд. За екстракцију уља из узорака и даљу анализу састава масних киселина, оптимизирана је метода суперкритичне екстракције уља помоћу CO<sub>2</sub>.

Потом је произведено функционално храниво складиштено у клима комори под условима контролисане температуре и релативне влажности ваздуха, како би се утврдило да ли додаток поменутих витамина Е и карвакрола има утицај на складишну стабилност добијеног хранива, при чему су праћене оксидативне, хемијске и микробиолошке промене добијеног ко-екструдата. Подаци су обрађени применом софтверског пакета Microsoft Office Excel 2007 и рачунарског програма Statistica version 10 (Stat Soft, Tulsa, Oklahoma, USA), а за оптимизацију параметара, односно фактора коришћена је модификована *Harringtonova* метода пожељне (тражене) функције, која је рађена у софтверском пакету DESIGN-EXPERT 8.1.

У поглављу **РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА**, ауторка је редом размотрила добијене резултате утицаја независно променљивих параметара екстудирања на испитиване карактеристике ко-екструдата и потрошњу енергије током самог процеса, доводећи их јасну узрочно-последичну везу. Ово поглавље састоји се од осам делова. У првом делу укратко су приказани резултати хемијских испитивања полазних сировина на основу чега је закључено да су сировине правилно одабране и да су погодне за производњу функционалног хранива са повећаним садржајем омега-масних киселина. Потом се у засебним деловима испитују утицаји независно променљивих параметара екстудирања на: садржај HCN тј. редукацију цијаногених гликозида у ко-екструдату, маснокиселински састав хранива (са акцентом на ALA), садржај слободних масних киселина (СМК) у ко-екструдату, NSI вредности хранива, промене температуре у цеви екструдера и потрошњу енергије током процеса. Приказани резултати указују да је поступак екстудирања успешно редуковао количину присутних антинуитритивних материја, уз истовремено очување есенцијалне ALA, што је најзначајнија предност овог поступка производње хранива. Најзначајнији утицај на садржај СМК у ко-екструдату у експериментима имао је садржај влаге обрађиваног материјала. Потрошња енергије се у експериментима кретала у опсезима карактеристичним за наведени уређај, а најзначајнији утицај на њу имала је брзина обртања пужа екструдера. Са порастом садржаја влаге у материјалу, температура у цеви екструдера је опадала, а најниже температуре постигнуте су при највишим садржајима влаге и најнижем капацитету пуњења екструдера. Повећање брзине обртања пужа екструдера узроковало је пораст температуре у цеви екструдера. Више температуре резултовале су нижом измереном NSI вредношћу. Добијени подаци су потом употребљени за оптимизацију процеса екстудирања, а ко-екструдат који је произведен под оптималним условима даље је употребљен за испитивање складишне стабилности при убрзаним условима. Степен уклањања HCN у функционалном храниву екстудираним под оптималним условима износио је 76,20%, док се садржај ALA смањило за свега 0,69 %. Потрошња енергије износила је 147,03 kWh/t, а измерени садржај СМК 3,28 % (м.ф.). У обављеној анализи кандидаткиња је испољила велико теоретско знање, вешто је користила бројне податке из

цитиране литературе компарирајући их са резултатима сопствених истраживања, а уочене појаве успешно је објаснила у духу досадашњих поимања науке.

**ЗАКЉУЧЦИ** су веома добро изведени из добијених резултата и њихове дискусије, те се могу сматрати поузданим. Закључци су подељени у три групе; прву која се односи на утицај варираних параметара процеса на карактеристике ко-екструдата и потрошњу енергије, другу у којој су изнешени најзначајнији закључци везани за оптимизацију процеса екструдирања и трећу која се односи на складишну стабилност произведеног ко-екструдата. Укупно је изнешено осамнаест најважнијих закључака.

У поглављу **ЛИТЕРАТУРА**, кандидаткиња је навела 234 литературна навода (референци) искоришћених приликом писања ове дисертације, а који су на адекватан начин цитирани. Избор референци је актуелан (већина је новијег датума) и примерен тематици која је проучавана.

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

### M21 – Рад у врхунском међународном часопису:

1. **Ivanov, D.**, Čolović, R., Lević, J., Sredanović, S. (2012): Optimization of supercritical fluid extraction of linseed oil using RSM. *European Journal of Lipid Science and Technology* 114 (7), 807-815.

### M22 – Рад у истакнутом међународном часопису:

2. **Ivanov, D.**, Čolović, R., Bera, O., Lević, J., Sredanović, S.: Supercritical fluid extraction as a method for fat content determination and preparative technique for fatty acid analysis in mesh feed for pigs, *European Food Research and Technology*, 2011, Vol. 233, No. 2, pg. 343- 350.

### M23 – Рад у часопису међународног значаја:

3. Lević, J., **Ivanov, D.**, Sredanović, S., Jovanović, R., Čolović, R., Vukmirović, Đ.: Sunflower flour as a rich source of high quality proteins, *Agro Food Industry Hi-tech*, 2012, Vol. 23, No. 4, pg. 13-15.

### M24 – Рад у часопису међународног значаја верификован посебном одлуком

4. Okanović, Đ., **Ivanov, D.**, Palić, D., Mandić, A., Ilić, N. (2012): Meat fatty acid profile of pigs fed linseed enriched diet, *Biotechnology in animal husbandry* 28 (3), 447-486.

### M33 – Саопштење са међународног скупа штампано у целини:

5. **Ivanov, D.**, Čolović, R., Vukmirović, Đ., Lević, J., Kokić, B., Lević, Lj., Đuragić, O.: Influence of process parameters on temperature profile in extruder barrel and nitrogen solubility index of linseed co-extrudate. *Proceedings of The first International Symposium on Animal Science*, 511-515, Belgrade, November, 2012.

### M34 – Саопштење са међународног штампано у изводу:

6. **Ivanov, D.**, Kokić, B., Brlek, T., Lević, J., Čolović, R., Vukmirović, Đ., Đuragić, O.: Microwave detoxification of linseed as a feed compound, 19th International conference Krmiva, Opatija, 30. May-01. June, 2012, 126.
7. **Ivanov, D.**, Čolović, R., Vukmirović, Đ., Lević, J., Sredanović, S., Đuragić, O., Brlek, T.: Linseed-sunflower meal co-extrudate as a functional additive for improvement of fatty acid composition in feed, „Feed your knowledge!“, Barcelona, Spain, 7-8 june, 2012, 33, ISSN 1654-354894. <http://www.feedforhealth.org/default.asp?ZNT=S0T1O-1P78>

M51 – Рад у водећем часопису националног значаја

8. Okanović, Đ., Plić, N., **Ivanov, D.**, Palić, D., Ikonić, P., Drobnjaković, R., Vukčević, Č. (2011): Influence of linseed enriched diet on omega-3 fatty acid content in pig meat, *Krmiva* 52 (4), 189-194.
9. **Ivanov, D.**, Kokić, B., Brlek, T., Čolović, R., Vukmirović, Đ., Lević, J., Sredanović, S. (2012): Effect of Microwave Heating on Content of Cyanogenic Glycosides in Linseed, *Ratarstvo i Povrtarstvo* 49 (1), 63-68.

M82 – Техничко и развојно решење

10. Иванов Душица, мр Славица Средановић, Радмило Чоловић, др Јованка Левић, др Раде Јовановић, др Оливера Ђурагић, Теа Брлек, др Љубинко Левић: Нови производ – Екструдирана протеинско-енергетска смеша са високим садржајем омега масних киселина КОМПО ОМЕГА ПРОЛАН. Нови Сад, 2012. Корисник техничког решења: Ф.С.Х. Компонента д.о.о. Ћуприја.
11. Ђуро Вукмировић, Раде Јовановић, Сава Павков, Љиљана Костадиновић, Јованка Левић, Славица Средановић, Радмило Чоловић, Душица Иванов, Оливера Ђурагић: Нови производ – Потпуна смеша за свиње I КОМПО СТ-1 ОМЕГА +, Корисник техничког решења: Ф.С.Х. Компонента д.о.о. Ћуприја.

**VII ЗАКЉУЧЦИ ОДНОСНО РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА**

На основу анализе резултата добијених током испитивања утицаја процеса екстудирања на добијање и стабилност функционалног хранива на бази ланеног семена, кандидаткиња Душица Чоловић је извела следеће закључке:

- Да је ланено семе употребљено за производњу функционалног хранива имало, са нутритивног аспекта, повољан хемијски и маснокиселински састав. Поред високог садржаја масти (37,62% с.м.) и знатне количине протеина (22,52% с.м.), ова сировина садржала је и значајне количине калијума (7006 mg/kg) и магнезијума (1832,98 mg/kg). Удео есенцијалне АЛА у укупним масним киселинама износио је 50,31%. Садржај уља у сунцокретовој сачми износио је 1,98% (с.м.), а најзаступљенија масна киселина била је линолна омега-6 масна киселина са уделом од 63,15%.
- Да је најзначајнији утицај на смањење садржаја HCN у процесу екстудирања имала влага материјала. Највиши садржај HCN у екстудираном храниву (126 mg/kg) измерен је при најнижој полазној влаги материјала (7 %). Са порастом садржаја влаге, редукција HCN је била ефикаснија. За детоксификацију ланеног семена и ослобађање од цијаногених гликозида поред термичког третмана неопходно је обезбедити и одговарајућу количину влаге. Само у том случају ће HCN бити неповратно уклоњена из третираног материјала, јер ће поред разарања цијаногених гликозида доћи и до испаравања HCN.
- Да је минималан садржај HCN у добијеном ко-екструдату износио је 25,42 mg/kg, а измерен је при полазној влаги смеше од 11,5 %. Са даљим повећањем влаге, садржај HCN почео је благо да расте због смањења вискозитета материјала, услед чега је маса при једнакој брзини обртања пужа, брже излазила из цеви екструдера, па је материјал био краће изложен дејству ензима, температуре и других утицаја.
- Да је велику значајност за редукцију садржаја HCN у ко-екструдату показала и брзина обртања пужа екструдера. Најефикаснија детоксификација забележена је при најнижим вредностима капацитета пуњења екструдера и средишњим вредностима брзине

обртања пужа. Повећање брзине обртања пужа до вредности од 415 о/мин интензивирало је редукцију HCN услед појачаног мешања материјала, чиме се остварио бољи контакт између цијаногених гликозида и ендogene β-глюкозидазе, уз истовремено постизање високих температура, притиска и сила смицања. Даљим повећањем брзине обртања пужа редукција HCN благо опада, јер се третирани материјал кратко задржава у цеви екструдера.

- Да је током екстудирања дошло до повећавања киселости хранива, односно СМК. Најзначајнији утицај на СМК имала је влага, јер се деструкција ензима интензивира са порастом температуре и влаге материјала у процесу. Остали параметри екстудирања нису показали статистички значајан утицај.
- Да се потрошња енергије у експериментну кретала се између 117 kWh/t и 295,45 kWh/t у зависности од параметара екстудирања који су били примењени. Сви независно променљиви параметри екстудирања су имали статистички значајан утицај на потрошњу енергије. Максимална потрошња енергије измерена је при највећим брзинама обртања пужа и најнижем садржају влаге полазног материјала. Са порастом влаге материјала потрошња енергије је опадала због смањења вискозитета и олакшаног протока смеше кроз цев екструдера.
- Да је најнижа измерена потрошња енергије по маси материјала у читавом експерименту забележена при максималним вредностима полазне влаге материјала (16 %) и укупне површине отвора на матрици (59,40 mm<sup>2</sup>). Најмања потрошња енергије при константим средњим вредностима влаге материјала и брзине обртања пужа постигнута је при највећој површини отвора на матрици и најмањем капацитету пуњења. У овом случају, отпор проласку материјала кроз матрицу био је најмањи, а измерена потрошња енергије износила је 150,23 kWh/t.
- Да је највиша температура екстудирања измерена непосредно пред излазак материјала из цеви екструдера и износила је 116,02 °C. Најнижа температура током екстудирања од 26,46 °C измерена је у тачки која је најудаљенија од матрице, на излазу из цеви екструдера. Температурни услови у тачки најудаљенијој од матрице били су нестабилнији него у тачки непосредно до матрице, услед накупљања материјала непосредно пред матрицу и наглог проласка кроз њу након постизања довољног притиска.
- NSI вредност се у експерименту кретала између 16,54 % и 29,64 %. Са порастом температуре екстудирања, NSI вредност је опадала. Повишена температура је изазвала денатурацију протеина, што је регистровано снижавањем NSI вредности.
- Поступком RSM могу се на адекватан начин описати утицаји процесних параметара на квалитет произведеног ко-екстудата и потрошњу енергије током екстудирања, што потврђују високе вредности коефицијената детерминације за све посматране одзиве. Коефицијенти детерминације су се кретали у опсегу између 0,95 и 0,82. Анализа варијансе за посматране одзиве указује да су сви модели били статистички значајни при нивоу значајности од 95% (p-вредност ≤ 0,05).
- Оптимални услови екстудирања одређени су на основу одабране значајности свих оцива који су у оптимизацију били укључени (садржај HCN у ко-екстудату, садржај ALA, СМК и потрошња енергије). Резултати оптимизације указују на то да је екстудирање функционалног хранива потребно изводити при полазном садржају влаге од 13,39%, брзини обртања пужа од 417,41 о/мин, капацитету пуњења од 32 kg/h и укупној површини отвора матрице од 19,80 mm<sup>2</sup>. Вредност укупне пожељне функције при оваквим условима била је изузетно висока и износила је 0,89.
- Произведено функционално храниво поседује и висок садржај протеина (30,31 % с.м.) и висок садржај уља (20,57 % с.м.), па се истовремено може посматрати и као извор протеина и као извор енергије у исхрани животиња.
- Садржај ALA се након екстудирања при оптималним условима смањено за 0,69 % у

односу на нетретирану смешу и износио је 48,43% у укупним масним киселинама. Овако висок удео есенцијалне омега-3 масне киселине квалификује производ као храниво са функционалним карактеристикама, погодно за повећавање садржаја омега масних киселина у храни за животиње.

- Почетна вредност пероксидног броја у ко-екструдату који је складиштен износила је 0,92 mmol/kg m.f.. Највиша вредност пероксидног броја износила 46,32 mmol/kg m.f. и забележена је у контролном узорку након четири дана складиштења. Највиша вредност пероксидног броја код узорка са додатим витамином Е износила је 36,55 mmol/kg m.f., што је ниже него у осталим узорцима. Узорак са додатим витамином Е достигао је ову вредност један дан након осталих узорака, тј. петог дана складиштења, што све указује да је витамин Е у овом експерименту имао најизраженије антиоксидативно дејство.
- Додатак смеше витамина Е и карвакрола није показао појачану антиоксидативну активност у односу на појединачне компоненте одвојено.
- Садржај СМК је у свим узорцима у току складиштења порастао. Највиша вредност СМК измерена је у контролном узорку и износила је 5,51 %. Најмањи пораст забележен је у узорку са додатком смеше витамина Е и карвакрола (од 3,28 % до 5,25 %). До повећања СМК у узорцима током складиштења највероватније је дошло због оштећења семена током млевења, а потом и током екструдирања. Оштећена семена подложнија су липолитичким активностима ендogene биљне липазе, услед чега лакше долази до разградње триглицерида.
- Екструдирање хранива је статистички значајно ( $p = 0,032$ ) утицало је на смањење броја микроорганизама у односу на полазну нетретирану смешу, што је још један позитиван ефекат процеса екструдирања.
- Редукција микроорганизама током складиштења забележена је у свим узорцима, што је последица повишене температуре на којој су узорци складиштени ( $63 \pm 2$  °C). При овим температурама онемогућен је раст већине микроорганизама, па преживели организми највероватније припадају групи термофилних бактерија. Најнижа вредност укупног броја микроорганизама измерена је након тринаест дана у узорку са додатим карвакролом и износила је 600 cfu/g. Највећи број микроорганизама се након тринаест дана задржао у контролном узорку и износио је 1300 cfu/g. Закључује се да је карвакрол показао веома изражено антимикуробно дејство, за разлику од витамина Е, чијим се додатком у узорке број микроорганизама у односу на контролу није смањило.



## **VIII ОЦЕНА НАЧИНА ПРИКАЗА И ТУМАЧЕЊА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА**

Експлицитно навести позитивну или негативну оцену начина приказа и тумачења резултата истраживања.

Кандидаткиња Душица Чоловић, дипл. инж. технологије, је успешно и у целости обавила истраживања која су била предвиђена планом датим у пријави ове дисертације. Добијени резултати су проистекли из веома обимних оригинално постављених истраживања ради испитивања утицаја процеса екструдирања на добијање и стабилност функционалног хранива на бази ланеног семена. Бројни резултати испитивања су систематично, јасно и прегледно приказани табеларно и графички, статистички правилно обрађени и интерпретирани. Тумачење резултата заснива се на добром познавању утицаја појединачних фактора, као и целокупног технолошког процеса екструдирања хране за животиње на квалитет добијеног ко-екструдата. Отуда се начин приказа и тумачења добијених резултата истраживања оцењује позитивно.

## **IX КОНАЧНА ОЦЕНА ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

1. Да ли је дисертација написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме  
Дисертација је у потпуности написана у складу са образложењем наведеним у пријави теме.
2. Да ли дисертација садржи све битне елементе  
Дисертација садржи све неопходне елементе за разумевање обрађене теме и добијених резултата. Написан је обиман, монографски преглед литературе, комплексни експерименти су изведени на адекватан начин, примењен је велики број метода, а међу њима и најсавременије аналитичке технике. Резултати приказани у дисертацији су интерпретирани у складу са обимним теоријским предзнањем, те на одговарајући начин доведени у корелацију са варираним процесним параметрима.
3. По чему је дисертација оригиналан допринос науци  
Дисертација је урађена на научно коректан и стручан начин, тема је актуелна, а добијени резултати и изведени закључци представљају јасан допринос науци на фундаменталан и практичан начин.
  - На самом почетку рада на дисертацији, оптимизоване су инструменталне аналитичке методе које су употребљене за извођење хемијских анализа узорака.
  - По први пут је произведено функционално храниво за повећање садржаја омега-масних киселина, које је добијено процесом екструдирања смеше ланеног семена и сунцокретове сачме, као најзаступљеније сачме у нашој земљи. Комбинација ланеног семена и сунцокретове сачме омогућила је несметано екстудирање на једнопужним екструдерима и спречила истицање ланеног уља, као највредније компоненте, носиоца функционалних особина произведеног ко-екструдата.
  - Мултидисциплинаран приступ у оквиру ове дисертације омогућио је детаљно испитивање утицаја процеса екстудирања на најзначајније карактеристике ко-екструдата и потрошњу енергије приликом производње. Добијени подаци доприносе разумевању процеса екстудирања и променама које се током процеса одигравају. У дисертацији су утврђене математичке зависности између независно променљивих параметара процеса и зависних карактеристика ко-екструдата. Изведене су регресионе једначине као резултати фитовања моделованих одзива са полиномом другог реда.
  - Даљи допринос овог рада науци огледа се у оптимизацији процеса екстудирања испитиваног функционалног хранива. Процес оптимизације омогућио је редуkcију цијаногених гликозида, антинутритивних материја присутних у ланеном семену, уз истовремено очување  $\alpha$ -линоленске, есенцијалне масне киселине и смањену потрошњу енергије. Добијени резултати су оригинални и први пут изведени у лабораторијским условима пилот постројења.
  - Оптимизовани процес из пилот постројења лако би могао бити пренешен на индустријску производњу поменутог хранива. Добијени резултати практично су и примењени у индустријским условима, а ФСХ „Компонента“ из Ћуприје корисник је два

<p>техничка решења заснована на истраживањима из ове докторске дисертације.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Испитана је складишна стабилност добијеног хранива, као и дејство примењених антиоксиданаса карвакрола и витамина Е на овај конкретан производ. Уочено је да не постоји синергистичко дејство два антиоксиданса у примени на испитивани ко-екструдат.</li> <li>• Испитано је антимикуробно дејство примењених антиоксиданаса појединачно и у комбинацији.</li> </ul> <p>Може закључити да истраживања спроведена у овој дисертацији представљају потенцијалну основу за даља испитивања у области производње функционалних хранива за животиње. Научни допринос резултата истраживања верификован је објављивањем радова у међународним и домаћим часописима, као и презентовањем резултата на међународним скуповима у земљи и иностранству.</p>
<p>4. Недостаци дисертације и њихов утицај на резултат истраживања Недостаци дисертације нису уочени.</p>

<p><b>X ПРЕДЛОГ:</b></p> <p>На основу укупне оцене урађене докторске дисертације под насловом <b>Испитивање утицаја процеса екструдирања на добијање и стабилност функционалног хранива за животиње на бази ланеног семена</b>, комисија предлаже да се докторска дисертација прихвати, а да се кандидаткиња <b>Душица Чоловић, дипл. инж. технологије</b>, позове на јавну одбрану.</p>
--

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ

\_\_\_\_\_

**Др Етелка Димић, редовни професор**

\_\_\_\_\_

**Др Љубинко Левић, редовни професор**

\_\_\_\_\_

**Др Јованка Левић, научни саветник**

\_\_\_\_\_

**Др Бојана Иконић, доцент**