



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ТЕХНОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ
ПРЕХРАМБЕНО ИНЖЕЊЕРСТВО

**Синтеза, карактеризација, оптимизација
својстава и примена јестивог, активног
амбалажног материјала
на бази скроба**

- ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА -

Ментор:
Проф. др Вера Лазић

Кандидат:
Дипл.инж. Данијела Шупут

Нови Сад, 2015. године

**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ТЕХНОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ**

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број: РБР	
Идентификациони број: ИБР	
Тип документације: ГД	Монографска документација
Тип записа: ГЗ	Текстуални штампани материјал
Врста рада (дипл., маг., докт.): ВР	Докторска дисертација
Име и презиме аутора: АУ	Дипл. инж. Данијела Шупут
Ментор (титула, име, презиме, звање): МН	Проф. др Вера Лазић , редовни професор
Наслов рада: НР	Синтеза, карактеризација, оптимизација својстава и примена јестивог, активног амбалажног материјала на бази скроба
Језик публикације: ЈП	Српски језик, ћирилица
Језик извода: ЈИ	срп. / енг.
Земља публикавања: ЗП	Република Србија
Уже географско подручје: УГП	АП Војводина
Година: ГО	2016
Издавач: ИЗ	ауторски репринт
Место и адреса: МА	Булевар цара Лазара 1, Нови Сад

Физички опис рада: ФО	6 поглавља, 206 страна, 36 слика, 36 табела, 457 литературних навода
Научна област: НО	Биотехничке науке
Научна дисциплина: НД	Прехрамбено инжењерство
Предметна одредница, кључне речи: ПО	Активна амбалажа, скробни филмови, карактеристике, примена, осмотска дехидратација, месо
УДК	
Чува се: ЧУ	Библиотека Технолошког факултета у Новом Саду
Важна напомена: ВН	Истраживања обухваћена докторском дисертацијом финансирана су од стране Министарства за просвету и науку Републике Србије – ТР31055
Извод: ИЗ	Предмет докторске дисертације је развој јестивих, биоразградивих, активних филмова на бази скроба са додатком есенцијалних уља зачинског биља и њихова примена за паковање одабраног прехранбеног производа. Глобални допринос овог рада иде у прилог развоју области биоразградивих, јестивих, активних амбалажних материјала. Основно истраживање се базира на испитивању могућности добијања скробних филмова влажним поступком ("casting" метода), модификацији врста и количина додатих компонената које улазе у састав филмогене смеше и карактеризацији добијених филмова ради побољшања особина формираног филма. Својства значајна за примену добијених материјала су физичко-хемијске особине (садржај влаге, способност бубрења), механичке особине (дебљина, затезна јачина и издужење при кидању), баријерне особине (пропустљивост водене паре), структурне (АТР-ФТИР спектрометрија и дифракција X зрака), термалне, оптичке и биолошке особине (антимикробна и антиоксидативна активност). Обзиром на велики број параметара који утичу на формирање филма, као и на особине формираних филмова, испитано је међусобно деловање више фактора на могућност продукције и особине добијеног филма. Избор и оптимизација процесних параметара и моделовање продукције филмова изведено је имплементирањем компјутерске и аналитичке методологије. На основу приказаних резултата, може се закључити да је синтетисан активан јестиви скробни филм оптимизованих физичко-хемијских, механичких, баријерних, термалних и биолошких

карактеристика. Синтетисаном скробном филму смањена је способност бубрења, унапредјене су механичке особине (вредности затезних јачина опадају, уз истовремено повећање вредности издужења при кидању). Значајан је утицај додатка есенцијалних уља на вредности пропустљивости водене паре, а њиховим додатком постигнута је и изражена биолошка активност.

На основу детаљне карактеризације, одабрани су филмови оптимизованих својстава за примену у заштити осмотски дехидрираног свињског меса током периода складиштења. Осмотски дехидрирано месо је упаковано у комерцијалан високо-баријеран амбалажни материјал у атмосферским условима и у условима модификоване атмосфере, док је други део узорака претходно заштићен скробним премазом са оптимизованим особинама, а затим упакован на исти начин. Утицај оптимизоване скробне превлаке на осмотски дехидрирано месо испитан је праћењем промена параметара квалитета током складиштења.

Резултати су показали да јестиви, активни скробни премаз значајно доприноси стабилности упакованог осмотски дехидрираног меса и то у погледу оксидације липида, микробиолошке стабилности и позитивног утицаја на сензорне карактеристике осмотски дехидрираног меса током периода складиштења.

Датум прихватања теме од стране

НН већа:

ДП

Датум одбране:

ДО

Чланови комисије:

(име и презиме / титула / звање /
назив организације / статус)

КО

председник:

Др Љубинко Левић, редовни професор,
Технолошки факултет, Нови Сад

ментор:

Др Вера Лазих, редовни професор,
Технолошки факултет, Нови Сад

члан:

Др Наталија Цинић, ванредни професор,
Технолошки факултет, Нови Сад

Члан:

Др Лато Пезо, научни сарадник,
Институт за општу и физичку хемију, Београд

**UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF TECHNOLOGY**

KEY WORD DOCUMENTATION

Accession number:
ANO
Identification number:
INO
Document type: Monograph documentation
DT
Type of record: Textual printed material
TR
Contents code: Ph.D. Thesis
CC
Author: **Danijela Šuput, M.Sc.**
AU
Mentor: **Vera Lazić, Ph.D., Full Professor**
MN
Title: **Sinteza, karakterizacija, optimizacija
svojtava i primena jestivog, aktivnog
ambalažnog materijala na bazi skroba**
TI
Language of text: Serbian language, Cyrillic
LT
Language of abstract: eng. / srp.
LA
Country of publication: Republic of Serbia
CP
Locality of publication: AP Vojvodina
LP
Publication year: 2016
PY
Publisher: Author's reprint
PU
Publication place: Bulevar cara Lazara 1, Novi Sad
PP

Physical description: PD	6 chapters, 206 pages, 36 figures, 36 tables, 457 references
Scientific field SF	Biotechnical science
Scientific discipline SD	Food Engineering
Subject, Key words SKW	Active packaging, biodegradable materials, starch, characteristics, application
UC	
Holding data: HD	Library of the Faculty of Technology, University of Novi Sad
Note: N	Research in this thesis was funded by Ministry of Education and Science of the Republic Serbia – TR31055 (2011-2015)
Abstract: AB	<p>The subject of the doctoral thesis is the development of edible biodegradable active films based on starch with the addition of herbal essential oils and their application in packaging of selected food products. Basic research is examination of the possibility of obtaining starch films by wet method ("casting" method), modification of the types and amounts of added components that constitute the film forming mixture and characterization of films in order to improve the characteristics. Characteristics important for the implementation of the obtained materials include the physico-chemical properties (moisture content, solubility), mechanical properties (thickness, tensile strength and elongation at break), barrier properties (water vapor permeability), structural (ATR-FTIR spectroscopy and X ray diffraction), thermal, optical and biological properties (antimicrobial and antioxidant activity).</p> <p>Considering the large number of parameters that affect the film formation, as well as the properties of the films, interactions of multiple factors on the possibility of production and properties of the produced film were examined. Selection and optimization of process parameters and modeling of film production were performed by implementing computer and analytical methodology.</p> <p>Based on these results, it can be concluded that it were synthesized active edible starch films with optimized physico-chemical, mechanical, barrier, thermal and biological characteristics. Synthesized starch film had reduced solubility, improved mechanical properties</p>

(tensile strength values declined, while elongation at break increased). There is a significant influence of the addition of essential oils on the water vapor permeability value with expressed biological activity. The global contribution of this investigation favors the development of the biodegradable edible active packaging materials scientific field.

Based on the detailed characterization, film with optimized characteristics was selected for protection of osmotically dehydrated pork during storage. Osmotically dehydrated meat is wrapped in commercial high-barrier packaging material in atmospheric conditions and in conditions of modified atmosphere, while the second part of the sample is packaged in the same way, but previously protected with optimized starch edible coating. Influence of optimized starch coating on the osmotic dehydrated meat was examined by monitoring the quality change during storage in order to preserve the quality and shelf life of packed meat.

The results showed that an edible starch based active coating contributes significantly to the stability of the packaged osmotically dehydrated meat during the storage period in terms of lipid oxidation, microbiological stability and positive influence on the sensory characteristics of the osmotically dehydrated meat during the storage period.

Accepted on Scientific Board on:

AS

Defended:

DE

Thesis Defend Board:

DB

President:

Ljubinko Lević, Ph.D. Full Professor,
Faculty of Technology, Novi Sad

Mentor:

Vera Lazić, Ph.D., Full Professor,
Faculty of Sciences, Novi Sad

Member:

Natalija Džinić, Ph.D., Associate Professor,
Faculty of Technology, Novi Sad

Member:

Lato Pezo, Ph.D., Research Associate,
Institute of General and Physical Chemistry, Belgrade

1. УВОД	1
1.1. Циљ дисертације	2
2. ПРЕГЛЕД ЛИТАРАТУРЕ	4
2.1. ПОЛИМЕРНИ АМБАЛАЖНИ МАТЕРИЈАЛИ И АМБАЛАЖА	4
2.1.1. Услови паковања	9
2.1.1.1. Паковање у условима модификоване атмосфере	9
2.1.1.2. Активно паковање	11
2.1.2. Еколошки аспект полимерне амбалаже	15
2.2. БИОПОЛИМЕРИ	18
2.2.1. Јестиви филмови и премази	19
2.2.1.1. Протеински филмови	20
2.2.1.2. Липидни филмови	22
2.2.1.3. Полисахаридни филмови	23
2.2.2. Јестиви скробни филмови и премази	25
2.2.2.1. Хемијски састав скроба	25
2.2.2.2. Желатинизација и ретроградација	29
2.2.3. Синтеза јестивих скробних филмова и премаза	30
2.2.4. Особине јестивих скробних филмова и премаза	35
2.2.4.1. Механичке особине	35
2.2.4.2. Баријерне особине	38
2.2.4.3. Структурне особине	40
2.2.4.4. Термичке особине	44
2.2.4.5. Биолошке особине	46
2.2.5. Примена јестивих скробних филмова и премаза у прехранбеној индустрији	50
2.3. ОСМОТСКА ДЕХИДРАТАЦИЈА	53
2.3.1. Осмотска дехидратација меса	56
2.3.2. Рехидратација осмотски дехидрираних производа	61
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО	63
3.1. Задатак рада	63
3.2. Експериментални материјал	64
3.3. Програм рада	66
3.4. Методе испитивања	72
3.4.1. Карактеризација полимерних и скробних амбалажних материјала	72
3.4.1.1. Испитивање физичко-хемијских својстава	72
3.4.1.2. Испитивање механичких својстава	73
3.4.1.3. Испитивање баријерних својстава	73
3.4.1.4. Испитивање структурних својстава	74
3.4.1.5. Испитивање термичких својстава	75
3.4.1.6. Испитивање оптичких својстава	75
3.4.1.7. Испитивање биолошких својстава	76
3.4.1.8. Анализа животног циклуса амбалаже	78
3.4.2. Карактеризација осмотски дехидрираног меса	78
3.4.2.1. Испитивање физичко-хемијских карактеристика	78
3.4.2.2. Испитивање оксидативних промена	79
3.4.2.3. Испитивање микробиолошког профила	80
3.4.2.4. Инструментално испитивање боје	81
3.4.2.5. Сензорска анализа	82
3.4.3. Статистичка обрада података	83
3.4.3.1. Дескриптивна статистика	83
3.4.3.2. Метода одзивних површина (RSM - Response Surface Methodology)	84
3.4.3.3. Анализа главних компоненти (PCA- Principal Components Analysis)	86
3.4.3.4. Одређивање нормализованих стандардних оцена (SS)	88

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА	90
4.1. Синтеза и карактеризација скробних филмова	90
4.1.1. Утицај врсте и удела пластификатора на особине јестивих скробних филмова	90
4.1.2. Утицај гуар-ксантана на особине јестивих скробних филмова	93
4.1.3. Статистичка обрада резултата	98
4.2. Оптимизација и карактеризација скробних филмова са есенцијалним уљима	106
4.2.1. Физичко-хемијска својства	108
4.2.2. Механичка својства	110
4.2.3. Баријерна својства	112
4.2.4. Структурна својства	114
4.2.5. Термичка својства	118
4.2.6. Оптичка својства	120
4.2.7. Биолошка својства	123
4.2.8. Анализа главних компонената	128
4.3. Примена оптимизованог јестивог активног скробног филма на осмотски дехидрирано месо	130
4.3.1. Утицај осмотске дехидратације на карактеристике меса	130
4.3.1.1. Физичко-хемијски параметри	130
4.3.1.2. Садржај минерала	133
4.3.1.3. Утицај рехидратације на физичке параметре осмотски дехидрираног меса	134
4.3.1.4. Утицај рехидратације на минерални састав осмотски дехидрираног меса	137
4.3.2. Карактеризација полимерних материјала	141
4.3.2.1. Механичке особине	141
4.3.2.2. Баријерне особине	142
4.3.2.3. Анализа животног циклуса полимерне амбалаже	143
4.3.3. Испитивање квалитета упакованог осмотски дехидрираног меса	147
4.3.3.1. Оксидативне промене упакованог осмотски дехидрираног меса	149
4.3.3.2. Микробиолошка анализа упакованог осмотски дехидрираног меса	153
4.3.3.3. Инструментално одређивање боје	156
4.3.3.4. Сензорска анализа	158
4.3.3.5. Статистичка обрада података	161
5. ЗАКЉУЧАК	164
6. ЛИТЕРАТУРА	168

1. УВОД

Сви прехранбени производи захтевају одређену амбалажу током транспорта, складиштења и употребе, а свака производна линија у прехранбеној индустрији завршава се паковањем производа чији је циљ очување квалитета производа у декларисаном року одрживости. На светском тржишту амбалажних материјала најзаступљенији су полимерни амбалажни материјали због низа својих предности, као што су мала релативна маса, чврстоћа, флексибилност, обрадивост, могућност комбиновања са другим материјалима, ниска цена. Ипак, последњих година уочавају се два проблема везана за употребу полимера у амбалажној индустрији: синтеза полимера из необновљивих извора, као и оптерећење животне средине због њихове претеране употребе и одлагања. Полимерни материјали су деривати нафте, која је необновљива сировина. С друге стране њихова масовна употреба значајно доприноси еколошком оптерећењу животне средине. Због наведених разлога последње две деценије се интензивно истражује област биоразградивих материјала. Питање могућности искоришћења обновљивих сировина и агро-индустријског отпада је отворено као алтернатива употреби синтетских полимера. Обновљиве сировине, доступност, ниска цена су предности и разлози развоја нове области биоразградиве амбалаже. Тржиште биоразградиве амбалаже бележи значајан раст последњих година и очекује се да ће се овај тренд пораста наставити. Потребно је удружити знања из области материјала, процесне технологије (опрема, процедуре, софтвери) и одговорити потребама савременог друштва, које тежи одрживом развоју. У природи се може наћи низ лако доступних сировина за добијање биоразградивих материјала, које се деле на три велике групе, на основу градивних јединица, а то су полисахариди (скроб, пектин, целулоза, хитозан...), протеини (колаген, желатин, казеин, глутен...) и липиди.

Скроб представља један од најшире распрострањених полисахарида у природи који се добија из обновљивих извора, чија цена је ниска, па примена јестиве амбалаже на бази скроба у области паковања хране представља потенцијални правац развоја амбалажних материјала данашњице. Из скроба је

могуће једноставно формирати амбалажни филмови добрих сензорних својстава (боја, мирис, укус), који не утичу неповољно на упаковани садржај. Главне предности амбалаже на бази скроба су одлична баријерна својства према кисеонику и угљен-диоксиду. Механичке особине добијених скробних филмова могу се оптимизовати адекватним избором врсте и концентрације пластификатора. Произведени јестиви скробни филмови и премази конзумирају се заједно са производом или се одбацују као биоразградива амбалажа. С друге стране, највећи недостатак скробних филмова и премаза је слабија баријера према воденој пари, због високе хидрофилности самог скроба. Ова особина се може побољшати додатком хидрофобних компонената, као што су, на пример, есенцијална уља. Комбиновање природних антимикуробних и антиоксидативних супстанци, као што су нпр. есенцијална уља, са скробним филмовима и премазима може дати одличне резултате у виду добијања активних амбалажних материјала. Инкорпорирањем есенцијалних уља у филмове/премазе, хидрофобна природа уља доприноси побољшању механичких и баријерних карактеристика. Филм/премаз као матрикс-носилац активних компонената есенцијалног уља успорава испаравање активних компоненти. Поред тога, на овај начин је смањена потребна количина есенцијалног уља уз исти антимикуробни и антиоксидативни учинак.

1.1. Циљ дисертације

Циљ истраживања је развој и примена јестивих биоразградивих, активних филмова на бази скроба, уз додаток есенцијалних уља, као активних природних компоненти. Планирана истраживања у склопу ове дисертације обухватају неколико фаза:

- **Синтеза и карактеризација својстава скробних филмова** - испитивање утицаја различитих процесних параметара, као што су концентрација и врста пластификатора и стабилизатора, на механичка и баријерна својства добијених филмова;

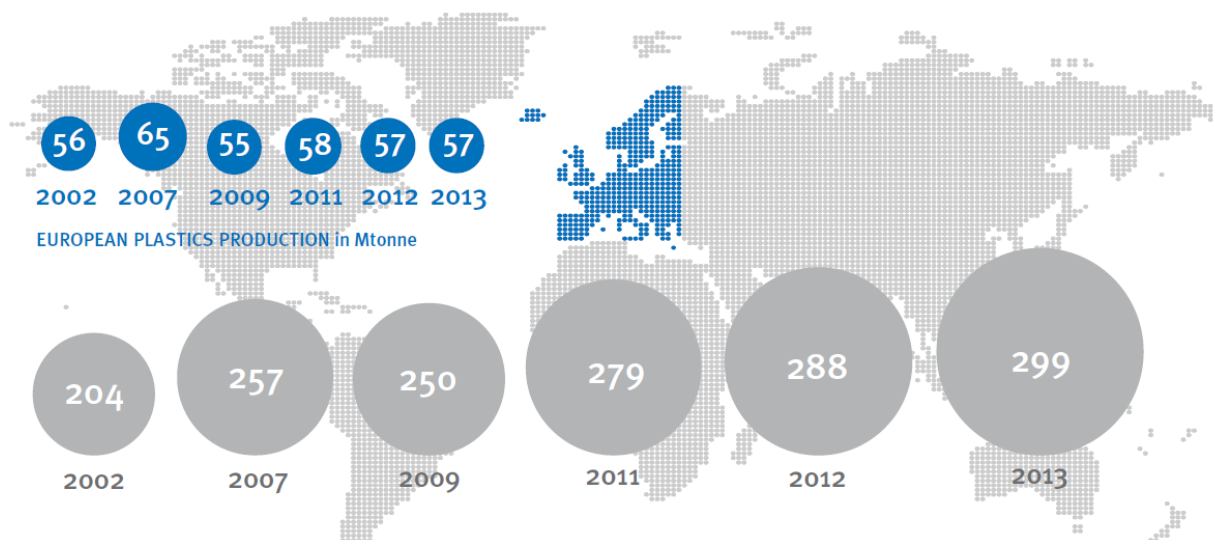
- **Оптимизација и карактеризација скробних филмова са додатком есенцијалних уља** – испитивање утицаја есенцијалних уља црног кумина и оригана на физичко-хемијска, механичка, баријерна, структурна, термичка, оптичка и биолошка својства добијених филмова;
- **Примена оптимизованог скробног премаза за заштиту осмотски дехидрираног меса** – испитивање утицаја оптимизованог скробног филма на осмотски дехидрирано месо, упаковано у високобаријерне амбалажне материјале у атмосферским условима и у условима модификоване атмосфере. Праћена је одрживост и параметри квалитета, као што су оксидативна, микробиолошка и сензорна својства упакованог осмотски дехидрираног меса током складиштења.

2. ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ

2.1. ПОЛИМЕРНИ АМБАЛАЖНИ МАТЕРИЈАЛИ И АМБАЛАЖА

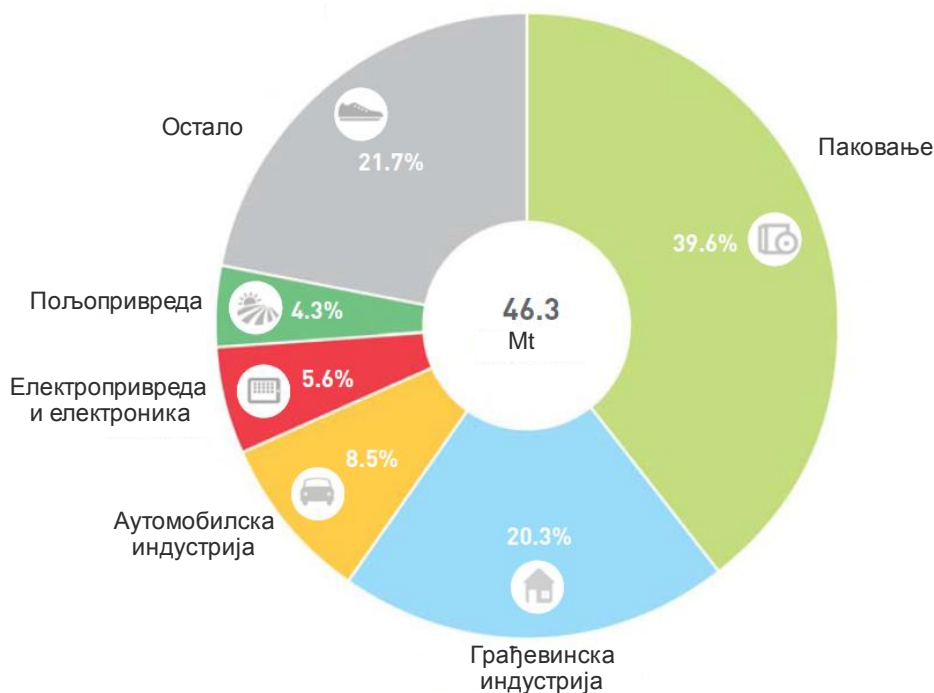
У оквиру амбалажне индустрије, која је трећа по величини индустрија у свету, паковање хране представља највећи сектор (*Datamonitor, 2010*). Паковање је саставни и завршни део сваке производне линије и има за циљ да омогући финалном производу сигурнију манипулацију, складиштење и транспорт до купца, док амбалажа чини неодвојиви део производа и њена улога је да чува производ као и да га на најбољи начин презентује купцу.

Област паковања хране укључује различите аспекте: одабир сировине за паковање, означавање и дизајн амбалажних материјала, складиштење, транспорт и дистрибуцију. Ови елементи су присутни током целокупног животног циклуса производа, а разумевање интеракција између ових елемената је кључ на основу ког се оптимизује систем амбалаже и паковања у погледу цене, заштите, маркетинга и продаје (*Kim и сар., 2014*).



Слика 2.1. Производња пластике (Mt) у свету и Европи

Од када је прва пластична маса - *Parkesine*, целулозни дериват творца Александра Паркеса, јавно представљена на Великој Интернационалној изложби 1862. године у Лондону, присутност пластичних маса је постала незамањива на тржишту света.



Слика 2.2. Употреба пластике

Према *Plastics Europe* (www.plasticseurope.org) производња пластике у свету у 2013. години износила је 299 Mt, од чега у Европи 57 Mt и бележи константан раст (Слика 2.1.). Индустрија хране је највећи крајњи корисник амбалажних материјала (Han, 2014). Од укупне количине произведене пластике 39.6% се примењује у области паковања (Слика 2.2.).

Под полимерним амбалажним материјалом подразумева се технички употребљив материјал чију основу чини полимер у који се, у дозвољеној количини, додају нискомолекуларна хемијска једињења као адитиви (пластификатори, омекшивачи, антиоксиданси, антистатистици, пигменти, пунила, топлотни и светлосни (UV) стабилизатори, итд.), у циљу побољшања својстава основног полимера, олакшања прераде и примене, као и снижења цене

полимера. Под полимерном амбалажом подразумева се амбалажа израђена од синтетичких полимерних амбалажних материјала и то у највећој мери од пластомера, тј. термопласта, који могу бити у облику филмова, фолија, трака, цева, плоча и др (Vujković, 1997; Stoilković, 1997).

Релативно лаки за обликовање, мале масе, чврсти, са способношћу формирања термовара су само неке од карактеристика пластичних материјала који их чине одговарајућим за паковање хране. Напредак у технологији полимера доприноси развоју пластичних материјала који боље одговарају захтевима паковања карактеристичних намирница (Vujković, 1997).

Најзаступљенији полимерни амбалажни материјали су свакако полиолефини, пре свега полиетилен (PE), а затим и полипропилен (PP). Осим ових материјала значајна је производња и примена амбалаже и од полиестара (полиетилентерефталата PET), затим полиамида (PA), полистирена (PS), поливинилхлорида (PVC), поливинилиденхлорида (PVDC), етиленвинилацетата (EVA), етиленвинилалкохола (EVOH), као и од још бројних других полимерних материјала.

Карактеристике амбалажних материјала, као што су механичке и баријерне карактеристике, су веома важне у одлуци који ће се материјал користити приликом паковања различитих типова производа. Излагање различитим условима током добијања и прераде може изазвати различите физичке и/или хемијске промене самих амбалажних материјала (Oyren *u cap.*, 2001), док оксидација уља, масти и других компонената хране утиче на губитак мириса, промену боје и нутритивни састав. Заштита производа од кисеоника је један од најважнијих захтева технологије паковања хране. Добре баријерне карактеристике амбалаже су неопходне за одржавање доброг иницијалног квалитета упакованог производа (Hong *u Krochta*, 2006).

У **табелама 2.1. и 2.2.** приказане су карактеристике најчешће коришћених амбалажних полимерних материјала.

Табела 2.1. Термалне и механичке особине полимера (*Kim и сар., 2014*)

Полимер	Термалне особине		Механичке особине		Густина (g/cm ³)
	T_m (°C)	T_g (°C)	Затезна јачина (K psi)	Сила компресије (K psi)	
LDPE	98-115	-25	1,2-4,6	-	0,910-0,940
LLDPE	122-124	-	1,9-4,0	-	0,916-0,940
HDPE	130	-	3,2	2,7	0,940-0,970
PP	168-175	-20	4,5-6,0	5,5-8,0	0,890-0,920
PS	-	74-105	5,2-7,5	12,0-13,0	1,04-1,05
PVC	-	75-105	5,9-7,5	8,0-13,0	1,3-1,58
PVDC	172	-15	3,5-5,0	2,0-2,7	1,65-1,72
PA	-	310-365	10,5-17,1	30,0-40,0	1,36-1,43
PET	245	73	7,0	11,0	1,29

Табела 2.2. Баријерне особине полимера (*Kim и сар., 2014*)

Полимер	Пропустљивост гасова на 23°C (nmol/m•s•GPa)			Пропустљивост водене паре (nmol/m•s/dan)
	O ₂	N ₂	CO ₂	
PP	300	60	1200	0,06-0,2
PET	10-18	2-4	30-50	0,4-0,7
PVC	10-40	-	40-100	0,2-1,3
HDPE	300	-	1200	0,1
LDPE	500-700	200-400	2000-4000	0,2-0,4
PS	600-800	40-50	2000-3000	0,5-3,0

Пластични материјали обезбеђују следеће погодности када се користе у индустрији паковања (*Kim и сар., 2014*):

- веома су лагани уз значајну јачину, у поређењу са другим амбалажним материјалима
- оптички транспарентни
- малих дебљина; смањена им је запремина и тежина

- баријерност према гасовима и воденој пари, масноћама и хемикалијама
- поседују флексибилност коју многа паковања захтевају
- имају могућност заваривања
- термички су стабилни
- имају добру способност обраде (термоформирање, бризгање и екструзија)
- комплементарни са низом помоћних компонената, као што су колоранти, пуниоци и активни агенси
- лако се комбинују са другим амбалажним материјалима
- повољни у погледу еколшког статуса
- имају ниску цену.

Ипак, ни један пластични материјал не поседује карактеристике које га чине одговарајућим за паковање свих врста намирница (*Coles u cap., 2003*). На одабир адекватног амбалажног материјала за паковање хране примарно утичу и карактеристике саме намирнице која се пакује (*Siracusa u cap., 2008*). Уколико један полимерни материјал не испуњава све строге захтеве квалитета да би се одређени прехранбени производ упаковао и сачувао до употребе, врши се његово спајање са другим полимерним материјалима, при чему се добијају двослојни (дуплекс) или вишеслојни полимерни материјали (*Vujković, 1997*). Ови материјали поседују боље физичко-механичке и хемијске особине, а нарочито боља баријерна својства од мономатеријала, јер се при спајању сабирају позитивне особине појединих мономатеријала.

Поступци који се данас примењују за добијање вишеслојних полимерних материјала су коекструдирање и каширање, а релативно мало користи се и екструзионо ослојавање. На тај начин добијају се амбалажни материјали састављени од слојева различитих пластомера. У зависности од постављених захтева, својстава одабраних пластичних маса, као и начина производње и услова примене амбалажних материјала, одабирају се дебљина и редослед слојева. Комбиновани амбалажни материјали су слојевити, али поред пластомера садрже и друге материјале, како што су папир, картон, или алуминијум (*Vujković, 1997*). Због разноликог састава, производе се каширањем и/или екструзионим ослојавањем. На овај начин се проширује подручје примене

ових материјала. Пажљивим одабиром сваке пластичне компоненте и користећи различите технике - коекструзију, пластификацију или технологије премазивања/пресвлачења, могуће је дизајнирати материјал који поседује кључне карактеристике од важности за паковање и које најбоље одговарају систему производ-паковање (*Coles u cap., 2003*). Осим тога, важно је добро размотрити и начин паковања јер и саме технике и услови паковања доприносе стабилности и продуженој одрживости упакованог производа.

2.1.1. УСЛОВИ ПАКОВАЊА

2.1.1.1. Паковање у условима модификоване атмосфере

Увођење вакуум паковања и паковања у условима модификоване атмосфере (МАП) решило је многе проблеме везане за дистрибуцију, складиштење и одрживост кварљивих намирница, нарочито подложних променама у присуству кисеоника (*Smiddy u cap., 2002*). Паковање у модификованој атмосфери распрострањена је и опште прихваћена нетермичка метода чији је циљ продужетак одрживости производа (*Patsias u cap., 2008*).

Паковање у модификованој атмосфери се дефинише као уклањање и/или замена атмосфере која окружује производ пре затварања у амбалажу од високо баријерног материјала (*McMillin, 2008*). Складиштење хране у модификованој гасној атмосфери може одржати квалитет и продужити рок употребе, успоравајући хемијске и биохемијске реакције кварења и успоравајући (или у неким случајевима чак спречавајући) раст микроорганизама (*Coles u cap., 2003*). Предности и недостаци примене паковања у модификованој атмосфери би се могли сумарно приказати у следећој табели (**Табела 2.3.**):

Табела 2.3. Предности и недостаци паковања у модификовану атмосферу (*Robertson, 2006*)

Предности	Недостаци
Продужен рок трајања упакованог	Додатни трошкови за гасове,

садржаја за 50 – 400 %	материјале за паковање и опрему
Редуковани економски губици због продуженог рока трајања упакованог садржаја	Неопходна температурна контрола
Смањени дистрибуциони трошкови, удаљенија дистрибуциона одредишта и мањи број потребних достава	Потребне су различите формулације гасова за сваки тип производа
Омогућује добијање производа високог квалитета	Захтева се специјална опрема и обученост
Лакше одвајање и сечење производа	Потенцијални раст патогена у намирницама захваљујући употреби погрешних температура од стране трговаца или самих конзумента
Централизовано паковање и контрола отпреме	Повећана запремина паковања негативно утиче на трошкове транспорта и простора за излагање у малопродаји
Побољшана презентација - јасан преглед производа и његове околине	Губици када је паковање једном отворено или цури
Смањена (или чак ни не постоји) потреба за хемијским конзервансима	Ослобађање CO ₂ у храну може довести до колапса паковања и повећати цурење
Паковања су баријера против реконтаминације производа и цурења	Трошкови аналитичке опреме за контролу, која обезбеђује да се користе адекватне гасне смеше
Погодна паковања без мириса	
Редукција малопродајног отпада	
Смањени трошкови производње и складиштења захваљујући бољој искористљивости радне снаге, простора и опреме	

Приликом дизајнирања система модификоване атмосфере, циљ је постизање равнотеже унутар амбалаже где ће сваки појединачни делић бити окружен специфичном оптималном атмосфером и одговарајућом релативном влажношћу. Таква равнотежа је одређена брзином респирације, температуром складиштења и типом амбалажног материјала у погледу његове дебљине и пропустљивости кисеоника, угљен диоксида и водене паре (*Ding u cap., 2002*). У паковању у модификованој атмосфери, кисеоник се или искључује или смањује на најнижи могући ниво. Изузетак се јавља када постоји потреба за кисеоником, код воћа и поврћа због респирације, задржавања боје као у случају црвеног меса или избегавања анаеробних услова као у случајевима паковања беле рибе (*Parry, 1993*). Адекватна комбинација гасова (CO_2 , N_2 , O_2) у простору изнад упакованог садржаја („headspace“) резултује микробиолошком инхибицијом раста аеробних микроорганизама, протеолитичких бактерија, плесни и квасаца (*Patsias u cap., 2008; Swiderski u cap., 1997*). Високе концентрације CO_2 имају антимикуробне карактеристике захваљујући редукцији рН и интеракцији са ћелијским метаболизмом (*Kanellis u cap., 2009*).

2.1.1.2. Активно паковање

Како би се очувао квалитет упакованих производа и продужио рок одрживости, развијен је нови систем паковања – „активно паковање“ (*Sung et al., 2013*). Активно паковање је иновативан концепт паковања хране, развијен као одговор сталним променама и повећаним захтевима потрошача и тржишта. Дефинише се као „врста паковања која мења услове паковања како би се продужио рок одрживости или унапредила безбедност и сензорне карактеристике уз очување квалитета“ (*Quintavalla u Vicini, 2002*). Најзначајнији системи активног паковања, који нису могући у области конвенционалног паковања, су апсорпциони системи (апсорбују влагу, кисеоник, угљен-диоксид, етилен, стране мирисе, холестерол...), отпуштајући системи (емисија угљен-диоксида, антиоксиданаса, антимикуробних агенаса...) и остали системи (само-загревање, само-хлађење, конзервисање...) (*Realini u Marcos, 2014; Lazić u cap.,*

2008a; Quintavalla u Vicini, 2002). До сада је објављен низ научних радова из области механизма деловања, као и примене активних система за паковање прехранбених производа (Realini u Marcos, 2014; Coma, 2008; Kerry u cap., 2006).

Апсорбери влаге

Главни циљ контроле влаге је смањење активности воде упакованог производа, како би се редуковао микробиолошки раст (Vermeiren u cap., 1999). Вишак воде, који се јавља у паковању, нарочито производа који сами по себи имају високе вредности активности воде, погодује расту бактерија и плесни, што доводи до губитка квалитета и смањења рока одрживости. Ефикасан начин за контролисање вишка воде у паковању је примена апсорбера влаге (Ozdemir u Floros, 2004). Технологија апсорбера подразумева примену материјала који су у складу и са FDA (U.S. Food and Drug Administration) и прописима Европске Уније за безбедност хране (Realini u Marcos, 2014).

Апсорбери кисеоника

Присуство кисеоника у упакованим намирницама је кључни фактор који утиче на одрживост производа. Кисеоник је одговоран за оксидацију компонената хране, раст аеробних бектерија и плесни, што доприноси губитку квалитета у погледу нежељених промена боје, текстуре, ароме и нутритивне вредности, као и смањеној одрживости (Brody u cap., 2001). Реакције оксидационог квара производа осетљивих на кисеоник се могу смањити користећи апсорбере кисеоника како би се уклонио резидуални кисеоник (Suprakul u cap., 2003). Иако се намирнице осетљиве на кисеоник могу паковати у условима модификоване атмосфере или вакуума, ове технике паковања не обезбеђују комплетно уклањање кисеоника. Комбинована употреба апсорбера кисеоника са применом модификоване атмосфере или вакуума обезбеђује

комплетно уклањање кисеоника из амбалажне јединице, као и оног удела кисеоника који је растворен у производу (*Ozdemir u Floros, 2004; Vermeiren u sar., 1999*). Апсорбери кисеоника могу редуковати резидуални кисеоник на количину мању од 0.01% према тврдњи неких произвођача (*Vermeiren u sar., 2003*). Деловање апсорбера кисеоника, такође, умањује ефекте пропустљивости кисеоника кроз амбалажне материјале током рока одрживости. Постојеће технологије апсорбовања користе неки од следећих концепата: оксидација праха гвожђа, оксидација аскорбинске киселине, фотооксидација, ензимска оксидација, оксидација масних киселина... (*Floros u sar., 1997*). Апсорбери кисеоника се могу наћи у различитим облицима и формама: кесице, налепнице, филмови, картице, итд. (*Suprakul u sar., 2003*).

Апсорбери и емитери угљен-диоксида

Високе концентрације угљен-диоксида (10–80%) су пожељне за намирнице, нарочито анималног порекла, како би се спречио раст микроорганизама и продужио рок одрживости. Због тога су системи који генеришу угљен-диоксид комплементарна техника апсорбовању кисеоника (*Suprakul u sar., 2003*). Ова техника активног паковања се често везује за паковање у модификованој атмосфери како би се избалансирани губици CO₂ због растварања или пропустљивости амбалажних материјала (*Coma, 2008*). Пошто је пропустљивост угљен-диоксида 3-5 пута већа од пропустљивости кисеоника за многе полимерне амбалажне материјале, угљен-диоксид се мора континуирано емитовати како би се одржала жељена концентрација унутар паковања (*Ozdemir u Floros, 2004*). У тим случајевима је пожељно континуирано ослобађање угљен-диоксида уз апсорпцију кисеоника. Овакви системи су базирани на карбонатима гвожђа или смеси аскорбинске киселине и натријум бикарбоната (*Rooney, 1995*).

Антиоксидативно паковање

У циљу спречавања оксидације упакованих намирница, алтернатива апсорберима кисеоника је примена антиоксиданата. Оксидативни процеси су примарни механизми квара низа намирница (*Liu u cap., 2010*). Важно је напоменути да примена антиоксиданата у самим намирницама може изменити параметре квалитета хране, као што су боја и укус. Активно паковање представља савремену технологију којом се адитиви инкорпорирају у амбалажни материјал како би се спречиле оксидативне промене и продужио рок одрживости упаковане хране. Ова технологија има низ предности у поређењу са директном применом антиоксиданата у храни, а то су: потребне су мање количине активних супстанци, локализована је активност, контролисано је ослобађање антиоксиданата и нису потребни поступци мешања, имерзије или примене спреј технике (*Bolumar u cap., 2011; Kuorwel u cap., 2011; Nerin u cap., 2006*).

Антиоксидативне компоненте, које се инкорпорирају у матрикс амбалажног материјала могу бити природне или синтетске. Потрошачи су упознати са здравственим ризицима који носе синтетски адитиви па се све чешће прибегава примени адитива добијених из природних извора (*Amorati u cap., 2013; Bahram u cap., 2012*). У том смислу, примена есенцијалних уља је добар правац за развијање активне амбалаже и паковања за продужетак рока одрживости хране (*Sacchetti u cap., 2005*). Есенцијална уља су секундарни метаболити биљака, који се традиционално користе да продуже рок одрживости намирница због своје антиоксидативности (*Eça u cap., 2014; Sanches-Silva u cap., 2014, Roby u cap., 2013; Teixeira u cap., 2012*) или антимицробности (*Seow u cap., 2014; Bajpai u cap., 2012; Hyldgaard u cap., 2012; Bakri u Douglas, 2005*).

Антимицробно паковање

Храна сама по себи представља идеалну подлогу за раст низа микроорганизама. Микробиолошки квар убрзава непожељне промене ароме,

боје и текстуре, што као последицу има смањење рока одрживости. Развој антимикробног паковања представља нови правац у активној контроли раста микроорганизама (Kerry, 2014; Kerry *u cap.*, 2006). Функција антимикробног паковања је продужетак лаг фазе и редукција раста микроорганизама како би се продужио рок одрживости уз очување квалитета (Han, 2000). Материјали који се користе за антимикробно паковање су у контакту са површином упаковане намирнице, или су имобилисани на површини материјала, или могу мигрирати у храну. Због тога је антимикробно паковање ефикасно на производима, чија се микробиолошка контаминација дешава на површини (Appendini *u Hotchkiss*, 2002).

Антимикробно паковање постоји у неколико форми (Appendini *u Hotchkiss*, 2002):

1. Додавање кесица/јастучића, који садрже испарљиве антимикробне агенсе
2. Инкорпорација испарљивих и неиспарљивих антимикробних агенаса директно у полимере
3. Ослојавање полимерних амбалажних материјала антимикробним средствима
4. Имобилизација антимикробних средстава у полимере јонским или ковалентним везама
5. Употреба полимера који су по својој природи већ антимикробни.

2.1.2. ЕКОЛОШКИ АСПЕКТ ПОЛИМЕРНЕ АМБАЛАЖЕ

Захваљујући техничком и технолошком просперитету долази до значајног пораста производње и потрошње полимера. Полазна сировина за производњу полимерних материјала је нафта чијом прерадом у процесима рафинације настају мономери за полимеризацију, а процесима полимеризације настају полимери, кополимери или јономери (Lazić *u Novaković*, 2010). Нафта, као сировина за производњу полимерних материјала је у ствари почетак животног циклуса ових материјала (Pringer *u Bauer*, 2008; Kirwan *u Strawbridge*, 2003).

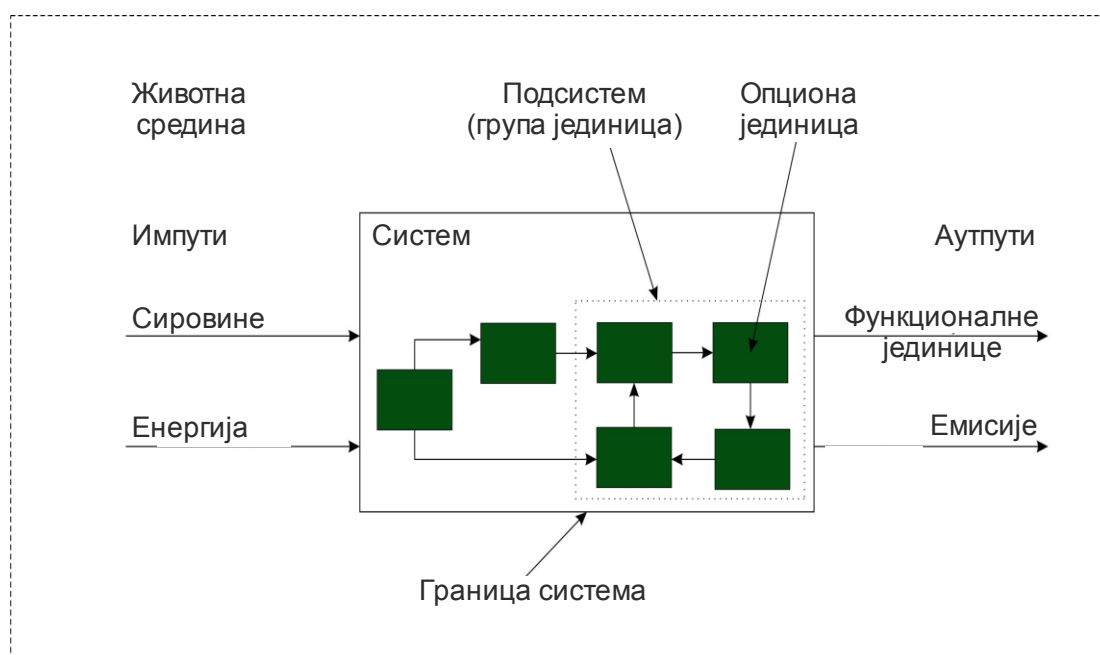
Осим што се природни ресурси на овај начин константно исцрпљују, прекомерна потрошња фосилних горива је допринела значајном загађењу животне средине, при чему се сагоревањем 100 dm^3 нафте ослобађа 283 kg CO_2 , што уз повећану концентрацију флуорованих угљоводоника, оксида азота и сумпора у атмосфери, даје одговор на питање зашто је дошло до нарушавања озонског омотача (*Jovanović u sar., 2002*). Синтетски полимери су препознати као најозбиљнији природни загађивачи у категорији чврстог отпада, при чему је већина ових материјала отпорна на физичку и хемијску разградњу (*Leja u Lewandowicz, 2010*).

Широка примена полимера за производњу амбалажних материјала је већим делом последица добрих физичко-механичких и баријерних својстава оваквих производа, међутим дуг животни век представља њихов највећи недостатак, нарочито са аспекта заштите животне средине (*Lazić u Novaković, 2010*). Тако је на пример, конвенционалним производима од полиетилена потребно више од 100 година да се разграде, при чему заузимају вредан земљишни простор (*Ashwin Kumar u sar., 2011*). Поред утицаја искоришћене и одбачене амбалаже, на нарушавање животне средине утиче цео животни циклус амбалаже – добијање и прерада сировина, производња и примена, искоришћена и одбачена амбалажа (*Lazić u sar., 2008b*). Због тога се полимерни амбалажни материјали морају сагледати и уклопити у слику одрживог развоја. Друштво се у целини све више окреће одрживом развоју и од произвођача амбалаже захтева прелазак на „одрживо“ паковање (*ECR Europe, 2009*).

Концепт назван: „Од колевке до гроба“ или „Од колевке до колевке“, представља саму срж одрживог развоја производа и материјала (*Azaragic u sar., 2003*). Животни циклус амбалаже представља низ међусобно повезаних фаза производа, од добијања сировина па до коначног одлагања на отпад. При дизајнирању амбалаже читав животни циклус се узима у обзир, применом алата за анализу животног циклуса производа (LCA-life cycle analysis) (*Lazić u sar., 2008b; Novaković u sar., 2005*). Циљ примене анализе животног циклуса је оптимизација материјала, уштеда воде и енергије, смањење количине отпада и

остваривање максималног повраћаја, кроз рециклажу, сагоревање или компостирање.

Анализа животног циклуса или оцењивање животног циклуса (LCA-life cycle assesment) је процес израчунавања, при коме се анализирају и сумирају сви утросци (инпути) и све емисије (аутпути) током животног циклуса одређеног амбалажног материјала. При оцењивању, вреднује се потрошња енергије, емисија у воду и ваздух, као и настали чврсти отпад. Основна методологија се састоји из растављања дефинисаног система на компоненте, тј. кораке процеса, те мерења масеног и енергетског биланса за сваки издвојени корак процеса (**Слика 2.3.**) (Azaragic *u cap.*, 2003). Сумирани резултати се могу приказивати преко еко бодова, или мултифункционалних индекса.



Слика 2.3. Анализа инвентара: дијаграм тока приказује систем и његове границе

Крајњи циљ анализе животног циклуса је смањење негативног утицаја амбалаже на животну средину. Резултати анализе животног циклуса служе за побољшања, за поређења или су основа за доделу еколошких ознака (Lazić *u cap.*, 2010b). Доста LCA студија, које се баве третманом пластичног отпада (Perugini *u cap.*, 2005), као и производњом амбалажних материјала (Humbert *u*

cap., 2009; Mourad *u cap.*, 2008; de Monte *u cap.*, 2005) је до сада извршено. У области паковања хране, LCA студије доприносе интересу рециклирања и смањења амбалажног отпада (Takata *u cap.*, 2012; Varzinskas *u cap.*, 2012; Nicholson *u cap.*, 2009) уз рециклажне иновације (Bocken *u cap.*, 2012; Dvarioniene *u cap.*, 2012).

2.2. БИОПОЛИМЕРИ

Највећи део амбалажних материјала који се користе за паковање се производе од фосилних горива и нису разградиви. Велики напор да се продужи рок трајања и побољша квалитет хране уз истовремено смањење амбалажног отпада је охрабрио истраживање нових материјала за паковање природног порекла, као што су биоразградиви материјали добијени из обновљивих извора (Tharanathan, 2003). Као и свака нова технологија, у почетку тешко налази економску оправданост, и тражи огромна новчана улагања како у истраживање, тако и у производњу. Стога, присутност оваквих материјала тренутно на тржишту није широко распрострањена, али је развој у великом успону (Kolybaba *u cap.*, 2003).

Употреба ових материјала, због своје биоразградиве природе, може бар донекле решити проблем отпада. Биоразградиви материјали се састоје од полимера, које микроорганизми разграђују кроз процесе компостирања, да би се на крају добили угљен диоксид, вода, метан и биомаса (McKeen, 2012).

Према једној од подела, постоје две врсте биоразградивих полимера; они који су јестиви и они који нису јестиви (Nur Hanani *et al.*, 2014). Јестиви филм је онај који се производи од јестивих прехранбених састојака коришћењем влажног или сувог поступка производње. Добијени јестиви филм је самостални амбалажни материјал који се може користити као омотач за намирнице или за раздвајање компонената хране (McHugh, 2000). Насупрот томе, јестиви премази (превлаке) су танки слојеви јестивих материјала који се примењују директно на површине прехранбених производа потапањем, прскањем или премазивањем.

Јестиви филмови и омотачи се могу конзумирати заједно са прехранбеним производом, чиме обезбеђују додатне хранљиве материје, побољшане сензорне карактеристике и квалитет заштићеног производа (*Rojas-Grau u cap., 2007; Han u cap., 2004*).

Јестиви филмови и премази доприносе бољем механичком интегритету упакованих намирница (*O'Sullivan u cap., 2006*). Такође, делују као баријера према разним агенасима спољне средине (водена пара, кисеоник) чиме се повећава одрживост производа (*Basch u cap., 2013; Falguera u cap., 2011*). Да би били опште прихваћени, јестиви филмови и премази морају бити здравствено безбедни у складу са важећом законском регулативом.

2.2.1. ЈЕСТИВИ ФИЛМОВИ И ПРЕМАЗИ

Јестиви филмови и премази се обично класификују према доминантном градивном материјалу (*Falguera u cap., 2011*). Главне групе хемијских једињења, које служе као извори за јестиве филмове и премазе, су полисахариди, протеини и липиди. **Слика 2.4.** приказује могуће изворе за производњу јестивих филмова и премаза.



Слика 2.4. Извори биополимера

2.2.1.1. Протеински филмови

Протеини су полимери који садрже више од 100 остатака аминокиселина (Nur Hanani *et al.*, 2014) и морају бити денатурирани топлотом, киселинама, базама и/или растварачима у циљу формирања проширених структура које су потребне за формирање филма (Bourtoom, 2008). Протеински филмови показују слабу отпорност према воденој пари и слабије механичке карактеристике. Међусобно повезивање протеина хемијским (глутаралдехид, формалдехид,

глицералдехид, глиоксал), ензимским (трансглутаминазе), или физичким (грејање, зрачење) третманима побољшава баријерне и механичке особине, као и отпорност према протеолизи (*Senna u cap.*, 2010; *Bourtoom*, 2009; *Ouattara u cap.*, 2002).

Колаген је најкомерцијалнији јестиви протеински филм. Применом високих концентрација хидролизованог колагена производе се филмови са хомогеним површинама (*Fadini u cap.*, 2013). Колагена влакна и колагени прах су погодни за производњу биокompatibilних филмова у систему где влакна делују као пунило, вршећи ефекат ојачавања (*Wolf u cap.*, 2009).

Желатин даје флексибилне, јаке филмове који не пропуштају O_2 (*Krochta u cap.*, 1994). Такође је уочено да желатин поседује антиоксидативну активност. Недавна студија *Gomez-Guillén u cap.* (2011) потврдила је антимикуробно дејство желатинских филмова. Желатин је један од првих материјала коришћен као носилац биоактивних компоненти (*Gennadios u cap.*, 1994). Природни антиоксиданси и/или антимикуробне супстанце су способни да прошире функционалне одлике ових биоразградивих филмова и створе активни природни материјал за паковање (*Gómez-Guillén u cap.*, 2011). Као и други протеински филмови, и желатински филмови имају лоше баријерне особине према воденој пари, што се може решити додатком лецитина (*Andreuccetti u cap.*, 2011).

Казеински молекули лако формирају транспарентне, флексибилне, филмове без укуса, који се због великог броја поларних група одлично прилагођавају различитим подлогама и спречавају миграцију O_2 , CO_2 и арома (*Arrieta u cap.*, 2013). Смањена растворљивост филмова у води и побољшане механичке особине се постижу пуферским третирањем у изоелектричним тачкама (*Chen*, 2002); међусобним укрштањем протеина користећи зрачење (*Vachon u cap.*, 2000); употребом трансглутаминазе (*Patzsch u cap.*, 2010); или употребом формалдехида, D-глицералдехида, глутаралдехида или глиоксала (*Audic u Chaufer*, 2010; *Mendes de Souza u cap.*, 2010). Главни недостатак казеина је његова релативно висока цена.

Пшенични **глутен** је мешавина два главна протеина различита према растворљивости у воденим алкохолима: растворљивих глијадина и

нерастворљивих глутенина (*Wieser, 2007*). Филмови добијени од пшеничног глутена су хомогени, транспарентни, јаки и добра су баријера за водену пару. Реолошка својства глутенских филмова могу бити променљива: од глатких до гумених, услед третмана високим притиском (*Koehler u cap., 2010*).

Зеин је хидрофобан протеин који се налази у кукурузу, а најчешћу примену налази као заштитни материјал у кондиторској индустрији (*Arcan u Yemenicioglu, 2011*). Састоји се од протеина растворљивих у алкохолу (*Padua u Wang, 2002*). Зеин је богат неполарним аминокиселинама, које доприносе нерастворљивости у води и побољшавају баријерност према воденој пари (*Dangaran u Tomasula, 2009*). Тренд је укључивање антиоксиданата и антимикробних средстава у зеинске премазе или филмове за производњу функционалних премаза или филмова у припреми хране (*Lungu u Johnson, 2005*). Гама зрачењем филмогених зеинских раствора могу се побољшати баријерне особине, боја и изглед зеинских филмова (*Soliman u cap., 2009*).

2.2.1.2. Липидни филмови

Ефикасност липидних компонената приликом добијања јестивих филмова и премаза зависи од природе липида: структуре, хемијског састава, хидрофобности, агрегатног стања и интеракције липида са другим компонентама филма (*Rhim u Shellhammer, 2005*). Липиди се обично комбинују са другим материјалима који образују филм, као што су протеини или полисахариди, као емулзионе честице или вишеслојни премази у циљу повећања отпорности према воденој пари (*Mehyar u cap., 2012*). Хидрофобне супстанце потенцијално коришћене за јестиве филмове и премазе на бази липида укључују природни восак (карнауба, пиринчане мекиње и пчелињи восак); воскове на бази нафте (парафин и полиетилен восак); нафтна, минерална и биљна уља; ацетоглицериде и масне киселине; и смоле, као што су шелак и дрво смола (*Rhim u Shellhammer, 2005*).

Восак је заједнички назив за серију природно или синтетички произведених неполарних супстанци. Воскови или немају поларне састојке или поседују

хидрофилни део који је јако мали или тако позициониран у молекулу да не може лако имати интеракцију са водом. Њихова висока хидрофобност, која их чини нерастворљивим у води, а растворљивим у типичним органским растварачима, објашњава зашто су воскови најефикасније препреке за трансфер водене паре (Han, 2014). Најчешћи начин за израду микроемулзија воска је вода-восак метода, у којима се вода додаје у отопљен восак и/или смолу у присуству масне киселине и базе да би се обрнула емулзија восак-вода (Hagenmaier u Baker, 1994). Ове формулације доприносе добром сјају воћа и поврћа. Ограничења за њихову употребу су лоша механичка својства и мастан изглед у неким производима.

2.2.1.3. Полисахаридни филмови

Полисахариди су погодан материјал за формирање јестивих филмова и премаза, јер показују одлична механичка, структурна и баријерна својства према гасовима, али имају слабе баријерне карактеристике према воденој пари (Falguera u cap., 2011).

Хитозан широку примену налази у области производње јестивих филмова и премаза због своје способности да инхибира раст бактерија и плесни (Romanazzi u cap., 2002). Хитозан има велики потенцијал који се може искористити у прехранбеној индустрији због своје антимицробности, биоразградивости, биокompatбилности са људским ткивима, биолошке функције и нетоксичности (Aider, 2010). Недостатак хитозанских филмова је осетљивост на влагу, што ограничава његову широку примену у прехранбеној индустрији.

Пектини су сложена група полисахарида којима је D-галактуронска киселина главни састојак. Они су структурне компоненте ћелијских зидова биљака и такође делују као интерцелуларне везујуће супстанце. Под одређеним околностима, пектин формира гелове. Ова карактеристика чини пектине веома важним адитивима у желеима, џемовима, као и јестивим премазима и филмовима (Han, 2014).

Поред биљних извора **целулозе**, бактеријска целулоза се такође користи за добијање јестивих филмова и премаза. Због великог броја интра-молекуларних водоничних веза, целулоза је нерастворна у води. Етерификација целулозе резултује формирањем у води растворљивих етара: метилцелулоза (МС), хидроксипропилметилцелулоза (HPMC), карбоксиметилцелулоза (СМС) и хидроксипропилцелулоза (HPC) који имају добре карактеристике за формирање филмова и производе се комерцијално (*Olivas u Barbosa-Canovas, 2005*). Премази и филмови добијени из целулозе су транспарентни, флексибилни, без мириса, укуса, растворљиви у води, и баријерни према гасовима (O_2 и CO_2). На пропустљивост водене паре ових филмова највише утиче хидрофобно:хидрофилни однос компонената филма (*Callegarin u cap., 1997; Krochta u cap., 1994*). Ови деривати целулозе се највише користе у области термички третиране хране, као адитиви, нарочито у прженим производима јер смањују апсорпцију уља током пржења различитих намирница, као што су месо, живина, скробне намирнице, теста, итд (*Chidanandaiah Keshri u cap., 2005; Rimac-Brncic u cap., 2004*).

Алгинати могу формирати премазе са или без гелирања поступком испаравања растварача, међусобним повезивањем електролита (калцијум) („calcium cross linking“). Алгинати се углавном користе као додаци за месне производе, као агенс за успоравање дехидратације, као и заштита од оксидације липида (*Varela and Fiszman, 2011*).

Карагенански омотачи се углавном користе за успоравање раста микроорганизама у гел матрицама, као и добра баријера за кисеоник, како би се одложила оксидација липида у месу и месним прерађевинама (*Varela and Fiszman, 2011*).

Примена **филмова на бази скроба** у прехранбеној индустрији налази примену због своје еколошке прихватљивости, ниске цене, флексибилности и транспарентности (прозирности) (*Bilbao-Sáinz u cap., 2010; Müller u cap., 2008*). Јестиви филмови добијени од скроба су без укуса и мириса и транспарентни, па тако спречавају било какву промену укуса, ароме и изгледа прехранбених производа (*Chiumareli u Hubinger, 2012*). Механичке особине скробних филмова су дефинисане мобилношћу макромолекуларног ланца у аморфној фази,

односом амилозе и амилопектина, додатком пластификатора и садржајем воде. Главне предности скробних филмова су одлична баријерна својства према гасовима (O_2 и CO_2). Са друге стране, поседују слабије баријерне карактеристике према воденој пари због хидрофилности.

2.2.2. ЈЕСТИВИ СКРОБНИ ФИЛМОВИ И ПРЕМАЗИ

Скроб је, поред целулозе, најраспрострањенији угљени хидрат у природи и као такав један је од основних нутритијената и извора енергије (*Zobel u Stephen, 2006*). Током 2012. године, 75 милиона тона скроба је произведено (www.zuckerforschung.at) и то као нативни, физички или хемијски модификовани скроб, или у виду заслађивача. Процењено је да ће светска производња износити 85 милиона тона 2015. године.

Иако се терминолошки користи један појам – „скроб“, особине сваке врсте скроба строго зависе од биљног порекла (*Zobel u Stephen, 2006*), а најважније изворе представљају кукуруз (преко 80% производње), касава, пшеница и кромпир, респективно (*Waterschoot u cap., 2015*). У Европи, најзаступљенија сировина за производњу скробних филмова и премаза је кукуруз (47%), потом пшеница (39%) и кромпир (14%), док се веома мала количина скроба (мање од 0.5%) производи из пиринча (*Mitchell, 2009; www.aaf-eu.org*).

2.2.2.1. Хемијски састав скроба

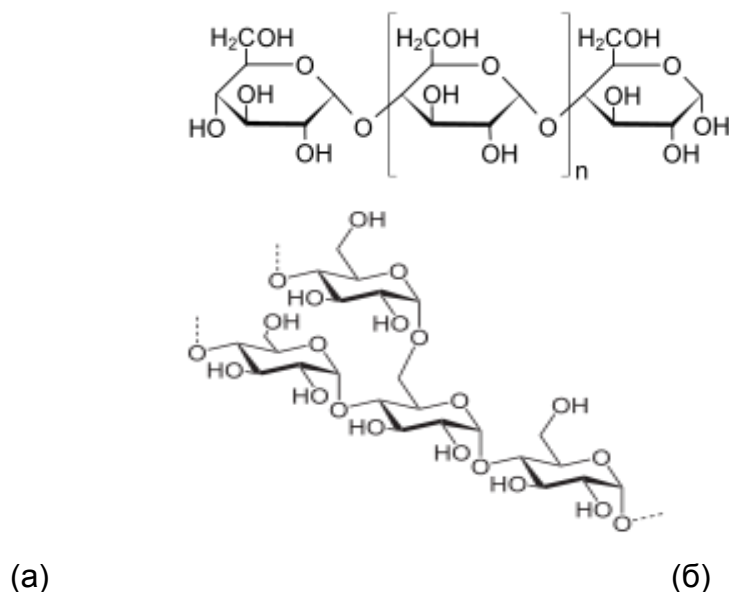
Скроб је хетерогени полимер који се састоји од јединица α -D-глукозе повезаних α -(1,4)-везама и α -(1,6)-везама (*Huijbrechts, 2008*). То су линеарна амилоза и разгранати амилопектин, који чине 98–99% суве материје скробне грануле (*Hódsági, 2011; Chen u cap., 2009; Tester u cap., 2004*). Њихови ланци могу бити представљени као $(C_6H_{12}O_6)_n$, где је n променљива и зависи од дистрибуције различитих полимера. Амилоза је лоцирана у аморфним и полукристалним регионима, док се већина амилопектинских ланаца налази унутар

кристалних региона (*Jane u Shen, 1993*). Поред амилозе и амилопектина, скроб саджи и минорне компоненте (липиде, протеине и минерале), чији садржај варира у зависности од биљног порекла скроба.

Нативни скробови садрже око 70-80% амилопектина и 20-30% амилозе (*Jane, 2009; Tester u cap., 2004*), док скробови из хибрида кукуруза имају садржај амилозе мањи од 1% (воскасти кукуруз) или око 84% (високоамилозни кукуруз) (*Matveev u cap., 2001*). Молекули амилозе и амилопектина разликују се по структури и функционалним особинама.

Садржај амилозе (**Слика 2.5.а**), која улази у састав нативног скроба варира између 14 и 29% (*Gomand u cap., 2010; Vandeputte u cap., 2003*). Амилоза је релативно дуг, линеаран α -глукан који саджи око 99% (1 \rightarrow 4)- α -веза и разликује се у величини и структури у зависности од биљног порекла (*Tester u cap., 2004*). Неки молекули су разгранати и (1 \rightarrow 6)- α -везама (*Buleon u cap., 1998*), али се може закључити да присуство оваквог гранања молекула не мења значајно понашање грануле које остаје идентично као код стриктно линеарних ланаца (*Buleon u cap., 1998*). Молекулска маса амилозе је 105 – 106, степен полимеризације (СП) 100-10 000 мономера са око 9 – 20 места гранања што је еквивалентно 3 – 11 бочних ланаца по молекулу (*Blazek, 2008*).

Амилопектин (**Слика 2.5.б**) је много већи молекул од амилозе са изразито разгранатом структуром, која је изграђена (1 \rightarrow 4)- α - (95%) и (1 \rightarrow 6)- α -везама (5%). Степен полимеризације амилопектина је 2 милиона, а молекулска маса 107 – 109 (*Huijbrechts, 2008*). Велика разноликост молекула се постиже варирањем дужине ланаца и начина гранања (*Tester u cap., 2004*). Структура амилопектина углавном се представља кластер моделом.

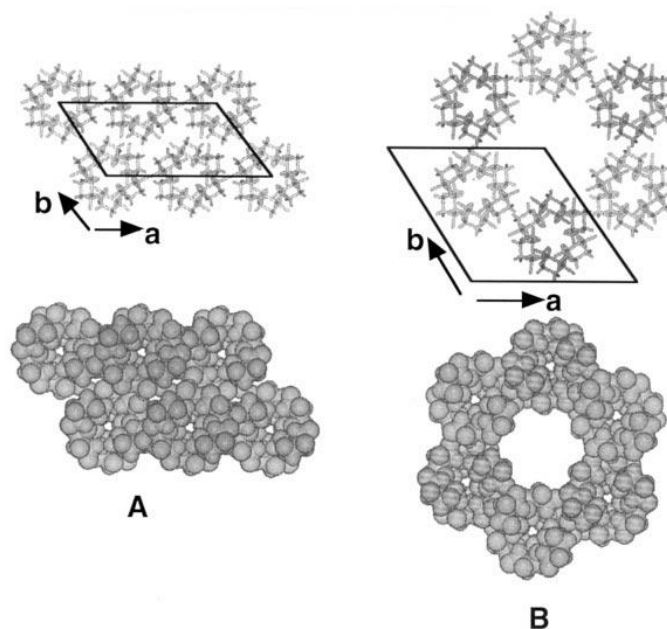


Слика 2.5. Структура амилозе (а) и амилопектина (б)

Молекули амилозе и амилопектина организовани су у облику семикристалне скробне грануле. Иако и амилоза и амилопектин могу да формирају кристалну структуру, кристална структура присутна у нативном скробу је углавном последица двоструких хеликса формираних од бочних ланаца амилопектина (*Blazek, 2008*). Организација ланаца је описана као А-, В- и С- ланци амилопектина. Бочни ланци амилопектина формирају дупле хеликсе, који су организовани у кластере. Кристална ламела садржи дупле хеликсе, док аморфна ламела садржи места гранања амилопектина, која их вежу за дупле хеликсе (*Thompson, 2000*). Аморфни прстенови се састоје од амилозе и мање уређених ланаца амилопектина (*Delcour u Hoseneu, 2010*). Амилоза и амилопектин нису присутни у одвојеним регионима, већ су врло измешани у самој гранули (*Kasemsuwan u Jane, 1994*). Организација двоструких хеликса амилопектина доводи до различитих кристалних структура или полиморфних форми скроба, осим код високоамилозних скробова, где молекули амилозе значајно доприносе кристалној структури (*Blazek, 2008*).

Молекули скроба депоновани су у облику гранула, које могу бити организоване у виду А-, В- и према неким ауторима С- тип кристала (**слика 2.6.**). Степен кристалинитета, односно удео кристалних региона, се одређује

рентгентском дифракцијом (X-ray diffraction) (*Buleon u cap., 1998*) и варира од 20 до 40%, што зависи од биљног порекла скроба (*Zobel, 1988; Cooke u Gidley, 1992*). Оптимална количина воде при којој се примећује максимална кристаличност је око 27%, док је минимална количина воде при којој скроб даје дифракциони профил 8% (*Imberty u Perez, 1988*).



Слика 2.6. Кристално паковање А- и В- типа скроба (*Buleon, 1998*)

Генерално, скроб добијен из житарица генерише А-тип рендген дифрактограме, кртоле и високо-амилозни скроб В-тип, а махунарке (легуминозе), корење и неке врсте воћа дају скроб са С-типом дифрактограма, иако према неким ауторима С-тип скробних дифракција представља комбинацију А- и В-типа полиморфа (*Vermeulen, 2004; Sevenou u cap., 2002; McPherson u Jane, 1999*). Поред А- и В-типа кристала постоји и V-тип кристала. Овај тип у ствари представља комплексе једноструких хеликса амилозе са јодом, алкохолима или масним киселинама (*Hódsági, 2011; Huijbrechts, 2008; Buleon u cap., 1998*). Код А-типа скроба, кристали су паковани у моноклиничке јединице са 8 молекула воде. Овакав вид паковања је компактан, без обзира на низак садржај воде и структура А-типа је много гушћа него код В-типа.

Код В-типа скроба, кристална јединица је хексагонална, а двоструки хеликси су повезани преко мреже водоничних веза, које чине канал унутар хексагонално организованих шест двоструких хеликса. Тај канал је испуњен са

36 молекула воде, од којих је једна половина везана за молекул амилозе, а друга за остале молекуле воде. В-тип полиморфа има више отворену структуру од А-типа и садржи хидратисано спирално језгро.

Скробна гранула има структуру организовану у концентричне прстенове који се протежу од хилума (центар) ка периферији (*Sevenou i cap., 2002*). Прстенови могу бити аморфни и семикристални. Аморфни прстенови се састоје од амилозе и амилопектина неуређене конформације, а семикристални од ламеларне структуре наизменично кристалних и аморфних региона који се понављају на сваких 9 до 11 nm (*Blazek, 2008*). Кристални региони се састоје од двоструких хеликса амилопектина и бочних ланаца, док се аморфни региони састоје од амилозе и места гранања амилопектина.

Могућа је транзиција из А- у В-тип полиморфа у случају скробних гранула кукуруза, коју прати пад кристалинитета, али и пораст садржаја амилозе (*Cheetham u Tao, 1998*).

2.2.2.2. Желатинизација и ретроградација

У својој нативној форми, скроб је нерастворан у води и једино се може превести у растворљиву форму загревањем до одређене температуре, која се зове температура желатинизације. На процес желатинизације скроба утичу карактеристике скробних гранула: састав, морфологија, структура и молекулска маса (*Rübsam u cap., 2012; Lindeboom u cap., 2004*).

Загревање скроба у вишку воде (>1:2 скроб:вода) на повишеној температури („температури желатинизације“), нарушава молекулске везе у оквиру гранула и топи кристалну структуру (*Atwell u cap., 1988*). Када је мања количина воде доступна (<1:2 скроб:вода), желатинизација је делимично одложена до постизања виших температура (*Delcour u Hoseneu, 2010*). Додатак воде је од великог интереса јер дефинише обим желатинизације (*Schrimer u cap., 2011*).

Скробне грануле загрејане у довољној количини воде пролазе фазни прелаз желатинизације. Овај фазни прелаз је неуравнотежен процес који

подразумева дифузију воде унутар грануле, хидрирање и бубрење гранула, преузимање топлоте, губитак кристалинитета и отпуштање амилозе (*Fu u cap., 2015*). Грануле могу да набубре и до величине неколико пута веће од првобитне, што је последица топљења кристалне структуре и апсорпције воде (*Collado u Corke, 2003*). Након хлађења, ланци амилозе и амилопектина се реорганизују, што води формирању уређеније структуре. Ове молекуларне интеракције се зову „ретроградација“ (*Hoover, 1995*) и она подразумева поновно успостављање уређене, кристалне структуре (*Thomas u Atwell, 1999*). Ретроградација је, у основи, преношење Н-веза и најбржа је при рН=7 (*Porov-Rajjić, 2009*). Тада се молекули амилозе оријентишу паралелно и повезују водоничним везама, што има за последицу образовање јаких гелова, који представљају двофазни систем. Континуалну фазу чине молекули амилозе организовани у тродимензионалну структуру са заробљеном воденом фазом, а дисперзну фазу чине остаци набубрелих гранула амилопектина (*Collado u Corke, 2003*). Молекули амилозе имају главну улогу у иницијалној фази (неколико сати) образовања структуре гела, а молекули амилопектина одговорни су за дугорочно образовање структуре (неколико дана или недеља) (*Miles u cap., 1985*).

2.2.3. СИНТЕЗА ЈЕСТИВИХ СКРОБНИХ ФИЛМОВА И ПРЕМАЗА

Јестиви биоразградиви скробни филмови се добијају из природног скроба или његових компоненти, амилозе и амилопектина, на два начина (*Paes, 2008*):

- А. Термопластичном обрадом (сува метода)
- Б. Разливањем раствора и његовим сушењем (влажни поступак)

А. Термопластична обрада (суви поступак)

Користећи суви поступак, скробни филмови се добијају термопластичном обрадом при чему је присутан проценат воде нижи у поређењу са влажним

поступком. Сува метода се може користити за обраду сирових материјала који поседују термопластичне карактеристике. Од педесетих година прошлог века екструзија се сматра најчешће коришћеном методом у производњи термопластичних полимера и пластике. Екструзија користи повишену температуру и притисак чиме се омекша и истопи полимер (смоле), и даље омогућава формирање матрикса кохезивног филма (*Dangaran u Tomasula, 2009*).

Иако природни скроб не показује ове термалне карактеристике он може уз правилно третирање постати термопластичан материјал. Према *Carvalho (2008)*, термопластични скроб се добија обрадом скроба и пластификатора у екструдеру на температурама између 140 и 160°C при високим притисцима и високим напонима смицања. Понекад се могу користити и мешалице при истим условима рада. Резултати ових процеса, у којима се скробне грануле разбијају и мешају са једним или више пластификатора је управо термопластични скроб. Присуство пластификатора (не само воде) је потребно како би се добио гумаст материјал, који није крт, на собној релативној влажности (*Forsell u cap., 1997*). Производни процес је комплексан и подразумева коришћење индустријских постројења за производњу филмова. Наиме, растопи се изливају или разливају равномерно по континуалној челочној траци која пролази кроз комору за сушење. Осушени филм се скида са траке и намотава у ролне за каснију употребу.

Б. Разливање раствора (влажни поступак)

Влажни поступак или процес разливања („casting method“) је поступак који се најчешће употребљава за формирање јестивих филмова. Обично се погодним растварачем и на повишеним температурама нарушава природна структура биополимера и на тај начин добија раствор погодан за формирање филма. (*Carvalho, 2008*). Желатинизација скроба подразумева бубрење гранула у доступној води, нарушавајући амилопектински матрикс и ослобађајући амилозу. Првим кораком се сматра дифузија растварача у гранулу скроба, а

другим кораком се сматра само раздвајање кристала скроба (Carvalho, 2008). Процес желатинизације се започиње на нижим температурама и наставља до потпуног распада грануле (Ratnayake u Jackson, 2007).

У филмогени раствор пластификатори се могу додавати пре желатинизације (Mehyar u Han, 2004; Mathew u Dufresne, 2002) или после (Krogars u cap., 2002). Након желатинизације, филмогени раствор се разлива на неадхезивне нивелисане плоче (акрилне, силиконске или тефлонске). Вода испарава како би се формирали филмови и то: на собној температури уз контролисану релативну влажност (Mehyar u Han, 2004), или на контролисаним температурама (Mali u cap., 2006; Myllärinen u cap., 2002). Својства као што су температура и релативна влажност током испаравања се могу користити за контролисање неких карактеристика филма. У **табели 2.4.** приказани су јестиви скробни филмови синтетизовани из различитих сировина уз додатак пластификатора при различитим условима синтезе.

Табела 2.4. Синтеза јестивих скробних филмова из различитих сировина уз додатак пластификатора при различитим условима синтезе

Тип скроба	Друге компоненте	Пластификатор	Услови желатинизације	Услови сушења филма	Референце
Скроб из саго палми		Глицерол	85°C, 30 min	40°C, 20 h	Abdorrezza u cap. 2011
		Сорбитол			
		Полиетилен гликол			
Скроб из касаве		Глицерол	70°C, 1 min	30°C, 18–24 h	Bergo u cap. 2008
Скроб из касаве	Калијум сорбат	Глицерол	73.5°C	52°C/2 h, а потом 25°C	Famá u cap. 2006
Скроб из тапиоке	Калијум сорбат	Глицерол	≥70°C	Разне методе (темп. од 25- 50°C)	Flores u cap. 2007

Тип скроба	Друге компоненте	Пластификатор	Услови желатинизације	Услови сушења филма	Референце
Кукурузни скроб	Сунцокретово уље	Глицерол	Алкални медијум (10 g/L NaOH)	60°C, 8 h	<i>García u cap. 2000a</i>
Кукурузни скроб високог садржаја амилозе		Сорбитол			
Скроб из грашка	Пчелињи восак	Глицерол	Температура кључања 15min	Собна температура 40 h	<i>Han u cap. 2006</i>
Скроб из саго палми		Глицерол	98°C, 30 min	4°C/10 дана, а потом 40°C/48h силика гелу	<i>Hernández u cap. 2008</i>
Скроб из банане					
Скроб из кромпира					
Скроб из кукуруза					
Kukuruzni skrob	Лимунска киселина	Глицерол	На загрејаној површини, 90°C, 20 min	Сушење на ваздуху 48h пре додатка киселине на 165°C	<i>Reddy u Yang 2010</i>
Скроб из кромпира	Twin 20 Сојин лецитин	Глицерол	70°C, 30 min	60°C, RV 60% 24 h	<i>Rodríguez u cap. 2006</i>
Скроб из манг, банане и		Глицерол	Хладна желатинизација (10 g/L NaOH)	65°C, 5 h	<i>Romero-Bastida u cap. 2005</i>

Тип скроба	Друге компоненте	Пластификатор	Услови желатинизације	Услови сушења филма	Референце
океније			Термална желатинизација, 95°C, 10 min		
Скроб из корења	Минерали	Глицерол	Температура кључања, 30 min	40–50°C	<i>Wilhelm u cap. 2003</i>

Биополимери имају вишеструке механизме формирања филма, укључујући интермолекуларне силе попут ковалентних веза и електростатичких, хидрофобних или јонских интеракција. Да би добијени филмови или премази били јестиви, механизме формирања филма треба прилагодити на следећи начин: модификација рН, додавање соли, загревање, ензимска модификација, сушење, употреба јестивих растварача, или реакције са другим јестивим хемикалијама. Механичке особине могу бити побољшане додатком пластификатора (*Krochta, 2002; Ghasemlou u cap., 2011; Parra u cap., 2004*), који привлаче молекуле воде, да би се као резултат добиле интеракције између пластификатора и биополимера уместо између самих биополимера. Додатак пластификатора утиче не само на механичке особине, већ и на баријерност јестивих филмова према гасовима и воденој пари (*Sothornvit u Krochta, 2001*).

За формулације базиране на скробу, глицерол и сорбитол се често користе као пластификатори у концентрацијама од 0 до 50 g/l. Максимална концентрација пластификатора је ограничена површинском миграцијом. На пример, максимална количина глицерола допуштена у формулацијама на бази скроба је 20 g/l, јер веће концентрације доводе до миграције пластификатора на површину производа, што резултира лепљивом површином (*García, 1998a*). За сорбитол, концентрације веће од 20 g/L доводе до неповољно дугог времена сушења премаза.

У циљу постизања активног материјала, емулгатори, антиоксиданти и антимикробна средства могу такође бити укључени у филмогене растворе током њихове производње (*Han, 2003*). Постоји велики број једињења која се

могу потенцијално уградити у матрикс филмова и премаза, укључујући органске киселине (сирћетна, бензоева, млечна, пропионска, сорбинска), естре масних киселина (глицерил монолаурат), полипептиде (лизозим, перокидасе, лактоферин, низин), биљна етерична уља (цимет, оригано, мента), нитрите и сулфите, између осталих (*Franssen u Krochta, 2003*). Активна функција јестиве амбалаже штити прехранбене производе од оксидације и микробиолошког квара, што унапређује квалитет (сензорна својства и визуелна перцепција квалитета) и продужава одрживост (*Kim u cap., 2012; Lee u cap., 2012*). Матрикс премаза ограничава дифузију активних компоненти у средиште производа и на тај начин минимизира количину адитива потребних за дати производ (*García, 2001*).

2.2.4. ОСОБИНЕ ЈЕСТИВИХ СКРОБНИХ ФИЛМОВА И ПРЕМАЗА

Скроб се једноставним поступцима може превести у јестиве филмове који су еколошки подобни, произведени по ниским ценама, флексибилни и транспарентни (*Bilbao-Sáinz u cap., 2010; Müller u cap., 2009*). Јестиви филмови на бази скроба су без укуса, мириса и транспарентни, па тако спречавају промене укуса и ароме као и изглед хране која је упакована (*Chiumarelli u Hubinger, 2012*). На примену јестивих скробних филмова и премаза, као амбалажног материјала утичу: механичка, баријерна, структурна, термичка и биолошка својства филмова и премаза.

2.2.4.1. Механичке особине

Механичка својства јестивих филмова су од великог значаја због очувања интегритета упакованог производа (*Prakash Maran u cap., 2013*). Дефинисање механичких особина амбалажних материјала подразумева испитивање затезне јачине и издужења при кидању. Ове карактеристике су важне јер указују на својства материјала како би били правилно примењени приликом транспорта,

руковања и складиштења. Механичка својства филмова зависе од структуре полимерних ланаца, кохезије полимерног матрикса, интеракције адитива и матрикса, начина производње филма и присуства пластификатора.

Механичке особине скробних филмова се одређују мобилношћу макромолекулског ланца у аморфној фази, односа амилоза:амилопектин, избором и количином пластификатора и садржајем воде. Познато је и да услови средине током производње јестивих скробних филмова и премаза, процес старења, складиштења и кориштења материјала утичу на механичке особине. У **табели 2.5.** дат је приказ механичких особина (затезна јачина и издужење при кидању) скробних филмова и биополимерних филмова добијених из других извора.

Табела 2.5. Механичке особине различитих биополимерних филмова

Биополимер	Затезна јачина (МПа)	Издужење при кидању (%)	Референца
Скроб	35-47	1,7-3,4	<i>Mark, 1999</i>
Колаген	1-70	10-70	<i>Mark, 1999</i>
Зеин	3-4	50-120	<i>Wang u Padua, 2003</i>
Хитозан	10-100	20-80	<i>Lazaridou u Biliaderis, 2002</i>
Полиетилен LDPE	9-20	100-1200	<i>Mark, 1999</i>
HDPE	10-60	400-1800	

Структура јестивих филмова на бази скроба је крута и крта због многобројних интеракција између полимерних молекула (*Krochta, 2002*). Оваква структура јестивих филмова на бази скроба мора се оптимизовати како би филм могао бити примењен у индустрији као амбалажа. Широк спектар пластификатора може се користити за побољшање механичких карактеристика филмова (*Ghasemlou u cap., 2011; Parra u cap., 2004*).

Пластификатори

Пластификатори слабе интермолекуларне интеракције између полимерних ланаца скроба, и јављају се нове везе између молекула пластификатора и скроба, уместо дотадашњих веза између ланаца скроба чиме се повећава флексибилност филмова (*Talja u cap., 2007; Jongjareonrak et al., 2006; Sobral et al., 2005*). Као последица, јавља се пораст издужења при кидању, док вредност затезне јачине опада.

Полиоли су група ефикасних пластификатора (*Talja u cap., 2007*), и то глицерол (*Yu u cap., 2008*), ксилитол (*Liu u cap., 2011*), сорбитол (*Müller u cap., 2008*), гликоли (*Róz u cap., 2006*). Осим полиола, могу се користити и моно-, ди- или олигосахариди, масне киселине, липиди, итд. (*Greener Donhowe u Fennema, 1994*). Многе студије су се бавиле утицајем различитих полиола (*Talja u cap., 2007*), комбинованим ефектом пластификатора и сурфактаната на карактеристике скробних филмова (*Rodriguez u cap., 2006*), као и утицајем услова складиштења на карактеристике скробних филмова (*Mali u cap., 2006; Fata u cap., 2005*).

Глицерол је пластификатор са најширом применом јер позитивно утиче на механичке особине, али и транспарентност јестивих филмова на бази скроба (*Mali u cap., 2005; Myllarinen u cap., 2002; Forsell u cap., 2002; Yang u Paulson, 2000*), као и због своје стабилности и компатибилности са хидрофилним биополимерним ланцима скроба (*Fernandez Cervera u cap., 2004*). Хидроксилне групе, присутне у глицеролу, су одговорне за интер и интрамолекуларне интеракције (водоничне везе) у полимерним ланцима, обезбеђујући филмовима флексибилнију структуру (*Souza u cap., 2012*).

Како би се побољшале физичке и баријерне карактеристике предложено је мешање скроба са другим биополимерима (*Bangyekan u cap., 2006; Xu u cap., 2005*). Ксантан гума је екстрацелуларни полисахарид који се добија аеробном ферментацијом културе *Xanthomonas campestris*. Налази широку примену у прехранбеној индустрији због своје способности да формира вискозне растворе при веома ниским концентрацијама Неки аутори (*Mandala u Bayas, 2004; Wang u cap., 2001*) су испитивали утицај ксантана на бубрење, растворљивост и

вискозитет пшеничног и кукурузног скроба. Доказано је да додатак ксантана у скроб побољшава стабилност и вискозитет скробних гелова (*Abdulmola u cap., 1996; Sudhakar u cap., 1996*). Инкорпорација ксантана у скробне филмове побољшава механичке карактеристике, као што је издужење при кидању као и апсорпција воде (*Veiga-Santos u cap., 2005*). Гуар гума је полисахарид који се састоји од галактозе и манозе. Гуар гума налази велику примену у прехранбеној индустрији јер има функцију згушњивача и стабилизатора, помаже одржавању хомогености и структуре и функционише као везујуће средство (*Ward, 2000; Patrain, 2000*).

2.2.4.2. Баријерне особине

Функционалност и могућност примене јестивих филмова и омотача као амбалаже зависе од баријерних особина, а које зависе од хемијског састава филма, поступка добијања филмова, као и од начина примене филма на површину производа (*Rodriguez u cap., 2006*). Скроб је адекватан матрикс за добијање филмова са добрим баријерним особинама према кисеонику и угљен диоксиду. У случају премаза, пропустљивост гасова се обично мери на филму. Ово упрошћавање је базирано на чињеници да су резултати пропустљивости гасова филмова и премаза слични (*García, 2000b*). Пропустљивост гасова се одређује мерењем дифузије гаса кроз филм, која се квантификује гасним хроматографом (*García, 2000a,b, 2001*). Интегритет филмова и премаза је неопходан услов за постизање добрих баријерних својстава. Скробни филмови без пластификатора показују већу пропустљивост CO₂ и O₂, као и виши стандардни коефицијент девијације од истих формулација које садрже пластификаторе. Ово је последица присуства пора у филмовима без пластификатора, што за последицу има смањен интегритет филма (*García, 1999, 2000a*).

У **табели 2.6.** дат је приказ баријерних особина скробних филмова и других биополимерних филмова добијених из различитих извора.

Табела 2.6. Баријерне особине (пропустљивост кисеоника ($\text{ml } \mu\text{m m}^{-2} \text{d}^{-1} \text{Pa}^{-1}$)) различитих биополимерних филмова

Биополимер	Пропустљивост кисеоника	Услови RH (%) / T (°C)	Референца
Метилцелулоза	0,097	50/24	<i>Miller u Krochta, 1997</i>
Скроб	0,0014	57/20	<i>Gaudin u cap., 2000</i>
Хитозан	0,0328	50/25	<i>Di Piero u cap., 2010</i>
LDPE	1,73	0/25	<i>Park u cap., 2010</i>

На основу добијених резултата из табеле може се закључити да јестиви филмови добијени из биополимера имају боље баријерне особине од комерцијално коришћеног полиетилена ниске густине (LDPE), чија пропустљивост кисеоника износи $1,73 \text{ ml } \mu\text{m m}^{-2} \text{d}^{-1} \text{Pa}^{-1}$. Међу испитаним филмовима на бази биополимера, најбоље вредности за пропустљивост кисеоника имају филмови на бази скроба ($0,097 \text{ ml } \mu\text{m m}^{-2} \text{d}^{-1} \text{Pa}^{-1}$).

Иако представљају добру баријеру за гасове, скробни филмови представљају веома лошу баријеру за водену пару (*Arvanitoyannis u cap., 1998; Pagella u cap., 2002*). Управо је хидрофилна природа један од лимитирајућих фактора за широку употребу ових филмова (*Falguera u cap., 2011*).

Главне функционалне карактеристике хидрофилних материјала зависе од њиховог садржаја воде, као и релативне влажности околне средине у којој се налазе (*Chang u cap., 2000; Wiles u cap., 2000*). Додатак пластификатора утиче, не само на механичке особине, него и на баријерност филмова (пропустљивост водене паре и гасова) (*Sothornvit u Krochta, 2000*). Додатак пластификатора повећава хидрофилност филмова, што заузврат повећава пропустљивост водене паре. У **табели 2.7.** дат је приказ баријерних особина (пропустљивост водене паре) скробних филмова и других биополимерних филмова добијених из различитих извора.

Табела 2.7. Баријерне особине (пропустљивост водене паре ($\text{g mm m}^{-2} \text{d}^{-1} \text{kPa}^{-1}$)) различитих биополимерних филмова

Биополимер	Пластификатор	Однос	Проп. водене паре	Референца
Кукурузни скроб	-	-	72	<i>Mali u cap., 2006</i>
Кукурузни скроб	Глицерол	71/29	58	<i>Mali u cap., 2006</i>
Касава скроб	Глицерол	85/15	5	<i>Phan u cap., 2005</i>
Изолат протеина сурутке	Глицерол	67/33	120	<i>Shaw u cap., 2002</i>
Изолат протеина сурутке	Ксилитол	67/33	85	<i>Shaw u cap., 2002</i>
Желатин	Глицерол	65/35	22,9	<i>Thomazine u cap., 2005</i>

Пропустљивост водене паре се може смањити додавањем липидних компонената у филмогени раствор, као што су воскови или есенцијална уља, чиме се повећава хидрофобност филма (*Sanchez-Gonzalez u cap., 2011; Ayranci u Tunc, 2003; Anker u cap., 2001; Garcia u cap., 2000b*), или мешати са различитим другим биополимерима (*Xu u cap., 2005*). С друге стране, додаток липида, може утицати на оптичка својства филма (транспарентност) (*Falguera u cap., 2011*).

2.2.4.3. Структурне особине

Карактеристике филмова и премаза зависе од фактора као што су: однос кристалних и аморфних зона, мобилност полимерних ланаца и специфичне интеракције међу функционалним групама полимера и супстанци са аморфним зонама. Постоји већи број техника, на основу којих се може проучавати структура скробних филмова., а неке од њих су: електрон скенирајућа

микроскопија (Scanning Electron Microscopy - SEM), дифракција X зрака (X Ray Diffraction – XRD), Фуријеова трансформишућа инфрацрвена спектроскопија (Fourier Transform Infrared Spectroscopy – FTIR), диференцијална скенинг калориметрија (Differential Scanning Calorimetry – DSC), термо-механичка анализа (Thermo-Mechanical Analysis – TMA), итд.

Скенирајућа Електронска Микроскопија (SEM) се може користити за процену хомогености филма, структуре слојева, пора и пукотина, глаткоће површине и дебљине. На пример, пресеци филмова од кукурузног скроба којима је додат пластификатор су показали вишеслојну компактнију структуру, без обзира на коришћени пластификатор. SEM микрографи узорака филмова са додатком пластификатора, а који садрже липиде су показали постојање глатке површине са компактном структуром, што доказује добру хомогену дисперзију липида у матриксу. Карактеризација микроструктуре филмова и премаза даје важан увид у перформансе разних формулација. Светлосна микроскопија се користи за процену адхезије премаза, дебљине и равномерности док се процена интегритета врши SEM-ом (*García, 1998a,b*).

Дифракција X зрака јестивих филмова показује аморфно кристалну структуру коју карактеришу оштри пикови који се повезују са дифракцијом кристала и аморфним зонама. Што је више аморфних зона кристалност ће бити нижа. Аморфни региони у узорку се могу процењивати на основу зона између криве добијене праћењем тачака расејања и основе која спаја позадину са тачкама ниских и високих врхова. Кристална фракција се процењује на основу релативне зоне виших региона изнад криве (*Snyder i Bish, 1989*).

Дифракција X зрака се може користити при праћењу рекристализације полимера у филмовима током складиштења. У случају филмова на бази скроба, ширина пика се смањује док се интензитет пика повећава, што указује на раст кристала. Технике припреме филма такође могу да доведу до развоја различитих структура у матриксу. За филмове базиране на термалној желатинизацији скроба, дифракциони типови филмова, нпр. од јама, показују Б тип распореда кристалног паковања (*Roos, 1995*). Ови типови остају

непромењени током складиштења. Садржаји скроба и глицерола нису приметно утицали на тип дифракције ових филмова (Mali, 2002). Дифракција X зрака филмова, који су добијени растварањем скроба у алкалним условима, је показала кристалну структуру високе стабилности тј. А- тип кристала. На температурама сушења до 60°C, дифрактограми филмова показују Б- тип кристале, док су код филмова сушеним на 100°C добијени А- типови кристала. Повећање температуре сушења са 60°C на 100°C доводи до промене са Б- на А- тип кристала. Кристалинитет скробних филмова је примарно повезан са садржајем амилозе скробног извора и зависи од услова сушења и складиштења. Висок садржај воде фаворизује интеракцију молекулских ланаца а самим тим кристализацију скробних филмова. Скробни филмови без пластификатора показују висок степен кристалности у поређењу са онима који садрже пластификаторе (García, 2000a).

Инфрацрвена спектроскопија је проучавање интеракције инфрацрвене светлости са материјом. Када је снап инфрацрвене светлости усмерен ка узорку, таласне дужине апсорције зависе од молекуларне вибрације испитиване супстанце. На основу апсорбанци могу се дефинисати и хемијске и структурне карактеристике узорка (Glassford *u cap.*, 2013). Мерење се може обавити у трансмисионом модалитету или у модалитету укупне рефлексije (ATR), али је први начин популарнији. Таласне дужине инфрацрвене (IR) области се крећу од око 0.78-1000 μm (12,500-10 cm^{-1}), а подељене су у NIR-IR („near-infrared,“) (12,500-4000 cm^{-1}), MID-IR („mid-infrared“) (4000-100 cm^{-1}) и FAR-IR („far-infrared“) (100-10 cm^{-1}); међутим, највише се користи MID-IR (Gallignani *u cap.*, 2004).

IR спектар се заснива на молекулским вибрацијама (свака у зависности од атомске масе), јачини веза и интра и интермолекулским интеракцијама. Већина компонената се недвосмислено идентификују на основу њихових IR спектра, односно карактеристичних апсорпционих трака. Главна предност IR методе је да практично сва једињења показују апсорпцију и стога могу да се анализирају и квалитативно и квантитативно (Gallignani *u cap.*, 2004).

Теорију ATR методе најбоље је описао Harrick (1967). У ATR моду, IR снап пролази кроз дијамантски кристал и тотално се рефлектује када је $\theta_i > n_2/n_1$, где

је Θ_i улазни угао, а n_1 и n_2 индекси преламања кристала и узорка. Интензитет апсорпције зависи од два главна параметра: а) добар контакт између узорка и кристала, и б) дубина пенетрације улазног таласа. АТР се често представља као површинска метода. Дубина пенетрације зрака (d_p) се дефинише као удаљености на којој је поље умањено за фактор $1/e$, и изражава се као (Harrick, 1967):

$$d_p = \frac{\lambda}{2 \cdot \pi \cdot n_1 \sqrt{\sin^2 \Theta_i - (n_2/n_1)^2}} \quad (2.1)$$

где је λ таласна дужина зрака, Θ_i је 45° за дијамант, n_1 и n_2 the индекси преламања кристала и узорка (2.4 и 1.53 за скроб, респективно), па једначина може бити упрошћена:

$$d_p \approx 0.2 \cdot \lambda \quad (2.2)$$

Уочено је да је пенетрациона дубина директно у вези са таласном дужином. Што је већа таласна дужина, веће је и продирање зрака. Полисахараиди, као што је скроб, апсорбују у регији $1200-800 \text{ cm}^{-1}$ тј. на таласној дужини између ~ 8 и 12 nm . Из овог разлога, просечна дубина пенетрације је $\sim 2 \text{ nm}$. Ова вредност је мања него просечна величина скробне грануле и то указује да IR спектар је подесан за дефинисање спољних слојева грануле (Sevenou *u cap.*, 2002).

Карактеристичне таласне дужине на којима се јављају пикови који одговарају уобичајеној структури скробних филмова су:

- Изузетно доминантан широк пик, који се јавља између 3000 и 3600 cm^{-1} , центриран на 3300 cm^{-1} – одговара области истезања водоничних веза, што је изазвано слободним, интер и интра-молекуларно везаним хидроксилним групама које улазе у структуру скроба (Xiong *u cap.*, 2008; Zhang *u Han*, 2006; Fang *u cap.*, 2002; Coates, 2000);
- Пик на 1641 cm^{-1} – указује на везану воду присутну у филмовима због хидрофилне структуре скроба (Zhang *u Han*, 2006)
- Пик на 1409 cm^{-1} - везан је за C-H истезање (Coates, 2000)
- Пикови на 1240 , 1299 and 1333 cm^{-1} - указује на присуство примарних или секундарних алкохола због савијања ОН група (Coates, 2000)

Нативни скроб не апсорбује у региону 1800 cm^{-1} - 1540 cm^{-1} (*Demiate и сар., 2000*).

2.2.4.4. Термичке особине

Диференцијална скенирајућа калориметрија (DSC) има за циљ мерење термалних разлика између узорка и референтног материјала. Фазни прелази су промене у физичком стању материјала, услед промена у температури или притиску. Промене првог реда огледају се у промени енталпије, ентропије и запремине на температури фазног прелаза (*Aguilera i Stanley, 1999*).

Фазне прелазе првог реда одликује прекид првог извода термодинамичке функције. Тако на пример, на температури прелаза постоји прекид (дисконтинуитет) топлотног капацитета и коефицијента термалне експанзије. Типични примери прелаза првог реда су они који се одвијају између три основна стања материјала, гасног, течног и чврстог стања. На температурама фазних прелаза другог реда постоји степенаста промена у особинама које су у дисконтинуитету код прелаза првог реда. На пример, аморфни материјал има промену топлотног капацитета при стакластом прелазу и стога ова промена стања има нека термодинамичка својства типична за прелазе другог реда. Стакласти прелаз је особина система који није у равнотежи, тј. неравнотежног система. Због тога овај прелаз не може да буде означен као прави фазни прелаз (*Остојућ, 2015*).

Материјали са аморфном или делимично аморфном структуром показују прелазе из крвог, стакластог чврстог стања у гумасти стање или стање великог вискозитета, при температури специфичној за дати материјал - температури која се означава као температура стакластог стања (T_g) (*Kalichevski i sar., 1992*). Генерално, T_g се повећава повећањем броја веза, бројем бочних група, умрежавањем између више молекула и степеном кристалности, а смањује се са повећањем количине нискомолекуларног пластицизера. У случају биоразградивих филмова, вода се понаша као пластицизер, смањујући

вредност T_g (Gontard u Ring, 1996) што може имати значајан ефекат на одрживост и стабилност филма (Ghanbarzadeh i Oromiehi, 2008).

Филмови добијени термалним третманима скроба (сувим поступком) не дају пикове на DSC термограмима на почетку складиштења, што показује да је желатинизација скроба током производње филма завршена. Током складиштења ови филмови нису показали пикове на DSC термограмима при одређеним условима, што указује на стабилност матрикса (Mali, 2002). Међутим, скробни филмови добијени алкалним третманима су показали ендотермску транзицију са пиковима на 50°C током складиштења (90 дана). Овај пик се сужавао док су се температура топљења и енталпија повећавали са повећањем времена складиштења. Ова DSC транзиција се повезује са растом кристала краћих молекуларних ланаца (као производа хидролизе) и рекристализације амилозе или других дугих бочних амилопектинских ланаца (Mali, 2002; Mali, 2006).

Термогравиметријска анализа (TGA) испитује стабилност филма јер температура стаклене транзиције (T_g) веома зависи од композиције филма и садржаја воде. Како са порастом воде аморфног материјала, вредност T_g опада, на датој температури складиштења, биоразградиви филм са ниским садржајем воде (у стакластом стању) остаје дуже време стабилан, док исти матрикс, са повећаним садржајем воде прелази у гумасто стање, где долази до молекуларне реорганизације и промене особина материјала. У гумастом стању, полимерни ланци поседују већу мобилност, која онемогућава ширење стакластог подручја и прелазак у уређено стање. У циљу дефинисања особина и потенцијалне примене неопходно је одређивање вредности T_g биоразградивих филмова. У присуству пластицизера, долази до смањења вредности T_g , јер молекули пластицизера слабе интермолекуларне силе између полимерних ланаца (Guilbert i Gontard, 1995).

2.2.4.5. Биолошке особине

У данашње време, брз развој тржишта функционалне хране довео је до потребе за активним паковањем (*Campos u cap., 2011; Kechichian u cap., 2010*). Синтетички конзерванси и антиоксиданси се замењују супстанцама које су декларисане као природне. Зачини, органске киселине, полипептиди, емулгатори, естри масних киселина, есенцијална уља биљака имају широк опсег биолошке (антиоксидативне и антимикуробне) и фармаколошке активности и могу се додавати као филмогене компоненте са циљем да се постигне функција активног паковања (*Franssen u Krochta, 2003; Han, 2003*).

Јестиви филмови и премази заузимају посебно место у области очувања намирница, управо због своје способности очувања квалитета хране (*Franssen u Krochta, 2003; Franssen u cap., 2002*). Јестиви филмови и премази се могу користити за премазивање хране, одвајање састојака, формирање баријере против кисеоника, арома, уља и влаге, или могу послужити као кесице или омотачи. Осим ових важних примера апликације, могу се користити као носиоци функционалних активних агенаса (*Chillo u cap., 2008*).

Активна функција јестивих филмова и премаза се огледа у заштити прехранбених производа од оксидације и микробиолошког квара, што доводи до побољшања квалитета и унапређења безбедности упакованог производа (*Kim u cap., 2012; Lee u cap., 2012*). Могуће је имплементирати адитиве, као што су антимикуробна средства, антиоксиданси и пигменти у јестиве филмове и потом контролисати брзину ослобађања ових адитива у намирнице (*Greener Donhowe u Fennema, 1994; McHugh u Krochta, 1994*).

Есенцијална уља

Есенцијална уља су ароматичне компоненте добијене из биљног материјала и сматрају се здравствено безбедним, тако да се могу користити у области јестиве активне амбалаже за поспешивање антимикуробних и антиоксидативних активности (*Nanasombat u Wimuttigosol, 2011, Misharina u*

cap., 2009; Rojas-Grau u cap., 2009) Антиоксидативна и антимикуробна активност есенцијалних уља се односи на хемијске структуре њихових компонената, концентрацију у којима су компоненте присутне и интеракцију међу њима, што утиче на њихова биоактивна својства (Avila-Sosa u cap., 2012). У раду Burt (2004) је приказан механизам деловања есенцијалних уља, који се огледа у хидрофобности уља. Ово је важна карактеристика есенцијалних уља, због чега могу проћи кроз ћелијске мембране и продрети у митохондрије, нарушавајући интерне структуре и учинити мембране пропустљивијим.

У **табели 2.8.** приказани су најновији резултати, који се односе на додатак активних компоненти у филмове на бази скроба и њихов утицај на механичка, баријерна и биолошка својства скробних филмова.

Табела 2.8. Утицај додатка активних компоненти (есенцијалних уља) на карактеристике скробних филмова

Активни додатак	Додата количина	Ефекат	Референца
Тимијан	1%, 2%, 3%	- Вредност издужења при кидању расте са додатком уља - Пропустљивост водене паре смањена - Потврђена антимикуробност, израженија за уље тимијана, нарочито против <i>E.coli</i> и <i>S.aureus</i>	<i>Ghasemlou u cap., 2013</i>
Мента			
Оригано	0,1%, 0,5%, 1%	- Пропустљивост водене паре смањена - Термална стабилност непромењена - Потврђена антимикуробност код свих тестираних микроорганизама: <i>B.cereus</i> , <i>E.coli</i> , <i>S.enteritidis</i> , <i>S.aureus</i>	<i>Pelissari u cap., 2009</i>
Босиљак	0,1g/g скроба	- Незнатан утицај на механичке особине - Смањена пропустљивост водене паре само код узорака којима је додата лимунска киселина и α -токоферол - Пропустљивост кисеоника значајно смањена додатком свих активних компонената - Најизраженија антиоксидативност код узорака којима је додат α -токоферол	<i>Bonilla u cap., 2013</i>
Тимијан			
Лимунска киселина			
α -токоферол			

Цимет	0,4g/100g 0,6g/100g 0,8g/100g	- Потврђена антимикуробност за <i>P.commune</i> , <i>E.amstelodami</i> - Вредност затезне јачине опада додатком уља - Вредност издужења при кидању расте додатком уља - Вредност пропустљивости водене паре расте	<i>Souza u cap., 2013</i>
-------	-------------------------------------	--	---------------------------

Употреба есенцијалних уља у прехранбеној индустрији може бити ограничена због могућих промена сензорних особина хране (*Sanchez-Gonzalez u cap., 2011*), пошто некада ефективне дозе уља могу прећи сензорно прихватљив ниво (*Viuda-Martos u cap., 2008*). С друге стране, када се есенцијална уља наносе директно на површину хране (потапањем или распршивањем), њихове високо хидрофобне и испарљиве активне компоненте се везују са компонентама хране, док се остале компоненте распоређују кроз производ у зависности од њиховог афинитета према води. Да би се избегли ови проблеми, алтернатива је имплементација есенцијалних уља у састав јестивих филмова и премаза. Тада долази до интеракције додатог уља са биополимером и пластификатором (*Ponce u cap., 2008*). У овом случају, потребна је много мања количина уља и његових активних компоненти. Јестиви филмови и премази као носачи есенцијалних уља имају ефекат матрице за инкапсулацију која се огледа у потребним минималним дозама есенцијалног уља, ограничене испарљивости и контролисаног и постепеног ослобађања активних компонената са површине хране (*Bonilla u cap., 2013; Salarbashi u cap., 2013*).

Оригано (*Origanum vulgare* L.), породица Lamiaceae, је једна од најчешће коришћених ароматичних биљака, са најширом применом у Источној Европи, Централној Азији и Америци (*Burt, 2004; Katsiotis u cap., 2009*). Неке карактеристике, као што су антимикуробно, антиоксидативно и антимулагено деловање су резултат присуства активних компонената, као што су: тимол, линалол, карвакрол, γ-терпинен, р-цимен и других монотерпена (*Faleiro u cap., 2005*).

Доказано је да оригано има антиоксидативан ефекат у погледу спречавања раста неких патогених бактерија (*Burt u cap., 2005; Chorianopoulos u Kalpoutzakis, 2004; Lambert u cap., 2001*). Осим тога, потврђен је и инхибиторни ефекат против неких плесни (*Portillo-Ruiz u cap., 2005, Araujo u cap., 2003*) и то не само раста плесни него и против производње афлатоксина и спора. Антимикробна активност оригана се приписује присуству испарљивих компонената, нарочито карвакрол и тимола (*Avila-Sosa u cap., 2010; Skandamis u Nychas, 2000*).

Деловање есенцијалног уља оригана је проучавано због своје антиоксидативне и антимикробне активности у разним прехранбеним производима, као што су месо, риба, рибље уље, жуманце... (*Camo u cap., 2011; Martín-Sánchez u cap., 2008; Busatta u cap., 2008; Burt, 2004; Harpaz u cap., 2003; Sánchez-Escalante u cap., 2003; Mejlholm u Dalgaard, 2002; Wong u Kitts, 2002; Tsimidou u cap., 1995*).

Црни кумин (*Nigella sativa* L.), породица Ranunculaceae, је често коришћена ароматична биљка у области Медитерана, северне Африке, средњег Истока и Индије (*El-Dakhkhani u cap., 2000; Burits u Bucar, 2000*). Постоји интересовање за семе црног кумина у неколико форми: екстракт семена, уље семена и испарљиве компоненте (*Al-Naqeeb u cap., 2009; Bourgou u cap., 2008, Nagi u Mansour, 2000*).

Антиоксидативни потенцијал црног кумина је последица његовог хемијског састава. Црни кумин садржи значајне количине незасићених, нарочито полинезасићених, масних киселина (48%-70%), док монозасићених има 18%-29%, а засићених 12%-25% (*Cheikh-Rouhou u cap., 2007; Nickavar u cap., 2003*). Најзаступљеније засићене масне киселине су миристинска, палмитинска и стеаринска, а незасићене су олеинска, линолна и линоленска (*Nergiz u Otles, 1993*). Осим погодног масно-киселинског састава, црни кумин садржи и значајне количине токоферола и биоактивних компоненти, које су значајне за антиоксидативну активност црног кумина (*Valko u cap., 2007*).

2.2.5. ПРИМЕНА ЈЕСТИВИХ СКРОБИХ ФИЛМОВА И ПРЕМАЗА У ПРЕХРАМБАНОЈ ИНДУСТРИЈИ

Пре примене биополимера, неке факторе треба узети у обзир, као што су микробиолошка стабилност, растворљивост, транспарентност, влажност, отпорност на уља и масти, кохезија, механичка својства, осетљивост и пропустљивост на водену пару и гасове. Оптимизација састава јестивих филмова је један од најважнијих корака у овој области истраживања, јер филмови морају бити формулисани у складу са особинама производа на коме ће бити примењени (*Rojas-Grau u cap., 2009*).

Производи индустрије воћа и поврћа

Јестиви премази се, у индустрији воћа и поврћа, користе како би се спречио губитак масе (како би се задржала влага), инхибирао раст микроорганизама, како би се успорило аеробно дисање и побољшао изглед. Јестиви премази примењени на свежем воћу спречавају продирање кисеоника, чиме се смањује његова метаболичка активност (*Conforti u Zinck, 2002*). У литератури, многи радови указују на ефекат нових јестивих емулзионих премаза квалитет свежег воћа и поврћа након обраде и током складиштењења (*Valencia-Chamorro u cap., 2011; Lin u Zhao, 2007*). Слично, интересовање за коришћење јестивих премаза код свеже резаног воћа и поврћа је порасло, јер ови премази такође могу да делују као носиоци антиоксиданата и антимикробних средстава који помажу смањењу ензимског тамњења и развоја микроорганизама (*Rojas-Grau u cap., 2009*).

Увек се мора узети у обзир тип површине на коју се наноси премаз или филм: глатке површине (парадајз, печурке), неправилне или грубе површине (јагоде). Тип површине захтева додаток састојака у формулације који ће смањити површински напон и обезбедити униформност премаза и одсуство не премазаних површина. Скробни премази са пластификаторима су хомогени и показали су одличне резултате при премазивању јагода испуњавајући чак и

поре на површини (*García, 1998a*). Међутим, премази без пластификатора се нису добро показали због своје кртости и многобројних пукотина (*García, 1998a*). Јестиви филмови и премази нуде решење управо за те проблеме и то за поврће типа парадајза, краставаца и црвене паприке (*Viña, 2007*), као и за воће као што су банане (*Banks 1984*), јабуке (*Drake, 1987*) и манго (*Dhalla i Hanson, 1988*).

Композитни активни филмови од скроба су такође показали добре резултате у примени на јагодама: спречен је развој микроорганизама и продужена одрживост (*García, 2001, 1998a,b*). У композитним скробним филмовима користи се калијум сорбат као додатак због свог антифунгицидног дејства, значајно смањујући број квасаца и плесни. Комбинација калијум сорбата са лимунском киселином, још је ефикаснија формулација за смањивање броја микроорганизама.

Производи индустрије меса

Полисахаридни филмови се користе за продужење одрживости меса и производа од меса, спречавајући дехидратацију, оксидативну ужегност и површинско тамњење. „Едифлекс“, екструдирани хидроксипропиленски скробни филм са високим садржајем амилозе је произведен током шездесетих година прошлог века и коришћен је за умотавање смрзнутог меса (*Sacharow, 1972; Morgan, 1971*). „Едифлекс“ је био ефикасан као заштита месних производа током складиштења у хладњачама због низа предности: савитљивост, добра баријера према кисеонику и уљима, могућност херметичног затварања применом термовара, итд. Осим тога, „Едифлекс“ се растварао током одмрзавања и кувања (*Sacharow, 1972; Kroger u Igoe, 1971; Morgan, 1971*).

Премази од кукурузног скроба са калцијум хлоридом су тестирани на телећим одресцима, свињским шницлама и пилећим батацима (*Allen, 1963*). Премази су спречили губитак влаге, а самим тим и исушивање производа уз очување текстуре, боје и мириса меса. Међутим, калцијум хлорид је утицао на појаву горког укуса. Због тога се калцијум глуконат, нитрат или пропионат могу

користити као замене. Због својих слабих јонизујућих карактеристика, премази нису тако чврсти као они са калцијум хлоридом (*Allen, 1963*). Премази скроба и алгината, скроба-алгината-токоферола и скроба-алгината-рузмарина смањују промену ароме током оксидативних процеса у полутретираним, замрзнутим свињским шницлама, као и лиснатом тесту пуњеном говеђим месом (*Handley, 1996; Ma-Edmonds, 1995*). Композитни филмови скроба, алгината и стеаринске киселине су ефикасни у контроли липидне оксидације, промена ароме и губитка влаге (*Wu, 2001*).

Скробни филмови аплицирани на производе од меса могу бити и носиоци активних компоненти, као што су антимикробни додаци: органске киселине, калијум сорбат, бактериоцин, нисин (*Cutter u Sumner 2002*).

Остали прехранбени производи

Орашаста плодови са високим садржајем масноћа су склони оксидацији која даје ужеглу арому и смањује одрживост ових плодова. Управо у овом случају скробни премази су нашли примену. Наравно при премазивању ових плодова мора се водити рачуна о самом процесу, где се мора сачувати индивидуалност сваког плода уз акценат на очување интегритета, јер мрвљењем ови плодови отпуштају своја уља која на површини стварају масни премаз и онемогућавају додатно премазивање (*Javanmard u cap., 2011*).

У чоколадним производима потребно је формирати баријеру да би се спречио излазак масноћа из чоколаде. Уља са ниским тачкама топљења могу да мигрирају на површину производа и ту се рекристалишу, формирајући уљаст и сивкаст слој. Премази у овим случајевима могу спречити појаву масних мрља на амбалажним материјалима (*Embuscado u Huber, 2009*).

Премази се могу користити и као лепило. У том случају се влажни раствори користе као јестиви лепак за лепљење једне компоненте за другу компоненту истог производа. Печене грицкалице на бази пшенице као што су крекери су склони оксидацији, појави ужегле ароме, као и деформацији при већим садржајима влаге. Овде се скробни премази користе како би производу

дали сјај, заштиту или онемогућили лепљење других честица за производ. Скробни премази се понекад користе на слаткишима као последњи премаз који даје производу одређену шару, која може бити специфична за баш тај производ.

Премази и филмови могу бити носиоци боја и арома. Ароме су често нерастворне у води и могу представљати проблем у воденим дисперзијама. Уљне ароме се у филмовима користе као течне капљице које су довољно ситне да спрече коалесценцију. У свим случајевима минимум ароме потребан за добијање жељеног ефекта се мора избалансирати са свим негативним ефектима нерастворне компоненте који утичу на јачину и отпорност филма (*Embuscado u Huber, 2009*).

2.3. ОСМОТСКА ДЕХИДРАТАЦИЈА

Осмотска дехидратација (ОД) је веома стара, али и даље заступљена метода конзервисања хране, у последње време најчешће примењивана као комплементарни корак у интегрисаном ланцу прераде хране (*Rastogi u cap., 2002*).

Осмотска дехидратација подразумева потапање хране (воћа, поврћа, рибе и меса) у раствор високе концентрације (хипертонични=осмотски), који парцијално дехидрира храну (*Mújica-Paz u cap., 2003, Erle u Schubert, 2001*). Погонска сила за осмотско уклањање воде је концентрациони градијент успостављен на супротним странама ћелијске мембране. Током дехидратације, одвијају се два противструјна тока: растворене супстанце осмотског раствора дифундују у материјал који се третира, док вода из материјала прелази у осмотски раствор (*Rodrigues u Mauro, 2004*). Осим ових, током процеса осмотске дехидратације, одвија се и трећи ток преноса масе који подразумева дифузију материје (шећера, киселина, минерала, витамина) из ткива у околни раствор који, иако квантитативно занемарљив, утиче на сензорске, нутритивне

и функционалне карактеристике финалног производа. Губитак нутријента зависи од врсте материјала који се третира (Mayor *u cap.*, 2006). Осмотска дехидратација је најинтензивнија на почетку процеса.

Осмотском дехидратацијом се добијају производи са смањеним садржајем воде и сврставају се у делимично конзервисане производе (Lazarides, 1994; Le Maguer, 1988). Осмотски дехидрирани производи се могу подвргнути даљем конзервисању у циљу постизања потпуне стабилности, и то: процесу конвективног сушења (Babić *u cap.*, 2003), процесу сушења смрзавањем (Donsi *u cap.*, 2001), вакуум сушењу (Rahman *u Mujumdar*, 2007), осмо-конвективном сушењу (Corzo *u cap.*, 2008) и сушењу микроталасима (Corzo *u cap.*, 2008). Овакав начин уклањања воде из хране, где се материјал прво осмотски третира, а потом додатном методом досушује, значајно појефтиније производњу и омогућава очување нутритивних и сензорских карактеристика почетног производа (Torreggiani *u Bertolo*, 2001).

Главне предности поступка осмотске дехидратације су следеће (El-Aouar *u cap.*, 2006; Moreira *u Sereno*, 2003; Moreno *u cap.*, 2000):

- побољшава и/или чува нутритивне карактеристике намирница - Осмотски третиране намирнице имају висок садржај природних витамина и микроелемената;
- побољшава функционалне карактеристике намирница – осмотском дехидратацијом се смањује активност воде, што повећава микробиолошку стабилност и успорава нежељене реакције квара, што позитивно утиче на одрживост производа;
- економска исплативост – смањена потребна енергија и време за осмотску дехидратацију;
- једноставна је, еколошки прихватљива метода, опрема и одржавање су јефтине.

Осмотском дехидратацијом се постиже продужена одрживост дехидрираних производа, смањен је губитак ароме, неутралисане су нежељене текстуалне промене и калирање производа, нарочито након одмрзавања (Petrotos *u Lazarides*, 2001). Осмотска дехидратација не обезбеђује потпуну стабилност, тј. одрживост третираног материјала јер значајна количина воде

остаје још увек присутна у материјалу (до 50%). Осмотски дехидрирани производи се могу користити у индустрији прераде млека, пекарству или кондиторској индустрији. Ако се захтева свеж изглед дехидрираног производа, учинак дехидратације мора бити 30%, што овакве производе чини средње стабилним и они се даље могу сушити, смрзавати или третирати адитивима.

Одабир правог раствора је кључан фактор за успешну дехидратацију, а на ту одлуку утиче однос губитак воде/принос масе (water loss/solid gain) (*Sacchetti u cap., 2001*). У случају осмотског раствора ниже концентрације, компоненте продиру у дубље слојеве третираног материјала (*Rodrigues u Mauro, 2004*), док високе концентрације осмотског раствора воде бржем губитку воде (*Waliszewski u cap., 2002*). Осмотски раствор мора имати ниску вредност активности воде (a_w), прихватљиву сензорну оцену и мора бити здравствено безбедан. Потенцијални раствори су раствор сахарозе, раствор NaCl, кукурузни сируп... Обзиром да током осмотске дехидратације, истовремено са дифузијом воде из ткива у околни раствор, долази до противструјне дифузије растворених супстанци из осмотског раствора у површинске слојеве материјала који се третира (*Rastogi u Raghavarao, 2004; Chiralt u Fito, 2003*), меласа шећерне репе је погодан осмотски раствор због свог хемијског и нутритивног састава.

Меласа је поликомпонентни систем високог садржаја суве материје (више од 80%) и у просеку садржи 51% сахарозе, 1% рафинозе, 0,25% глукозе и фруктозе, 5% беланчевина, 6% бетаина, 1,5% нуклеозида, пуринских и пиримидинских база, органских киселина и пектина. Поред наведених састојака, меласа шећерне репе представља значајан извор бројних микронутријената (витамина и минерала), нарочито калијума, калцијума, гвожђа, магнезијума и витамина Б комплекса (*Šušić u cap., 1995*). Према *Sauvant u cap. (2004)*, минералне концентрације меласе шећерне репе су: 3920 mg K/100g, 680-1300 mg Na/100g, 100 mg Ca/100g, 50-320 mg Mg/100g и 11.7 mg Fe/100g. Посебно значајна чињеница је да су све минералне компоненте меласе у раствореном стању (*Šušić u cap., 1995*). Меласа шећерне репе је одличан медијум за ОД због високог садржаја суве материје и специфичног нутритивног састава. Са нутритивног становишта, меласа шећерне репе значајно обогаћује садржај који се дехидрира у погледу минерала и витамина (*Koprivica u cap., 2009*).

2.3.1. Осмотска дехидратација меса

Месо чини скелетна мускулатура добијена клањем стоке, са ураслим костима, рскавицама, везивним и масним ткивом, лимфним и крвним судовима, лимфним чворовима и живцима. Под месом у ужем смислу речи подразумева се скелетна мускулатура, без костију и рскавица (*Rede u Petrović, 1997*).

Месо је комплексног и веома променљивог састава. Изграђено је од већег броја ткива (мишићно ткиво, масно ткиво...) чији је удео у њему променљив, не само у функцији врсте или расе, већ и регије трупа, старости, исхране, начина гајења, пола и сл. Физиолошки процеси и биохемијске трансформације који се у ткивима одвијају *in vivo*, у месу се настављају *post mortem* и утичу на различите аспекте квалитета меса: сензорни, технолошки и хигијенски (*Živković u Perunović, 2012*).

Месо и производи од меса представљају високо квалитетну храну, имају изражена хранљива и биолошка својства. Најзначајније градивне компоненте мишићног ткива су протеини, растворљиве непротеинске супстанце и липиди, док остатак чини вода (*Lawrie, 1998*). Просечан хемијски састав меса приказан је у **табели 2.9**.

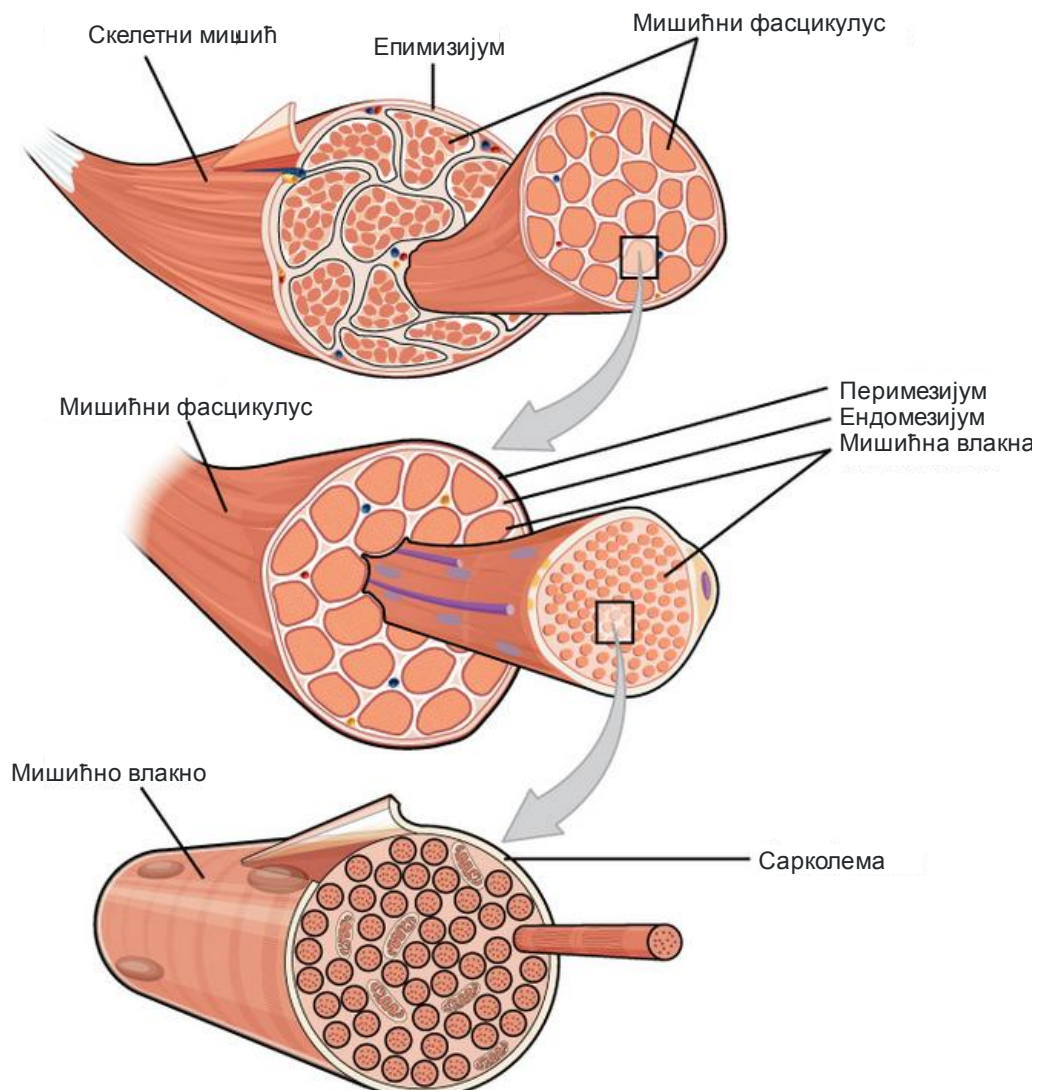
Поред тога, месо представља извор витамина Б групе, минерала, посебно гвожђа, цинка и фосфора. Свињско месо је високо вредан производ у биолошком смислу исхране, и у поређењу са говеђим месом, садржи више есенцијалних аминокиселина, неких витамина и масних киселина (*Baltić u cap., 2010*). Такође, масти у месу су извор полинезасићених масних киселина које су есенцијалне за човека (*Dokmanović, 2012*).

Табела 2.9. Просечан хемијски састав скелетних мишића сисара (Kauffman, 2001)

Састојак	% у односу на масу свежег мишића
Вода	75 (од 65 до 80)
Протеини	18,5 (од 16 до 22)
Миофибриларни	9,5
Саркоплазматски	6,0
Везивноткивни	3,0
Липиди	3,0
Непротеинска азотна једињења	1,5
Угљени хидрати и неазотна једињења	1,0
Неорганске материје	1,0
Калијум	0,3
Фосфор	0,2
Сумпор	0,2
Хлор	0,1
Натријум	0,1
Остало	0,1

Месо представља целуларан, биохемијски и структурално сложен систем, који се састоји од мреже мускуларних фибрила (vlakана) окружених везивним ткивом, што је шематски приказано на **слици 2.7.**

Месо представља богат нутритивни супстрат са високим садржајем воде, што има важан утицај на физичко-хемијске, сензорне и технолошке карактеристике меса и производа од меса (Castro-Giraldez *u cap*, 2010; Puolanne *u Halonen*, 2010; Barat *et al.*, 2009). Дистрибуција и мобилност воде у мишићу имају велики утицај на основне атрибуте квалитета меса попут сочности, нежности, чврстине и изгледа (Trout, 1988).



Слика 2.7. Структура мишићног ткива (www.wikiwand.com/en/muscle)

У зависности од удаљености молекула воде од протеина и својстава протеина вода у месу може бити (Huang и Nip, 2001; Rede и Petrović, 1997; Huff-Lonergan и Lonergan, 2005):

- везана – чврсто (8-10% у односу на укупну количину воде)
 - лабаво (10% у односу на укупну количину воде)
- слободна – имобилизирана или потпуно слободна (80% у односу на укупну количину воде).

Утврђено је да на механизам везивања воде утичу силе површинског напона, електростатичке, осмотске и капиларне силе које потичу од комплексне тродимензионалне структуре саставних елемената мишићних ћелија и које делују на присутне молекуле воде. Овако комплексан механизам везивања воде у мишићном ткиву још увек није у потпуности разјашњен (*Puolanne i Halonen, 2010*).

Након осмотске дехидратације, садржај воде у ткиву меса се смањује, смањује се и a_w вредност па се на тај начин успоравају нежељене микробиолошке и биохемијске реакције. Као финални циљ, постиже се дужа одрживост производа (*Santhurn u cap., 2012*).

Производи од меса са сниженим садржајем воде од 15 до 50%, имају вредности активности воде од 0,60 до 0,92. Оптимална a_w за раст већине микроорганизама је у опсегу од 0,99 – 0,98 (**табела 2.10**). Гранична a_w вредност зависи од врсте микроорганизама, рН вредности, парцијалног притиска кисеоника, присуства хранљивих материја и др. Испод граничне a_w вредности микроорганизми не расту, не формирају споре, или токсичне метаболите.

Табела 2.10. Минималне a_w вредности за активан раст микроорганизама (*Дое, 2002*)

Група микроорганизама	$a_{w\text{мин}}$
Већина бактерија изазивача квара хране	0,91
Већина квасаца изазивача квара хране	0,85
Већина плесни изазивача квара хране	0,80
Халофилне бактерије	0,75
Ксерофилне плесни	0,65
Осмофилни квасци	0,60

Осмотски дехидрирани производи од меса су одрживи и без захтева за ниским температурама складиштења, а могу се конзумирати без рехидратације или кувања. Дехидрирани производи од меса отпорни су на микробиолошко квариње услед ниске активности воде и релативно високих садржаја соли при

чему су веома укусни и сматрају се за деликатесне производе (*Huang i Nip, 2001*).

Осмотска дехидратација се може применити на месо као предтретман, и то пре сушења, микроталасног зрачења или смрзавања, како би се побољшале нутритивне, сензорне и функционалне карактеристике меса, редуковале или у потпуности смањиле промене боје и ароме меса (*Rastogi u cap., 2002*).

Истраживања Филиповић и сар. (*Filipović, 2013*) показала су да је процес осмотске дехидратације позитивно утицао на микробиолошки и сензорни профил осмотски дехидрираног меса. Употреба меласе шећерне репе у поступку осмотске дехидратације побољшава нутритивни и хемијски профил меса, који су након поступка дехидратације у раствору меласе шећерне репе у оптималним границама за људско здравље (*Nićetin u cap., 2012*).

Микробиолошки профил, боја и липидна оксидација су важни фактори који утичу на одрживост меса и самим тим утичу на избор купаца приликом одабира свежег меса и производа од меса (*Kenedy u cap, 2004; Zhao u cap., 1994*). Боја произведеног меса је значајно својство меса јер се примећује и оцењује на први поглед, те је од интереса да месо буде што прихватљивије боје, како би било примећено и прихваћено од стране потрошача, због чега је боја један од најважнијих параметара квалитета меса (*Mancini u Hunt, 2005; Lawrie u Ledward, 2006; Tomović, 2009; Brewer, 2010*). Основни носилац боје је саркоплазматски протеин – пигмент миоглобин (Mb), који као што је већ напоменуто мишићима даје црвену боју (*Rede u Petrović, 1997; Brewer, 2004; Mancini u Hunt, 2005*). Осим миоглобина у мишићима је присутно још неколико пигмената у изразито малим количинама, за које је карактеристично да мало или уопште не утичу на боју мишића, али су врло значајни за многе функције мишића. Групу тих пигмената, који могу имати одређену улогу у боји меса, представљају протеини као што су хемоглобин и цитохром С (црвене боје, слични миоглобину), витамин В12 и флавини (жуте боје) (*Rede u Petrović, 1997; Mancini u Hunt, 2005*).

2.3.2. Рехидратација осмотски дехидрираних производа

У поступку осмотске дехидратације, топлотни и масени трансфери могу изменити физичко-хемијске карактеристике дехидрираног материјала, нпр. хемијски састав (*McLaughlin u Magee, 1998*), механичке карактеристике (*Lewicki u Lukaszuk, 2000; Lewicki u cap., 1998*), запремину и порозност. Квалитет дехидрираних производа зависи од ових промена. Што се тиче промена запремине и порозности, висок степен скупљања и ниска порозност доприносе производу са slabим капацитетом рехидратације (*McMinn u Magee, 1997*).

Промене запремине се дешавају највише због композиционих промена и механичких притисака, који су у вези са масеним флуксевима. Ове промене запремине су у вези са променама садржаја влаге и редукцијом масе (*Moreira u Sereno, 2003*), или у вези са губитком влаге („water loss“) (*Nieto u cap., 2004*). Структурни параметри, као што су запремина узорка, специфичне димензије, и порозност су у вези са осталим аспектима намирница, као што су сензорне и физичке карактеристике.

Дехидрирани производи морају бити рехидрирани пре конзумације (*Oliveira u Ilicanu, 1999*) или пре неке даље употребе како би повратили карактеристике сировине из које су добијени (*Cunningham u cap., 2008*). Током рехидратације, апсорпција воде од стране ткива узрокује повећање масе ткива. Истовремено, друге компоненте (сахароза, киселине, минерали, витамини) излазе из дехидрираног производа и оба ова феномена преноса масе су под утицајем природе производа и околних услова при којима се рехидратација дешава (*Krokida u Philippopoulos, 2005; Krokida u Marinos-Kouris, 2003*). На рехидратацију утиче неколико фактора, који су подељени у две велике групе:

- унутрашњи фактори (хемијски састав производа, третман предсушења, сруктура производа, техника сушења, процедура пост-сушења),
- спољашњи фактори (састав медијума у коме се обавља рехидратација, температура и хидродинамички услови) (*Oliveira u Ilicanu, 1999*).

Рехидратација се може сматрати као мера промене материјала узрокована сушењем и осмотском дехидратацијом (*Okos u sar., 1992*). Доказано је да је промена запремине (бубрење) биолошког материјала пропорционална количини апсорбоване воде (*Steffe u Singh, 1980*). Такође је усвојено да је степен рехидратације зависан од степена нарушености ћелијске структуре.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

3.1. ЗАДАТАК РАДА

У складу са постављеним циљем дисертације, који обухвата развој јестивих биоразградивих, активних филмова на бази скроба, уз додатак есенцијалних уља, као активних природних компоненти, као и апликација оптимизованог филма за паковање осмотски дехидрираног меса, задатак ове дисертације је:

I Синтеза и карактеризација својстава скробних филмова - испитивање утицаја различитих процесних параметара, као што су концентрација и врста пластификатора и стабилизатора, на механичка и баријерна својства добијених филмова.

II Оптимизација и карактеризација скробних филмова са додатком есенцијалних уља – испитивање утицаја есенцијалних уља црног кумина и оригана на физичко-хемијска, механичка, баријерна, структурна, термичка, оптичка и биолошка својства добијених филмова.

III Примена оптимизованог скробног премаза за заштиту осмотски дехидрираног меса – испитивање утицаја оптимизованог скробног филма на осмотски дехидрирано месо, упаковано у високобаријерне амбалажне материјале у атмосферским условима и у условима модификоване атмосфере. Праћена је одрживост и параметри квалитета, као што су оксидативна, микробиолошка и сензорна својства упакованог осмотски дехидрираног меса током складиштења.

3.2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ МАТЕРИЈАЛ

За синтезу и карактеризацију скробних филмова и премаза коришћено је:

- Модификован кукурузни скроб (С*EmТех 12688), Palco (Шабац, Србија).
- Пластификатори глицерол (99,5%) и сорбитол (70%), Laboratorija d.o.o. (Нови Сад, Србија).
- Гуар-ксантан модификована мешавина (Lygomme KTC 58), Palco (Шабац, Србија).
- Есенцијална уља оригана и црног кумина, Probotanic (Београд, Србија).
- 2,2-дифенил-1-пикрилхидразил (DPPH[•]), Sigma-Aldrich Chemical Co. (Сент Луис, САД)
- Folin Ciocalteu реагенс, Мол Београд (Београд, Србија).

Свеже свињско месо

Сировина, на којој су вршена истраживања могућности примене скробног премаза, као заштитног омотача, је месо свињске плећке (*M. triceps brachii*), које је за потребе испитивања, куповано свеже из локалне месаре, 48h *post mortem*.

Меласа шећерне репе

Меласа шећерне репе је набављена у целокупној количини потребној за истраживања из шећеране у Црвенки. Пре употребе у процесу осмотске дехидратације, меласа је чувана на собној температури у затвореним пластичним посудама. Основни хемијски састав коришћене меласе приказан је у Табели 3.1.

Табела 3.1. Основни хемијски састав меласе шећерне репе коришћене за осмотску дехидратацију меса

	Садржај
Сува материја, (%)	81,04
Вода, (%)	18,26
Протеини, (%)	9,67
Укупни фосфати, (%)	0,27
Укупни пепео, (%)	8,06
Масти, (%)	0,10
Натријум хлорид, (%)	0,06
Сахароза, (%)	46,80
Калијум, mg/100g	2482,98
Натријум, mg/100g	1144,18
Магнезијум, mg/100g	87,81
Гвожде, mg/100g	5,45
Калцијум, mg/100g	660,49

Полимерни високо баријерни амбалажни материјали

За паковање осмотски дехидрираног меса, коришћени су полимерни материјали, који широку примену налазе у месној индустрији. Означени су као:

- Фолија 1 – доња фолија, састава: PVC//PE–EVOH-PE,
Flexo-pack, Грчка
- Фолија 2 – горња фолија, састава PET//PE-EVOH-PE,
Flexo-pack, Грчка.

3.3. ПРОГРАМ РАДА

Синтеза скробних филмова

Јестиви филмови на бази скроба су добијени влажним поступком у лабораторијским условима. Филмови су добијени разливањем воденог раствора скроба (1,5 mg/ml). Раствор је загреван на 90 °C у трајању од 60 min у воденом купатилу.

- I. Први корак је синтеза скробних филмова за испитивање утицаја различитих врста и удела пластификатора (глицерола и сорбитола) на особине филмова. Глицерол је додат у количини 30%, 40% и 50%, а сорбитол у количини од 100%, 130% и 160%, рачунато на масу скроба (**табела 3.2.**). У оба случаја пластификатор се додаје у % јер се рачуна као маса додатог пластификатора на масу коришћеног скроба. На основу познатих вредности за густине оба коришћена пластификатора, прерачунава се колико је потребно додати пластификатора у запреминским јединицама (ml). Након додатка пластификатора раствор је загреван још 10 min.

Табела 3.2. Експериментални дизајн

Узорак филма	Додати пластификатор [%]	
	Глицерол	Сорбитол
1	30	0
2	40	0
3	50	0
4	0	100
5	0	130
6	0	160

II. Други корак је синтеза скробних филмова са глицеролом за испитивање утицаја смеше гуар-ксантана на особине скробних филмова. У филмогени раствор је додата смеша гуар-ксантана у количини 0,1%, 0,3% и 0,5%, рачунато на масу скроба, одмах након додатка глицерола (табела 3.3.).

Табела 3.3. Експериментални дизајн

Узорак филма	Садржај глицерола (%)	Садржај гуар-ксантана (%)
1	30	0
2	30	0,1
3	30	0,3
4	30	0,5
5	40	0
6	40	0,1
7	40	0,3
8	40	0,5
9	50	0
10	50	0,1
11	50	0,3
12	50	0,5

III. Трећи корак је синтеза скробних филмова са глицеролом (40%) и гуар-ксантаном (0,1%) за испитивање утицаја есенцијалних уља на особине скробних филмова. У филмогени раствор су додата уља црног кумина и оригана, у концентрацијама 0,5%, 1% и 2%, рачунато на запремину филмогеног раствора (Табела 3.4.).

Табела 3.4. Експериментални дизајн

Узорак филма	Додата есенцијална уља [%]	
	Црни кумин (ЦК)	Оригано (О)
Контрола	0	0
ЦК 0.5%	0,5	0
ЦК 1%	1	0
ЦК 2%	2	0
О 0.5%	0	0,5
О 1%	0	1
О 2%	0	2

Након додатка свих компоненти у свакој фази рада, филмогени раствор се хомогенизује употребом хомогенизатора (Silent Crusher M, Heidolph, Немачка), чији су радни услови 166.67 Hz у трајању од 1 min. Потом се филмогени раствор разлива у Петри-плоче обложене тефлоном, које су постављене на нивелисану подлогу. Раствор се суши на собним условима у трајању од 5 дана.

Осмотска дехидратација свињског меса

Свеже свињско месо (*M. triceps brachii*) (48 h post mortem) је ослобођено вишка масоће и везивног ткива и ручно исечено у коцкице приближних димензија (1x1x1) cm користећи стерилне ножеве. Узорци су осмотски третирани раствором меласе шећерне репе ($\sim 80 \text{ kg} \cdot \text{l}^{-1}$) на 22 °C у трајању од 5 сати.

Коришћени однос масе меса и осмотског раствора од 5:1 (w/w), одабран је из разлога спречавања прекомерног разблажења осмотског раствора услед миграције воде из меса које се дехидрира и омогућавања константних услова концентрације осмотских раствора током целог трајања процеса осмотске дехидрације (*Medina-Vivanco u cap., 2002*). На сваких 15 минута узорци меса су ручно мешани у осмотским растворима у циљу уклањања количине воде која је

дифиундовала из центра комада меса на његову површину, ради боље хомогенизације околног осмотског раствора.

Рехидратација осмотски дехидрираног свињског меса

Променљиве које описују пренос масе током рехидратације су време (t) од 15, 30, 45 и 60 min и температуре (T) од 20, 40 и 60 °C, а зависне променљиве су били одзиви: проценат рехидратације (за узорке третиране у растворима 1 – раствор меласе шећерне репе или 2 – засићен раствор NaCl+сахароза) (Y_1 , Y_2 , респективно), и промена запремина узорка (за узорке третиране у растворима 1 или 2) (Y_3 , Y_4 , респективно).

Степен рехидратације, R , је израчунат као:

$$R(\%) = \frac{100 \cdot (M_t - M_0)}{M_0} \quad (3.1)$$

где су: M_t и M_0 маса узорка у времену t (дехидрирани узорци) и нула (осушени узорци), респективно. Сува материја из свежих и третираних узорака је одређивана сушењем материјала на 105 °C током 24 h.

Промена запремине (dV) је израчуната као:

$$dV(\%) = \frac{100 \cdot (V_t - V_0)}{V_0} \quad (3.2)$$

где су: V_t и V_0 запремина узорка у времену t (дехидрирани узорци) и нула (осушени узорци), респективно. Све димензије узорка (ширина, висина и дебљина) коцке меса су мерени пре и после рехидратације коришћењем дигиталног микрометра.

Прихваћен је експериментални дизајн који је укључио $3 \times 4 = 12$ експеримента. Сви модели су фитовани на одзивну површину из експерименталног дизајна (Box, 1960):

$$Y_k = \beta_{k0} + \beta_{k1} \cdot T + \beta_{k2} \cdot t + \beta_{k11} \cdot T^2 + \beta_{k22} \cdot t^2 + \beta_{k12} \cdot T \cdot t \quad (3.3)$$

где су: β_{k0} , β_{ki} , β_{kii} , β_{kij} регресионе константе. Сви статистички значајни чланови модела су одређени ANOVA анализом.

Поред степена рехидратације, испитан је и утицај рехидратације на коефицијенте дифузије воде и минерала. Нумеричко решавање Fick-овог закона о преносу масе, при нестационарним условима, за идеалну коцку је коришћено за израчунавање ефективног коефицијента дифузије воде, сахарозе и минерала, а Zugarramurdi и Lupin-ов модел (*Zugarramurdi и Lupin, 1980*) је коришћен за предвиђање равнотежних услова.

Након осмотског третмана меласом шећерне репе, узорци меса су рехидрирани на константној температури (20°C, 30°C, 40°C) при различитим временима потапања (15 min, 30 min, 45 min и 60 min) у дестилованој води. Циљ је испитивање утицаја температуре и времена трајања рехидратације на ефективни коефицијент дифузије воде, сахарозе и минерала (Na, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn и Mn) на основу једноставних регресионих модела, као функција независних варијабли. Математичким моделом одређују се равнотежна стања процеса, за влагу и за суву материју:

$$\frac{dX_i(t)}{dt} = k_i \cdot (X_i^*(t) - X_i(t)), \quad (3.4)$$

$$X_i(t) = \frac{m_i(t)}{m - \sum_{j=1, j \neq i}^n m_j}, \quad X_i^*(t) = \frac{m_i^*(t)}{m - \sum_{j=1, j \neq i}^n m_j} \quad (3.5)$$

где су, i индекс влаге, или садржаја суве материје, m_i је маса i -те компоненте у тренутку t , m_i^* је маса i -те компоненте у равнотежном стању, m - укупна маса, k_i је специфична константа брзине код варијације i -те компоненте.

Када се једначина (4) интегрално, уз почетни услов да је $t = 0$, добија се:

$$X_i(0) = X_i^0 \quad (3.6)$$

Решење диференцијалне једначине (4) у затвореном облику, може се написати као:

$$X_i(t) = X_i^* + e^{-k_i t} \cdot (X_i^0 - X_i^*) \quad (3.7)$$

при чему је уведена претпоставка, да ће Zugarramurdi и Lupin-ов модел предвидети вредности садржаја влаге и суве материје у кинетичком моделу рехидратације свињског меса, укључујући и равнотежне садржаје влаге и количине суве материје.

Током рехидратације коцкица меса, које су осмотски третиране у меласи шећерне репе, експериментално су одређивани у узорцима: садржај влаге (X_w ; g влаге/g суве материје) и садржаји минерала (X_{Na-mg} Na/g узорка; X_{Ca-mg} Ca/g

узорка; X_K -mg K/g узорка; X_{Mg} -mg Mg/g узорка; X_{Cu} -mg Cu/g узорка; X_{Fe} -mg Fe/g узорка; X_{Zn} -mg Zn/g узорка; X_{Mn} -mg Mn/g узорка) током различитог времена потапања у свим експериментима.

Апликација скробног премаза

Осмотски дехидрирано месо је потопљено у скробни филмогени раствор у трајању од 15 секунди, уз мешање, како би се формирао премаз. Након потапања, третирано осмотски дехидрирано свињско месо је остављено да се оцеди у трајању од 12h, а потом паковано у високо баријерне амбалажне материјале у различитим условима паковања.

Паковање, услови складиштења и динамика испитивања

За паковање осмотски дехидрираног меса, са заштитним скробним премазом или без премаза, коришћени су високо баријерни материјали: доња фолија 1 (транспарентна PVC//PE-EVOH-PE) и горња фолија 2 (PET//PE-EVOH-PE). Паковање је изведено на пакерици CFS КОМПАКТ 420.

Процес паковања је обављен у индустријским условима у компанији „Неопланта“ (Нови Сад, Србија) која је и обезбедила амбалажне материјале за паковање. Узорци осмотски дехидрираног меса подељени су у 4 категорије, у зависности од тога у којим условима су паковани и означени су као:

- **ОД+АТМ** – узорци осмотски дехидрираног меса (**ОД**) паковани у полимерне амбалажне материјале у атмосферским условима (**АТМ**);
- **ОД+МАП** – узорци осмотски дехидрираног меса (**ОД**) паковани у полимерне амбалажне материјале у условима модификоване атмосфере (**МАП**);
- **ОД+С+АТМ** – узорци осмотски дехидрираног меса (**ОД**) заштићени скробним премазом (**С**) паковани у полимерне амбалажне материјале у атмосферским условима (**АТМ**);

- **ОД+С+МАП** – узорци осмотски дехидрираног меса (**ОД**) заштићени скробним премазом (**С**) паковани у полимерне амбалажне материјале у условима модификоване атмосфере (**МАП**).

Узорци су складиштени на $(4 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$ и испитивани након 15, 30, 45 и 60 дана.

3.4. МЕТОДЕ ИСПИТИВАЊА

3.4.1. Карактеризација полимерних и скробних амбалажних материјала

3.4.1.1. Испитивање физичко-хемијских својстава

Одређивање дебљине филмова: Дебљина филмова је мерена употребом микрометра тачности 0,001mm (type 30, Tesa, Switzerland). Дебљина узорка мерена је на десет позиција, а резултат је исказан као средња вредност мерења пет узорака истог материјала \pm стандардна девијација (SD).

Одређивање садржаја воде: Узорцима филмова (1x1 cm) је измерена маса (w_1) на аналитичкој ваги, а затим су сушени на $105 ^\circ\text{C}$ до константне масе и поново им је измерена маса (w_2). Узорци су, по потреби, додатно сушени до константне масе. Садржај воде (W_c) је одређен као проценат губитка почетне масе филма током сушења, изражен на масу влажног узорка (једначина 3.8):

$$W_c = 100 \times \frac{w_1 - w_2}{w_1} \quad (3.8)$$

Одређивање способности бубрења: Способност бубрења филма је одређена по модификованој методи коју је описао *Vigi u cap. (2001)*. Филмовима је измерена маса (W_w) на аналитичкој ваги, а затим су уроњени у 50ml дејонизоване воде у трајању од 2 минута. Влажни узорци су обрисани филтер папиром, како би се уклонио вишак течности и поново им је измерена маса (W_d). Количина апсорбоване воде је израчуната као (једначина 3.9):

$$W(\%) = 100 \times \frac{W_w - W_d}{W_d}, \quad (3.9)$$

где су W_w и W_d масе мокрих и сувих узорака, респективно. За сваки филм, одређивање способности бубрења је поновљен три пута.

3.4.1.2. Испитивање механичких својстава

Пре тестирања механичких особина, филмови су кондиционирани током 48 h, на $(25 \pm 0,5)$ °C и на (50 ± 5) % релативне влажности. Затезна јачина (TS) и издужење при кидању (EB) су измерени на уређају Instron Universal Testing Instrument Model No 4301 (Instron Engineering Corp., Canton, MA), према стандардној методи *EN ISO 527-3:1995*.

Узорци филма сечени су у правоугаоне траке дужине 90 mm и ширине 15 mm. Почетни размак клема инструмента је постављен на 50 mm, а брзина подешена на 50 mm/мин. Вредност TS (MPa) је рачуната као однос максималне силе коју филм трпи, пре кидања, и попречног пресека филма, на који делује сила. Вредност EB (%) је рачуната као однос дужине узорка пре (50 mm) и после деловања максималне силе, у тренутку кидања узорка. TS и EB су рачунате као средње вредности минимално осам понављања, за сваки узорак.

3.4.1.3. Испитивање баријерних својстава

Пропустљивост водене паре: Баријерне особине филмова према воденој пари су одређене гравиметријски (“dish method”), према *ISO 2528:1995* (услов А: температура (25 ± 1) °C и при релативној влажности $(90\% \pm 2)$ %, која је постигнута засићеним раствором калијум нитрата). Анхидровани силика гел је коришћен као десикант за попуњавање посуде за тестирање. Посуде за тестирање су чуване на дефинисаним условима околине и периодично им је мерена маса све док није постигнута константна брзина пораста масе. Добијени

приноси вредности масе су коришћени за израчунавање количине влаге која је пропуштена кроз филм. Вршена су три понављања за сваки узорак.

Пропустљивост гасова: Одређивање пропустљивости гасова (CO_2 , O_2 , N_2 , ваздух) изведено је изостатичком гас-хроматографском методом према стандарду *DIN 53380*, употребом Lyssy GPM-200 апарата, гасног хроматографа, произвођача Gasukuro Kogyo GC-320 и HP 3396A интегратора. Испитивања су вршена на $23\text{ }^\circ\text{C}$ и при разлици притисака од 1 bar. Узорци филма су фиксирани на носач и стављени у комору за испитивање. Пропустљивост гасова одређена је при изостатичким условима, у комори, подељеној на два дела узорком филма. Са једне стране филма, у комори, је чист хелијум, а са друге стране је смеша гасова кисеоник, азот, угљен диоксид (1:1:1). Притисак, са обе стране филма је исти (0,2 bar). Током анализе долази до постепеног засићења хелијума смешом гасова, у зависности од пропустљивости филма. Концентрација гасова у комори са хелијумом детектована је и одређена гасним хроматографом и интегратором. Површина пика на одређеном ретенционом времену, на добијеном хроматограму, представља количину пропуштеног гаса из смеше. Пропустљивост ваздуха рачуната је на основу садржаја појединих гасова у ваздуху. Добијени резултати изражени су као $\text{ml}/(\text{m}^2\text{24h})$ при разлици притисака од 1 bar.

3.4.1.4. Испитивање структурних својстава

Одређивање структуре филмова FTIR спектрофотометријом: FTIR спектри су снимљени на собној температури на уређају Nicolet IS10 FT-IR спектрофотометар (Thermo Fisher Scientific, MA, USA) према методи *ASTM D5576:00(2013)* на додатку за атенуацију тоталне рефлексије (ATR). Сви спектри су снимљени у спектралном опсегу $4000\text{-}500\text{ cm}^{-1}$, при резолуцији од 4 cm^{-1} . Сваки узорак скениран је 32 пута, док је слепа проба (background) снимана пре анализе сваког узорка. Софтвер Omnic 8.1. (Thermo Fisher Scientific, MA, САД) је коришћен за прикупљање, управљање и обраду FTIR спектра.

Испитивање X-Ray дифракције: Рендгенски дифрактограми (XRD) су снимљени на аутоматизованом дифрактометру Philips PV-1710 употребом Си цеви, чији су радни услови 40 kV и јачина струје 30 mA. Дифракциони зрак је усмераван графитним монохроматором и Хе-испуњеним бројачем. Дифракциони подаци су прикупљени у угаоном опсегу $4-70^{\circ}2\theta$, са временом задржавања 0,5 s по кораку и величином корака од $0.02^{\circ} 2\theta$. Дивергенција је износила 1° , а прорез је био 0,1 mm. Силиконски прах је коришћен као стандард за калибрацију дифрактометра.

3.4.1.5. Испитивање термичких својстава

Диференцијална скенирајућа калориметрија (DSC): анализа узорака филма је изведена на уређају TA Instruments DSC Q 1000, (Delaware, САД), уз проток N_2 (50 ml/min) високе чистоће (99,999 %). Узорци масе од око 1-2 mg су измерени у алуминијумским посудама и херметички затворени. Празна посуда је коришћена као слепа проба. DSC скенови су снимани у температурном опсегу од $-90^{\circ}C$ до $250^{\circ}C$, уз брзину загревања $Hr = 5C^{\circ}/min$. DSC криве су анализирани коришћењем софтвера TA Universal analysis 2000.

3.4.1.6. Испитивање оптичких својстава

Одређивање боје филмова: Инструментално (објективно) одређивање боје узорака филмова је мерено, у три понављања на сваком узорку, коришћењем уређаја Conica Minolta Chroma Meter CR-400 (Minolta Co., Ltd., Osaka, Japan). Карактеристике боја дате су у Commission Internationale de l'Eclairage's (CIE) $L^*a^*b^*$ систему. Величина L^* одређује степен светлоће (0 = црно, 100 = бело), величина a^* карактерише зелену и црвену нијансу филма ($-a^*$ – зелена нијанса, $+a^*$ – црвена нијанса) а величина b^* плаву и жуту нијансу ($-b^*$ –

плава нијанса, + b^* – жута нијанса). Укупна разлика у боји (ΔE^*) је израчуната према следећој једначини (једначина 3.10):

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3.10)$$

где су ΔL^* , Δa^* и Δb^* разлике између одговарајућих параметара боје узорка и белог стандарда ($L^*=97.00$; $a^*=0.12$ и $b^*=2.06$).

Пропустљивост UV и видљиве светлости: Својства пропустљивости ултраљубичасте (UV) и видљиве светлости филмова су измерена на одабраним таласним дужинама од 200 nm до 800 nm, коришћењем UV спектрофотометра (T80/T80+ UV-VIS спектрофотометар PG Instruments LTD).

3.4.1.7. Испитивање биолошких својстава

Одређивање антиоксидативних карактеристика (антирадикалске активности према DPPH радикалима): Антирадикалска активност узорака филмова према слободним DPPH[•] радикалима (DPPH[•] Radical Scavenging Activity) одређена је спектрофотометријском методом, мерењем промене концентрације стабилних DPPH[•] радикала (на основу сманивања концентрације стабилних DPPH[•] слободних радикала) у присуству испитиваних узорака филмова. Активност смањења DPPH[•] је одређена према тесту који су описали *Morales и Jimenez-Perez (2001)*.

У боцу која садржи 2,4 ml свеже припремљеног 0,16 mM етанолног раствора DPPH[•], стављено је 100mg филма и смеша је мешана 1 h и 2,5 h, у тамној комори на собној температури. Контролни узорци (слепа проба) су узорци у којима није било филма. У сваком узорку, преостале концентрације DPPH[•] су одређиване након уклањања чврстог филма и мерењем апсорбанце на 520 nm коришћењем T80/T80+UV-VIS спектрофотометра (PG Instruments LTD). Антиоксидативна активност филмова је изражена као проценат и израчунат према формули (једначина 3.11):

$$AA(\%) = \left(1 - \frac{[DPPH^{\bullet}]_r}{[DPPH^{\bullet}]_c}\right) \times 100, \quad (3.11)$$

где је $[DPPH]_t$ концентрација DPPH^{*} у тестираном, а $[DPPH]_c$ је концентрација DPPH^{*} у одговарајућој слепој проби. За сваки филм, тест је поновљен три пута и резултат је дат у формату: средња вредност \pm SD.

Одређивање укупних фенола: За ову сврху, 25mg сваког узорка филма је растворено у 3 ml дестиловане воде. Садржај укупних фенола узорака филмова је одређена према методи Folin-Ciocalteu као што је описано методом Singleton и сар. (1999) са малим модификацијама. Укратко, 0,1 ml екстракта раствора филма је помешано са 7 ml дестиловане воде и 0,5 ml Folin-Ciocalteu реагенса. Смеша је инкубирана 8 минута на собној температури пре додавања 1,5 ml раствора натријум карбоната и 0,9 ml дестиловане воде. Ова смеша се чува у тамној комори на собној температури током 2 h. Потом је измерена апсорбанца смеше на 765 nm помоћу спектрофотометра (T80/T80+ UV-VIS спектрофотометар PG Instruments LTD). Раствор галне киселине у специфичном опсегу концентрација коришћен је при конструкцији калибрационе криве. Концентрација укупних фенолних једињења у узорцима изражава се у еквивалентима галне киселине, који показују садржај фенола као износ галне киселине у mg по граму масе сувог узорка.

Испитивање антимикробних карактеристика: Диск-дифузиона (“disk-diffusion assay”) метода је коришћена за испитивање антимикробних карактеристика филмова. Коришћена је метода по Ghasemlou и сар (2013), која је незнатно коригована. Узорци филмова су сечени у облику дискова пречника 6 mm коришћењем стерилних ножева а затим су постављени на плоче које садрже Mueller-Hinton агар (MHA), који је претходно преко ноћи засејан са 100 μ L културе и који садржи око 10^5 CFU/mL тест бактерија. Испитана је потенцијална инхибиција филмова против следећих микроорганизама: *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* и *Salmonella typhimurium*. Плоче су инкубирани на 37 °C током 24 h. Након инкубације јављају се јасно формиране зоне око диска филма на медијуму. Паралелно је испитан и контролни филм. Анализе су изведена три пута за сваки микроорганизам.

3.4.1.8. Анализа животног циклуса амбалаже

Животни циклус полимерне амбалаже је дизајниран и анализиран применом софтвера GaBi 4 Education.

3.4.2. Карактеризација осмотски дехидрираног меса

3.4.2.1. Испитивање физичко-хемијских карактеристика

Садржај воде (суве материје) свежих и осмотски дехидрираних узорака меса одређен је према стандарду *SRPS ISO 1442:1998* (Месо и производи од меса - Одређивање садржаја влаге (Референтна метода)).

Вредности **активности воде** (a_w) свежих и осмотски дехидрираних узорака меса одређиване су на уређају за одређивање активности воде TESTO 650 (Testo, Inc., 40 White Lake Rd, Sparta, NJ, USA) специјалном сондом са тачношћу од $\pm 0,001$ на температури од 25°C . Поступак се заснива на пуњењу мерне посуде до $2/3$ висине уситњеним узорком. Потом се поставља мерни део сонде у посуду и мери на собној температури до успостављања равнотежног стања у мерном делу сонде.

Одређивање **вредности pH** свежих и осмотски дехидрираних узорака меса изведено је у складу са *SRPS ISO 11289:1998*, Термички обрађена храна у херметички затвореним посудама - Одређивање pH.

Основни **хемијски састав** свежег меса, као и меса након дехидратације одређен је у складу са следћим стандардима:

- Садржај протеина одређиван је на основу стандарда *SRPS ISO 1871:1992*, Пољопривредно-прехрамбени производи - Општа упутства за одређивање азота методом по Кјелдалу;
- Садржај укупних фосфата одређиван је на основу стандарда *SRPS ISO 13730:1999*, Месо и производи од меса - Одређивање садржаја укупног фосфора - Спектрометријска метода;

- Садржај укупног пепела одређиван је на основу стандарда *SRPS ISO 936:1999*, Месо и производи од меса - Одређивање укупног пепела;
- Садржај слободне масти одређиван је на основу стандарда *SRPS ISO 1443:1992*, Месо и производи од меса. Одређивање садржаја укупне масти;
- Садржај натријум хлорида одређиван је на основу стандарда *SRPS ISO 1841-1:1999*, Месо и производи од меса - Одређивање садржаја хлорида - Део 1: Метода по Волхарду;
- Садржај сахарозе одређиван је на основу стандарда *ISO 11292:1995*, Determination of free and total carbohydrate contents - Method using high-performance anion-exchange chromatography;
- Садржај калијума, натријума, магнезијума и калцијума одређиван је на основу стандарда *SRPS EN 1134:2005*, Сокови од воћа и поврћа - Одређивање садржаја натријума, калијума, калцијума и магнезијума атомском апсорпционом спектрометријом (ААС);
- Садржај гвожђа одређиван је на основу стандарда *BS EN 15763:2009*, Foodstuffs. Determination of trace elements. Determination of arsenic, cadmium, mercury and lead in foodstuffs by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICPMS) after pressure digestion.
-

3.4.2.2. Испитивање оксидативних промена

Киселински број: Липиди из узорака осмотски дехидрираног меса у којима је одређена вредност киселинског броја екстраховани су применом методе по *Folchu (1957)*. Вредност киселинског броја одређена је референтном методом *SRPS ISO 660 (2000)*. Принцип одређивања киселинског броја заснива се на неутрализацији слободних масних киселина садржаних у 10 ml екстракта, раствором KOH $c(0,1\text{mol/l})$. Киселински број, изражен као mg KOH/g lipida , израчунат је по формули 3.12:

$$\text{Киселински број (mg KOH/g lipida)} = 56,1 \cdot v \cdot c/m, \quad (3.12)$$

где су: v -запремина утрошеног стандардног волуметријског раствора калијум хидроксида, у ml; c -концентрација употребљеног стандардног волуметријског раствора калијум-хидроксида, у mol/l; m -садржај масти у 10 ml екстрахованог узорка за испитивање, g.

Садржај малондиалдехида одређен је спектрофотометријском методом (*Bostoglou и сар., 1994*) која се заснива на мерењу апсорбанције комплексног обојеног једињења насталог реакцијом малондиалдехида (MDA) и 2 молекула тиобарбитурне киселине (ТВА).

Стандардни раствор малондиалдехида припремљен је разблаживањем 73,2 ml стандарда ТЕП (тетраетоксипропан) са 10 ml $c(\text{HCl})=0.1$ mol/l у епрувети са чепом. Епрувета је уроњена у кључало водено купатило у трајању од 5 минута. Након тога, епрувета је охлађена под млазом чесменске воде. Надаље, разблаживањем раствора ТЕП-а водом до запремине од 100 ml добијен је основни раствор концентрације $c(\text{MDA})=2,39$ $\mu\text{g/ml}$. Разблаживањем 1ml основног раствора водом до запремине од 100 ml добијен је радни раствор. У кивету за центрифугирање након одмеравања 2 g узорка са тачношћу од 0,0001 g додато је 10 ml 5% воденог раствора трихлорсирћетне киселине и 5 ml 0,8% ВНТ у хексану. Садржај кивете је хомогенизован у ултразвучном купатилу (5 минута) и подвргнут центригуирању на 3000 обртаја/минути у трајању од 5 минута. По завршетку центрифугирања горњи хексански слој је одбачен. У већ припремљене епрувете са 1,5 ml 0.8% ТВА, додато је 2,5 ml супернатанта. Тако добијена реакциона смеша инкубирана је на 70 °C током 30 минута, а потом охлађена под млазом чесменске воде. Аликвоти радног раствора су пипетирани у епрувете (0, 10, 50, 100, 200, 500 μl), разблажени раствором 5% трихлорсирћетном киселином до 2,5 ml. Након додавања 1,5 ml 0.8% ТВА реакциона смеша је инкубирана као што је претходно описано. Калибарациона крива је конструисана на основу зависности концентрације MDA и очитаних вредности апсорбанција на 532 nm.

$$\text{MDA (mg/kg)} = 16 \cdot c \cdot f / m \quad (3.13)$$

где су: c - концентрација MDA ($\mu\text{g/ml}$) очитана са калибрационе криве; f - фактор разблажења узорка; m -одвага узорка.

3.4.2.2. Испитивање микробиолошког профила

Одређивање укупног броја бактерија рађено је на основу стандарда *SRPS EN ISO 4833:2008*, Микробиологија хране и хране за животиње - Хоризонтална метода за одређивање броја микроорганизама - Техника бројања колонија на 30°C.

Одређивање броја *Enterobacteriaceae* рађено је на основу стандарда *SRPS ISO 21528-2:2009*, Микробиологија хране и хране за животиње - Хоризонтална метода за откривање и одређивање броја *Enterobacteriaceae* - Део 2: Метода бројања колонија.

Одређивање броја *Escherichia coli*, рађено је на основу стандарда *SRPS ISO 16649-2:2008*, Микробиологија хране и хране за животиње - Хоризонтална метода за одређивање броја β-глукуронидаза позитивне *Escherichia coli* - Део 2: Техника бројања колонија на 44°C помоћу 5-бромо-4-хлоро-3-индолил β-Д-глукуронида.

Одређивање присутног броја *Salmonella spp.* рађено је на основу стандарда *SRPS EN ISO 6579:2008*, Микробиологија хране и хране за животиње - Хоризонтална метода за откривање *Salmonella spp.*

3.4.2.4. Инструментално испитивање боје

Инструментално (објективно) одређивање боје узорка меса је мерено, у три понављања на сваком узорку, користећи уређај Conica Minolta Chroma Meter CR-400 (Minolta Co., Ltd., Osaka, Japan). Карактеристике боја дате су у Commission Internationale de l' Eclairé's (CIE) $L^*a^*b^*$ систему (AOAC, 2000). Величина L^* одређује степен светлости (0 = црно, 100 = бело), величина a^* карактерише зелену и црвену нијансу филма ($-a^*$ – зелена нијанса, $+a^*$ – црвена нијанса) а величина b^* плаву и жуту нијансу ($-b^*$ – плава нијанса, $+b^*$ – жута нијанса).

3.4.2.5. Сензорска анализа

Методи дескриптивне сензорске анализе извођени су према Стандарду *SRPS ISO 11035:2002*, Сензорске анализе - Идентификација и одабир дескриптора за утврђивање сензорског профила мултидимензионалним поступком.

Свеже и осмотски дехидрирано месо оцењивао је панел од шест чланова. Панелисти су прошли обуку и били су упознати са специфичним сензорским особинама дехидрираног меса, а за смернице избора, обуке и праћења оцењивача примењен је *SRPS ISO 8586-1:2002*, Сензорске анализе - Опште упутство за одабир, обуку и праћење оцењивача - Део 1: Одабрани оцењивачи.

Оцена је спроведена у лабораторији са кабинама опремљеној према *SRPS EN ISO 8589:2012*, Сензорске анализе - Опште упутство за пројектовање просторија за испитивање, добро проветреној и при контролисаној температури од 22°C.

Панелисти су идентификовали дескрипторе, приказане у **табели 3.5.** и формирали описне профиле, током тренинга процене сензорних својстава дехидрираног свињског меса у меласи.

Табела 3.5. Дефиниције дескриптора дескриптивне сензорске анализе

Дескриптор	Дефиниција
Д1 Боја	
Д11 Ружичаста	Карактеристична боја свежег свињског меса
Д12 Ружичасто црвена	Интезивно ружичаста са затвореним тоном црвене боје
Д13 Црвено смеђа	Интезивно црвена са затвореним тоном смеђе боје
Д14 Смеђе црвена	Интезивно смеђа са затвореним тоном црвене боје
Д15 Бела	Бела боја масног ткива
Д16 Жућкасто бела	Жућкасто бела боја масног ткива
Д2 Арома	
Д21 Меласа	Арома која се везује за меласу: оштра, делимично на сумпор и/или карамелизована арома
Д22 Карамела	Слатка арома, карактеристична за карамелизован шећер или неке друге угљенохидрате

Д23 Дим	Опажање било које врсте дима
Д24 Свеже свињско месо	Карактеристична арома свежег свињског меса
Д3 Укус	
Д31 Свеже свињско месо	Карактеристичан укус свежег свињског меса
Д32 Слатко	Ниво укуса на слатко
Д33 Слано	Ниво укуса на слано
Д4 Заостали укус	
Д41 Горак	Укус на језику који се доводи у везу са кофеином
Д42 Опор	Опор укус на језику
Д5 Текстура	
Д1Тврдоћа	Сила потребна да дође до деформације/продирања у производ
Д2 Нежност	Сила потребна да се сажваће месо за гутање (жвакање пет пута)
Д3 Сочност	Степен ослобађања сока током жвакања меса
Д4 Сувоћа	Количина сокова присутних у устима током првих загриза

Одабрани дескриптори (боја, мирис и ароматичност, укус и текстура) оцењени су коришћењем 5-тачака интезитета на скали, где је: 0-није опажен и 5- јак у односу на одабрано својство. Сваки панелиста добио је 10g комадића дехидрираног меса у две пробе, шифрованих насумице одабраним троцифреним бројевима. Панелисти су користили воду и јабуке за уклањање заосталих укуса између сваког оцењивања.

3.4.3. Статистичка обрада података

3.4.3.1. Дескриптивна статистика

Дескриптивна статистика је употребљена за квантитативно описивање проучаваних особина како би се описали подаци и сагледали њихови међусобни односи. Униваријантна анализа је урађена да би се утврдила

расподела променљивих, укључујући централну тенденцију (средње вредности) и дисперзију (опсези, стандардне девијације и варијансе).

Резултати су интерпретирани на основу Tukey-евог HSD (*honestly significant distance*) теста, на нивоу значајности $p < 0,05$, при нивоу поверења од 95%. Post-hoc Tukey HSD тест се ради након двофакторске анализе варијансе (ANOVA). Најпре се ANOVA тестом одређује утицајност процесних параметара (независно променљивих) на одзиве система, а Tukey-евим HSD тестом се утврђује статистичка значајност разлика између средњих вредности појединачних узорака, која је настала због промене вредности процесних параметара. Tukey-ев HSD тест показује колико треба да су удаљене било које две средње вредности да би биле статистички различите. За разлику две средње вредности већу од стандардне девијације (SD), овим тестом се доказује да је статистички значајна. Tukey-евим HSD тестом података добијених различитим лабораторијским мерењима, установљено је да је већина узорака статистички значајно различита на нивоу $p < 0,05$, чиме је доказано да су испитивани узорци довољно разнолики да би се приступило статистичкој анализи и математичком моделовању.

Дескриптивна статистичка анализа, уз помоћ *Microsoft Excel 2007* и *Statistica* (StatSoft, Tulsa, Oklahoma) софтвера, примењена је за израчунавање средњих вредности, стандардне девијације и варијансе променљивих.

3.4.3.2. Метода одзивних површина (RSM - Response Surface Methodology)

Метода одзивних површина представља скуп математичких и статистичких поступака, који се примењују за формирање емпиријских модела и анализу процеса. Циљ методе је да се на основу пажљиво одабраног експерименталног плана оптимизују одзиви система (y) који зависе од више независно променљивих параметара (x_1, x_2, \dots, x_k) (Montgomery, 2005). Најчешће је одзивна функција y непозната, па се y општем облику може написати (Mayers и Montgomery, 2002):

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) + e \quad (3.14)$$

где су x_1, x_2, \dots, x_k независно промењиве величине, y је одзив или зависно промењива величина, а e представља остале утицајне факторе који нису обухваћени функцијом f (грешка мерења, утицај других фактора који не улазе у RSM једначине...). Промењиве x_1, x_2, \dots, x_k у једначини (3.14) се обично представљају правим вредностима (нпр. 20°C), јер су изражене у мерним јединицама дате независно промењиве. Приликом примене RSM методе користе се кодиране вредности улазних величина које су углавном бездимензионе и тада функција има облик:

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad (3.15)$$

Свака од једначина назива се функција одзива, а њен геометријски приказ је одзивна површина (Cox и Reid, 2000; Montgomery и Runger 2003). Одзиви система се представљају графички преко тродимензионалних површина или преко дводимензионалних контурних графика. Полином се показао као одговарајући облик одзивне функције, с обзиром да се квалитет фитовања експерименталних података може побољшати повећањем степена полинома. У већини случајева се користе полиноми првог или другог степена. Најједноставнији полином који се може применити је полином првог реда који у обзир узима само линеарне утицаје појединачних фактора:

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \quad (3.16)$$

Ако је крајњи циљ поступка оптимизација процеса онда је неопходно користити полиноме другог реда за описивање одабраних одзива. Тада сваки од посматраних процесних параметара мора да има три или пет нивоа вредности у зависности од примењеног експерименталног плана. Полином другог степена са две промењиве има облик:

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 \quad (3.17)$$

Полином другог степена је флексибилна функција и може имати различите облике, док се параметри једначине (β_i) једноставно одређују. Метода најмањих квадрата се може применити у ову сврху.

Основни циљ примене методе одзивних површина је одређивање оптималних параметара за описивање датог процеса. Уколико има више одзива које је потребно оптимизовати неопходно је наћи компромисно решење, тј. наћи оптималне услове за које ће сви посматрани одзиви бити у дефинисаном опсегу

(Oehlert, 2000). Други циљ примене RSM је утврђивање промене одзива система са малом променом процесних параметара.

Основна предност RSM је у томе што је потребан мањи број експерименталних података да би се обезбедио довољан број информација за одређивање статистички валидних резултата. RSM једначине описују параметре система и њихов утицај на посматране одзиве система, одређују међузависности тестираних променљивих и испитују комбиноване ефекте параметара процеса на посматране одзиве, омогућавајући да се на ефикасан начин истражи процес.

3.4.3.3. Анализа главних компоненти (PCA- Principal Components Analysis)

Термин анализа главних компоненти се односи на математичку методу за анализу података која гради линеарне вишепараметарске моделе на основу комплексног сета података. Линеарни вишепараметарски PCA модели развијају се применом ортогоналних базних вектора, који се обично називају главне компоненте (*Thielemans u Massart, 1985*). PCA је вишепараметарска математичка метода у којој се испитују корелације између променљивих, а на основу тога се број променљивих смањује и одређују се нове, факторске координате. Ове трансформације (пресликавања) координата изводе се тако да прва факторска координата покрива највећу могућу варијансу система, а анализа се користи да се обезбеди највеће могуће раздвајање између група (кластера) које дефинишу променљиве. Ова метода препознавања сличности међу групама узорака се овде користи за карактеризацију и раздвајање узорака на основу уочених особина узорака (тј. на основу експерименталних мерења свих променљивих величина које се приписују одређеном узорку).

PCA омогућава значајно смањивање броја променљивих, као и детектовање неких структурних зависности које постоје између експериментално мерених величина и различитих узорака, што даје свеобухватнију слику. "Ауто - скалирање" се врло често користи за вишепараметарско поређење различитих комплексних узорака, при чему се

узорци оцењују (рангирају) на основу средње вредности и стандардне девијације групе узорака. Пошто јединице, као ни скале различитих променљивих које описују поређене узорке хране нису исте, потребно је трансформисати податке свих мерења у тзв. стандардне оцене, бездимензионалне вредности које се добијају из средње вредности експерименталних (мерених) вредности одређене величине за дати узорак, подељене са стандардном девијацијом групе узорака, према једначини:

$$\text{Стандардна оцена} = (x - \mu) / \sigma \quad (3.18)$$

при чему је x мерени податак, μ средња вредност групе података, и σ стандардна девијација. Целокупан скуп података се уводи у PCA анализу у облику "ауто-скалиране" матрице. (*Sun u Tanumihardjo, 2007*). PCA ортогонално трансформише евентуално корелисане податке у скуп линеарно некорелисаних променљивих (главне компоненте). Факторске координате настају линеарним трансформацијама оригиналних променљивих, тако да првих неколико основних компоненти садрже већи део варијабилности оригиналног сета података. Трансформација је дефинисана тако да прва главна компонента има највећу могућу варијансу (односно највећу могућу варијабилност података), а свака наредна компонента има највећу могућу варијансу под условом да буде ортогонална (тј. у корелацији) у односу на претходне компоненте.

Најједноставнија врста PCA дели коваријансне (односно корелационе) матрице на тзв. својствене вредности (енгл. Eigenvalues), обично после центрирања средњих вредности (и нормализације) матрица за сваку променљиву. Сопствена вредност мери количину варијације која је описана помоћу факторских координата, при чему највећи утицај има прва основна компонента, а свака следећа мањи. Сопствена вредност већа од 1 указује да PCA урачунава више варијанси него оригиналне променљиве, тако да се обично за тумачење користе само те факторске координате. Резултати PCA анализе се обично тумаче на основу доприноса (енгл. score) променљивих у компонентама. PCA је најзаступљенија мултиваријациона анализа која открива

међусобни однос података на начин који најбоље објашњава њихову варијансу (*Abdi u Williams, 2010*).

У овом истраживању, примењена је такође и кластерска анализа (СА) да би се раздвојили узорци по групама, на основу разлика у мерењима. У овим истраживањима рачунате су укупне повезаности тачака (енгл. complete lincage), а растојања су мерена коришћењем City-block (Manhattan) алгоритма. PCA, СА и корелациона анализа су урађене применом програма *StatSoft Statistica 10*.

3.4.3.4. Одређивање нормализованих стандардних оцена (SS)

Min-max нормализација је једна од најчешће коришћених техника за поређење различитих комплексних узорака хране, чији квалитет је одређиван коришћењем вишеструких експерименталних метода, при чему се узорци рангирају на основу односа мерених и екстремних вредности одређене мерене величине. Пошто су јединице и распони мерених вредности за одређене мерене величине често различите, подаци у свакој групи мерених величина треба да се нормализују према следећим једначинама (*Prior u cap., 2005; Brlek u cap., 2013*):

$$\bar{x}_i = 1 - \frac{\max_i x_i - x_i}{\max_i x_i - \min_i x_i}, \quad \forall i, \text{ у случају критеријума "што веће то боље"}, \quad (3.19)$$

$$\bar{x}_i = \frac{\max_i x_i - x_i}{\max_i x_i - \min_i x_i}, \quad \forall i, \text{ у случају критеријума "што мање то боље"}, \quad (3.20)$$

при чему x_i представља мерену вредност за одређену методу.

Нормализована оцена параметара, који се рачунају на основу оптималних вредности, коришћењем трапезоидне функције може се изразити као:

$$\bar{x}_i = \begin{cases} \min_i x_i \leq x_i < m, & \frac{x_i - \min_i x_i}{m - \min_i x_i} \\ m \leq x_i < n, & 1 \\ n \leq x_i < \max_i x_i, & 1 - \frac{x_i - n}{\max_i x_i - n} \end{cases}, \quad \forall i, \text{ за оптималне критеријуме,} \quad (3.21)$$

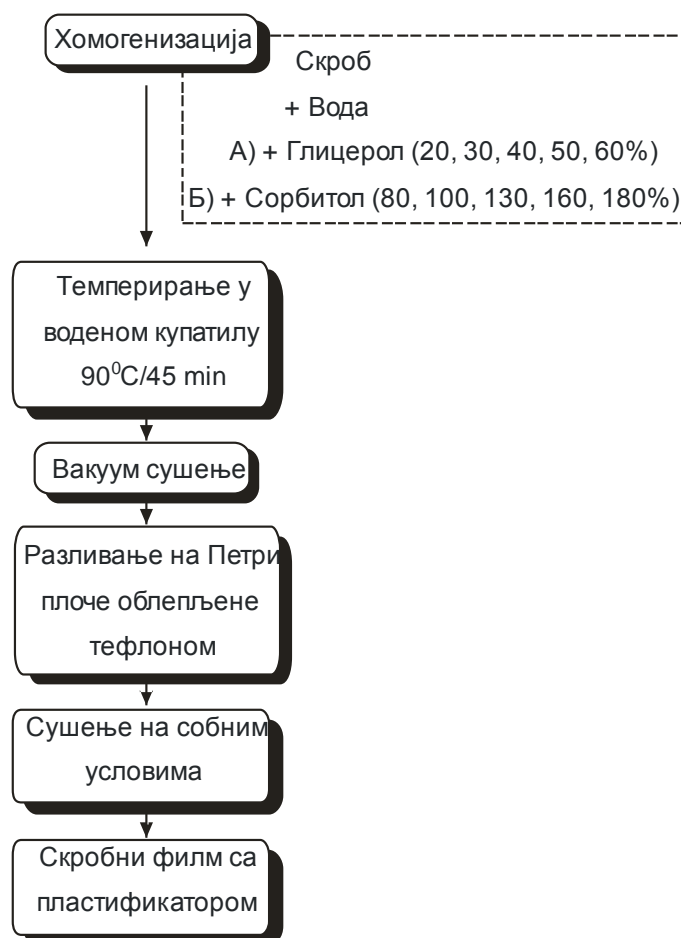
где су: m и n минимум и максимум оптималне вредности за одређену мерену величину. Осредњавањем нормализованих оцена различитих мерених вредности, за сваки посматрани узорак добија се јединствена вредност која се назива стандарда оцена (енгл. Standard Score, SS). SS представља специфичну комбинацију података добијених различитим мерним методама, без ограничења одређене мерне јединице.

4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

4.1. СИНТЕЗА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА СКРОБНИХ ФИЛМОВА

4.1.1. Утицај врсте и удела пластификатора на особине јестивих скробних филмова

Скроб се једноставним поступцима може превести у јестиве филмове који су еколошки подобни, флексибилни и транспарентни, без укуса и мириса. Познато је да су скробни филмови крути и крти и да је за добијање филмова са добрим механичким особинама потребно додати пластификаторе у филмогени раствор. При синтези, примењена су два пластификатора: сорбитол (70%) и глицерол (99.5%) (слика 4.1.).



Слика 4.1. Шематски приказ процеса добијања филмова са додатком различитих пластификатора

У табелама 4.1. и 4.2. приказани су добијени резултати утицаја врсте и удела пластификатора на особине јестивих скробних филмова.

Табела 4.1. Утицај врсте и удела пластификатора на особине јестивих скробних филмова

Удео сорбитола (%)	80	100	130	160	180
Особине филма	Крт, ломи се, попуцао	Добар	Добар	Добар	Влажан, лепљив, неосушен
Удео глицерола (%)	20	30	40	50	60
Особине филма	Крт, ломи се, попуцао	Добар	Добар	Добар	Влажан, лепљив, неосушен

На основу добијених резултата, који се односе на ефикасност пластификатора, уочава се да је глицерол показао боље резултате чак и при нижим садржајима у односу на сорбитол. Глицерол је релативно мали хидрофилни молекул, који се може „заробити“ између суседних полимерних ланаца скроба, чиме се смањује интермолекуларно привлачење и повећава покретљивост молекула, па тиме и олакшава миграција молекула водене паре. Скробни филмови произведени са 20% глицерола као и 80% сорбитола су попуцали још током поступка сушења па није било могуће добити филм. Скробни филмови произведени са 60% глицерола као и 180% сорбитола нису могли да се осуше, нити да се одлепе од тефлонске подлоге.

Дефинисани су основни параметри филмова неопходни за њихову даљу обраду и апликацију, који се односе на механичке и баријерне особине. Резултати су приказани у **табели 4.2.**

Табела 4.2. Утицај врсте и удела пластификатора на механичке и баријерне особине јестивих скробних филмова

		Механичке карактеристике		Баријерне карактеристике
		Затезна јачина (МПа)	Издужење при кидању (%)	Пропустљивост водене паре $g/(m^2 \cdot h)$
Глицерол (%)	30	16,27±2,05 ^f	14,41±1,15 ^d	7,87±0,23 ^a
	40	13,95±1,14 ^e	26,55±2,39 ^e	8,46±0,36 ^b
	50	7,54±3,02 ^d	63,74±5,75 ^f	10,75±0,52 ^c
Сорбитол (%)	100	2,43±0,45 ^a	1,66±0,71 ^a	12,37±0,14 ^d
	130	4,12±0,33 ^b	2,15±0,13 ^b	14,40±0,46 ^f
	160	6,57±1,27 ^c	2,89±0,52 ^c	13,68±0,36 ^e

^{a-f} Различита слова у суперскрипту, код података приказаних у истој колони, су ознака да се средње вредности статистички значајно разликују, на нивоу $p < 0,05$

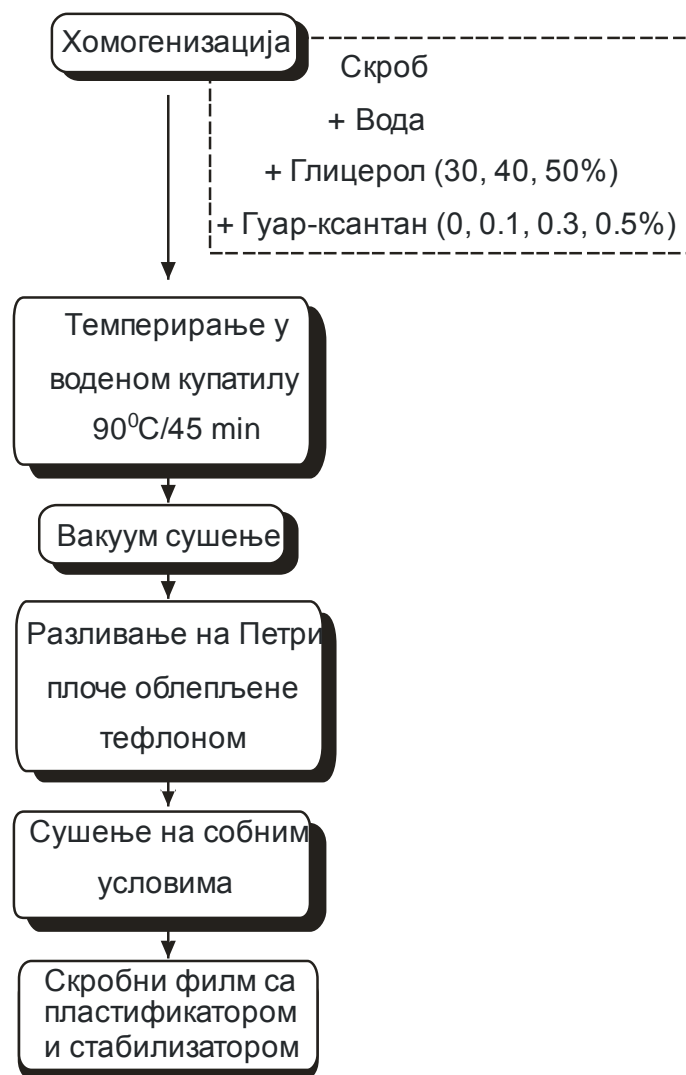
Вредности затезне јачине су се за узорке са додатим глицеролом кретале од 7,54 МПа до 16,27 МПа, а са додатим сорбитолом од 2,43 МПа до 6,57 МПа. Вредности издужења при кидању су се за узорке са додатим глицеролом кретале од 14,41 % до 63,74 %, а са додатим сорбитолом од 1,66 % до 2,89 %. Скробни филмови којима је додат глицерол су били јачи (веће вредности затезне јачине), али у исто време и еластичнији (веће вредности издужења при кидању) од филмова којима је додат сорбитол.

На основу добијених резултата, констатују се веће вредности пропустљивости водене паре код узорака којима је додат сорбитол, што је непожељна карактеристика скробних филмова. Вредности пропустљивости водене паре за узорке са додатим глицеролом су се кретале од 7,87 $g/(m^2 \cdot h)$ до 10,75 $g/(m^2 \cdot h)$, а са додатим сорбитолом од 12,37 $g/(m^2 \cdot h)$ до 13,68 $g/(m^2 \cdot h)$. На основу добијених резултата показало се да су за даљу оптимизацију погодни филмови у чији састав је глицерол додат у количини 30%, 40% и 50%.

4.1.2. Утицај гуар-ксантана на особине јестивих скробних филмова

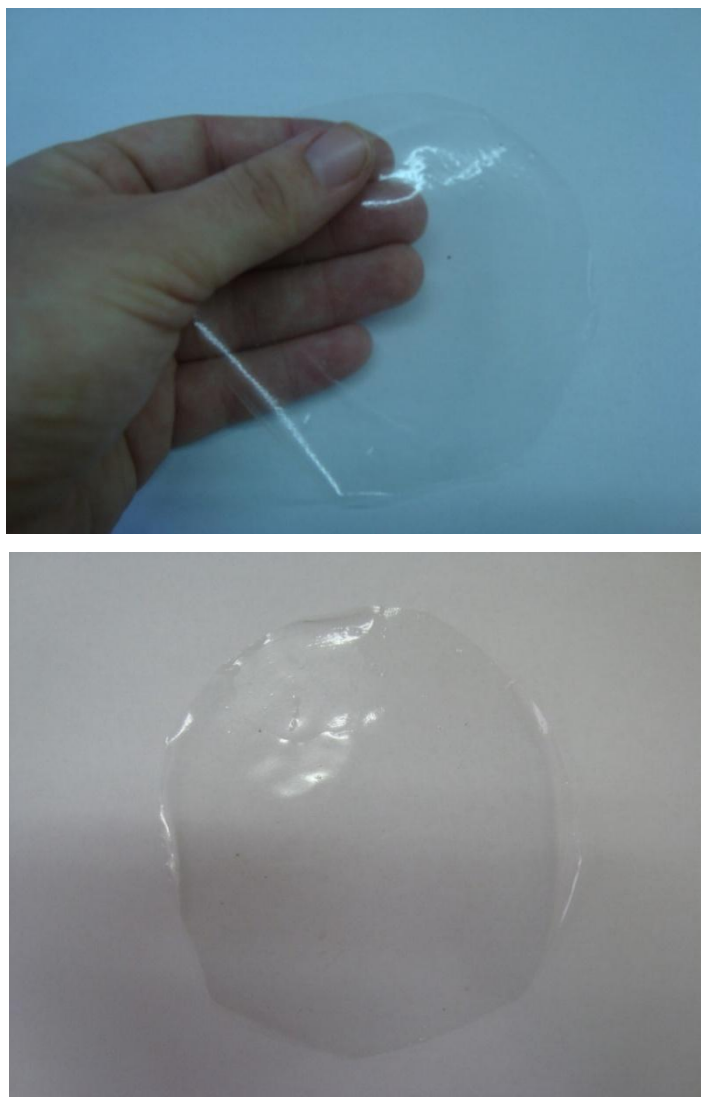
До сада је у многим радовима испитан утицај ксантана на понашање скроба (*Mandala u Bayas, 2004; Wang u cap., 2001*) и оцењен је као позитиван, у смислу побољшања стабилности, вискозитета филмова, степена растворљивости и бубрења (*Veiga-Santos u cap., 2005; Abdulmola u cap., 1996; Sudhakar u cap., 1996*). Обзиром да су обе компоненте компатибилне са скробом и одобрене за примену у прехранбеној индустрији у поступку производње јестивих филмова, аплицирана је и смеша гуар-ксантана, како би се испитао утицај на особине добијених филмова (механичке и баријерне).

Гуар-ксантан смеша се користи у веома малим количинама да би се постигло формирање веома вискозних раствора. На основу емпиријског искуства, максимална количина која се додаје у смешу је 0.5%, рачунато на почетну масу скроба. Због тога су направљене нове серије филмова, уз додатак гуар-ксантан смеше од 0.1%, 0.3% и 0.5%, према шеми на **слици 4.2**.



Слика 4.2. Шемтаски приказ добијања филмова са додарком гуар-ксантана

На овај начин добијено је 12 узорка филмова. Добијени филмови су транспарентни и чврсти (**Слика 4.3.**). При визуелној контроли уочава се да су филмови са више додатог глицерола флексибилнији. Дебљина филмова креће се у опсегу $71 \pm 2 \mu\text{m}$ за узорке са 30% додатог глицерола; $75 \pm 4 \mu\text{m}$ за узорке са 40% додатог глицерола и $77 \pm 3 \mu\text{m}$ за узорке са 50% додатог глицерола. Успешна поновљивост методе синтезе филмова допринела је униформној вредности дебљина филмова. Потврђено је да на вредност дебљине филмова додата количина пластификатора нема статистички значајан утицај ($p > 0,05$).

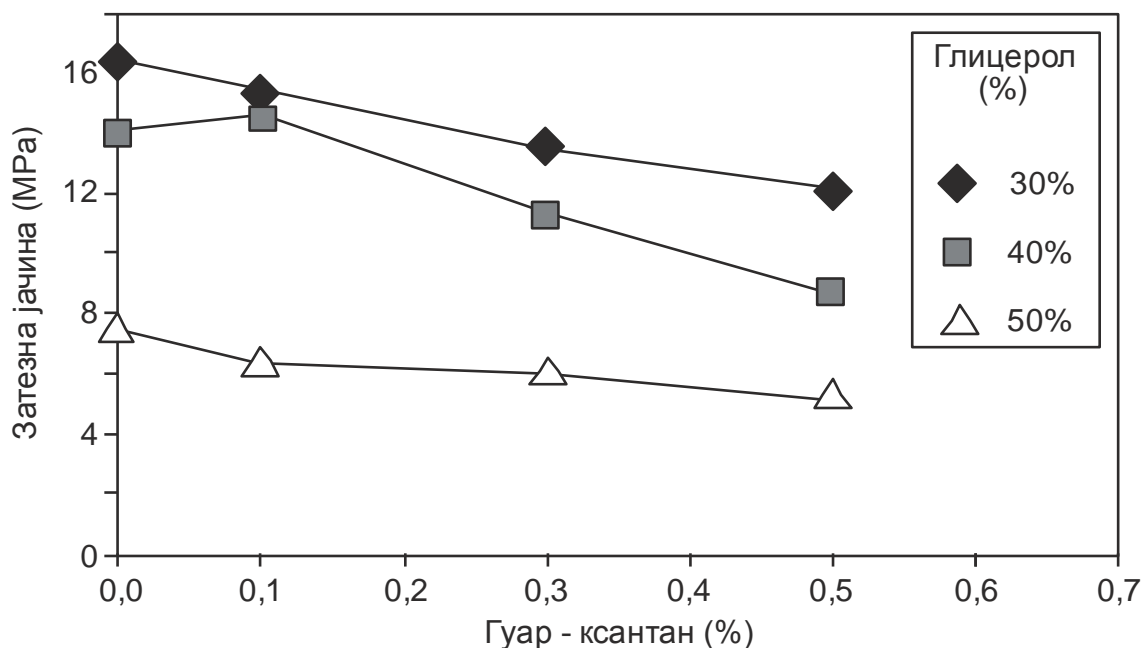


Слика 4.3. Изглед узорака филмова

Додатак пластификатора има задатак да редукује интермолекуларне силе и повећа мобилност биополимерних ланаца: како протеинских (*Sobral u cap., 2005; Barreto u cap., 2003*), тако и угљенохидратних. На тај начин се јављају нове везе између молекула пластификатора и биополимера чиме се повећава флексибилност филмова, уз редукцију кртости филма, а повећава се флексибилност. Утицај додатог глицерола и гуар-ксантана на механичке карактеристике скробних филмова приказан је **сликама 4.4.- 4.5.**

На **слици 4.4.** приказана је промена затезне јачине (МПа) у зависности од промене садржаја додатих глицерола и гуар-ксантана. Са слике се види да узорци којима је додато више глицерола имају мање вредности затезних јачина.

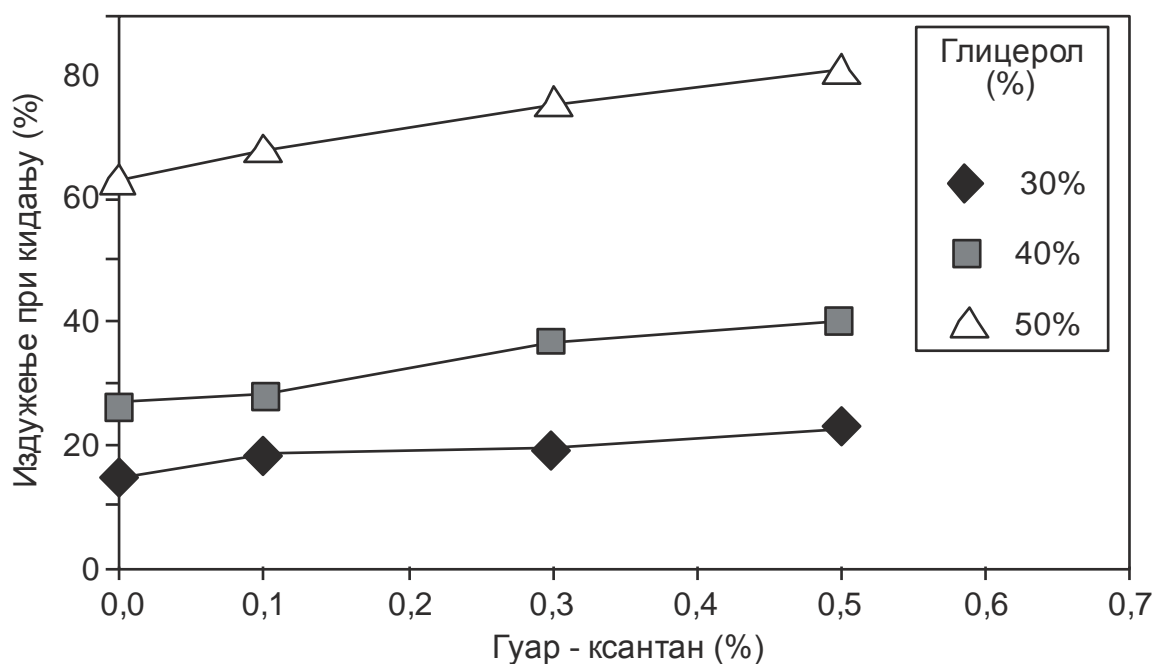
У оквиру сваке групе узорака, додатком гуар-ксантана вредности затезне јачине се додатно смањују.



Слика 4.4. Утицај садржаја глицерола и гуар-ксантана на затезну јачину (МПа) скробних филмова

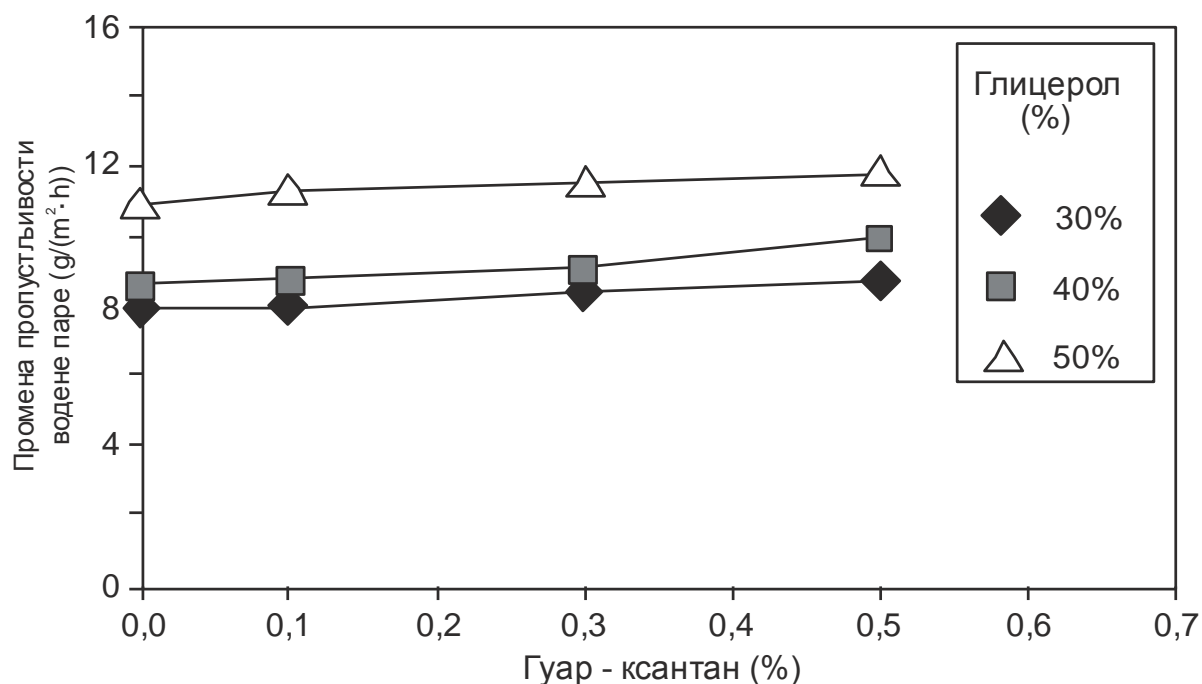
Издужење при кидању (%) је индикатор флексибилности филма, а дефинише тачку на којој филм пуца приликом теста испитивања механичких особина. Изражава се као проценат промене почетне дужине узорка у односу на издужетак филма када дође до пуцања. На **слици 4.5.** приказана је промена издужења при кидању (%) у зависности од промене садржаја додатих глицерола и гуар-ксантана. Са слике се види да узорци којима је додато више глицерола имају и више вредности издужења при кидању. У оквиру сваке групе узорака, додатком гуар-ксантана вредности издужења при кидању се додатно повећавају.

Применом пластификатора постижу се боље механичке особине јестивих филмова јер се вредност затезне јачине смањује, док вредност издужења при кидању расте. Добијени резултати су у доброј корелацији са литературним подацима (*Chillo u cap., 2008; Vergo u cap., 2008*).



Слика 4.5. Утицај садржаја глицерола и гуар-ксантана на издужење при кидању (%) скробних филмова

На **слици 4.6.** приказана је промена пропустљивости водене паре ($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$) у зависности од промене садржаја додатих глицерола и гуар-ксантана. Скробни филмови дају ниже резултате пермеабилности водене паре у поређењу са другим полисахаридним и протеинским филмовима (*García, 2004*). Присуство пластификатора повећава трансмисију водене паре, без обзира на формулацију филма, што за последицу има значајно веће вредности пропустљивости водене паре филмова којима је додат пластификатор него код филмова без пластификатора. Теоријски, пропустљивост водене паре расте како се повећава количина додатог пластификатора (*Talja, u sar., 2007; Arvanitoyannis u sar., 1996*).



Слика 4.6. Утицај садржаја глицерола и гуар-ксантана на пропустљивост водене паре ($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$) скробних филмова

Са **слике 4.6.** се види да пораст садржаја глицерола негативно утиче на промену пропустљивости водене паре јер њена вредност расте. Утицај додатка гуар-ксантана мења вредност пропустљивости водене паре, али у мањој мери него како глицерол утиче на пропустљивост водене паре.

4.1.3. Статистичка обрада резултата

Метода одзивних површина

На основу испитаних баријерних и механичких карактеристика добијених филмова, методом одзивних површина је одређен симултани ефекат додатка глицерола и додатка гуар-ксантана на затезну јачину и издужење при кидању, као и пропустљивост водене паре јестивих филмова на бази скроба. Вредности зависно променљивих дати су у **табели 4.3.**, а анализа варијансе модела одзива затезне јачине, издужења при кидању и пропустљивости водене паре у **табели 4.4.**

Табела 4.3. Затезна јачина (МПа), издужење при кидању (%) и пропустљивост водене паре ($\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$)

Р.бр.	Глицерол (%)	Гуар-ксантан (%)	Затезна јачина (МПа)	Издужење при кидању (%)	Пропустљивост водене паре ($\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$)
1	30	0	16,27	14,41	7,87
2	30	0,1	15,22	18,02	8,00
3	30	0,3	13,47	19,57	8,33
4	30	0,5	11,95	23,11	8,62
5	40	0	13,95	26,55	8,46
6	40	0,1	14,43	28,00	8,54
7	40	0,3	11,28	36,43	8,92
8	40	0,5	8,56	39,91	9,83
9	50	0	7,54	63,74	10,75
10	50	0,1	6,41	68,52	11,17
11	50	0,3	6,01	75,94	11,42
12	50	0,5	5,28	81,67	11,67

Табела 4.4. Анализа варијансе (ANOVA) модела одзива затезне јачине, издужења при кидању и пропустљивости водене паре

		df	Затезна јачина	Издужење при кидању	Пропустљивост водене паре
Глицерол	Линеарни члан	1	119,76*	5774,14*	18,32*
	Квадратни члан	1	8,51*	443,76*	1,67*
Гуар	Линеарни члан	1	29,29*	316,41*	1,73*
	Квадратни члан	1	0,03	2,47	0,01
Глицерол×Гуар-ксантан		1	1,53	28,90*	0,00
Грешка		6	4,72	6,77	0,24
r^2			0,972	0,993	0,989

* Статистички значајан на нивоу $p < 0,05$; ** Значајан на нивоу $p < 0,10$; необележени чланови нису статистички значајни, df - број степени слободе

Најутицајнији параметар на формирање SOP („Second order polynomial“) модела за предвиђање затезне јачине, издужења при кидању и пропустљивости водене паре био је линеарни члан глицерола (статистички значајан на нивоу $p < 0,05$). Квадратни члан садржаја глицерола је такође статистички значајан за сва три модела, али је линеарни члан садржаја гуар ксантана нешто значајнији за SOP моделе за затезну јачину и пропустљивост водене паре. Квадратни члан садржаја гуар ксантана није био статистички значајан ни у једном SOP моделу. Нелинеарни члан производа садржаја глицерола и гуар ксантана био је статистички значајан само у SOP моделу за издужење при кидању. Из **табеле 4.4** се види да грешка модела (која настаје услед непоклапања предложеног модела са експериментално добијеним подацима) није статистички значајна из чега се закључује да развијени модели описују експерименталне резултате на адекватан начин. Коефицијент детерминације (r^2), приказан такође у **табели 4.4**, описује меру поклапања развијених модела са експерименталним мерењима. Приметно је да су вредности за r^2 високе, чиме се потврђује адекватност модела.

Табела 4.5. Регресиони коефицијенти полинома другог степена

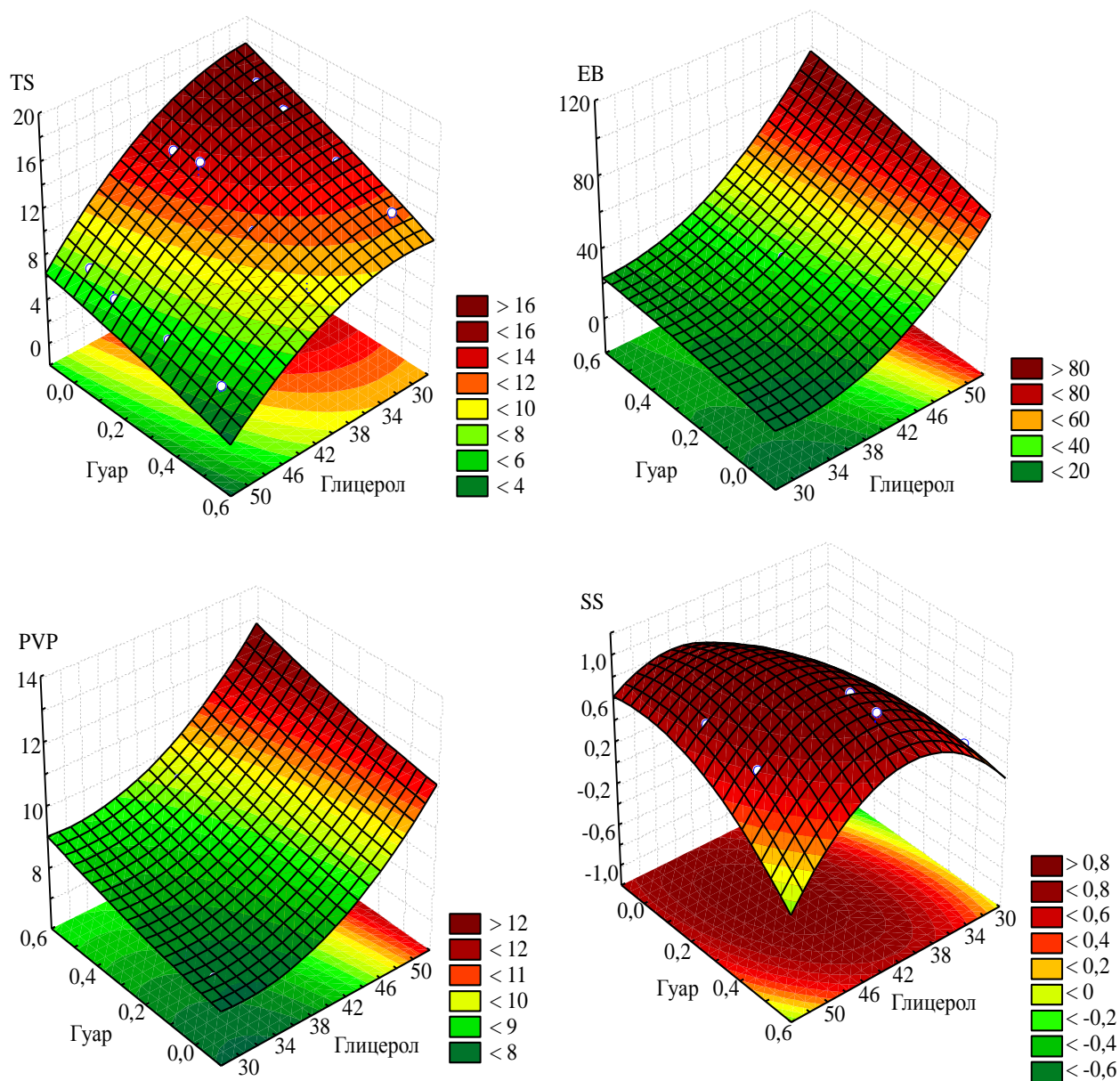
Регресиони коефицијенти	Затезна јачина	Издужење при кидању	Пропустљивост водене паре
β_0	/	$134,20 \pm 10,25^*$	$15,16 \pm 1,93^*$
β_1	$0,98 \pm 0,44^{**}$	$-7,86 \pm 0,52^*$	$-0,48 \pm 0,10^*$
β_{11}	$-0,02 \pm 0,01^*$	$0,13 \pm 0,01^*$	$0,01 \pm 0,00^*$
β_2	$-16,23 \pm 8,31^{**}$	/	/
β_{22}	/	/	/
β_{12}	/	$0,99 \pm 0,20^*$	$0,01 \pm 0,04^{**}$

* Приказани коефицијенти су статистички значајан на нивоу $p < 0,05$

У **табели 4.5.** приказани су регресиони коефицијенти SOP модела за одзиве затезне јачине, издужења при кидању и пропустљивости водене паре. Вредности ових коефицијената се могу користити за формирање квадратних једначина преко којих се могу израчунати затезна јачина, издужење при кидању и пропустљивост водене паре. На основу ових једначина и познатих улазних величина, односно садржаја глицерола и гуар ксантана могу се добити вредности жељених одзива.

На **слици 4.7.** дати су графички прикази једначина полинома другог реда који описују моделе одзива затезне јачине, издужења при кидању, пропустљивости водене паре и стандардне оцене у зависности од садржаја глицерола и гуар ксантана. На слици су приказане обојене површи, које предсављају графичке приказе развијених математичких модела, а беле тачке означавају мерене вредности за затезну јачину, издужење при кидању и пропустљивост водене паре. Највећа вредност затезне јачине забележена је при минималној концентрацији глицерола и гуар-ксантана, док су највеће вредности издужења при кидању и пропустљивости водене паре забележене при максималним концентрацијама глицерола и гуар-ксантана, што је у потпуности у сагласности са експерименталним подацима.

Стандардне оцене су рачунате за сваку мерну величину (TS, EB, PVP), ради комплексног поређења узорака филма. Осредњавањем нормализованих оцена различитих мерених вредности, за сваки посматрани узорак добија се јединствена вредност која се назива стандарда оцена (енгл. Standard Score, SS) (**слика 4.7.**). На основу Standard score анализе, закључује се да је узорак у чијем је саставу 40% глицерола и 0,1% гуар-ксантана оптималан.



Слика 4.7. Зависност затезне јачине (TS), издужења при кидању (EB), пропустљивости водене паре (PVP) од садржаја глицерола и гуар ксантана и стандардна оцена (SS)

Анализа главних компонената

Анализа главних компонената, као ортогонална трансформација, примењена је за приказивање и груписање резултата (праћењем могућих корелација међу групама података) у факторској равни на основу резултата експерименталних мерења.

Тачке приказане у PCA графику, које су геометријски близу једне другима указују на сличност узорака које те тачке представљају (на основу експерименталних мерења). Уколико главне компоненте покривају већи део укупне варијансе, онда су и мерене вредности из експерименталних мерења сличне за геометријски блиске тачке на PCA дијаграму. Усмереност вектора који описују променљиву у факторском дијаграму указује на тренд пораста те променљиве, а дужина вектора је пропорционална квадратној вредности корелације између фитованих вредности за променљиву и саме променљиве. Применом PCA методе, узорци филмова могу да се идентификују на основу квалитета, па овакав приступ, који подразумева међузависности између променљивих, омогућава разликовање узорака добијених при различитим процесним параметрима.

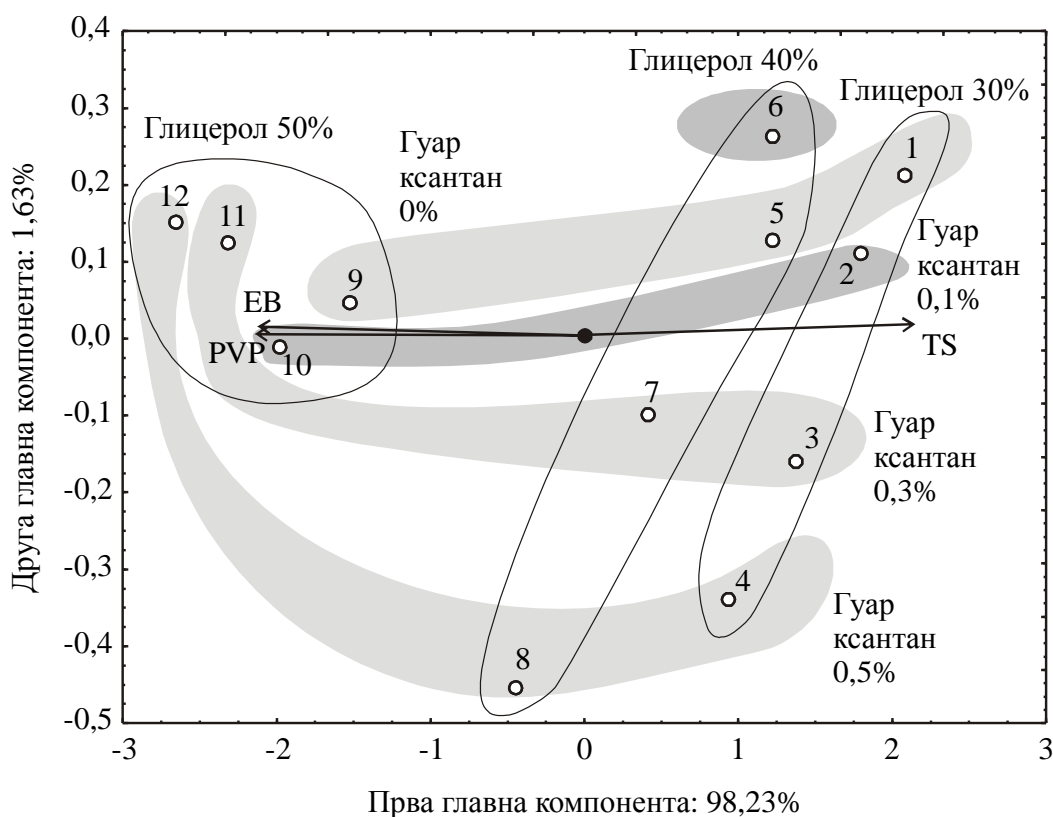
Допринос променљивих затезне јачине, издужења при кидању и пропустљивости водене паре на израчунавање факторских координата приказан је у **табели 4.6**. На израчунавање прве главне компоненте подједнако су утицале све променљиве (приближно исто), док је затезна јачина највише утицала на израчунавање друге главне компоненте.

Tabela 4.6. PCA анализа доприноса променљивих

Променљива	PC 1	PC 2
Затезна јачина	0,33	0,59
Издужење при кидању	0,33	0,39
Пропустљивост водене паре	0,34	0,02

Графичко приказивање трендова у процесу формирања јестивог филма и уочавање различитости између узорака представљено је у првој факторској

равни (главне компоненте 1 и 2), на основу примењене анализе главних компонената (Слика 4.8.).



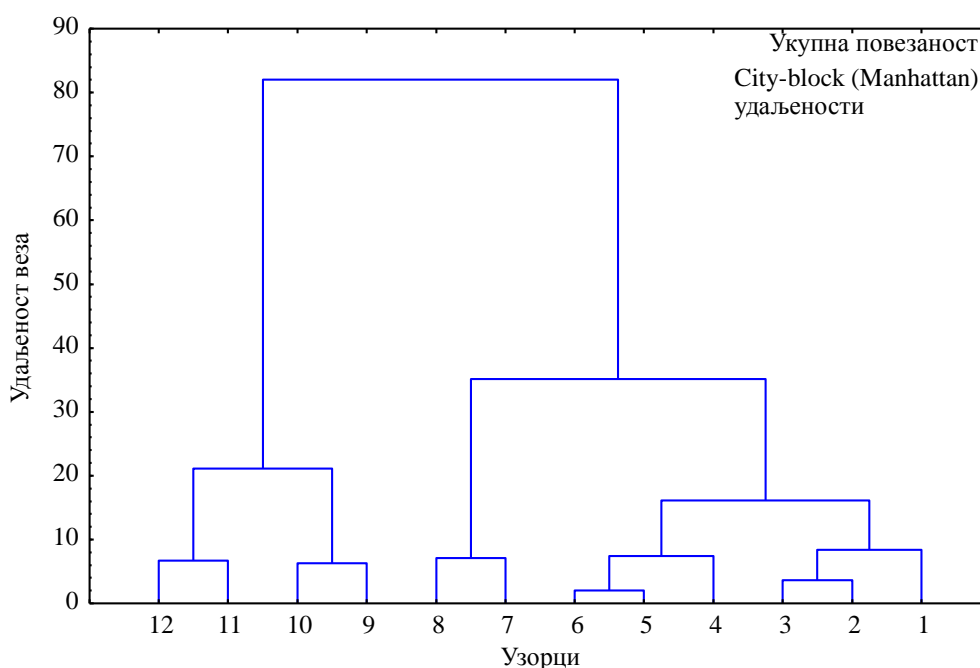
Слика 4.8. Биplot дијаграм за зависности затезне јачине (TS), издужења при кидању (EAB) и пропустљивости водене паре (PVP) од садржаја глицерола и гуар ксантана

Са **слике 4.8.** уочава се да прве две факторске координате приказују 99,86% укупне варијабилности, што се сматра довољним за приказ целокупне варијабилности процеса. На слици је приказан распоред полова (променљивих) и узорака у факторској равни. У смеру раста полова, расту и мерене вредности датих променљивих, за одређене узорке. Тако, узорак 1 има већу затезну јачину, а узорак 12 (види **табелу 4.3.**) има веће издужење при кидању и пропустљивост водене паре. Узорци на десној страни графика имају веће вредности затезне јачине (садржај глицерола је мањи), а на левој страни графика су узорци са повећаном вредношћу издужења при кидању и пропустљивости водене паре. Груписање узорака је условљено пре свега садржајем глицерола, дуж прве главне компоненте, која покрива 98,23%

варијансе, што је такође потврђено ANOVA анализом, где се показало да је садржај глицерола најзначајнија променљива у моделима за предвиђање затезне јачине, издужења при кидању и пропустљивости водене паре. Садржај гуар ксантана одређује положај узорака на другој главној компоненти, при чему су узорци са већим садржајем гуар ксантана при дну графика.

Кластерска анализа

Слика 4.9. приказује дендограм за кластерску анализу за тестиране узорке. Рачунате су укупне повезаности тачака (енгл. complete linkage), а растојања између тачака у 12-димензионалном координатном простору су мерена коришћењем City-block (Manhattan) алгоритма. City-block растојања, које се приказују на ординатној оси графика су мерене као средње разлике између димензија различитих узорака.



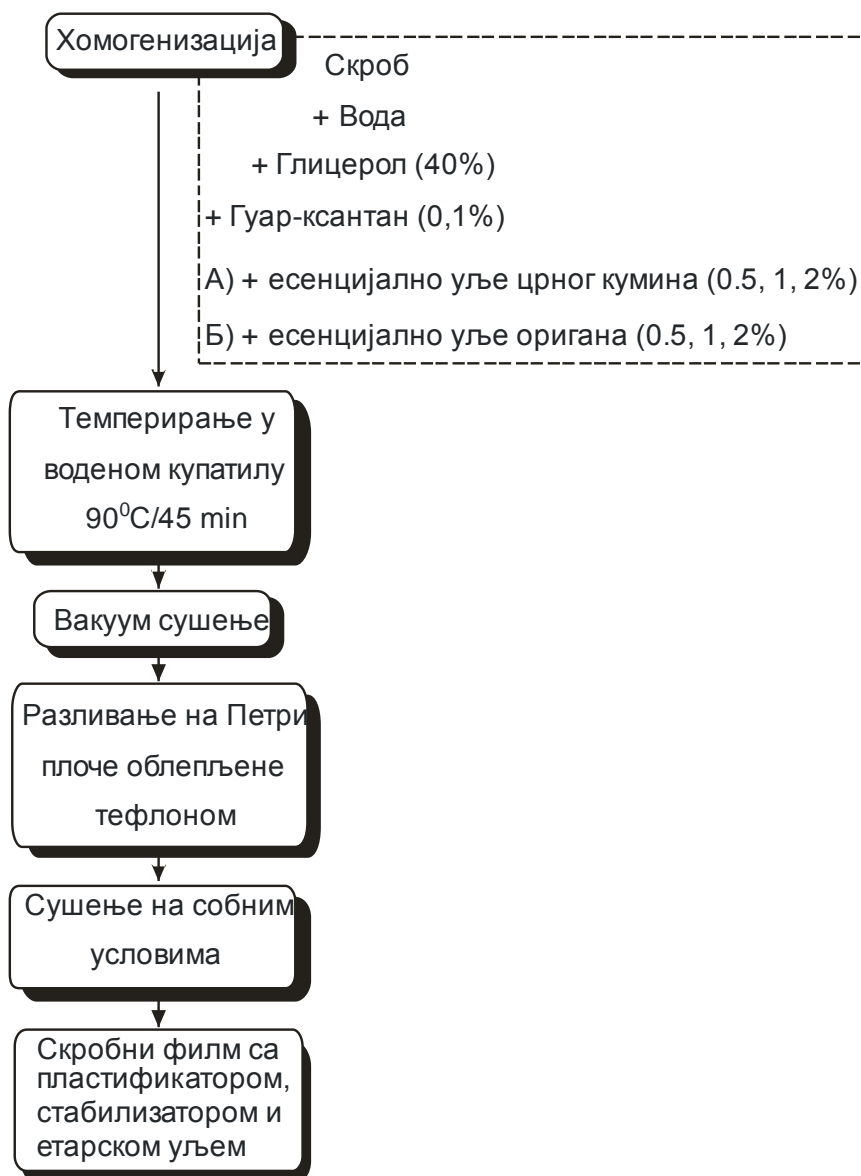
Слика 4.9. Дендограм за кластерску анализу утицаја затезне јачине, издужења при кидању и пропустљивости водене паре од садржаја глицерола и гуар ксантана

Мерење удаљености City-block (Manhattan) алгоритмом даје резултате сличне Еуклидском мерењу, али је то мерење погодније зато што је смањен утицај појединачних великих удаљености (аутлајер, енгл. outlier), пошто се не рачунају квадрати вредности појединачних координата.

Дендограм на **слици 4.9.** приказује кластерску анализу за тестиране узорке. На дендограму се примећују два одвојена кластера - десни који обухвата узорке 1-8 (који имају повећане вредности затезне јачине) и леви кластер који обухвата узорке 9-12, који има повећане вредности издужења при кидању и пропустљивости водене паре. Уочена је знатна удаљеност ова два кластера (око 80).

4.2. ОПТИМИЗАЦИЈА И КАРАКТЕРИЗАЦИЈА СКРОБНИХ ФИЛМОВА СА ЕСЕНЦИЈАЛНИМ УЉИМА

Скробни филмови са додатком есенцијалних уља припремљени су према методи приказаној на **слици 4.10.** Јестиви скробни филм без додатка есенцијалних уља је коришћен као контрола. Ознаке су приказане у **табели 3.4.**



Слика 4.10. Шематски приказ добијања филмова са додатком есенцијалних уља

Испитане су физичко-механичке, баријерне, структурне, термалне, оптичке и биолошке карактеристике добијених узорка скробних филмова са циљем одабира оптимизованог филма, који налази примену као јестиви премаз осмотски дехидрираног меса.

4.2.1. Физичко-хемијска својства

Визуелним прегледом констатује се да су добијени филмови транспарентни, сјајни, без мириса, добрих тактилних карактеристика (**Слика 4.11.**). На филмовима нису уочене пукотине, нити заостали мехурићи ваздуха. Филмови нису масни или лепљиви што значи да је количина додатог пластификатора и модификоване смеше гуар ксантана оптимална. Доказано је да је разливање адекватан и једноставан начин за производњу филмова у лабораторијским условима.



Слика 4.11. Визуелни преглед синтетисаних скробних филмова

Дебљина скробних филмова варира од 101.10 μm до 111.40 μm , што показује да додаток различитих есенцијалних уља не утиче значајно на дебљину добијених филмова ($p > 0,05$), што је приказано у **табели 4.7.** Правилним начином формирања филмова доприноси се униформној вредности дебљине филмова без обзира на количину додатог есенцијалног уља. Врло мале вредности стандардне девијације доказују уједначеност вредности дебљина филмова, без обзира на чињеницу да су добијени филмови биолошки активне материје.

Табела 4.7. Физичко-хемијске особине скробних филмова са додатком есенцијалних уља

	Дебљина (μm)	Садржај воде (%)	Степен бубрења (%)
Контрола	101,10 \pm 3,78 ^a	14,12 \pm 1,32 ^a	230,92 \pm 2,38 ^g
ЦК 0.5%	106,00 \pm 3,27 ^b	12,89 \pm 0,89 ^a	208,77 \pm 2,09 ^f
ЦК 1%	109,40 \pm 4,30 ^{bc}	12,10 \pm 1,08 ^a	174,87 \pm 2,01 ^d
ЦК 2%	110,20 \pm 3,26 ^{bc}	12,17 \pm 0,45 ^a	130,03 \pm 1,53 ^b
О 0.5%	107,80 \pm 4,05 ^b	13,11 \pm 0,96 ^a	197,40 \pm 1,89 ^e
О 1%	111,40 \pm 3,86 ^c	12,31 \pm 0,75 ^a	155,75 \pm 1,33 ^c
О 2%	110,20 \pm 4,64 ^{bc}	12,03 \pm 1,16 ^a	117,84 \pm 1,21 ^a

^{a-g} Различита слова у суперскрипту у истој колони у табели показују да постоје статистички значајне разлике средњих вредности посматраних података (на нивоу $p < 0,05$)

Садржај воде у добијеним филмовима значајно утиче на физичке и баријерне карактеристике. Вредност садржаја воде се кретала од 12.17 % до 12.89 % за узорке филмова којима је додато есенцијално уље црног кумина, док су се вредности садржаја воде кретале од 12.03 % до 13.11% за узорке филмова којима је додато есенцијално уље оригана. Уочава се пад вредности садржаја воде како је расла концентрација додатог уља. Највећа измерена вредност садржаја воде износила је 14.12 % за узорак филма коме није додато есенцијално уље (**табела 4.7.**).

Способност бубрења у води је непожељна карактеристика при избору материјала за одређену намену, као што је паковање хране са високим садржајем воде. Вредности способности бубрења у води припремљених

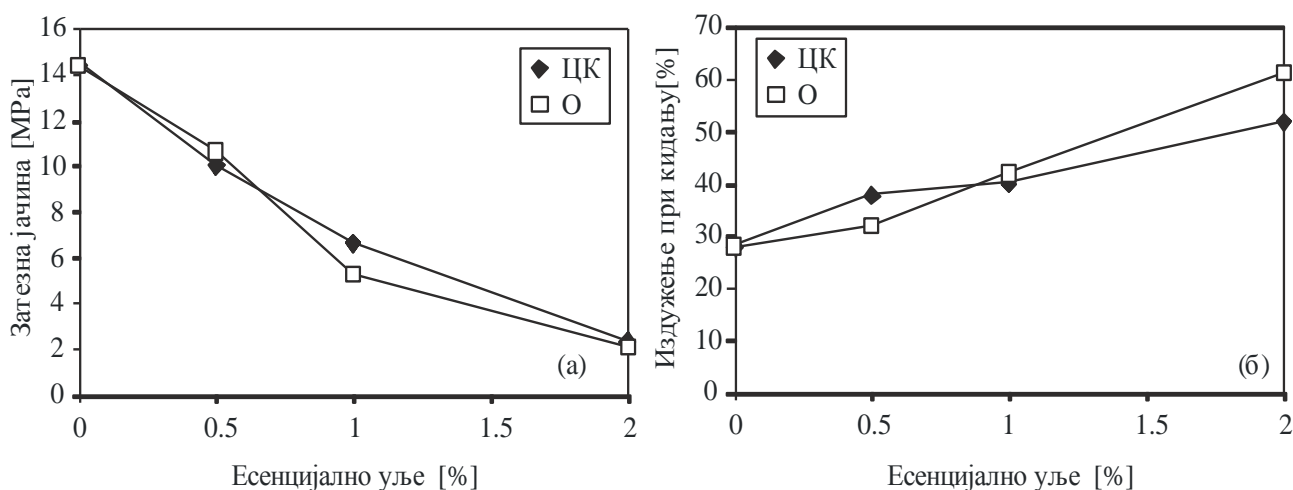
скробних филмова са и без есенцијалних уља су приказане у **табели 4.7**. Према *Kavoosi и сар., (2013)* се очекује да би додаток хидрофилних једињења требало да повећа способност бубрења филма, док би хидрофобна једињења смањила ову особину. Резултати показују да додавање хидрофобне компоненте (есенцијално уље) смањује способност бубрења у води, а максимална вредност се и очекује код контролног филма. Степен бубрења контролног филма (230,92%) опао је на 130,03% код узорка коме је додато 2% есенцијалног уља црног кумина и на 117,84% код узорка коме је додато 2% есенцијалног уља оригана. Добијени резултати показују да способност бубрења узорака филма прати исти тренд као што је и тренд опадања вредности садржаја влаге, што је у складу са налазима других аутора (*Ghasemlou и сар., 2013; Fabra и сар., 2010*).

4.2.2. Механичка својства

Основни показатељи механичких карактеристика амбалажних материјала су затезна јачина (TS) и издужење при кидању (EB), а одговарајући резултати добијени анализом јестивих филмова на бази скроба су приказани на **слици 4.12.а и 4.12.б**. Да би биофилм нашао ширу примену у индустрији, мора бити отпоран на притиске који се дешавају током транспорта, руковања и примене, чиме се одржава интегритет паковања и задржавају карактеристике упаковане хране. У поређењу са многим синтетичким полимерима, вредности силе кидања и издужења при кидању скробних филмова су прилично ниске, али довољне да би ови филмови нашли примену у прехранбеној индустрији (*Souza и сар., 2013*).

Вредност затезне јачине контролног филма износила је 14,43 МПа, док је вредност затезне јачине код узорака филмова са додатком црног кумина опала са 10,02 МПа на 2,3 МПа, а вредност затезне јачине код узорака филмова са додатком оригана опала са 10,65 МПа на 2,12 МПа.

Слика 4.12а показује да додаток оба есенцијална уља умањује вредност затезне јачине, што указује на губитак макромолекулске мобилности што је у складу са истраживањем *Souza и сар. (2013)*, који су испитивали утицај есенцијалног уља цимета на композитни касава скроба. Повећање капацитета пластичности есенцијалних уља изазва смањење вредности затезне јачине. Механичке особине се побољшавају додатком есенцијалних уља, која имају ефекат пластификатора и на тај начин привлаче молекуле воде. Као последица присуства уља јављају се интеракције између молекула есенцијалног уља и молекула скроба уместо “скроб-скроб” интеракција.



Слика 4.12.а. Затезна јачина (MPa) скробних филмова са додатком есенцијалних уља

Слика 4.12.б. Издужење при кидању (%) скробних филмова са додатком есенцијалних уља

Вредности издужења при кидању тестираних филмова порасле су са 38 % на 52 % за узорке филмова са додатим есенцијалним уљем црног кумина, док се овај параметар повећао са 32 % на 61 % за узорке филма са додатим есенцијалним уљем оригана. Измерена вредност издужења при кидању за контролни филм била је 28%. **Слика 4.12.б** показује да су филмовима са додатком есенцијалних уља повећане вредности издужења при кидању што је у складу са резултатима других аутора (*Ghasemlou и сар., 2013; Benavides и сар., 2012*).

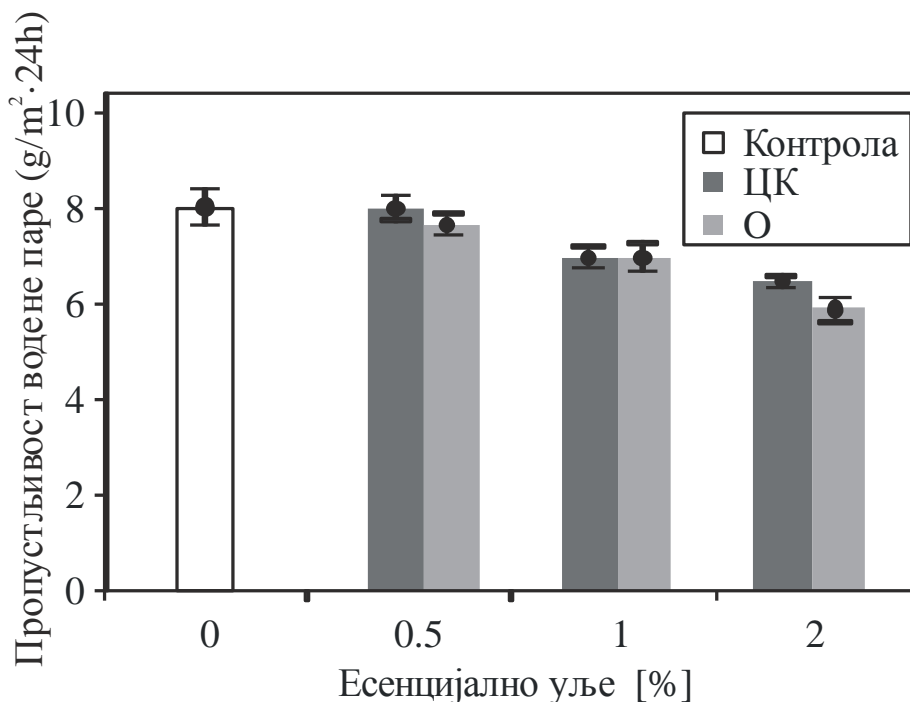
Вредности затезне јачине опадају, а вредности издужења при кидању расту што је последица додатка есенцијалних уља у биополимерне матрице јер се смањује кохезија сила скробне мреже, чиме се и смањује отпорност филма на пуцање. До сличних података су дошли и *Živanović u sar. (2005)* када су испитивали хитозанске филмове у комбинацији са различитим есенцијалним уљима, као и *Maizura u sar. (2007)*, који су испитивали скробно-алгинатне филмове са додатком различитих концентрација уља лимун траве.

4.2.3. Баријерна својства

Једна од главних функција амбалажних материјала је да смањи или онемогући трансфер влаге између упаковане намирнице и околне средине. Пропустљивост водене паре би требала бити што мања како би се потенцијално продужила одрживост упакованог садржаја. Пренос водене паре јавља се кроз хидрофилни део скробног филма.

Пошто је глицерол хидрофилан молекул, који смањује привлачност између молекула и повећава молекуларну мобилност, очекиван је резултат да контролни филм (без додатка есенцијалних уља) има највећу вредност за пропустљивост водене паре. Додатком есенцијалних уља у састав филма смањује се пропустљивост водене паре што се може видети на **слици 4.13**.

Остали узорци филмова, који су припремљени са додатком оба есенцијална уља, показали су мању пропустљивост водене паре у односу на контролни филм и уочено је значајно смањење ове вредности ($p < 0,05$) са повећањем садржаја есенцијалног уља.



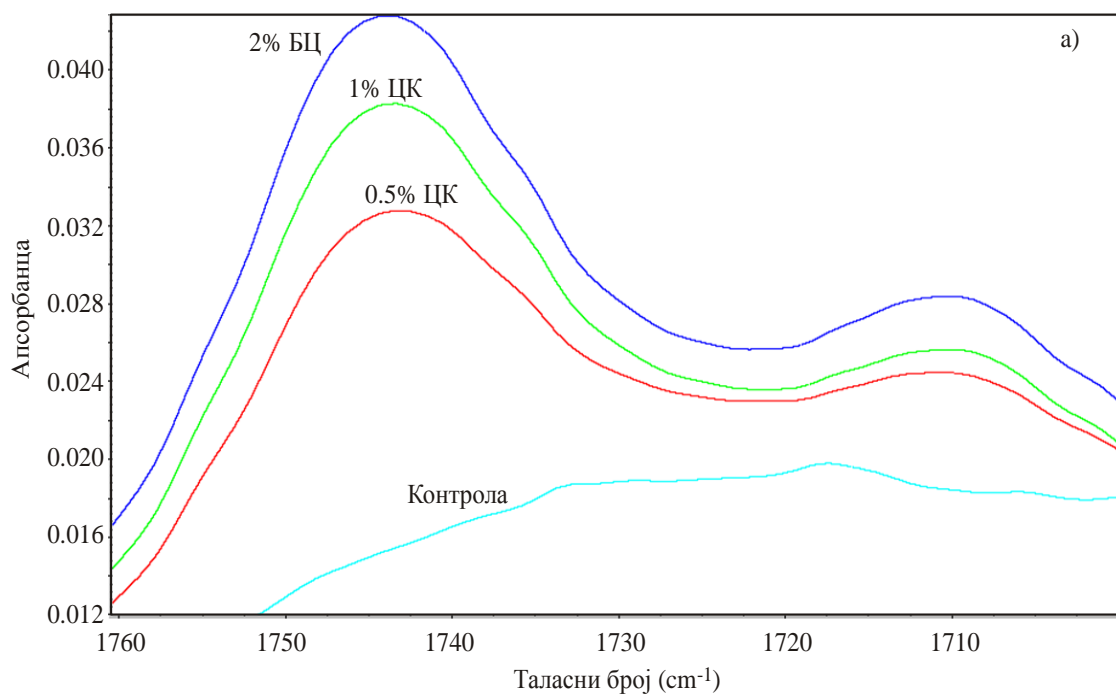
Слика 4.13. Пропустљивост водене паре ($\text{g/m}^2 \cdot 24\text{h}$) скробних филмова са додатком есенцијалних уља

Смањење вредности пропустљивости водене паре је последица водоничних и ковалентних интеракција између структуре скроба и полифенолних компонената уља. Ове интеракције спречавају доступност водоничних група да формирају хидрофилне везе са водом, што доводи до смањења афинитета филма према води. Добијени резултати који се односе на смањење пропустљивости водене паре додатком уља су у корелацији са резултатима претходних студија (*Shojaee-Aliabadi u sar., 2013; Kechichian u sar., 2010; Živanović u sar., 2005*). Такође је доказано да пропустљивост водене паре зависи од хидрофилно-хидрофобног односа састојака филма (*Rojas-Grau u sar., 2006*). Ипак, коначне добијене вредности за пропустљивост водене паре нису задовољавајуће у поређењу са комерцијалним полимерним материјалима, па би даљи корак требало да буде оптимизација састава филма, нпр. додатком липида (природног воска). Липиди се обично додају другим биполимерима као емулзионе честице или у виду вишеслојних премаза у циљу повећања отпорности на пропустљивост влаге.

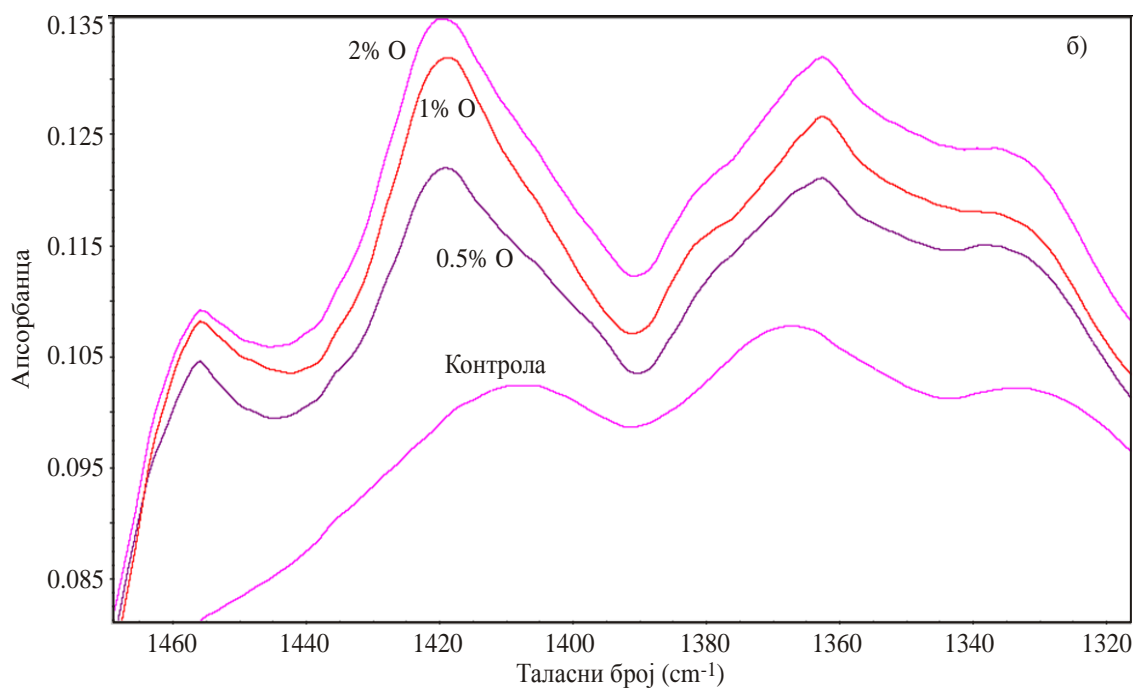
4.2.4. Структурна својства

Фуријеова трансформишућа инфрацрвена спектрофотометрија

Изузетно карактеристичан широк пик се јавља код свих узорача скробних филмова између 3600 cm^{-1} и 3000 cm^{-1} , центриран на око 3300 cm^{-1} . Пик одговара области истезања водоничних веза, што је изазвано слободним, интер и интра-молекуларно везаним хидроксилним групама које улазе у структуру скроба, што је потврђено резултатима других аутора (*Xiong и сар., 2008; Zhang и Han, 2006; Fang и сар., 2002; Coates, 2000*). Оштар пик на 2927 cm^{-1} , праћен блажим пиком на 2880 cm^{-1} је регија у којој се јављају асиметричне и симетричне вибрације CH_3 . Према *Van Soest и сар. (1995)* и *Huang и сар. (2006)* најинтензивније апсорпција у IR-области покрива регион 1300 cm^{-1} - 800 cm^{-1} , што уједно представља типично подручје сахаридних пикова. Овај регион се односи на истезање веза C-C, C-, и C-O-H. Према *Liu и сар. (2013)* ова област може бити сужена на 1170 cm^{-1} - 950 cm^{-1} . У случају испитиваних узорача скробних филмова са додатим есенцијалним уљима, пикови се могу приметити на 1150 cm^{-1} , 1104 cm^{-1} , 1077 cm^{-1} , 1016 cm^{-1} , 995 cm^{-1} , 926 cm^{-1} и 850 cm^{-1} . Уочени пикови на 1104 cm^{-1} и 995 cm^{-1} се јављају због присуства C-OH везе. Пикови на 1016 cm^{-1} , 995 cm^{-1} , 926 cm^{-1} и 850 cm^{-1} се приписују присуству C-O веза, што је у складу са резултатима *Pelissari и сар. (2009)*, који су нашли пикове на 1065 cm^{-1} , 1026 cm^{-1} , 941 cm^{-1} и 863 cm^{-1} . Апсорбанце уочене на 1077 cm^{-1} и 1150 cm^{-1} су резултат спајања веза C-O и C-C, истезања O-H веза, савијања и асиметричног истезања C-O-C гликозидног моста (*Xiong и сар., 2008*). Описани пикови су пронађени у свим узорцима. Уочено је да је вредност апсорбанце контролног филма (без додатих уља) највиша на свакој таласној дужини, што значи да су остварене везе слабије у узорцима у којима су додата уља. Везе слабе због емулзификације уља у систему, без обзира на врсту есенцијалног уља.



Слика 4.14.а. ATR спектар скробних филмова са додатком есенцијалног уља црног кумина, у спектралној зони 1770-1700 cm⁻¹



Слика 4.14.б. ATR спектар скробних филмова са додатком есенцијалног уља оригана, у спектралној зони 1450-1300 cm⁻¹

Једине области у којима је вредност апсорбанце узорка већа вредности апсорбанце контролног филма су 3000 cm^{-1} - 2800 cm^{-1} и 1770 cm^{-1} - 1700 cm^{-1} за узорке са уљем црног кумина (**слика 4.14.a**). У спектралној зони 3000 cm^{-1} - 2800 cm^{-1} долази до апсорпције CH_2 , док је регион 1770 cm^{-1} - 1700 cm^{-1} у вези са структурама које не потичу од скроба, пошто нативни скроб не апсорбује у региону 1800 cm^{-1} - 1540 cm^{-1} (*Demiate u cap., 2000*). Апсорпциони пикови у овом региону, центрирани на 1709 cm^{-1} и 1744 cm^{-1} су резултат истезања $\text{C}=\text{O}$ везе, што доказује присуство алифатичких ацетатних естера.

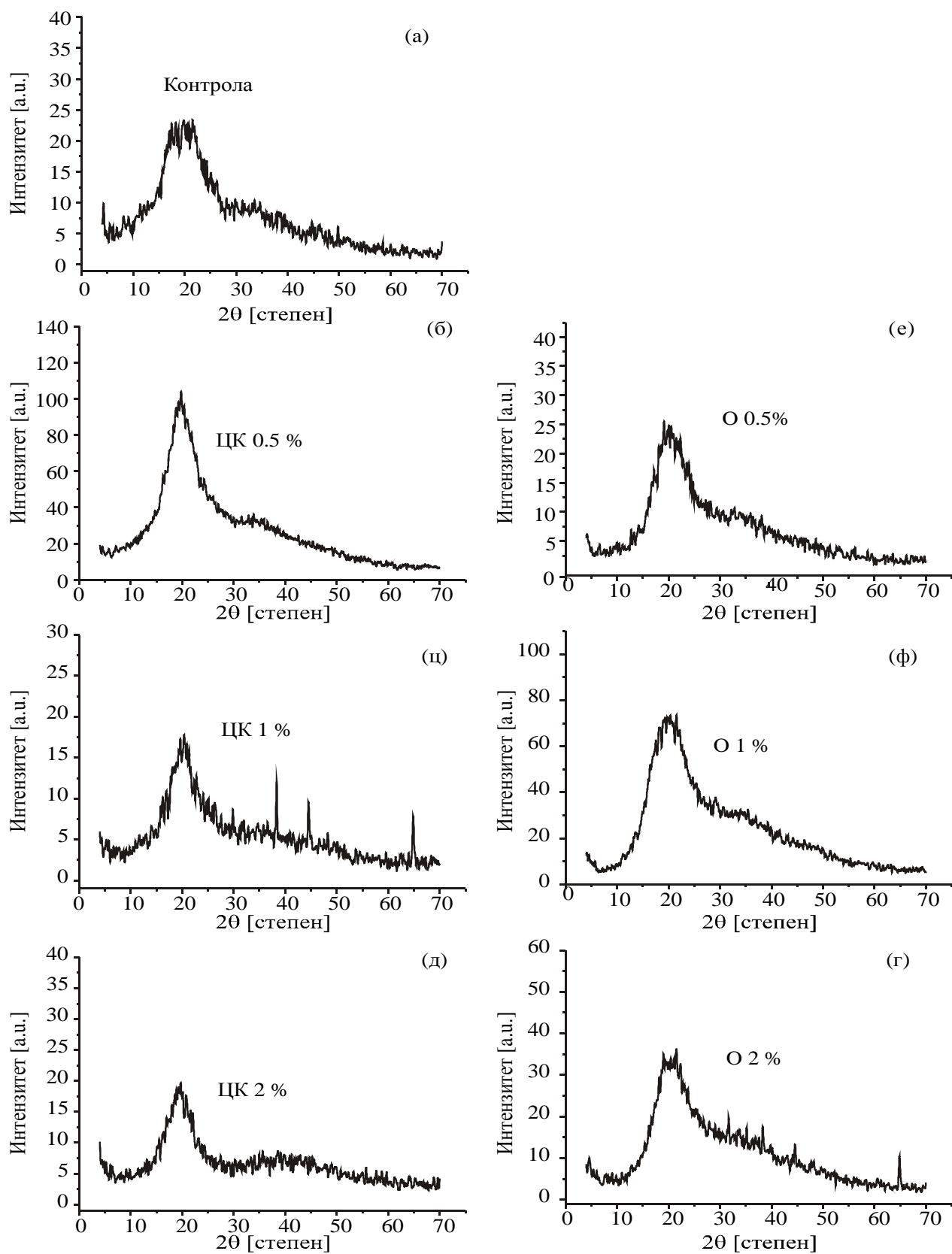
Узорци са додатком уља оригана имају већу вредност апсорбанце него што је апсорбанца контролног филма у региону 1450 cm^{-1} - 1300 cm^{-1} , што одговара присуству ОН група фенолних једињења. Пикови се налазе на 1419 cm^{-1} и 1362 cm^{-1} и приказани су на **слици 4.14.b**.

Дифракција X зрака

Кристалинитет скробних филмова са додатком есенцијалних уља је испитиван дифрактометријом помоћу X зрака. Познато је да је кристалинитет скроба повезан са линеарним ланцима амилопектина, који могу дати различите дифракције X-зрака у зависности од врсте скроба. На кристалинитет скробних филмова утиче однос амилоза/амилопектин, степен гранања и дужина амилопектинских спољашњих ланаца, ботанички извор скроба, услови поступка сушења филма (брзина и температура), као и финални степен влаге.

Кукурузни скроб карактерише А- облик кристалне решетке (моноклиничка решетка) са густо пакованим дуплим спиралама. Када се јестиви филм добија поступком разливања обично долази до растварање амилозе, што доводи до разарања кристалне структуре скроба (*Parker и Ring, 2001; van Soest u cap., 1996*).

Дифрактограми контролног филма, као и филмова са додатком есенцијалног уља црног кумина и оригана, у различитим концентрацијама, приказани су на **слици 4.15.(a-г)**. Дифрактограм контролног филма (**Слика**



Слика 4.15.(а-г). Дифрактограми скробних филмова са додатком есенцијалних уља

4.15.а) показује широк дифракциони пик у региону између $15-20^\circ 2\theta$ и показује да је дошло до разарања кристалне структуре А-типа услед експерименталних услова поступка разливања, којим су добијени филмови. Додатак уља црног кумина довео је до промене у облику пика: дифракциони пикови су постали ужи. XRD пикови узорака ВС 0,5%, ВС 1% и ВС 2% (**Слика 4.15.(б-д)**) се налазе на $19,8^\circ$; $20,4^\circ$ и $20,1^\circ 2\theta$, респективно, док је узорак са ВС 1% показао додатне дифракционе пикове на $30,1^\circ$; $38,5^\circ$; $44,5^\circ$ и $64,8^\circ 2\theta$.

У случају дифракцијских слика скробних филмова са додатком есенцијалног уља оригана, долази до сужавања главног дифракционог пика, које је такође приметно, али не и толико изражено као у случају скробних филмова са додатим уљем црног кумина. Дифракциони пикови узорака О 0,5%, О 1% и О 2%, (**Слика 4.15.(е-г)**), чији су облици донекле слични и после додавања есенцијалног уља оригана, су лоцирани на $20,8^\circ$; $20,1^\circ$ и $21,6^\circ 2\theta$, респективно, док је узорак О 2% показао додатне дифракционе пикове на $31,1^\circ$; $35,1^\circ$; $38,3^\circ$; $44,5^\circ$ и $64,9^\circ 2\theta$.

4.2.5. Термичка својства

Урађена DSC анализа показује да у испитиваном температурном опсегу постоји један преовлађујући, широки, ендотермални пик, што је карактеристика свих јестивих филмова. Овај ендотермални прелаз се налази у температурном опсегу између 65°C до 190°C (**Табела 4.8.**) и он је последица непотпуне желатинизације скроба у току производње филма и испаравања воде.

Табела 4.8. Термодинамички параметри скробних филмова са додатком есенцијалних уља

Узорак	Контрола	ЦК 0,5%	ЦК 1%	ЦК 2%	О 0,5%	О 1%	О 2%
ΔH_1 (J/g)	141,60±10,3 ^f	107,70±7,46 ^d	61,52±3,28 ^a	78,34±4,11 ^b	131,70±7,59 ^e	91,43±6,03 ^c	107,20±2,77 ^d
T_{o1} (°C)	70,61±5,72 ^d	79,62±5,33 ^e	69,24±3,17 ^d	63,43±2,54 ^a	68,72±1,00 ^{bc}	66,59±2,09 ^b	67,24±3,62 ^{bc}
T_{m1} (°C)	199,42±10,11 ^d	129,05±2,37 ^c	115,98±5,39 ^{ab}	107,47±6,07 ^a	119,13±5,93 ^b	117,51±8,72 ^b	117,51±7,29 ^b
ΔH_2 (J/g)	-	-	-	0,99	-	-	17,15
T_{o2} (°C)	-	-	-	192,11	-	-	189,36
T_{m2} (°C)	-	-	-	207,70	-	-	223,91
T_g (°C)	14,77±0,63 ^a	16,39±0,74 ^b	21,93±1,21 ^d	18,91±1,75 ^c	16,95±1,22 ^b	18,10±0,39 ^c	18,24±0,41 ^c

^{a-f} Различита слова штампана у суперскрипту у истој колони у табели показују да постоје статистички значајне разлике средњих вредности посматраних података (на нивоу $p < 0,05$)

Други ендотермални пик, који се јавља на температурама изнад 200 °С, представља укупну топлотну деградацију јестивог филма. Разлике у енталпији (ΔH), почетној (онсет) температури (T_o) и максималној температури (T_m) током топлотног прелаза су уочљиви услед додавања различитих садржаја есенцијалних уља. Постоји општи тренд у смањивању T_o , T_m и ΔH , уз додатак оба есенцијална уља (**Табела 4.8.**), па се може претпоставити да јестиви филмови са есенцијалним уљима имају смањену укупну термичку стабилност у односу на контролни узорак. Овај тренд је нешто израженији код узорака којима је додато уље црног кумина.

Генерално, може се закључити да је степен термалне дестабилизације сличан за оба есенцијална уља обзиром на разлику енталпије (ΔH), почетне температура (T_o) и максималне температуре (T_m). Изузетак је јестиви филм са додатком 0,5% уља оригана (узорак О 0,5%), код кога је смањење термичке стабилности минимално изражено (стабилност се спушта за око 10%).

Карактеристични стакласти прелаз (T_g) скробних филмова је пронађен у температурном опсегу од 14 °С до 21 °С што је у складу са литературом (*Mali u sar., 2006; Parra u sar., 2004*). Додатак есенцијалних уља у јестиве филмове на бази скроба има сличан ефекат као додавање пластификатора у смислу повећања стакластог прелаза (T_g) у односу на контролни узорак. У складу са добијеним резултатима сматра се повољним додатак уља у скробни матрикс, пошто имају сличан ефекат као пластификатори - повећање T_g , а то олакшава мобилност ланаца.

4.2.6. Оптичка својства

Оптичке карактеристике скробних филмова са додатком есенцијалних уља оригана и црног кумина су представљене у **табели 4.9**. Добијени филмови су транспарентни.

Табела 4.9. Оптичке особине и апсорпција светлости скробних филмова са додатком есенцијалних уља

	CIE (L*a*b* ΔE^*) систем				Апсорпција светлости (nm)							
	L*	a*	b*	ΔE^*	200	280	350	400	500	600	800	
Контрола	95,32	-0,09	4,02	2,590	2,250	0,304	0,147	0,121	0,101	0,091	0,079	
ЦК 0,5%	95,28	-0,66	6,41	4,742	3,177	0,492	0,137	0,104	0,087	0,082	0,077	
ЦК 1%	95,2	-0,70	6,98	5,299	2,948	0,602	0,146	0,108	0,087	0,082	0,078	
ЦК 2%	95,21	-0,72	9,69	8,543	3,305	1,562	0,360	0,215	0,138	0,117	0,104	
О 0,5%	93,25	-0,16	5,28	3,677	9,999	1,884	0,469	0,360	0,330	0,323	0,313	
О 1%	95,24	-0,31	6,47	4,694	9,999	1,703	0,497	0,406	0,384	0,367	0,326	
О 2%	95,44	-0,41	7,39	7,778	9,999	2,905	0,631	0,447	0,412	0,394	0,360	

CIE L^* вредност, која карактерише светлоћу филма (0 = црна, 100 = бела), има најизраженију вредност у контролном филму (95,32), а смањује се када се повећава удео уља у филмовима.

Додатак оба уља у већим концентрацијама (2%) изазвао је смањену транспарентност узорака филма и они су постали непрозирни, што се такође уочава на основу CIE L^* вредности.

За све узорке, као и за контролни филм, CIE a^* вредности су биле негативне ($-a^*$ =зелена, $+a^*$ =црвена) што значи да су сви испитивани узорци благо зеленкасти. Узорци филма са црним кумином имали су ниже вредности за параметар боје a^* . CIE b^* вредност ($-b^*$ =плава, $+b^*$ =жута) била је позитивна за све узорке скробних филмова, а достигла је највишу вредност за групу узорака којима је додат црни кумин. Црвеност узорака је опадала, а жутило узорака се повећавало са повећавањем концентрације есенцијалних уља, без обзира на то које је уље додавано.

Вредност CIE ΔE^* је показала сличан тренд као и промене CIE b^* вредности, што је и очекивано, јер су узорци претежно жуте боје.

Пораст вредности апсорбанце је уочен на таласним дужинама једнаким и мањим од 280 nm, што одговара UV зрачењу, у случају свих испитиваних узорака филма. Најмањи пораст у вредности апсорбанце је уочен код контролног филма, а највећи за групу узорака којој је додато есенцијално уље оригана ($A = 9,999$ за све узорке на 200 nm). Може се закључити да је концентрација уља директно пропорционална измереној вредности апсорбанце.

Због тога се јестиви филмови на бази скроба са есенцијалним уљима, додатим у довољној количини, могу се користити за паковање хране која је подложна оксидативним променама, које су катализоване UV светлом. Сличне закључке су изнели и *Lopez u Garcia (2012)* након анализе скробних филмова, као и *Fang u cap. (2002)* након анализе јестивих филмова добијених из протеина сурутке.

4.2.7. Биолошка својства

Антиоксидативна активност и садржај укупних фенола

Антиоксидативна активност (DPPH[•] активност радикала) и садржај укупних фенола (TP) у јестивим скробним филмовима са додатком есенцијалног уља црног кумина и оригана у различитим концентрацијама су приказани у **табели 4.10**. DPPH и TP вредности значајно варирају, према пост-хоц Tukey-евом HSD (енгл. "honestly significant difference" - заиста значајна разлика) тесту.

Табела 4.10. Антиоксидативна активност (%) и садржај укупних фенола (mg/g) скробних филмова са додатком есенцијалних уља

	Антиоксидативна активност (%)	Садржај укупних фенола (mg (гална киселина) / g (маса сувог узорка))
Контрола	1,55±0,02 ^a	2,66±0,02 ^b
ЦК 0,5%	5,50±0,09 ^b	2,50±0,05 ^a
ЦК 1%	8,71±0,14 ^c	3,09±0,03 ^c
ЦК 2%	12,42±0,10 ^d	4,67±0,08 ^d
О 0,5%	23,78±0,69 ^e	10,52±0,12 ^e
О 1%	59,26±1,64 ^f	38,07±0,43 ^f
О 2%	87,65±0,38 ^g	61,67±0,24 ^g

^{a-g} Различита слова у суперскрипту у истој колони у табели показују да постоје статистички значајне разлике средњих вредности посматраних података (на нивоу $p < 0,05$)

Садржај укупних фенола у узорцима филмова којима је додато есенцијално уље црног кумина кретао се од 2,50 до 4,67 mg GAE/mg, а од 10,52 до 61,67 GAE/mg у узорцима филмова на бази скроба којима је додато есенцијално уље оригана.

Јестиви скробни филмови који садрже есенцијално уље оригана (у свим концентрацијама) показали су већи садржај укупних фенола. На основу тога може се закључити да је активност узорка са додатком оригана значајно већа

него код узорака којима је додато уље црног кумина. Ови резултати су у корелацији са резултатима антиоксидативне активности.

DPPH[•] је стабилни слободни радикал који показује максималну апсорпцију на 517 nm. „Хватање“ DPPH[•] слободног радикала је уобичајен тест, који је један од најчешће коришћених тестова за истраживање антиоксидантног потенцијала различитих природних компоненти *in vitro*. Овај тест показује да анализирани скробни филмови могу «хватати» слободне радикале који дејствују као слободни атоми водоника или као донори електрона.

Вредности антиоксидативне активности у узорцима са додатком уља црног кумина варирали су у границама 5,5% -12,42%, а за узорке којима је додато уље оригана у опсегу 23,78% - 87,65%. Као што је и очекивано, најнижа вредност AA (%) је детектована за контролни филм (1,55%) чија је укупни садржај фенола био 2,66 mg (галне киселине)/g (маса сувог узорка).

Већина студија показала је да је антиоксидативна активност есенцијалних уља углавном потиче од присуства фенолних једињења (Burt, 2004). Према резултатима Viuda-Martos *u cap.* (2007), главне компоненте уља оригана су карвакрол (61,21%), р-цимен (15,12%), затим γ-терпинен (4,8%) који су хемијски анализирани и детектовани коришћењем гасном хроматографијом-масеном спектрометријом (GC-MS).

С друге стране, GC-MS анализа је открила главне компоненте есенцијалног уља црног кумина, а то су: тимокинон (37,6%) затим р-цимен (31,2%), α-тујен (5,6%), тимохидрокинон (3,4%), и лонгифолен (2,0%), док уљани екстракти у различитим растварачима садрже линолну киселину као главну компоненту.

Такође, доказано је да су вредности антиоксидативности и садржаја укупних фенола директно пропорционалне додатој количини есенцијалних уља, што је у сагласности са налазима других аутора (Oriani *u cap.*, 2014; Abdollahi *u cap.*, 2012, Norajit *u cap.*, 2010).

Антимикробна активност

Многи аутори истраживали су ефекте инкорпорације есенцијалних уља у матрице биополимерних филмова у погледу антимикробних ефеката према патогеним микроорганизмима, бактеријама и квасацима (*Flores u cap., 2010; Pelissari u cap., 2009; Gomez-Estaca u cap., 2009*). У многим студијама антимикробно дејство је изражено као зона инхибиције. То је зона у којој је стопиран раст микроорганизама на хранљивој подлози, а јавља се након што је на подлогу нанет узорак филма са/без додатих есенцијалних уља дефинисаног облика и величине. Инхибиционе зоне, створене на подлози деловањем јестивих скробних филмова са различитим концентрацијама додатих уља црног кумина и оригана приказане су у **табели 4.11**.

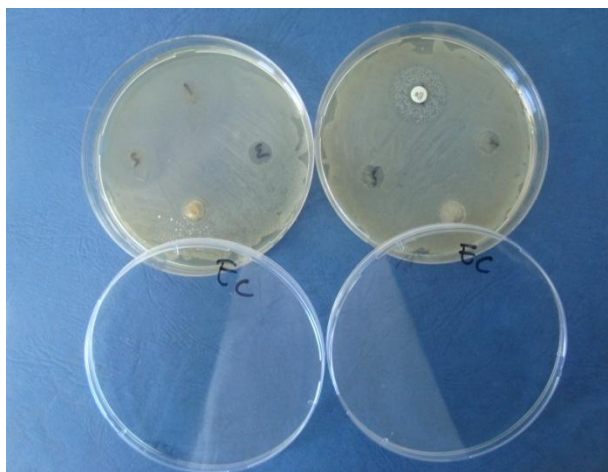
Контаминација патогенима може се догодити током руковања и паковања намирницама, па је потребно проценити ефекат јестивог филма/премаза за најраспрострањеније врсте испитиваних патогена: родова *Escherichia* и *Salmonella*. Као што се очекивало, код узорка филма без есенцијалних уља (контролни филм) примећено да нема зоне инхибиције. Ова чињеница је истакла неопходност додавања есенцијалних уља јестивим филмовима како би постигли активну улогу. Бројна есенцијална уља показују антимикробно дејство због присуства активних једињења као што су феноли (*Burt, 2004; Cosentino u cap., 1999*). Чак и са минималном концентрацијом уља оригана примећују се инхибиционе зоне, али ефекат није био мерљив. Испод диска филма уочена је зона инхибиције док код узорака филма којима је додато уље црног кумина није постојала инхибиција испод филма. Компоненте есенцијалног уља црног кумина нису довољно ефикасна да би испољила антимикробно деловање, као што је приказано у **табели 4.11**. Анализа микробиолошке активности узорака јестивих скробних филмова потврђује формирање зоне инхибиције која варира од 11,7 mm до 33 mm против *S. Typhimurium*; од 22 mm до 37 mm против *E.coli* и 12 mm до 39 mm против *L.monocytogenes* за узорке који садрже есенцијално уље оригана у концентрацији 1% и 2%, респективно

Табела 4.11. Антимикробне особине јестивих филмова са додатком есенцијалних уља

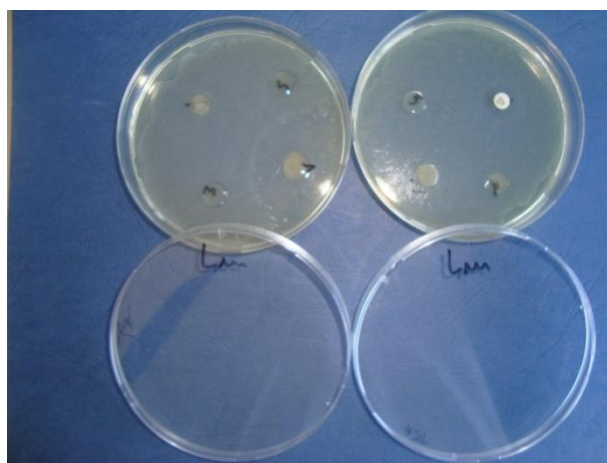
		Инхибициона зона (mm)							
Узорак	Патоген	Контрола	ЦК 0,5%	ЦК 1%	ЦК 2%	О 0,5%	О 1%	О 2%	АНТИБИОТИК
		Salmonella typhimurium	-	-	-	-	-	-	11,67
Escherichia coli	-	-	-	-	-	-	22	37	21,33
Listeria monocytogenes	-	-	-	-	-	-	12	39	12,67

Истовремено, урађени су антибактеријски тестови са диском обложеним цетофаком + клавуланском киселином (40 μg /диск), чија зона инхибиције је приказана у последњој колони **табеле 4.11**. Може се уочити да есенцијално уље органа инкорпорирано у матрикс филма у концентрацији од 2% има јаче антимикробно дејство него антибиотик.

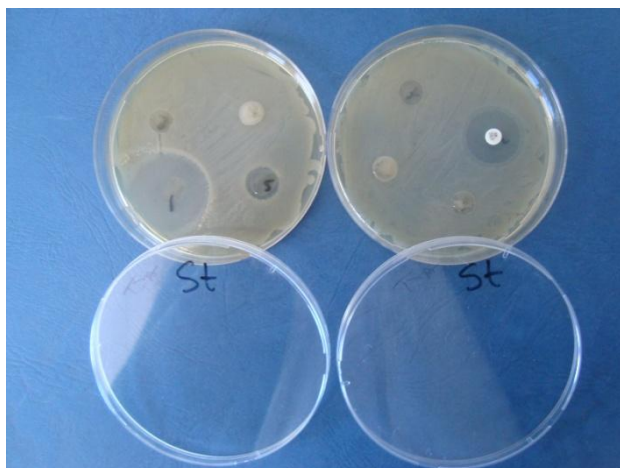
Поредећи микроорганизме (**слика 4.16.**), може се закључити да су Грам позитивне бактерије осетљивије на есенцијално уље органа пошто је зона инхибиција већа. Иако грам негативни патогени поседују спољашњу мембрану која окружује ћелијски зид, који ограничава дифузију хидрофобних једињења (*Burt, 2004*), инхибиција се постиже када је есенцијално уље органа додато у концентрацији 1% и 2%.



a) *Escherichia coli*



b) *Listeria monocytogenes*



c) *Salmonella typhimurium*

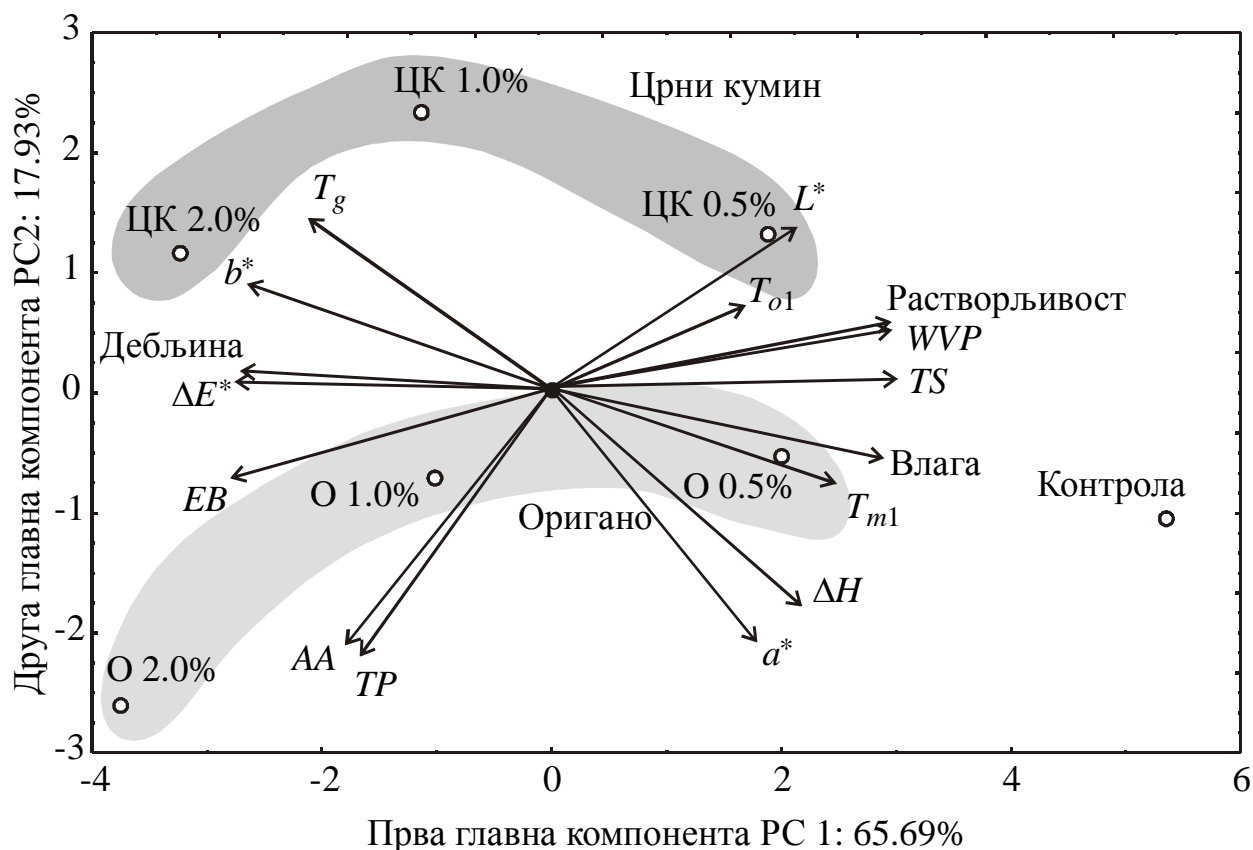
Слика 4.16. Микробиолошка активност (инхибиционе зоне) јестивих скробних филмова са додатком есенцијалних уља

Као што се очекивало, бољи резултат инхибиције запажен је при већим концентрацијама додатог уља оригана. То показује да је антимикуробно дејство филмова директно повезано са концентрацијом додатог уља. Мора се узети у обзир да повишене концентрације уља могу имати озбиљан утицај на сензорске особине мењајући природан мирис и укус хране која се пакује.

4.2.8. Анализа главних компонената

Анализа главних компонената (Principal Component Analysis- PCA) омогућава значајно смањење у броју променљивих и откривање структуре веза између мерених параметара и узорака (слика 4.17.). Матрица свих прикупљених ауто-скалираних података, која се састоји од седам различитих комбинација процесних параметара је коришћена за PCA анализу.

За визуелизацију трендова података и испитивање ефикасности одвајања коришћених дескриптора (променљивих) нацртан је PCA биplot график узорака при чему су коришћене прве две главне компоненте (PC) које су добијене из PCA матрице података (слика 4.17.). Као што се може видети, постигло се добро раздвајање за седам узорака.



Слика 4.17. Биplot слика узорака скробних филмова са додатком есенцијалних уља

Резултати показују да су прве две главне компоненте, обухватиле 83,62% од укупне варијабилности, што се може сматрати довољним за представљање података. Променљива Дебљина (која је приказала 7,63% укупне варијабилности), Влага (8,65%), Растворљивост (8,99%), CIE b^* (7,27%), CIE ΔE^* (7,97%), TS (9,38%), EB (8,07%) и WVP (9,03%) су биле најутицајнији за прорачун прве факторске координате, док је допринос променљивих ΔH (који је обухватио 13,3% укупне варијансе), T_g (8,59%), CIE L^* (7,87%), CIE a^* (17,8%), AA (18,4%) и TP (20,0%) били најважнији за прорачун друге факторске координате. Прва главна компонента је била под јачим утицајем физичких особина узорака, док је друга главна компонента више под утицајем антиоксидативних карактеристика. CIE b^* вредност и укупна светлоћа узорака кореспондирала су више са физичким особинама, док је CIE a^* вредност била више корелисана са другом главном компонентом.

Утицај додатка есенцијалних уља се може посматрати на **слици 4.17**, која показује да су узорци са мање уља више растворљиви и са већим садржајем влаге. С друге стране, узорци који имају већи садржај есенцијалних уља су дебљи. Узорци који имају мањи садржај есенцијалних уља су лакши и црвенкастији (узорци са црним кумином), а узорци који имају већи садржај есенцијалних уља су више жућкасти (узорци са ориганом). Узорак без додатка уља (контролни филм) је транспарентнији. Узорци са додатком уља оригана показали су боља антиоксидативна својства и већи садржај укупних фенола, у поређењу са узорцима са црним кумином. Додавање есенцијалних уља смањило је термичку стабилност јестивих скробних филмова.

4.3. ПРИМЕНА ОПТИМИЗОВАНОГ ЈЕСТИВОГ АКТИВНОГ СКРОБНОГ ФИЛМА НА ОСМОТСКИ ДЕХИДРИРАНО МЕСО

4.3.1. УТИЦАЈ ОСМОТСКЕ ДЕХИДРАТАЦИЈЕ НА КАРАКТЕРИСТИКЕ МЕСА

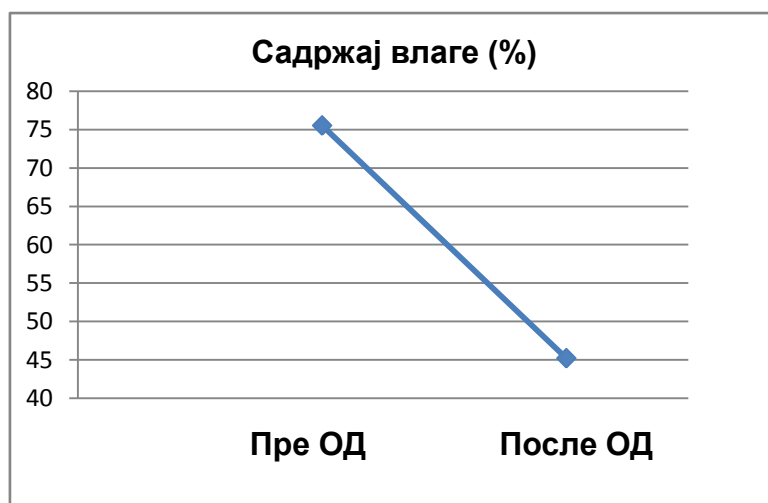
4.3.1.1. Физичко-хемијски параметри

Физичко-хемијски параметри за узорке свежег меса пре и након осмотске дехидратације су приказани на **сликама 4.18.- 4.20**. Резултати представљају средњу вредност 3 мерења.

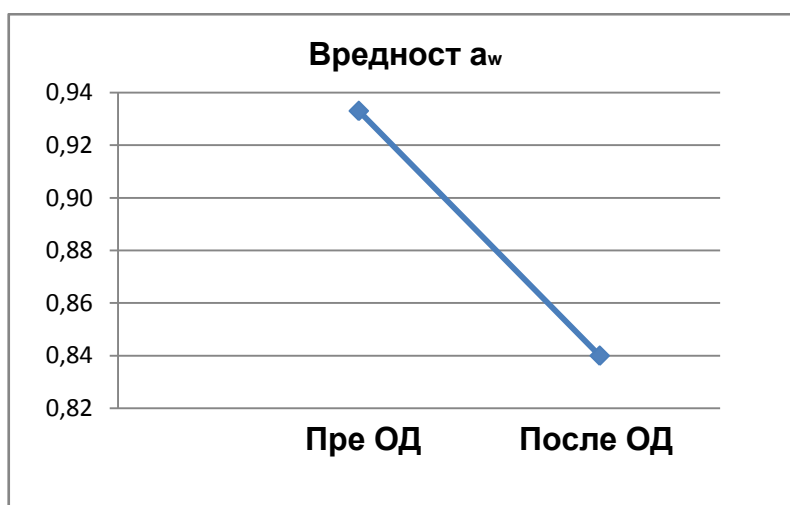
Осмотска дехидратација меласом шећерне репе узроковала је значајан губитак влаге из узорка меса. **Садржај влаге** смањено се са 75,503 % на 45,190 % након осмотске дехидратације (**слика 4.18.**), што је праћено и редукцијом a_w вредности са 0,933 на 0,840 (**слика 4.19.**). Последица су значајно стабилнији узорци меса у поређењу са свежим месом. Услед смањења садржаја воде, повећава се процентуални удео протеина и масти у осмотски дехидрираним узорцима. Добијени резултати су у сагласности са резултатима *Filipović (2013)* у чијем раду је садржај влаге опао са 74,54% на 43,47% након осмотске дидратације. Резултати *Lončar (2015)* показују да након осмотске дехидратације

рибе сребрног караша у меласи шећерне репе долази до смањења садржаја влаге са 75,34% на 47,04%.

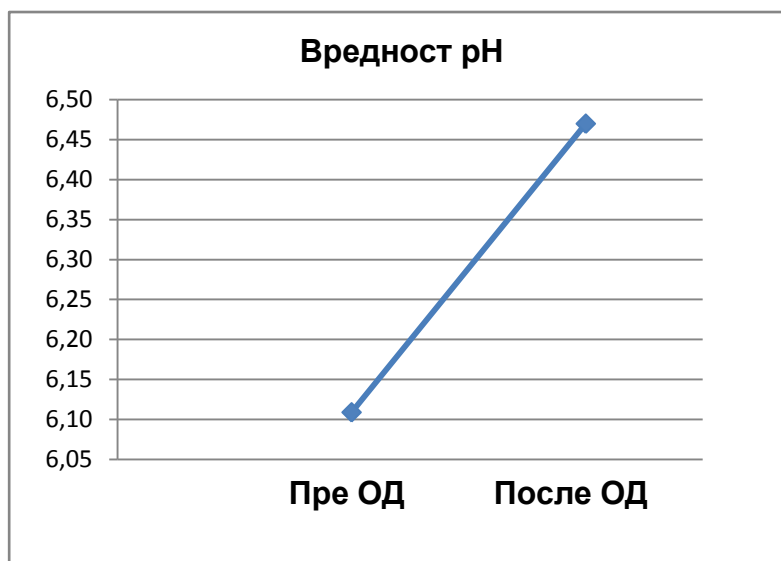
Вредност рН један је од најважнијих показатеља квалитета сировог меса јер има специфичан утицај на сензорни и технолошки квалитет меса. Испитивано свеже свињско месо имало рН вредност 6,109. Након осмотске дехидратације мелаом шећерне репе, рН вредност порасла је на 6,470 (**слика 4.20.**). Разлог за пораст рН вредности налази се у чињенци да примењена меласа шећерне репе има рН вредност 8,71 што је утицало на промену рН вредности меса. рН вредност меласе је након осмотског третмана опала на 8,45.



Слика 4.18. Садржај влаге (%) свињског меса пре и након осмотске дехидратације



Слика 4.19. Активност воде (a_w) свињског меса пре и након осмотске дехидратације



Слика 4.20. Вредност рН свињског меса пре и након осмотске дехидратације

Смањена **вредност a_w** доприноси микробиолошки стабилнијим производима без значајног нарушавања квалитета производа и нутритивног састава, у поређењу са традиционалним методама сушења. Смањење вредности a_w свињског меса након осмотске дехидратације у корелацији је са резултатима *Filipović (2013)* где долази до смањења вредности a_w свињског меса са 0,926 на 0,884. Осмотском дехидратацијом сребрног караша у меласи шећерне репе долази до смањења вредности a_w са 0,944 на 0,894 (*Lončar, 2015*).

Управо прираст суве материје доводи и до промене сензорског и хемијског профила осмотски дехидрираног производа у поређењу са свежеом сировином. Хемијски састав осмотског раствора, стога, условиће и промену сензорских карактеристика производа. Истраживања су показала да процес осмотске дехидратације побољшава квалитет дехидрираног производа са аспекта боје, укуса и текстуре (*Rahman, 2007*).

4.3.1.2. Садржај минерала

Меласа шећерне репе је погодан медијум за осмотску дехидратацију због високог садржаја суве материје и специфичног нутритивног састава, у ком су сви минерали у раствореном стању. Најзначајнија процена утицаја осмотске дехидратације на нутритивни аспект дехидрираног производа се огледа у утицају меласе шећерне репе на хемијски и нутритивни профил дехидрираног свињског меса, у поређењу са профилом свежег меса. Специфични хемијски састав меласе, свежег меса и дехидрираног меса је приказан у **табели 4.12**. Резултати представљају средњу вредност 3 мерења.

Табела 4.12. Садржај минерала (mg/100g)

	Садржај минерала (mg/100g)				
	Fe	Mg	Ca	K	Na
Меласа шећерне репе	5,45±0,15 ^c	87,81±0,48 ^b	660,49±1,70 ^c	2482,98±2,43 ^c	1144,18±10,32 ^c
Свеже свињско месо	1,74±0,01 ^a	28,14±0,01 ^a	21,36±0,03 ^a	367,82±2,72 ^a	57,16±0,22 ^a
Осмотски дехидрирано месо	3,89±0,02 ^b	118,43±0,50 ^c	38,83±0,98 ^b	1195,51±3,94 ^b	228,34±0,49 ^b

^{a-g} Различита слова у суперскрипту у истој колони у табели показују да постоје статистички значајне разлике средњих вредности посматраних података (на нивоу $p < 0,05$)

Садржај минерала је знатно повећан након осмотске дехидратације меса, што се огледа у значајном порасту количине сваког испитиваног минерала, па је нутритивни квалитет побољшан. На основу **табеле 4.12** може се закључити да је садржај минерала у узорцима осмотски дехидрираног меса највише повећан код магнезијума и натријума (око 4 пута). Садржај магнезијума у свежем месу износио је 28,14 mg/100g, док је након осмотске дехидратације износио 118,43 mg/100g. Садржај натријума је у свежем месу износио 57,16 mg/100g, а у узорцима осмотски дехидрираног меса 228,34 mg/100g. Садржај калцијума је најмање промењен поступком осмотске дехидратације и то са 21,36 mg/100g

код узорака свежег меса, на 38,33 mg/100g код узорака осмотски дехидрираног меса.

Поређење узорака осмотски дехидрираног меса, у погледу садржаја минерала, је обављено применом post-hoc Tukey-ев HSD теста и статистички значајне разлике су пронађене код свих узорака, $p < 0.05$ (Табела 4.12.).

4.3.1.3. Утицај рехидратације на физичке параметре осмотски дехидрираног меса

Дехидрирани производи се морају рехидрирати пре даље обраде или саме употребе како би повратили особине сировине из које су добијени. Узорци су дехидрирани у 1.) раствору меласе шећерне репе и 2.) засићеном раствору NaCl+сахароза. Променљиве које описују пренос масе током рехидратације су време (t) од 15, 30, 45 и 60 min и температуре (T) од 20, 40 и 60 °C, а зависне променљиве су били одзиви: проценат рехидратације (за узорке третиране у растворима 1 или 2) (Y_1 , Y_2 , респективно), и промена запремина узорка (за узорке третиране у растворима 1 или 2) (Y_3 , Y_4 , респективно) (табела 4.13.).

Табела 4.13. Експериментални подаци за рехидратацију свињског меса

	T [°C]	t [min]	R у раствору 1 [%]	R у раствору 2 [%]	dV у раствору 1 [%]	dV у раствору 2 [%]
1	20	15	11,072±0,688 ^b	9,272±0,538 ^d	3,592±0,125 ^b	4,565±0,190 ^b
2	20	30	20,012±1,144 ^d	17,389±0,719 ^f	6,049±0,143 ^e	5,413±0,143 ^b
3	20	45	20,196±1,219 ^d	23,159±1,094 ^g	4,089±0,116 ^b	7,287±0,151 ^d
4	20	60	24,114±0,941 ^g	26,186±0,446 ^h	14,914±0,709 ^a	9,597±0,660 ^a
5	40	15	5,536±0,272 ^e	2,010±0,072 ^e	3,681±0,143 ^b	10,078±0,184 ^a
6	40	30	8,599±0,338 ^f	4,430±0,159 ^c	16,099±0,669 ^a	22,615±1,020 ^g
7	40	45	12,679±0,925 ^b	5,447±0,099 ^c	16,218±0,724 ^a	15,953±0,718 ^e
8	40	60	11,331±0,205 ^b	7,887±0,329 ^d	16,336±1,276 ^a	9,291±0,242 ^a
9	60	15	-7,416±0,312 ^a	-8,022±0,208 ^b	16,138±0,541 ^a	9,056±0,387 ^a

10	60	30	-7,901±0,137 ^a	-8,830±0,422 ^b	8,524±0,162 ^f	18,947±0,459 ^f
11	60	45	-9,442±0,671 ^{ac}	-11,087±0,372 ^a	-0,719±0,025 ^d	5,774±0,090 ^b
12	60	60	-10,952±0,665 ^c	-11,998±0,566 ^a	-9,962±0,732 ^c	-7,399±0,181 ^c

^{a,b,c...} Вредности са истим словом у колони нису статистички различите, на нивоу $p < 0$, (post-hoc Tukey HSD тест). T – температура, t – време, R - проценат рехидратације, dV - промена запремине

ANOVA табела (Табела 4.14.) показује утицајност независних променљивих (T и t), на одзивне променљиве (R и dV), за два типа осмотских раствора. Утицај температуре на степен рехидратације (R) био је доминантан, као што се види по квадратном члану SOP модела за температуру, статистички значајно на нивоу $p < 0,05$. Утицај нелинеарних чланова SOP модела је најизраженији на dV посебно квадратног члана температуре (за раствор 2) и члана производа $T \times t$ (за раствор 1).

Табела 4.14. ANOVA табела, сума квадрата разлика

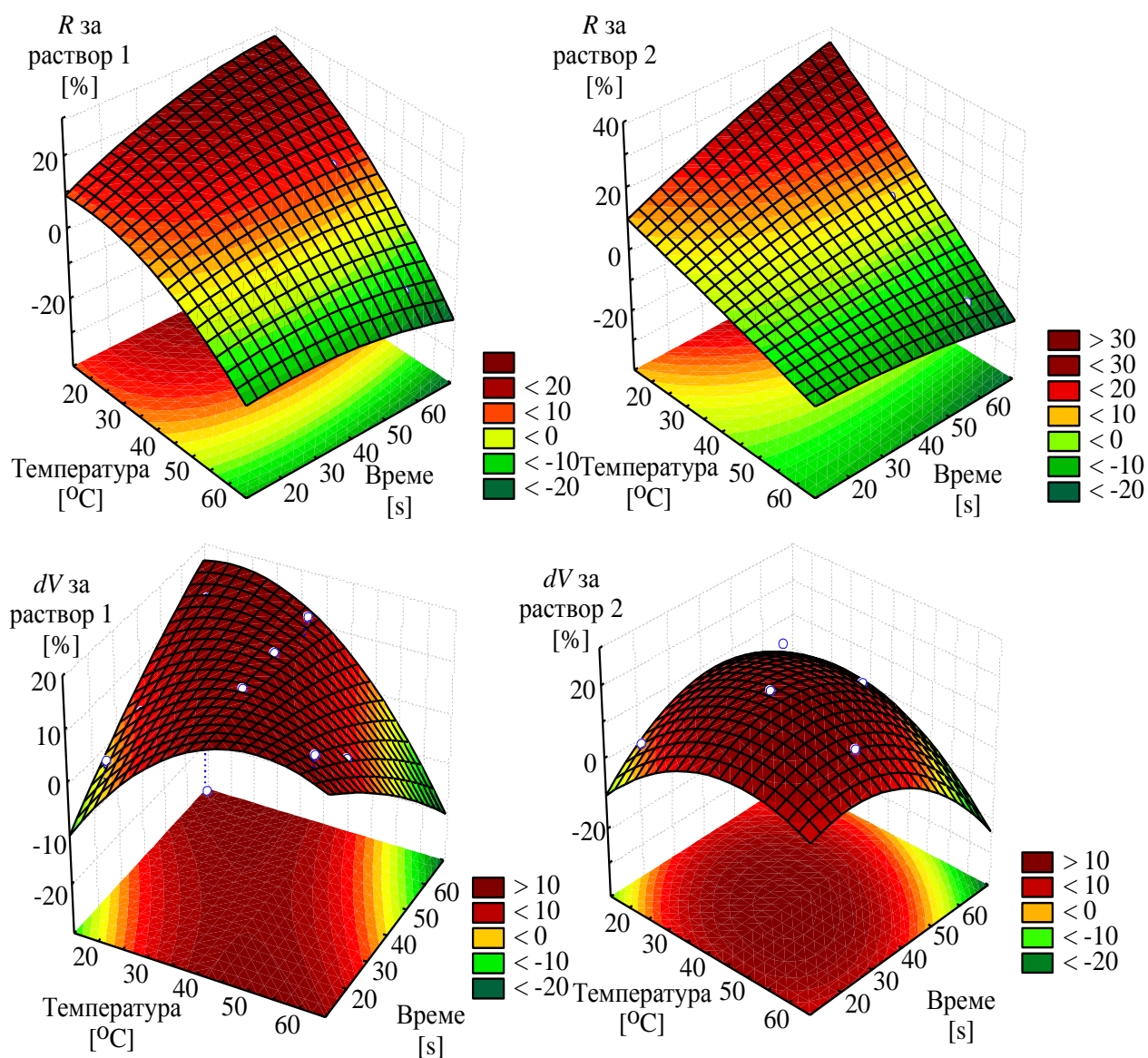
Члан	dF	R узорка третираног у раствору 1	R узорка третираног у раствору	dV узорка третираног у раствору 1	dV узорка третираног у раствору 2
T	1	1543,020 [*]	1680,341 [*]	26,873 ^{**}	0,029 ^{ns}
t	1	39,412 [*]	61,962 [*]	5,074 ^{ns}	49,671 ^{**}
T^2	1	55,845 [*]	0,504 ^{ns}	160,379 [*]	163,464 [*]
t^2	1	9,117 ^{**}	2,231 ^{ns}	2,576 ^{ns}	138,729 [*]
$T \times t$	1	66,196 [*]	124,950 [*]	357,289 [*]	158,027 [*]
Грешка	6	14,324 ^{ns}	5,256 ^{ns}	30,459 ^{ns}	8,300 ^{ns}
r^2		99,171	99,220	91,467	93,665

*Статистички значајан на нивоу $p < 0.05$, ** Статистички значајан на нивоу $p < 0.10$,

^{ns}Није значајан. dF - број степени слободe, R - проценат рехидратације, dV - промена запремине

Сви SOP модели нису имали статистички значајне грешке модела, што значи да су сви модели представили податке на задовољавајући начин. Вредности коефицијента корелације (r^2) за R за узорке третиране у раствору 1

(99,171) и у раствору 2 (99,220) били су веома задовољавајући што показује добро уклапање модела са експерименталним резултатима (Табела 4.14.). Вредности коефицијента корелације промене запремине за узорке третиране у раствору 1 (91,467) и раствору 2 (93,665) су показали мање сигурне резултате модела.



Слика 4.21. Тродимензионални графици за рехидратацију а) и промене запремине б) у меласи шећерне репе и рехидрација с) и промене запремине д) у раствору NaCl + сахароза као функција од промене температуре и времена

Максималан степен рехидратације се постиже за максимално време (60 минута), док је температура релативно ниска (20°C), за оба раствора 1 и 2. Промене у запремини достижу свој максимум на благим температурама и просечном времену (40°C и 30 минута), а ниска температура рехидратације (20°C) и дуго време обраде (60 минута) су оптимални. Високе температуре би требало избегавати, због трошкова производње, високе цене енергије, а такође и деградације структуре свињског меса.

4.3.1.4. Утицај рехидратације на минерални састав осмотски дехидрираног меса

Након осмотског третмана меласом шећерне репе, узорци меса су рехидрирани на константној температури (20°C, 30°C, 40°C) при различитим временима потапања (15 min, 30 min, 45 min и 60 min) у дестилованој води. Циљ је испитивање утицаја температуре и времена трајања рехидратације на ефективни коефицијент дифузије воде, сахарозе и минерала (Na, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn и Mn). Експериментално су одређивани: садржај воде (X_w ; g воде/g суве материје) и садржаји минерала (X_{Na} -mg Na/g узорка; X_{Ca} -mg Ca/g узорка; X_K -mg K/g узорка; X_{Mg} -mg Mg/g узорка; X_{Cu} -mg Cu/g узорка; X_{Fe} -mg Fe/g узорка; X_{Zn} -mg Zn/g узорка; X_{Mn} -mg Mn/g узорка) током различитог времена потапања у свим експериментима. **Табела 4.15.** показује одзиве у функцији независних променљивих.

Табела 4.15. Експериментални подаци за анализу одзивне функције

Време (min)	Темп. (°C)	X_w %	X_{Na} mg/g	X_K mg/g	X_{Ca} mg/g	X_{Mg} mg/g	X_{Cu} mg/g	X_{Fe} mg/g	X_{Zn} mg/g	X_{Mn} mg/g
0	-	41,99	375,52	938,91	118,19	33,41	0,23	1,37	1,99	0,37
15	20	50,69	295,06	711,84	93,50	28,63	0,21	1,24	1,88	0,33
30	20	54,36	255,50	673,58	80,59	25,87	0,20	1,22	1,78	0,30
45	20	57,96	235,34	543,14	75,31	24,03	0,19	1,19	1,64	0,26
60	20	58,37	218,61	480,09	71,03	21,96	0,15	1,17	1,58	0,23

15	30	52,45	279,05	659,98	85,46	27,67	0,14	1,22	1,80	0,30
30	30	57,23	246,33	578,20	78,20	24,73	0,13	1,19	1,72	0,27
45	30	60,10	225,02	514,73	73,25	23,65	0,11	1,15	1,58	0,24
60	30	60,43	212,58	461,53	69,05	21,55	0,10	1,10	1,51	0,21
15	40	55,71	253,53	546,15	83,32	25,37	0,13	1,14	1,75	0,25
30	40	58,44	224,16	500,84	76,72	23,74	0,11	1,09	1,61	0,23
45	40	60,12	207,69	455,34	71,41	21,99	0,10	1,07	1,52	0,21
60	40	61,97	193,62	413,67	66,86	20,90	0,09	1,03	1,45	0,18

Средња вредност разлике између мерених и предвиђених вредности била је испод 10%, што показује да је модел употребљив у практичним применама. Статистички значај развијених модела одређен је анализом варијансе (ANOVA) која је показала да резултати модела минимално одступају од реалних вредности. **Табела 4.16.** показује утицаје процесних параметара на одзиве.

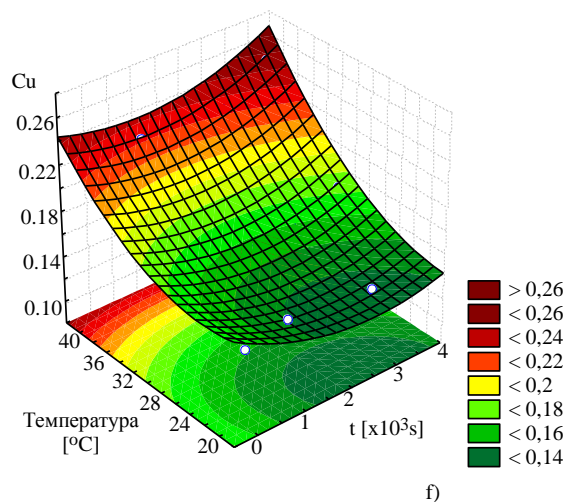
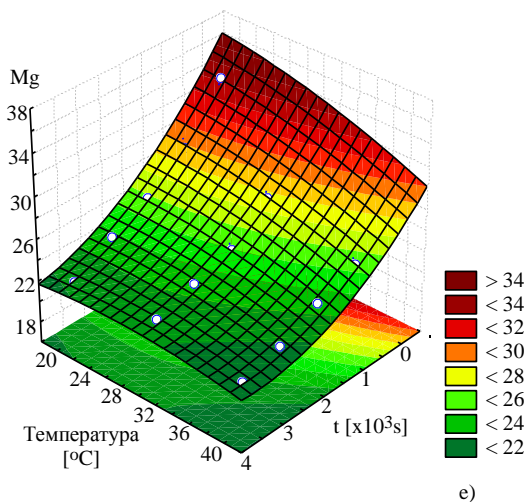
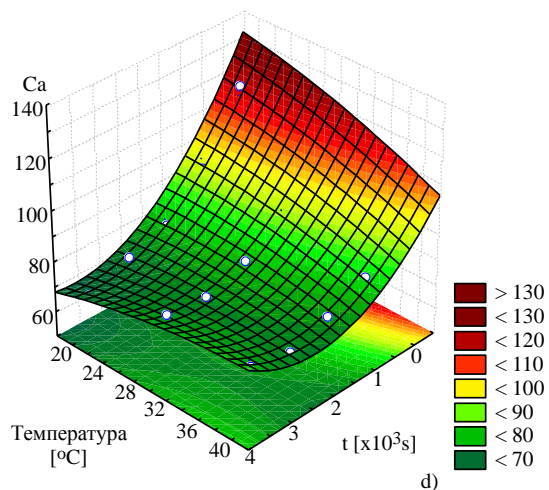
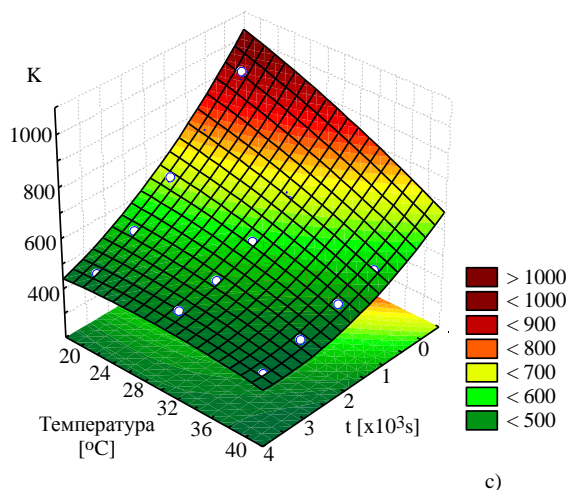
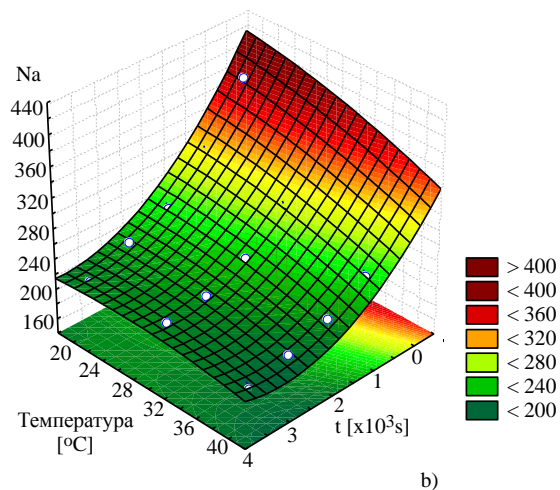
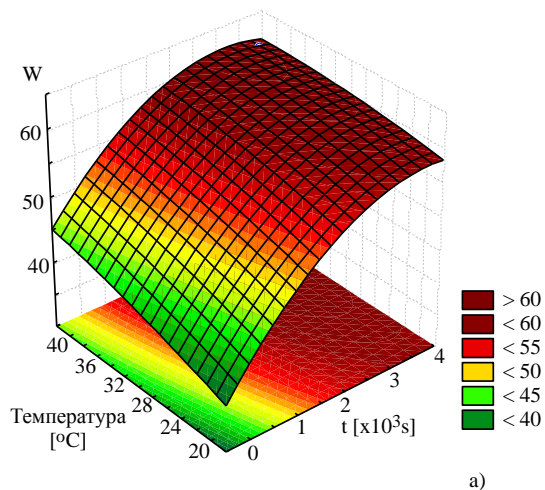
Tabela 4.16. ANOVA табела

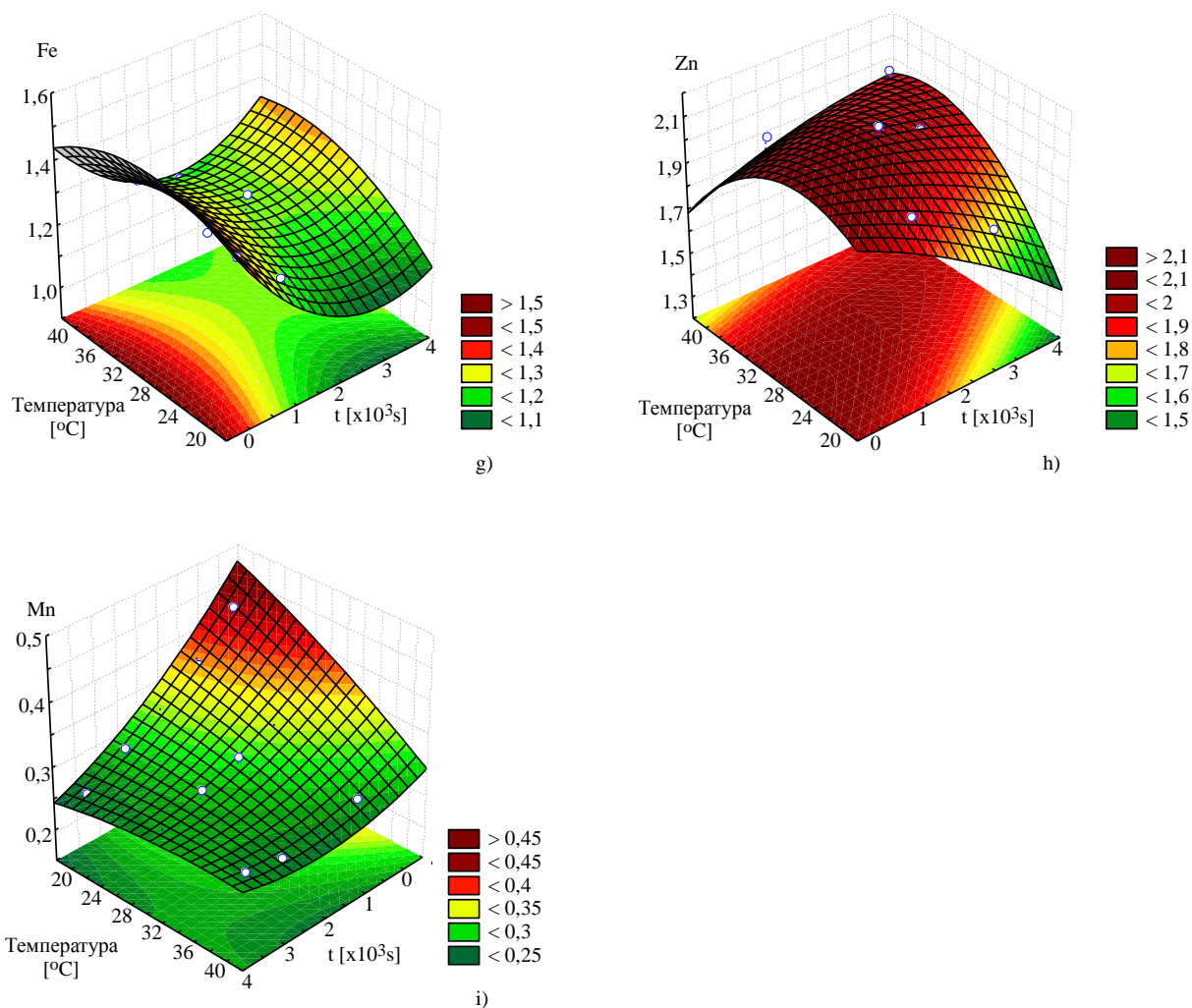
	df	X_w	X_{Na}	X_K	X_{Ca}	X_{Mg}	X_{Cu}	X_{Fe}	X_{Zn}	X_{Mn}
t	1	91,04*	7402,15*	61917,73*	549,40*	53,11*	0,002*	0,016*	0,154*	0,013*
t ²	1	6,15*	284,31*	4,60	15,73*	0,36**	0,000	0,000**	0,001	0,000
T	1	27,60*	1969,09*	30338,00*	61,16*	9,01*	0,013*	0,030*	0,038*	0,008*
T ²	1	0,33	75,08*	452,66	1,94	0,31	0,001	0,001*	0,000	0,000*
t·T	1	0,95	71,05*	3662,44*	8,10**	1,12*	0,000	0,000	0,000	0,000*
Грешка6	2,59	26,07	1653,74	11,63	0,55	0,001	0,001	0,002	0,000*	
r ²		0,977	0,968	0,999	0,929	0,931	0,976	0,931	0,976	0,943

*Статистички значајан на нивоу $p < 0.05$, ** Статистички значајан на нивоу $p < 0.10$, ^{ns}Није значајан. df - број степени слободe, R - проценат рехидратације, dV - промена запремине

Двoдимензионални контурни графици приказани су на **слици 4.22.**, ради приказивања експерименталних мерења (беле тачке на графику), као и за визуелну оцену поклапања регресионих модела за садржај влаге, и губитка Na, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn и Mn) то са експерименталним подацима. График за

садржај воде показује растући тренд док се садржај минерала смањује током процеса.





Слика 4.22. Одзивне површи за садржај воде (W) и минерала током рехидратације у зависности од температуре и времена потапања свињског меса [mg/100g]

Једначина Zugarramurdi и Lupin-ова се показала као добра за пораст и смањивање саджаја минерала, пошто се показало да је вредност коефицијента детерминације била изнад 0,975 за све случајеве. Резултати добијени у овој анализи се слажу са фундаменталном теоријом, према којој масена дифузија зависи од температуре, притиска и врсте материје која је укључена у процес. Многи истраживачи приказују резултате дифузије у распону тачно одређених температура, а често се зависност ефективног коефицијента дифузије од температуре представља Arrhenius - овом једначином, првог реда.

Добијена ефективна дифузивност је била између $8,35$ и $9,11 \cdot 10^{-10}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) за влагу, $6,30$ - $6,94 \cdot 10^{-10}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), за Na, $5,73$ - $7,46 \cdot 10^{-10}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), за K, $4,43$ - $6,25 \cdot 10^{-10}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), за Ca, $5,35$ - $6,25 \cdot 10^{-10}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), за Mg, $4,67$ - $6,78 \cdot 10^{-10}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), за Cu, $4,68$ - $5,33 \cdot 10^{-10}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), за Fe, $4,21$ - $5,04 \cdot 10^{-10}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), за Zn и $5,44$ - $7,16 \cdot 10^{-10}$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$), за Mn. Вредности добијене ефективне дифузивности за воду и за минерале расле су са порастом температуре, статистички значајно на нивоу $p < 0,05$, 95% граница поверења.

4.3.2. КАРАКТЕРИЗАЦИЈА ПОЛИМЕРНИХ МАТЕРИЈАЛА

За паковање осмотски дехидрираног меса одабрани су вишеслојни високо баријерни амбалажни материјали, који се уобичајено користе у индустрији прераде меса. Означени су као:

Фолија 1 – доња фолија, састава: PVC//PE–EVOH–PE,

Фолија 2 – горња фолија, састава PET//PE–EVOH–PE.

4.3.2.1. Механичке особине

Дефинисање механичких особина амбалажних материјала подразумева испитивање затезне јачине и издужења при кидању. Ове карактеристике су важне јер указују на својства материјала како би били правилно примењени, као и на отпорност током транспорта, руковања и складиштења. Вредности затезних јачина и издужења при кидању узорака фолија приказани су у **табели 4.17**. Вредности затезних јачина и издужења при кидању уздужног правца имају два пута већу вредност од узорака попречног правца. Резултати мерења затезне јачине и издужења потврђују добра механичка својства тестираних материјала.

Табела 4.17. Затезна јачина (MPa), издужење при кидању (%) и дебљина (μm) за фолије 1 и 2

Механичке особине	Узорак фолије	Затезна јачина (N/15mm)	Издужење при кидању (%)	Дебљина (μm)
Правац				
Уздужно	1	0,31 \pm 0,01 ^d	44,90 \pm 13,70 ^d	302,50 \pm 4,00
	2	0,21 \pm 0,01 ^c	6,60 \pm 2,10 ^b	61,90 \pm 0,60
Попречно	1	0,15 \pm 0,01 ^b	23,10 \pm 5,90 ^c	302,50 \pm 4,00
	2	0,12 \pm 0,01 ^a	3,20 \pm 1,00 ^a	61,90 \pm 0,60

^{a-d} различита слова у оквиру истог реда показују значајне разлике ($p < 0,05$), 95% граница поверења, према post-hoc Tukey-ијевом тесту

Дебљина амбалажних материјала дефинише механичке карактеристике и од суштинског је значаја за формирање амбалажних јединица (амбалаже). Измерена дебљина узорка фолије 1 и 2 износила је 302,50 \pm 4,00 и 61,90 \pm 0,60 μm , респективно. Добијени резултати, односно мале вредности стандардне девијације, указују на добру униформност дебљине на свим позицијама мерења.

4.3.2.2. Баријерне особине

Пропустљивост гасова и водене паре кроз све полимерне материјале је неизбежна у мањој или већој мери и управо ова пропустљивост дефинише употребу материјала за паковање одређених прехранбених производа. Резултати који се односе на пропустљивост гасова и водене паре узорка фолије 1 и 2 су приказани у **табели 4.18**. За оба узорка фолије констатује се ниска пропустљивост водене паре, што је последица састава фолија, природе материјала и технологије производње.

Табела 4.18. Пропустљивост гасова ($\text{ml m}^{-2}/24 \text{ h}$) и водене паре ($\text{ml m}^{-2}/24\text{h}$) за фолије 1 и 2

Фолија	CO ₂	O ₂	N ₂	Ваздух	Водена пара
1	23,80±6,90	15,50±7,60	0	3,60±2,10	6,90 ± 0,19
2	23,90±4,00	26,00±0,60	26,90±3,50	26,60±2,60	9,50 ± 0,06

Пошто се ови материјали користе за паковање производа у условима модификоване атмосфере, треба узети у обзир пропустљивост за угљен-диоксид и азот. У поређењу са резултатима *Lazić и сар. (2010)*а, који су такође анализирали амбалажне материјале који се користе у месној индустрији, приказани резултати показују боље особине материјала у погледу пропустљивости CO₂ и N₂.

4.3.2.3. Анализа животног циклуса полимерне амбалаже

Коришћени софтвер за анализу животног циклуса амбалаже, *Gabi 4 Education*, захтева прикупљање свих потребних података везаних за процес паковања (капацитет и снага пакерице, број радних сати, потрошња воде и електричне енергије, количина и врста транспортне амбалаже, итд.), дистрибуцију, продају, потрошњу и одлагање отпада.

Пакерица узима обе амбалажне фолије како би формирала затворену амбалажу, и при том затвара 100 g меса као финални производ. Након тога, 12 затворених и напуњених амбалажних јединица се поставља у картонске кутије, које су транспортна амбалажа. Узета је у обзир дистрибуција, продаја и потрошња меса. Према плану пластични материјали су посматрани као отпад, а картонске кутије као амбалажа која се може рециклирати.

GaBi 4 Education софтвер захтева да се дефинише функционална јединица. Функционална јединица је квантификована јединица функције система неком физичком величином. Једна упакована амбалажна јединица је постављена као функционална јединица, па је фактор скалирања постављен на

15000 због капацитета постројења, која износи 500 кг упакованог меса по дану (30 дана × 500 kg = 15000 kg месечно).

Границе система су постављене као „gate-to-gate“. Овај приступ LCA подразумева еколошку процену утицаја сваке фазе радног циклуса, као и завршног третмана („End Of Life“), који подразумева рециклирање и одлагање отпада. Након повезивања, појединачни процеси се евидентирају у систему и софтвер израчунава биланс, који обезбеђује резултате.

Прва LCA фаза се састоји од израчунавања потрошене количине енергије и сировина током животног циклуса, а тај процес даје попис свих улаза и излаза (Табела 4.19.). Друга LCA фаза подразумева евалуацију ефеката елемената који имају утицај на животну средину, што постаје фактор оптерећења животне средине (Слике 4.23. и 4.24.).

Табела 4.19. Укупне и парцијалне емисије

Процеси		Токови	Картонске кутије	Депонување пластике	Пијаћа вода	Снага
Емисија у ваздух	Емисија тешких метала	2902,36	0,15	0,010	101,10	2801,10
	Неорганска емисија	2768,29	0,17	0,010	12,60	2755,51
	Органска емисија	4407,88	0,02	0,010	2,80	4405,05
	Честице	20,80	0	0,001	2,50	18,30
Емисија у ваздух (укупно)		10099,33	0,34	0,031	119,00	9979,96
Емисија у воду	Емисија у свежу воду	88,13	0,02	0,006	2,00	86,10
	Емисија у морску воду	8,41	0	0,001	0,41	8,00
Емисија у воду (укупно)		96,54	0,02	0,007	2,41	94,10
Емисија у индустријско		18,62	0,01	0,001	0,01	18,60

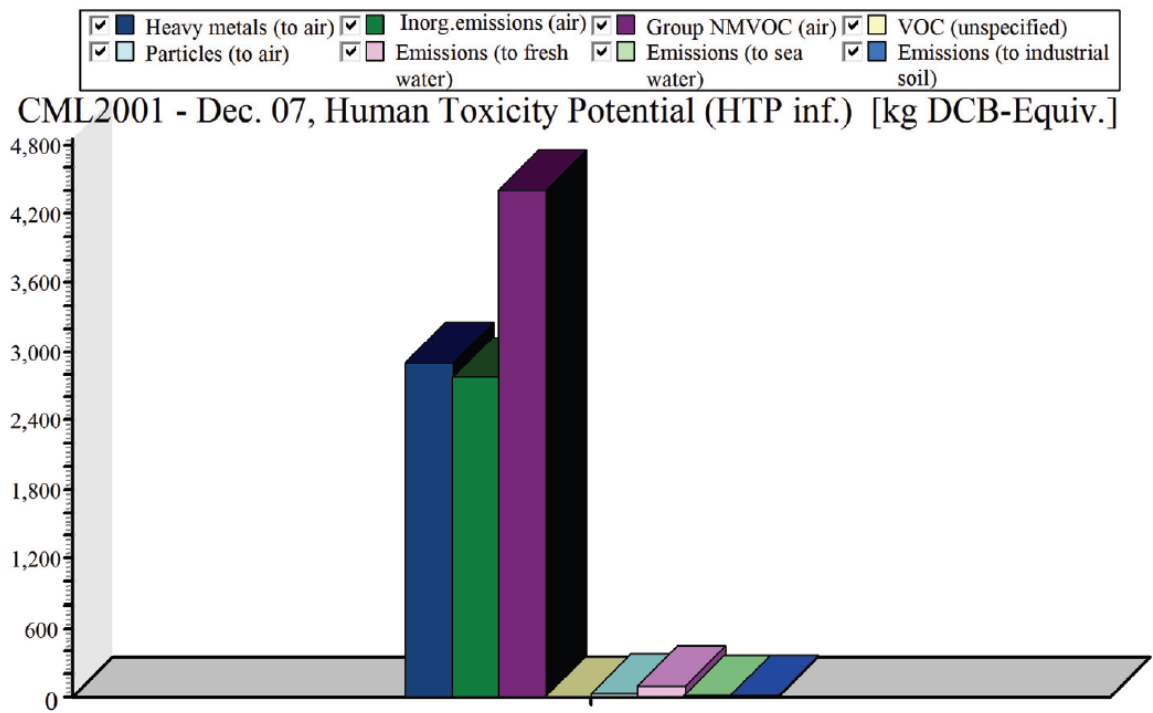
земљиште					
Токови - тотал	10214,49	0,37	0,039	121,42	10092,66

Табела 4.19. показује да међу свим токовима система, емисија у ваздух има највећи негативан утицај: органска емисија (4407,90), затим емисија тешких метала (2902,30) и потом неорганска емисија (2768,30). Емисије у свеже и морске воде, као и земљиште су безначајне у односу на штетну емисију у ваздух. **Табела 4.19.** показује да снага има највећи ефекат, који заправо значи процес паковања, јер је то тачка у којој се користи највише снаге. Предлог смањења штетне емисије би била модификација процеса паковања.

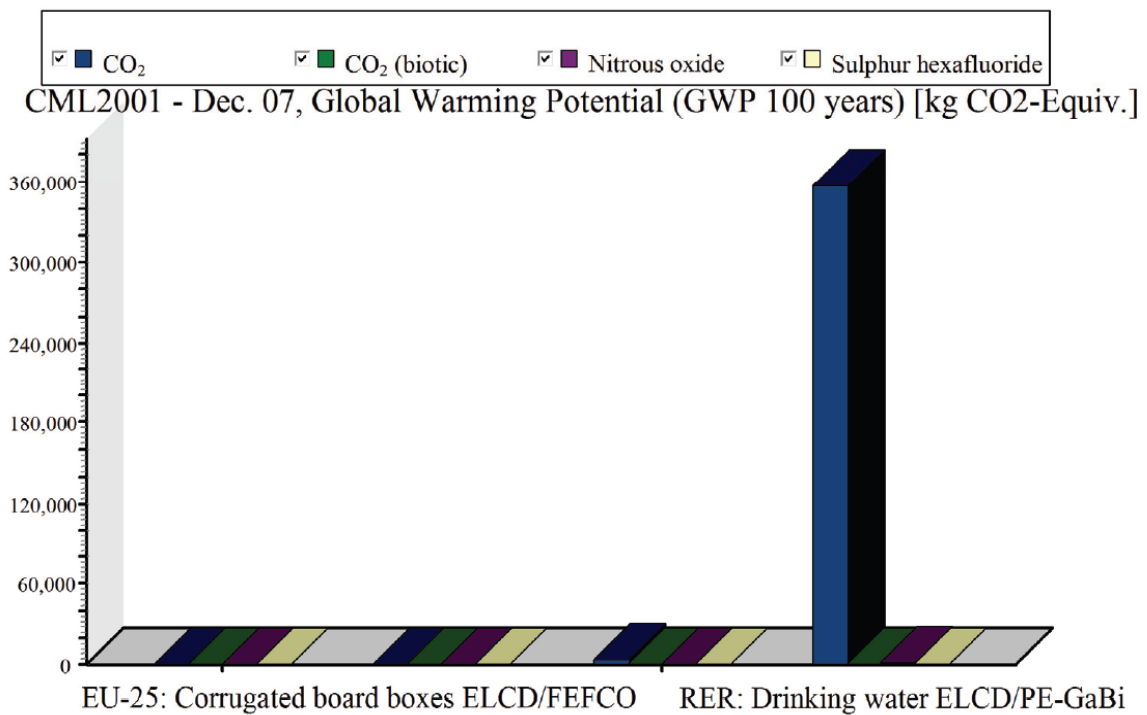
Између многих параметара који припадају GaBi 4 Education софтверу, бирају се јединице којима се представљају резултати. Одабрана су два параметра: Human Toxicity Potential и Global Warming Potential. Ови параметри су одабрани како би преко њих квантификовали негативан утицај процеса паковања на здравље људи и човекову околину.

Карактеризација резултата омогућава конверзију резултата у референтне јединице множењем одређеним фактором (нпр kg DCB-Equiv. или kg CO₂/Equiv.), тако да се сви чланови функција могу сажети и јединица суме се изражава као kg DCB-Equiv. или као kg CO₂/Equiv.

Коришћен је CML2001 – Dec. 07, Human Toxicity Potential (HTP inf., kg DCB-Equiv.) као јединица у плану паковања меса у модификовану атмосферу (Meat Modified Atmosphere Packaging). Коришћењем анализе слабе тачке („weak point“), највећи утицај на људско здравље потиче од штетних емисија у ваздух, нарочито органске емисије, што се може видети у **табели 4.19.** и **слици 4.23.**



Слика 4.23. Приказ утицаја различитих емисија коришћењем јединице *Human Toxicity Potential*



Слика 4.24. Приказ утицаја различитих емисија коришћењем јединице *Global Warming Potential*

Коришћењем CML 2001 – Dec 07, Global Warming Potential (GWP 100 years, kg CO₂/Equiv.) као јединице у плану паковања меса у модификовану атмосферу (Meat Modified Atmosphere Packaging) добијају се нови резултати (**Слика 4.24.**), који указују на CO₂ као главног загађивача.

4.3.3. ИСПИТИВАЊЕ КВАЛИТЕТА УПАКОВАНОГ ОСМОТСКИ ДЕХИДРИРАНОГ МЕСА

На основу добијених резултата може се закључити да јестиви премаз са 40% глицерола, 0,1% гуар-ксантана и 2% есенцијалног уља оригана има оптималне карактеристике. Осмотски дехидрирано месо је потопљено у оптимизован филмогени раствор у трајању од 15 секунди, уз константно мешање. На **слици 4.25.** приказано је осмотски дехидрирано свињско месо заштићено скробним премазом пре и након паковања.





Б)

Слика 4.25. Осмотски дехидрирано свињско месо заштићено скробним премазом а) пре и б) након паковања

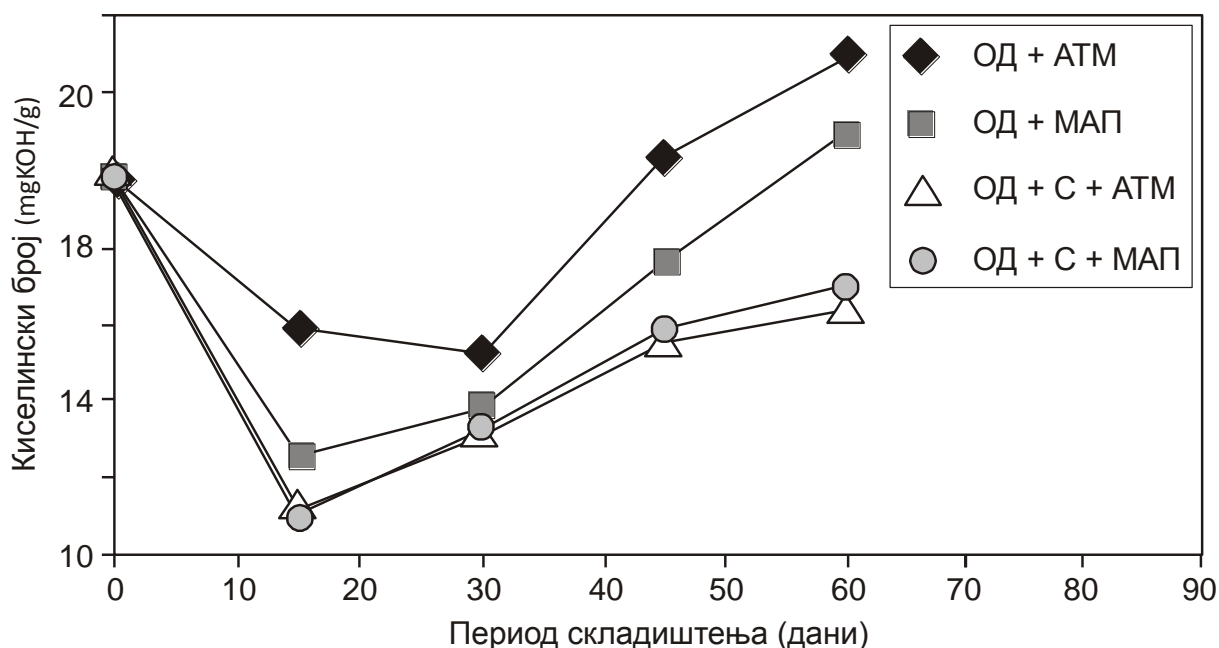
Узорци осмотски дехидрираног меса су упаковани и означени на следећи начин:

- **ОД+АТМ** – узорци осмотски дехидрираног меса (**ОД**) паковани у полимерне амбалажне материјале у атмосферским условима (**АТМ**);
- **ОД+МАП** – узорци осмотски дехидрираног меса (**ОД**) паковани у полимерне амбалажне материјале у условима модификоване атмосфере (**МАП**);
- **ОД+С+АТМ** – узорци осмотски дехидрираног меса (**ОД**) заштићени скробним премазом (**С**) паковани у полимерне амбалажне материјале у атмосферским условима (**АТМ**);
- **ОД+С+МАП** – узорци осмотски дехидрираног меса (**ОД**) заштићени скробним премазом (**С**) паковани у полимерне амбалажне материјале у условима модификоване атмосфере (**МАП**).

4.3.3.1. Оксидативне промене упакованог осмотски дехидрираног меса

Липолитичке промене на узорцима осмотски дехидрираног меса изражене су преко киселинског броја, односно садржаја слободних масних киселина. Садржај слободних масних киселина се користи као индикатор стања и јестивости уља и масти, као и масти екстраховане из прехранбених производа, укључујући и месо, односно производе од меса (*Ogunsola и Omojola, 2008; Levermore, 2004*). Вредност киселинског броја је у вези са садржајем воде у месу (*Naz и сар., 2005*) и вредности рН (*Khaksar и сар., 2010*).

На основу резултата приказаних на **слици 4.26.** може се констатовати да је почетна вредност киселинског броја узорака осмотски дехидрираног свињског меса (0 дан) износила 19,77 mg КОН/g. Киселински број (mg КОН/g), током периода складиштења, показује пад вредности до петнаестог дана складиштења. Пад вредности киселинског броја је најмање изражен код узорка осмотски дехидрираног меса упакованог без заштитног скробног премаза и у атмосферске услове. Након тога, долази до пораста вредности киселинског броја за све узорке упакованог осмотски дехидрираног меса. Продуженим чувањем до 60-ог дана, уочавају се значајно различите вредности. Уочава се највиша вредност киселинског броја код ОД+АТМ узорка, затим код ОД+МАП, ОД+С+МАП и на крају ОД+С+АТМ узорка. Вредности су редом износиле 23,06 mg КОН/g; 21,01 mg КОН/g; 16,97 mg КОН/g и 16,43 mg КОН/g. На крају периода складиштења разлике у вредности киселинског броја између узорака упакованог осмотски дехидрираног меса, биле су статистички значајне ($p < 0.05$). Обзиром да је на крају периода складиштења киселински број узорака осмотски дехидрираног меса означен као ОД+С+МАП имао најмању вредност, констатује се допринос примене скробног премаза и паковања у условима модификоване атмосфере. Пораст вредности киселинског броја током периода складиштења је уобичајена појава па се не може користити као једини индикатор квара и почетка хидролитичке деградације липида.

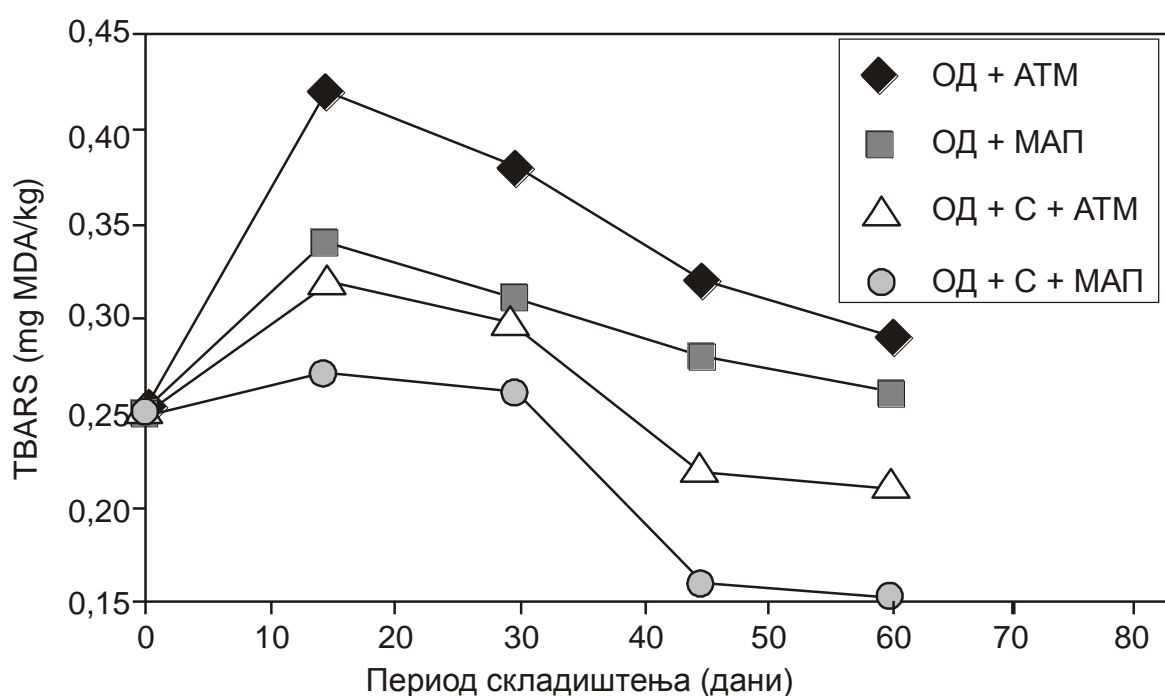


Слика 4.26. Киселински број (mgKOH/g) осмотски дехидрираног меса током складиштења

Одређивање садржаја малондиалдехида помоћу 2-тиобарбитурне коселине (TBARs) је једна од најстаријих и најчешће коришћених метода за утврђивање степена секундарних оксидативних промена на липидима у месу и производима од меса. Због једноставности и високе корелације са сензорном оценом квалитета ова метода се примењује ради дефинисања оксидативног статуса (Šojić, 2013). Током оксидације липида, малондиалдехид (MDA) настаје као резултат деградације полинезасићених масних киселина. У овој аналитичкој методи, MDA реагује са 2-тиобарбитурном киселином и настаје MDA-TBA комплекс пинк боје која се одређује спектрофотометријски на апсорпционом максимуму на 530–535 nm. Степен оксидације се приказује као милиграм MDA еквивалената по килограму узорка или као микромолови MDA еквивалената по граму узорка (Shahidi u Zhong, 2005). Основни недостататак ове методе је неспецифичност, јер и друге компоненте из хране могу реаговати са тиобарбитурном киселином. Због тога се TBARs метод више користи ради дефинисања степена оксидативних промена него за квантификовање малондиалдехида (Papastergiadis u cap., 2012; Ross u Smith, 2006). У радовима

Tsaknis u cap.(1999) и *Saito u cap.* (2009) приказано је да оксидативне реакције негативно утичу на нутритивни квалитет хране.

Степен оксидативних промена испитиваних узорака упакованог осмотски дехидрираног меса, пакованих у МАП и АТМ, са и без скробног премаза, је приказан на **слици 4.27**. На почетку периода складиштења (0 дан), TBARS вредност осмотски дехидрираног меса је била ниска (0,25 mg MDA/kg) што доказује да је осмотска дехидратација ефикасна у спречавању липолитичких промена узорака меса.



Слика 4.27. Оксидативне промене (TBARS) осмотски дехидрираног меса упакованог у различите услове током складиштења

Током складиштења, пораст вредности TBARS се уочава код свих група узорака, што је резултат липидне оксидације и у сагласности је са *Zhang u cap.*, 2013. Максималне вредности су уочене након 15 дана складиштења: 0,42 mg MDA/kg и 0,34 mg MDA/kg за узорке паковане без скробног премаза у МАП и АТМ, респективно, као и 0,32 mg MDA/kg и 0,27 mg MDA/kg са скробним премазом у МАП и АТМ, респективно. Највише вредности MDA код узорака осмотски дехидрираног меса са скробним премазом су биле ниже него код

узорака који нису имали скробни премаз као додатну заштиту. Смањена оксидација липида у узорцима осмотски дехидрираног меса упакованог са скробним премазом, уз додатак есенцијалног уља оригана, и у условима модификоване атмосфере (ОД+С+МАП) је резултат присуства активних фитохемикалија есенцијалног уља, што је у сагласности са резултатима *Gupta u cap. (2013)*.

Према истраживањима *Lanari u cap. (1995)*, TBARS вредности више од 0,5 mg MDA/kg доводе до појаве ужегнућа у месу, док се 1 mg MDA/kg сматра граничном вредношћу за појаву ужегнућа у производима од меса према истраживањима *Šojić u cap. (2015)*. Након 30-ог дана, TBARS вредности су опале код свих испитиваних група узорака. Може се закључити да MDA концентрација опада након што се достигне максимална вредност. MDA реагује са шећерима или аминокиселинама, присутним у меласи шећерне репе, и формирана MDA почиње да се разлаже током каснијег периода складиштења у друга хемијска једињења.

Најниже TBARS вредности су уочене код узорака упакованих у МАП и са додатком скробног премаза, коме је додато есенцијално уље оригана. Познато је да високо баријерни материјали за паковање (*Saito u cap., 2009*), период складиштења (*Seydim u cap., 2006*) и температура (*Chaijan, 2008*) имају значајан ефекат на спречавање оксидације масти (ТВА вредности). Осим тога концентрација присутног кисеоника у атмосфери у коју је намирница упакована је кључни фактор за липидну оксидацију. Бројна истраживања су показала да искључивање или ограничавање садржаја кисеоника, а увођење CO₂ доприносе оксидативној стабилности упакованих месних производа, па самим тим и ниже вредности ТВА (*Narasimha u Sachindra, 2002; Lopez-Lorenzo u cap., 1980*). Употребљени амбалажни материјал добрих баријерних својстава, као и примена оптимизованог скробног јестивог премаза са додатком есенцијалног уља оригана на осмотски дехидрирано месо, допринели су нижим TBARS вредностима.

4.3.3.2. Микробиолошка анализа упакованог осмотски дехидрираног меса

Месо представља повољан супстрат за развој низа микроорганизама због свог хемијског састава. Месо је стерилно у дубини или садржи веома мали број бактерија (до $10^2/g$). У дубини меса могу се наћи анаеробне, факултативно анаеробне и микроаерофилне бактерија из родова *Clostridium*, *Bacillus*, *Streptococcus*, *Lactobacillus* и евентуално из породице *Enterobacteriaceae*. На површини меса, међутим, увек има микроорганизама, а њихов број зависи од хигијене манипулације. На површини полутки се нормално налази од 10^2 до 10^5 микроорганизама по 1 cm^2 . Као последица размножавања бактерија може се настати квар меса или тровање људи храном.

Да би се месо сачувало од кварења није неминовно да се одстрани све бактерије које се на њему налазе, али да би се месо могло чувати дуже време мора се спречити њихово размножавање. За краће чување довољно је да се број бактерија не повећава (*Rede u Petrović, 1997; Feiner, 2006*). Адекватне технике конзервисања и примена амбалаже и савремених трендова паковања спречавају микробиолошку контаминацију, што је један од услова очувања квалитета меса и производа од меса.

Ниска иницијална вредност укупног броја микроорганизама за узорак свежег меса указује на добар квалитет сировине. Вредност укупног броја микроорганизама, изражена као $\log\text{ CFU/g}$, нижа од $7\log\text{ CFU/g}$ се сматра лимитом за добар квалитет свежег меса, што је дефинисао *ICMSF (1986)* и *Dainty u cap. (1992)*. Укупан број бактерија исказан је као $\log\text{ CFU}$ (Colony Forming Unit) у 1 г меса, на основу добијеног броја колонија, који је помножен величином разређења и подељен са бројем грама.

Укупан број микроорганизама и број *Enterobacteriaceae* из свежег меса знатно опада након осмотске дехидратације, што указује на чињеницу да је осмотска дехидратација хигијенски безбедан поступак (*Filipović, 2013*). Промене укупног броја микроорганизама и ентеробактерија у месу указује на степен хигијене процеса и одрживост добијеног производа/полу-производа. У **табели 4.20.** је приказан микробиолошки профил свих група узорака меса праћен током периода складиштења.

Табела 4.20. Микробиолошки профил узорака осмотски дехидрираног меса упакованог у различите услове током складиштења (log CFU/g)

Микробиолошки профил (log CFU/g)						
Ред. Бр.	Период складиштења	Укупан број микроорганизама	Enterobacteriaceae	E.coli	Clostridium spp.	Квасци и плесни
Свеже месо						
0	0	6,1	2,59	-	-	-
ОД+АТМ						
1	0	4,59	2,50	-	-	-
2	15	4,46	2,29	-	-	-
3	30	4,15	2,16	-	-	-
4	45	4,30	1,84	-	-	-
5	60	4,41	1,69	-	-	-
ОД+МАП						
6	0	4,59	2,50	-	-	-
7	15	4,06	1,82	-	-	-
8	30	3,95	1,68	-	-	-
9	45	3,82	1,03	-	-	-
10	60	4,25	1,08	-	-	-
ОД+С+АТМ						
11	0	4,59	2,50	-	-	-
12	15	3,78	1,85	-	-	2,95
13	30	3,87	1,7	-	-	3,53
14	45	4,02	-	-	-	3,78
15	60	4,11	-	-	-	4,38
ОД+С+МАП						
16	0	4,59	2,50	-	-	-
17	15	3,34	1	-	-	-
18	30	3,70	-	-	-	3,43
19	45	3,86	-	-	-	3,69
20	60	4,07	-	-	-	3,93

На основу добијених резултата се може закључити да укупан број микроорганизама током првих 15 дана складиштења опада код свих група узорака, а најзначајнији пад вредности укупног броја микроорганизама се уочава код узорака ОД+С+МАП, где износи 3,34 log CFU/g. Након 30 дана

уочавају се уједначене вредности за све групе узорака, јер се укупан број микроорганизама креће у интервалу 3,70 до 4,15 log CFU/g. Између 30-ог и 60-ог дана складиштења приметан је тренд раста укупног броја микроорганизама, осим код узорка означеног као ОД+МАП. Након периода складиштења од 60 дана, највеће вредности укупног броја бактерија су уочене код узорка означеног као ОД+АТМ, а најбољи резултат су показали узорци заштићени скробним премазом. Укупан број микроорганизама износио је 4,11 log CFU/g за узорке означене као ОД+С+АТМ, а 4,07 log CFU/g за узорке означене као ОД+С+МАП. Корелациони коефицијент између узорака пакованих у МАП и АТМ за укупан број микроорганизама износи 0.985, статистички значајан на $p < 0.01$ нивоу.

Пад броја ентеробактерија током периода складиштења може се приписати смањењу иницијалног рН меса јер микроорганизмима више одговарају више вредности рН (>6.0) што је у сагласности са резултатима *Leuyonie i sar. (2011)*. Такође смањењу броја ентеробактерија доприноси и примена паковања у услове модификоване атмосфере, јер се уочавају више мерене вредности код узорака који су паковани у атмосферским условима. Значајан је утицај скробног премаза јер од 45-ог дана нису уочене ентеробактерије код узорака означених као ОД+С+АТМ, док се ентеробактерије не уочавају већ на половини периода складиштења па све до 60-ог дана код узорака означених као ОД+С+МАП. Корелациони коефицијент између узорака пакованих у МАП и АТМ за ентеробактерије износи 0,987, статистички значајан на $p < 0.01$ нивоу.

У свим групама осмотски дехидрираног меса, *E. coli* и *Clostridium spp.* нису уочени. Након поступка осмотске дехидратације, a_w вредност узорака дехидрираног меса су биле испод оптималне вредности за раст већине бактерија, што је јасан индикатор да осмотска дехидратација има позитиван утицај на микробиолошки профил осмотски дехидрираног меса због смањеног садржаја влаге у узорцима (45,19%), као и смањене a_w вредности (0,84). Већини бактерија, које су изазивачи квара хране, погодује a_w веће од 0,91. Поред тога, есенцијално уље оригана, примењено као активна компонента јестивог премаза, доприноси очувању стабилности микробиолошког профила током целог периода складиштења у погледу бактеријске контаминације.

Уочена је појава квасаца и плесни у другом делу периода складиштења, највероватније јер им је a_w вредност погодовала. Постигнута a_w вредност након осмотске дехидратације износила је 0,84. Минимална a_w која одговара развоју већини квасаца, који су изазивачи квара хране, је 0,85, док је минимална a_w која одговара развоју већини плесни, које су изазивачи квара хране, је 0,80. Други разлог може бити присуство скробног јестивог премаза, који је полисахаридне природе и као такав представља погодан супстрат за развој квасаца и плесни иницијално присутних у месу. Број квасаца и плесни је током периода складиштења растао.

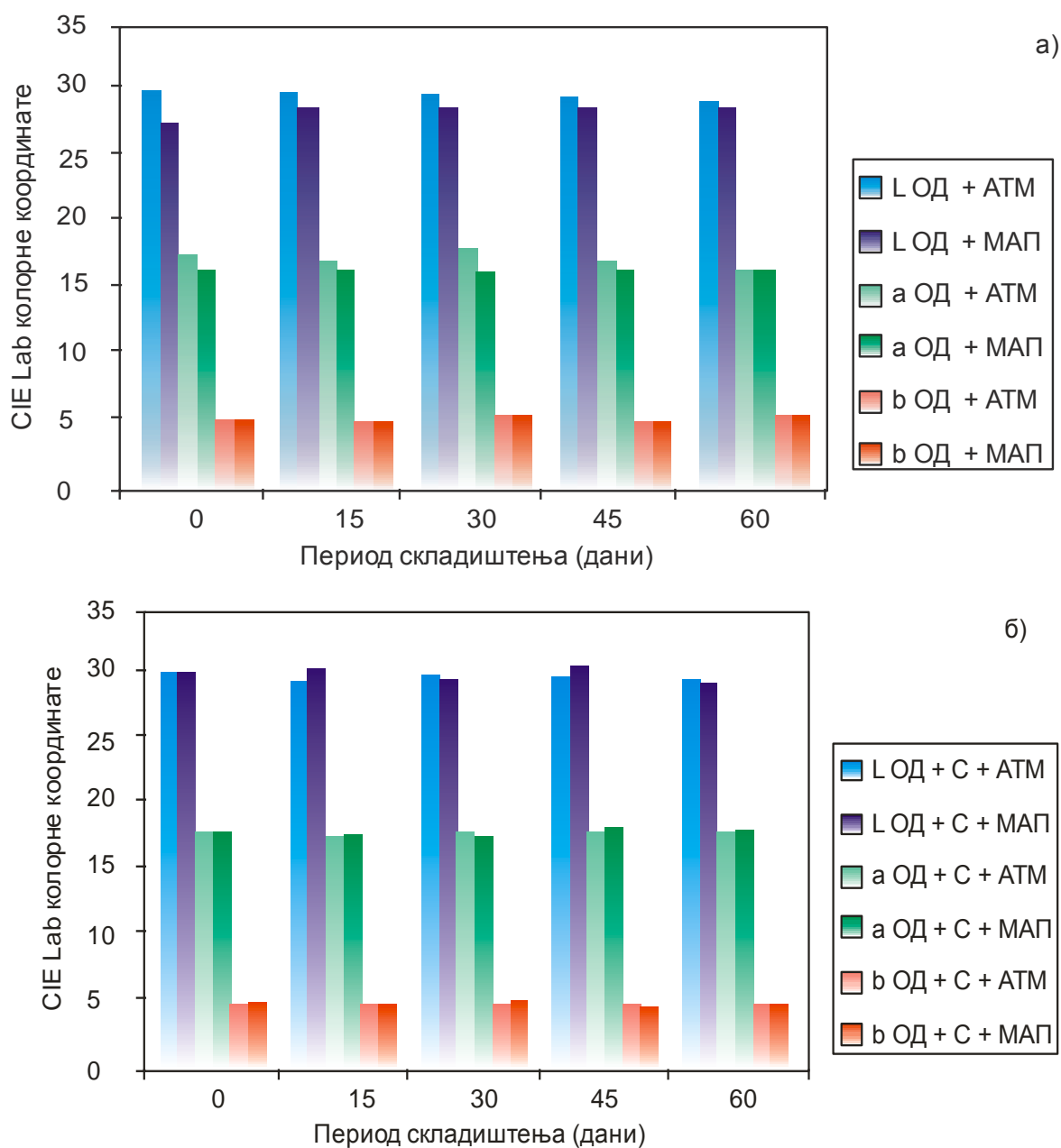
4.3.3.3. Инструментално одређивање боје

Међу свим сензорним атрибутима меса, боја се сматра најважнијим, јер чим је боја неприхватљива, сви други сензорни атрибути губе на значају (*Mancini u Hunt, 2005*). Неколико фактора утиче на боју меса, међу којима су најзначајнији брзина *post mortem* гликолизе, присуство интрамускуларне масноће, ниво пигмената (миоглобина), као и оксидативни статус пигмената (*Van Oeckel u cap., 1999*).

Боја меса се може одредити сензорски и инструментално. Инструментално одређивање боје заснива се на мерењу рефлексije светлости одређених таласних дужина са површине меса (*Manojlović и Rahelić, 1987*). Светлоћа боје (L^* вредност – CIE $L^*a^*b^*$ систем) се, најчешће, измерена 24 сата *post-mortem*, у комбинацији са осталим факторима квалитета (вредност рН, способност везивања воде), често користи као показатељ квалитета меса (*Honikel, 1999*). На основу светлоће, свеже свињско месо се разврстава у три класе квалитета $L^* < 42$ – тамна боја; $L^* = 42 - 50$ – нормална боја; $L^* > 50$ – светла боја (*Tomović u cap., 2014; Chmiel u cap., 2011; Faucitano u cap., 2010; Kauffman, 2001*).

Параметри боје, светлоћа боје (CIE L^* вредност), удео црвене боје (CIE a^* вредност) и удео жуте боје (CIE b^* вредност) испитиваних узорака су приказане на **слици 4.28**. На основу претходних истраживања (*Filipović, 2013*), боја

осмотски дехидрираног свињског меса треба да је мркоцрвена и уједначена на површини и пресеку, што и одговара L^* вредности мањој од 42.



Слика 4.28. Промене CIE Lab вредности током периода складиштења а) узорци без скробног премаза б) узорци са скробним премазом

На основу добијених резултата, може се констатовати да је осмотска дехидратација променила CIE Lab вредности: CIE L^* вредност је опала, док су CIE a^* вредност и CIE b^* вредност порасле.

Применом паковања у услове модификоване атмосфере, постижу се ниже CIE a^* вредности (удео црвене боје), док су CIE b^* (удео жуте боје) и CIE L^* вредности (светлоћа боје) уједначене током целог периода складиштења. Због примене модификоване атмосфере присутни CO_2 је веома ефикасан у очувању боје меса јер има 20 пута већи афинитет за везивање миоглобина, у поређењу са способношћу кисеоника (Boeckman, 2006). Кисеоник убрзава неколико типова реакција квара укључујући реакције тамњења, оксидацију пигмената и оксидацију масти. С тога, боја меса директно зависи од састава заштитне атмосфере, која би требало да садржи мале концентрације заосталог кисеоника (Sandhya, 2010) са циљем да се избегне непожељна промена боје.

Применом скробног премаза констатује се константна светлоћа боје (CIE L^* вредност) током целог периода складиштења, без обзира на услове паковања. CIE L^* вредности се крећу у опсегу 29,74-30,08 за узорке означене као ОД+С+АТМ и 29,51-30,06 за узорке означене као ОД+С+МАП. Све измерене вредности за светлоћу боје су ниже од 42, што и одговара тамној боји меса.

Применом скробног премаза констатују се незнатно виши удео црвене боје (CIE a^* вредност) поредећи ОД+АТМ и ОД+С+АТМ узорке, као и поредећи ОД+МАП и ОД+С+МАП узорке, и то пораст вредности са 17 на 18,21 и са 17 на 18,26, респективно. Такође, уколико се упореде ОД+АТМ и ОД+С+АТМ узорци, као и ОД+МАП и ОД+С+МАП узорци, запажа се незнатан пад удела жуте боје (CIE b^* вредност), и то са 5,6 на 5,02 и са 5,6 на 4,95, репективно.

4.3.3.4. Сензорска анализа

У **табели 4.21.** су представљени резултати сензорске карактеризације четири фактора квалитета: боје, мириса, укуса, и текстуре упакованог осмотски дехидрираног меса, како би се испитала прихватљивост упакованог осмотски дехидрираног меса.

Анализе резултата сензорске оцене показују да осмотски третман меласом у комбинацији са применом модификоване атмосфере има повољан ефекат на боју, која је оцењена као веома изражена током читавог периода

складиштења, и то вредности оцене боје површине узорака меса се крећу у опсегу 4,75-4,98, вредности испитиване боје масног ткива се крећу у опсегу 4,58-5, док су вредности оцене пресека осмотски дехидрираног меса у опсегу 4,75-4,94. МАП је имао значајнији утицај на боју узорака у поређењу са узорцима пакованим у атмосферским условима. Допринос скробног премаза се најбоље уочава код испитивања боје масног ткива, где су узорци без премаза оцењени са 4,58 и 4,82, без и са примењене модификоване атмосфере респективно, док су узорци са скробним премазом оцењени са 4,92 и 5,00, без и са примењене модификоване атмосфере респективно.

Применом јестивог активног скробног премаза постиже се слабија оцена мириса на меласу и дим код упакованих узорака меса, што се сматра пожељним учинком скробног премаза. Мирис на меласу је оцењен као 4,23 и 4,33, без и са примењене модификоване атмосфере респективно, у односу на оцене узорака са скробним премазом: 3,25 и 3,67, без и са примењене модификоване атмосфере респективно. Мирис на дим је оцењен као 3,62 и 3,70, без и са примењене модификоване атмосфере респективно, у односу на оцене узорака са скробним премазом: 2,75 и 2,92, без и са примењене модификоване атмосфере респективно. Разматрањем примене МАП-а, уочава се да је мирис и ароматичност израженија код узорака пакованих у МАП, било да они садрже или не садрже активни скробни премаз.

Резултати оцењивања укуса показују више просечне оцене код узорака код којих није аплициран активни скробни премаз. Додатком активног скробног премаза, интензитет укуса свежег меса са заосталом слаткоћом опада са 3,40 и 3,49 без и са примењене модификоване атмосфере, респективно, на 2,92 и 2,75 без и са примењене модификоване атмосфере респективно. Интензитет горког заосталог укуса на дим се смањило са 3,42 и 3,50 на 2,92 без обзира да ли је примењена модификована атмосфера или не. Утицај скробног премаза, праћен уоченим променама укуса је окарактерисан као позитиван, обзиром да су испитивани параметри више својствени профили осмотски дехидрираног меса него осталим месним прерађевинама. Утицај паковања у модификовану атмосферу незнатно доприноси промени овог сензорног параметра.

Табела 4.21. Сензорска анализа

Узорак	Боја			Мирис и ароматичност		
	Површина меса	Масно ткиво	Пресек	На меласу	На карамел	На дим
	Тамно смеђе-црвена	Жућкасто-бела	Тамно смеђе-црвена			
ОД+АТМ	4,83±0,38 ^a	4,58±0,50 ^a	4,71±0,46 ^a	4,23±0,66 ^b	3,19±0,76 ^a	3,62±0,76 ^b
ОД+МАП	4,98±0,14 ^a	4,82±0,38 ^a	4,94±0,24 ^a	4,33±0,61 ^b	3,27±0,75 ^a	3,70±0,73 ^b
ОД+С+АТМ	4,75±0,23 ^a	4,92±0,18 ^a	4,75±0,30 ^a	3,25±0,52 ^a	3,67±0,69 ^b	2,75±0,59 ^a
ОД+С+МАП	4,92±0,27 ^a	5,00±0,09 ^a	4,75±0,25 ^a	3,67±0,47 ^a	3,25±0,34 ^a	2,92±0,53 ^a
Узорак	Укус			Текстура		
	Свежег меса са наглашеном слаткоћом	Заостали укус у устима на дим (опор, горак)	Мекоћа	Жвакљивост	Еластичност	Сочност
ОД+АТМ	3,40±0,68 ^b	3,42±0,58 ^b	2,94±0,78 ^a	2,77±0,59 ^a	3,06±0,75 ^a	3,02±0,70 ^a
ОД+МАП	3,49±0,64 ^b	3,50±0,75 ^b	3,01±0,75 ^a	2,97±0,63 ^a	3,22±0,73 ^a	3,09±0,70 ^a
ОД+С+АТМ	2,92±0,53 ^a	2,92±0,66 ^a	3,25±0,49 ^a	3,25±0,49 ^b	3,25±0,50 ^a	3,25±0,31 ^a
ОД+С+МАП	2,75±0,45 ^a	2,92±0,63 ^a	3,67±0,29 ^a	3,67±0,26 ^b	3,67±0,26 ^a	3,67±0,29 ^a

^{a,b,c...} Вредности са истим словом у колони нису стаистички различите, на нивоу $p < 0,05$ (post-hoc Tukey HSD test).

Незнатно бољим оценама су оцењени узорци са скробним премазом у погледу свих испитиваних параметара текстуре (мекоћа, жвакљивост, еластичност и сочност). Узорци паковани у модификовану атмосферу, у оквиру обе групе узорака (са и без јестивог премаза) су боље оцењени по питању свих текстуралних параметара у поређењу са АТМ узорцима.

4.3.3.5. Статистичка обрада података

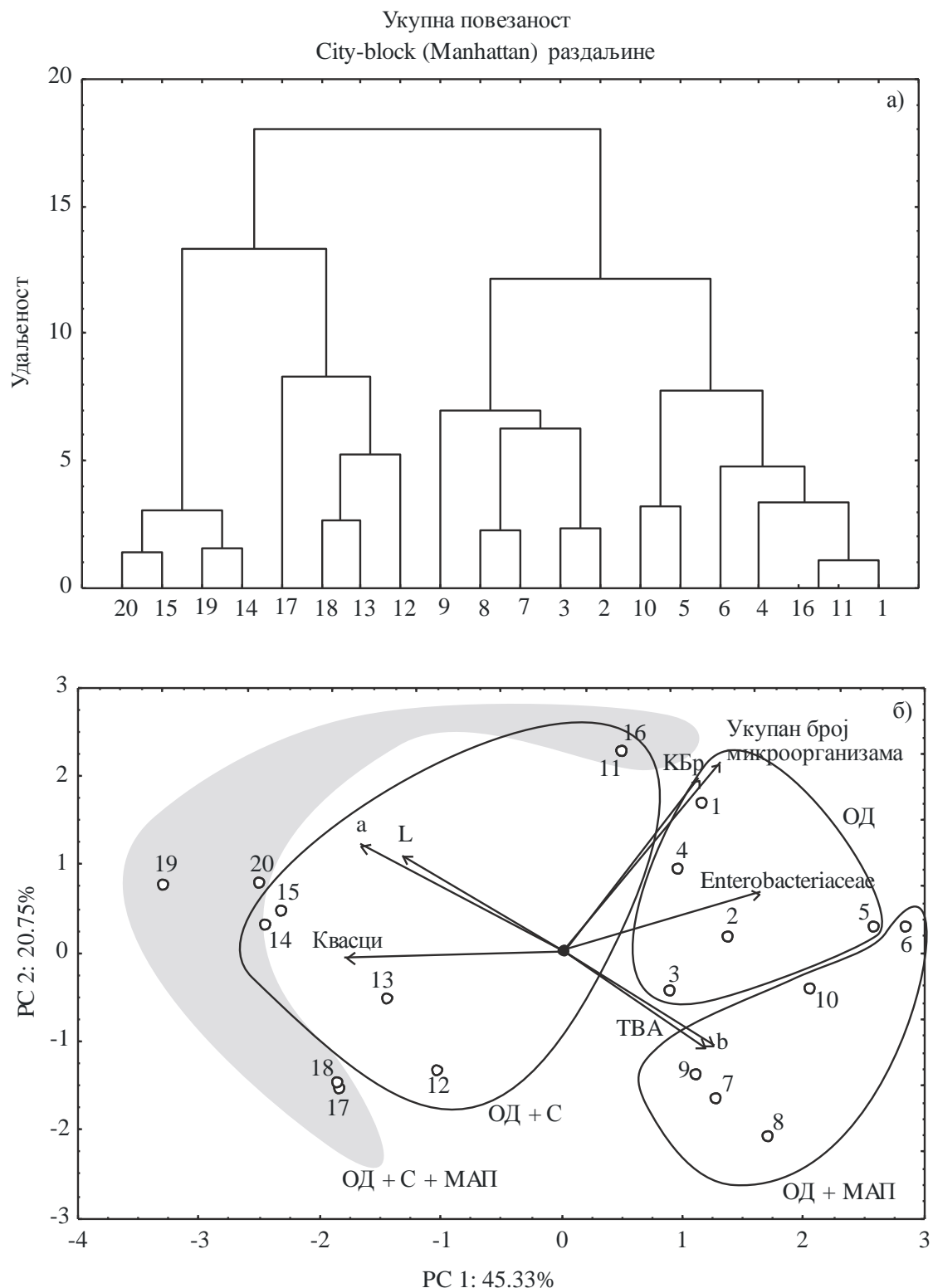
Кластерска анализа

Слика 4.29а. приказује дендограм за кластерску анализу за тестиране узорке ОД+АТМ, ОД+МАП, ОД+С и ОД+С+МАП, који се разликују на основу физичко-хемијских, колорних и микробиолошких карактеристика. На дендограму су уочена четири одвојена кластера - десни који обухвата узорке 1, 4, 5, 6, 10, 11 и 16 (повећане вредности укупног броја микроорганизама и ентеробактерија), други који обухвата 2, 3, 7, 8, 9 (који има нешто веће вредности ТВА и СIE b^*), трећу групу која обухвата узорке 12, 13, 17 и 18 и кластер који обухвата узорке 14, 15, 19 и 20 (који имају повећане вредности за квасце). Уочена знатна удаљеност између кластера 1-2 је скоро 12. Разлика између кластера 1 и 2 у односу на 3 и 4 кластер је око 18, што указује на велику различитост између група узорака које су одређене кластерском анализом.

РСА омогућава да се значајно смањи број променљивих које учествују у анализи, а омогућава и детектовање и анализу инхерентне, скривене, структуре између мерних величина и одзивних променљивих које се испитују. Графички приказ трендова и ефикасност одвајања група узорака на основу коришћених дескриптора (процесне величине које су праћене) приказана је на **слици 4.29б.**, при чему су на графику приказани узорци распоређени у факторској равни коришћењем прве две главне компоненте, које су добијене из РСА анализе.

На слици се може видети да је извршено успешно одвајање група података за 20 узорака. Квалитативни резултати за ову анализу показују да прве две главне компоненте заједнички приказују 66,07% укупне варијансе и да

се то може сматрати довољним за приказивање целокупног сета експерименталних података.



Слика 4.29. Кластерска анализа (а) и PCA дијаграм (б) за узорке на којима су испитане физичко хемијске, колорне и микробиолошке особине

Променљива *Enterobacteriaceae* утиче позитивно на израчунавање прве главне компоненте (15,5% од укупне варијансе, рачунато на основу корелације), док су променљиве квасци, CIE L^* и CIE a^* показале најизраженији негативан утицај на рачунање прве главне компоненте (20,3%, 11,3% и 17,9%, респективно). На израчунавање друге главне компоненте највећи утицај имају киселински број и укупан број микроорганизама (27,7% и 33,1%, од укупне варијансе, респективно, рачунато на основу корелације). Са слике се види да највећи утицај на прву главну компоненту имају садржаји квасаца и броја *Enterobacteriaceae*, чиме је показано да се у факторској равни јасно одвајају различити начини чувања узорка након ОД.

Утицај различитих параметара на узорке може да се оцени са **слике 4.29.б.**, на којој су узорци који имају већи укупан број микроорганизама и већи број *Enterobacteriaceae*, киселински број, ТВА и CIE b^* , на десној страни графика, док се на левој страни графика налазе узорци са израженијим вредностима CIE L , CIE a^* и повећани број квасаца. Узорци који су чувани у атмосферским условима након ОД имају повећан број микроорганизама и већи број *Enterobacteriaceae*, а такође је и киселински број ју доброј корелацији са укупним бројем микроорганизама. Сви узорци који су паковани у МАП имали су повећане вредности за ТВА и колорну координату b^* . Узорци који на које је након ОД нанесен скробни филм имали су нешто веће вредности за колорне координате CIE L и a^* (тј. били су светлији у односу на узорке чуване у атмосферским условима или паковане у МАП), а такође ови узорци су имали мањи број микроорганизама и мањи број *Enterobacteriaceae*. Такође ови узорци су имали и мањи киселински број у односу на узорке који су чувани у атмосфери и узорке који су паковани у МАП након ОД. Најмањи број микроорганизама и *Enterobacteriaceae*. забележан је код узорака који имају скробну превлаку и паковани су МАП. Код ових узорака је најнижа вредност киселинског броја. Узорци који су упаковани на овај начин имају и најизраженије вредности за колорне координате CIE L и a^* , односно бил су светлији у односу на све друге узорке.

5. ЗАКЉУЧАК

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

❖ **Скроб се може успешно применити за добијање јестивих филмова, уз неопходну примену пластификатора и стабилизатора. На основу добијених резултата може се закључити да је глицерол погоднији пластификатор од сорбитола, јер су филмови са додатком глицерола показали боље особине. Резултати су показали да је оптималан модел скробних филмова онај у чији састав улази 40% глицерола и 0,1% стабилизатора гуар-ксантана.**

❖ **Додатком есенцијалних уља скробни филмови су оптимизовани тако да су им побољшана:**

- **физичко-хемијска својства** - вредности садржаја воде и способности бубрења су се додатком есенцијалних уља смањиле, и то вредност садржаја воде опада са 14,12%, за контролни филм, на 12,17% и 12,03% за филмове са додатком 2% есенцијалних уља црног кумина и оригана, респективно, док вредности способности бубрења опадају са 230,92%, за контролни филм, на 130,03% и 117,84% за филмове са додатком 2% есенцијалних уља црног кумина и оригана, респективно;
- **механичка својства** - додатак есенцијалних уља смањује вредности затезне јачине са 14,43 МПа, за контролни филм, на 2,3 МПа и 2,12 МПа за филмове са додатком 2% есенцијалних уља црног кумина и оригана, респективно. Вредност издужења при кидању додатком есенцијалних уља расте са 28%, за контролни филм, на 52% и 61% за филмове са додатком 2% есенцијалних уља црног кумина и оригана, респективно;
- **баријерна својства** - пропустљивост водене паре се додатком есенцијалних уља смањује са 8,58 g/(m²·h)), за контролни филм, на 6,50

$g/(m^2 \cdot h)$) и $5,92 g/(m^2 \cdot h)$) за филмове са додатком 2% есенцијалних уља црног кумина и оригана, респективно;

- **оптичка својства** – обзиром да вредност измерене апсорбанце расте на таласним дужинама једнаким и мањим од 280 nm, што одговара UV зрачењу, у случају свих испитиваних узорака филма, може се закључити да се скробни филмови са додатком уља могу користити за паковање хране која је подложна оксидативним променама, које су катализоване UV светлом;
- **биолошка својства** - додатком есенцијалних уља скробни филмови постају активни, чиме се постиже значајна антиоксидативност и антимикробност скробних филмова. Антиоксидативност расте са 1,55%, за контролни филм, на 12,42 и 87,65% за филмове са додатком 2% есенцијалних уља црног кумина и оригана, респективно. Одређивањем антимикробности утврђено је да додаток 2% есенцијалног уља оригана има јачи ефекат него деловање антибиотика јер су зоне инхибиције за филм са додатком 2% уља оригана у распону 33-39 mm, док антибиотик показује зоне инхибиције у распону од 12,67 mm до 21,33 mm за тестиране микроорганизме.

Испитивањем **структурних својстава**, идентификоване су везе које се односе на присуство есенцијалних уља. Утврђено је да јестиви филмови са есенцијалним уљима имају смањену укупну **термалну стабилност** у односу на контролни узорак без додатка уља.

На основу свих резултата, може се констатовати да јестиви скробни филм коме је додато 2% есенцијалног уља оригана има оптимална својства.

❖ **Могућност примене оптимизованог активног скробног филма на осмотски дехидрирано месо, испитана је праћењем параметара квалитета и одрживости упакованог меса у различитим условима паковања, и то:**

- Интензитет **липолитичких промена**, изражен преко киселинског броја и садржаја малондиалдехида, је значајно мањи код узорака са скробним

премазом. После 60 дана уочавају се статистички значајно различите вредности ($p < 0,05$) киселинског броја: највиша вредност броја код ОД+АТМ узорка (23,06 mg KOH/g), затим код ОД+МАП (21,01 mg KOH/g), ОД+С+МАП (16,97 mg KOH/g) и на крају ОД+С+АТМ узорка (16,43 mg KOH/g). Пораст вредности киселинског броја током периода складиштења је уобичајена појава па се не може користити као једини индикатор хидролитичке деградације липида. Током складиштења, пораст вредности TBARS се уочава код свих група узорака, што је резултат липидне оксидације. Максималне вредности су уочене након 15 дана складиштења: 0,42 mg MDA/kg и 0,34 mg MDA/kg за узорке означене као ОД+МАП и ОД+АТМ, као и 0,32 mg MDA/kg и 0,27 mg MDA/kg за узорке означене као ОД+С+МАП и ОД+С+АТМ, респективно. Највише вредности код узорака са скробном превлаком су биле ниже него код узорака који нису имали скробни премаз као додатну заштиту. Након 30-ог дана, TBARS вредности су опале код свих испитиваних група узорака. Најниже вредности су уочене код узорака означених као ОД+С+МАП (0,15 mg MDA/kg), а највиша код узорка означених као ОД+АТМ (0,29 mg MDA/kg).

- Јестиви скробни активни премаз доприноси очувању стабилности **микробиолошког профила**, током периода складиштења од 60 дана, у погледу бактеријске контаминације. Укупан број микроорганизама опада током периода складиштења за све испитиване узорке меса, да би након периода складиштења од 60 дана износио 4,41 log CFU/g за узорке уочене као ОД+АТМ, затим 4,25 log CFU/g за узорке означене као ОД+МАП, затим 4,11 log CFU/g за узорке означене као ОД+С+АТМ и 4,07 log CFU/g за узорке означене као ОД+С+МАП. Након 45-ог дана нису уочене ентеробактерије код узорака означених као ОД+С+АТМ, док се ентеробактерије не уочавају већ на половини периода складиштења па све до 60-ог дана код узорака означених као ОД+С+МАП. Уочена је појава квасаца и плесни након 30 дана складиштења, чији број до краја периода складиштења расте.

- Примена јестивог активног скробног премаза са додатком есенцијалног уља оригана позитивно је утицала на све параметре **сензорског профила** упакованог меса (боја, мирис и ароматичност, укус, текстура) без обзира на услове паковања. Утицај паковања у услове модификоване атмосфере је најизраженији код оцене боје.

На основу свих резултата истраживања, показано је да се успешно могу добити и применити јестиви активни скробни филмови. Ова истраживања представљају основу за даљи развој и унапређење области биополимерних филмова са великим апликативним потенцијалом у прехранбеној индустрији.

6. ЛИТЕРАТУРА

A

Abdi, H., Williams L.J. (2010). Principal component analysis, Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics, 2, 433–459.

Abdollahi, M., Rezaei, M., Farzi, G. (2012). A novel active bionanocomposite film incorporating rosemary essential oil and nanoclay into chitosan. Journal of Food Engineering, 111, 343–350.

Abdorreza, M. N., Cheng, L. H., Karim, A. A. (2011). Effect of plasticizers on thermal properties and heat sealability of sago starch films. Food Hydrocolloids, 25, 56–60.

Abdulmola, N.A., Hember, M.W.M., Richardson, R.K., Morris, E.R. (1996). Effect of xanthan gum on the small-deformation rheology of crosslinked and uncrosslinked waxy maize starch. Carbohydrate Polymers, 31, 65–78.

Aguilera, G.M., Stanley, D.W. (1999). Microstructural Principals of Food Processing and Engineering, Aspen Publishers: Gaithersburg, MD.

Aider, M. (2010). Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry: review. LWT-Food Science and Technology, 43, 837-842.

Allen L., Nelson A.I., Steinberg, M.P., McGill, J.N. (1963). Edible corn carbohydrate food coatings. II. Evaluation of fresh meat products. Food Technology, 17, 1442 – 1446.

Al-Naqeeb, G., Ismail, M., Al-Zubairi, A.S. (2009). Fatty acid profile, α -tocopherol content and total antioxidant activity of oil extracted from *Nigella sativa* seeds. International journal of pharmacology, 5, 244-250.

Amorati, R., Foti, M.C., Valgimigli, L. (2013). Antioxidant activity of essential oils. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 61, 10835–10847.

Andreuccetti, C., Carvalho, R.A., Galicia-Garcia, T., Martinez-Bustos, F., Grosso, C.R.F. (2011). Effect of surfactants on the functional properties of gelatin-based edible films. Journal of Food Engineering, 103, 129-136.

Anker, M., Berntsen, J., Hermansson, A.M., Stading, M. (2001). Improved water vapour barrier of whey protein films by addition of an acetylated monoglyceride. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 3, 81–92.

Appendini, P., Hotchkiss, J.H. (2002). Review of antimicrobial food packaging. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3, 113–126.

Araujo, C., Sousa, M.J., Ferreira, M.F., Leao, C. (2003). Activity of essential oils from Mediterranean Lamiaceae spices against food spoilage yeasts. *Journal of Food Protection*, 66, 625–632.

Arcan, I., Yemenicioglu, A. (2011). Incorporating phenolic compounds opens a new perspective to use zein as flexible bioactive packaging materials. *Food Research International*, 44, 550-556.

Arrieta, M.P., Peltzer, M.A., Lopez, J., Garrigos, M.C., Valente, A.J.M., Jimenez, A. (2013). Functional properties of sodium and calcium caseinate antimicrobial active films containing carvacrol. *Journal of Food Engineering*, 121, 94-101.

Arvanitoyannis, I., Nakayama, A., Aiba, S. (1998). Edible films made from hydroxypropyl starch and gelatin and plasticized by polyols and water. *Carbohydrate Polymers*, 36, 105–119.

Arvanitoyannis, I., Psomiadou, E., Nakayama, A. (1996). Edible films made from sodium caseinate, starches, sugars or glycerol. Part 1. *Carbohydrate Polymers*, 31, 179–192.

Ashwin Kumar, A., Karthick, K., Arumugam, K.P. (2011). Properties of Biodegradable Polymers and Degradation for Sustainable Development. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 2, 164-168.

ASTM D5576:00 (2013). Standard Practice for Determination of Structural Features in Polyolefins and Polyolefin Copolymers by Infrared Spectrophotometry (FT-IR), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, www.astm.org.

Atwell, W.A., Hood, L.F., Lineback, D.R., Varriano-Marston, E., Zobel, H.F. (1988). The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal Foods World*, 33, 306–311.

Audic, J.L., Chaufer, B. (2010). Caseinate based biodegradable films with improved water resistance. *Journal of Applied Polymer Science*, 117, 1828-1836.

Avila-Sosa, R., Palou, E., Jiménez Munguía, M.T., Nevárez-Moorillón, G.V., Navarro Cruz, A.R., López-Malo, A. (2012). Antifungal activity by vapor contact of essential oils added to amaranth, chitosan, or starch edible films. *International Journal of Food Microbiology*, 153, 66-67.

Avila-Sosa, R., Gastélum-Franco, M.G., Camacho-Dávila, A., Torres-Muñoz, J.V., Nevárez-Moorillón, G.V. (2010). Extracts of Mexican Oregano (Lippia

berlandieri Schauer) with Antioxidant and Antimicrobial Activity. *Food and Bioprocess Technology*, 3, 434–440.

Ayranci, E., Tunc, S. (2003). A method for the measurement of the oxygen permeability and the development of edible films to reduce the rate of oxidative reactions in fresh foods. *Food Chemistry* 80, 423–431.

Azapagic, A., Emsley, A., Hamerton, I. (2003). Design for the environment: the life cycle approach. In: Hamerton, I., editor. *Polymers, the environment and sustainable development*. 1st edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

B

Babić, Lj., Babić, M., Pavkov, I. (2003). Coupled osmotic and convective drying of apricot. *Časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi*, 7 (12), 13.

Bahram, S., Rezaei, M., Soltani, M., Kamali, A., Ojagh, S.M., Abdollahi, M. (2012). Whey protein concentrate edible film activated with cinnamon essential oil. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38, 1251–1258.

Bajpai, V.K., Baek, K.H., Kang, S.C. (2012). Control of Salmonella in foods by using essential oils: a review. *Food Research International*, 45, 722–734.

Bakri, I.M., Douglas, C.W.I. (2005). Inhibitory effects of garlic extract on oral bacteria. *Archives of Oral Biology*, 50, 645–651.

Baltić Ž.M., Đurić J., Karabasil N., Marković R., Mirilović M., Pavličević N. (2010). Istorijски osvrt na proizvodnju mesa u Srbiji, *Zbornik radova i kratkih sadržaja*, 21. savetovanje veterinarara Srbije, Zlatibor, 249-259.

Bangyekan, C., Aht-Ong, D., Srikulkit, K. (2006). Preparation and properties evaluation of chitosan-coated cassava starch films. *Carbohydrate Polymers*, 63, 61-67.

Banks N.H. (1984). Some effects of TAL Pro-Long coatings on ripening bananas. *J. Exp. Bot.* 35, 127.

Barat, J., Alino, M., Fuentes, A., Grau, R., Romero, J.B. (2009). Measurement of swelling pressure in pork meat brining. *Journal of Food Engineering*, 93, 108–113.

Barreto, P.L.M., Pires, A.T.N., Soldi, V. (2003). Thermal degradation of edible films based on milk proteins and gelatin in inert atmosphere. *Polymer Degradation and Stability*, 79, 147–152.

Basch, C.Y., Jagus, R.J., Flores, S.K. (2013). Physical and Antimicrobial Properties of Tapioca Starch-HPMC Edible Films Incorporated with Nisin and/or Potassium Sorbate. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 2419–2428.

Benavides, S., Villalobos-Carvajal, R., Reyes, J.E. (2012). Physical, mechanical and antibacterial properties of alginate film: effect of the crosslinking degree and oregano essential oil concentration. *Journal of Food Engineering*, 110, 232–239.

Bergo, P.V.A., Carvalho, R.A., Sobral, P.J.A., dos Santos, R.M.C., da Silva, F.B.R., Prison, J.M., Solorza-Feria, J., Habitante, A.M.Q.B. (2008). Physical Properties of Edible Films Based on Cassava Starch as Affected by the Plasticizer Concentration. *Packaging Technology and Science*, 21, 85–89.

Bigi, A., Cojazzi, G., Panzavolta, S.; Rubini, K., Roveri, N. (2001). Mechanical and thermal properties of gelatin films at different degrees of glutaraldehyde crosslinking. *Biomaterials*, 22, 763–768.

Bilbao-Sáinz, C., Avena-Bustillos, R.J., Wood, D.F., Williams, T.G., McHugh, T.H. (2010). Composite edible films based on hydroxypropyl methylcellulose reinforced with microcrystalline cellulose nanoparticles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 3753–3760.

Blazek, J. (2008). Role of amylose in structure-function relationship in starches from australian wheat varieties. PhD-thesis Faculty of Agriculture, Food and Natural Resources, The University of Sydney, Australia.

Bocken, N.M.P., Allwood, J.M., Willey, A.R., King, J.M.H. (2012). Development of a tool for rapidly assessing the implementation difficulty and emissions benefits of innovations. *Technovation*, 32, 19–31.

Boeckman, M. (2006). Regulatory status of carbon monoxide for meat packaging. In: *Proceedings of the 59th reciprocal meat conference*, Illinois, USA, 59–60.

Bolumar, T., Andersen, M.L., Orlien, V. (2011). Antioxidant active packaging for chicken meat processed by high pressure treatment. *Food Chemistry*, 129, 1406–1412

Bonilla, J., Talón, E., Atarés, L., Vargas, M., Chiralt, A. (2013). Effect of the incorporation of antioxidants on physicochemical and antioxidant properties of wheat starch–chitosan films. *Journal of Food Engineering*, 118, 271–278.

Botsoglou, N.A., Fletouris, D.J., Papageorgiou, G.E., Vassilopoulos, V.N., Mantis, A.J., Trakatellis, A.G. (1994). Rapid, sensitive and specific thiobarbituric acid method for measurement of lipid peroxidation in animal tissue, food and feedstuff samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 1931-1937.

- Bourgou, S., Ksouri, R., Bellila, A., Skandrani, I., Falleh, H., Marzouk, B. (2008).** Phenolic composition and biological activities of Tunisian *Nigella sativa* L. shoots and roots. *C.R. Biologies*, 331, 45-48.
- Bourtoom, T. (2008).** Edible films and coatings: Characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15, 237–248.
- Bourtoom, T. (2009).** Protein edible film: Properties enhancement. *International Food Research Journal*, 16, 1-9.
- Box, G.E.P., Behnken, D.W. (1960).** Some new three level designs for the study of quantitative variables. *Technometrics*, 2, 455–475.
- Brewer, S. (2004).** Irradiation effects on meat color – a review. *Meat Science*, 68, 1–17.
- Brewer, S. (2010).** Technological Quality of Meat for Processing. In: F. Toldrá (Ed.): *Handbook of meat processing*, Blackwell Publishing, Iowa, USA.
- Brek, T., Pezo, L., Voća, N., Krička, T., Vukmirović, Đ., Čolović, R., Bodroža-Solarov, M. (2013).** Chemometric approach for assessing the quality of olive cake pellets. *Fuel Processing Technology*, 116, 250-256.
- Brody, A.L., Strupinsky, E.R., Kline, L.R. (2001).** *Active packaging for food applications*. Lancaster, PA, USA: Technomic Publishing Company, Inc.
- BS EN 15763:2009.** Foodstuffs. Determination of trace elements. Determination of arsenic, cadmium, mercury and lead in foodstuffs by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICPMS) after pressure digestion.
- Buléon, A., Colonna, P., Planchot, V., Ball, S. (1998).** Starch granules: Structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 23, 85–112.
- Burits, M., Bucar, F. (2000).** Antioxidant activity of *Nigella sativa* Essential oil. *Phytotherapy Research*, 14, 323-328.
- Burt, S.A., Vlieland, R., Haagsman, H.P., Veldhuizen, E.J.A. (2005).** Increase in activity of essential oil components carvacrol and thymol against *Escherichia coli* O157:H7 by addition of food stabilizers. *Journal of Food Protection*, 68, 919–926.
- Burt, S. (2004).** Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods: A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94, 223–253.
- Busatta, C., Vidal, R.S., Popiolski, A.S., Mossi, A.J., Dariva, C., Rodrigues, M.R.A., Corazza, F.C., Corazza, M.L., Oliveira, J.V., Cansian, R.L. (2008).**

Application of *Origanum majorana L.* essential oil as an antimicrobial agent in sausage. *Food Microbiology*, 25, 207–211.

C

Callegarin, F., Gallo, J.A.Q., Debeaufort, F., Voilley, A. (1997). Lipids and biopackaging. *Journal of American Oil Chemists Society*, 74, 1183-1192.

Camo, J., Lorés, A., Djenane, D., Beltrán, J.A., Roncalés, P. (2011). Display life of beef packaged with an antioxidant active film as a function of the concentration of oregano extract. *Meat Science*, 88, 174-178.

Campos, C.A., Gerschenson, L.N., Flores, S.K. (2011). Development of edible films and coatings with antimicrobial activity. *Food Bioprocess Technology*, 4, 849–875.

Carvalho, A.J.F. (2008). Starch: major sources, properties and applications as thermoplastic materials. In M. N. Belgacem & A. Gandini (Eds.), *Monomers, polymers and composites from renewable resources*. Amsterdam: Elsevier.

Castro-Giraldez, M., Fito, P.J., Fito, P. (2010). Nonequilibrium thermodynamic approach to analyze the pork meat (*Longissimus dorsi*) salting process. *Journal of Food Engineering*, 99, 24–30.

Chainjan, M. (2008). Lipid and myoglobin oxidations in muscle foods. *Journal of Science and Technology*, 30, 47–53.

Chang, Y.P., Cheah, P.B., Seow, C.C. (2000). Plasticizing–antiplasticizing effects of water on physical properties of tapioca starch films in the glassy state. *Journal of Food Science*, 65, 445–451.

Cheetham, N.W.H., Tao, L. (1998). Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: an X-ray powder diffraction study. *Carbohydrate Polymers*, 36, 277–284.

Cheikh-Rouhou, S., Besbes, S., Hentati, B., Blecker, C., Deroanne, C., Attia, H. (2007). *Nigella sativa L.*: Chemical composition and physicochemical characteristics of lipid fraction. *Food Chemistry*, 101, 673-681.

Chen, H. (2002). Formation and Properties of casein films and coatings. In *Protein-based films and coatings*. Ed. A. Genadios, CRC Press, Boca Raton.

Chen, P., Yu, L., Simon, G., Petinakis, E., Dean, K., Chen, L. (2009). Morphologies and microstructures of cornstarches with different amylose–amylopectin ratios

studied by confocal laser scanning microscope. *Journal of Cereal Science*, 50, 241–247.

Chidanandaiah Keshri, R.C., Sanyal, M.K., Kotwal, S.K., Sudhan, N.A. (2005). Quality changes in enrobed/coated products during storage. *Indian Food Industry*, 24, 57-61.

Chillo, S., Flores, S., Mastromatteo, M., Conte, A., Gerschenson, L., Del Nobile, M.A. (2008). Influence of glycerol and chitosan on tapioca starch-based edible film properties. *Journal of Food Engineering*, 88, 159–168.

Chiralt, A., Fito, P. (2003). Transport mechanisms in osmotic dehydration: The role of the structure, *Food Science and Technology International*, 9, 179-186.

Chiumarelli, M., Hubinger, M. (2012). Stability, solubility, mechanical and barrier properties of cassava starch – Carnauba wax edible coatings to preserve fresh-cut apples. *Food hydrocolloids*, 28, 59-67.

Chmiel, M., Słowiński, M., Dasiewicz, K. (2011). Lightness of the color measured by computer image analysis as a factor for assessing the quality of pork meat. *Meat science*, 88, 566-570.

Chorianopoulos, N., Kalpoutzakis, E. (2004). Essential oils of *Satureja*, *Origanum*, and *Thymus* species: Chemical composition and antibacterial activities against foodborne pathogens. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 52, 8261–8267.

Coates J. (2000). Interpretation of infrared spectra – A practical approach. In *Encyclopaedia of analytical chemistry*, 1st ed.; Meyers, R.A. Ed.; John Wiley and Sons, Chichester, UK.

Coles, R., McDowell, D., Kirwan, M.J. (2003). *Food Packaging Technology*, Blackwell Publishing Ltd.

Collado, L.S., Corke, H. (2003). Starch properties and functionality. In: G. Kaletunç, K.J. Breslauer (Eds.), *Characterization of cereals and flours: Properties, analysis, and applications* (chapter 15), NY: Marcel Dekker, Inc., USA.

Coma, V. (2008). Bioactive packaging technologies for extended shelf life of meat-based products. *Meat Science*, 78, 90–103.

Conforti, F.D., Zinck, J.B. (2002). Hydrocolloid-Lipid Coating Affect on Weight Loss, Pectin Content, and Textural Quality of Green Bell Peppers. *Journal of Food Science*, 67, 1360–1363.

Cooke, D., Gidley, M.J. (1992). Loss of crystalline and molecular order during starch gelatinization – Origin of the enthalpic transition. *Carbohydrate Research*, 227, 103–112.

Corzo, O., Bracho, N., Alvarez, C. (2008). Water effective diffusion coefficient of mango slices at different maturity stages during air drying. *Journal of Food Engineering*, 87, 479-484.

Cosentino S., Tuberoso C.I.G., Pisano B., Satta M., Mascia V., Arzedi E., Palmas F. (1999). In vitro antimicrobial activity and chemical composition of Sardinian Thymus essential oils. *Letters of Applied Microbiology*, 29, 130–135.

Cox, D.R., Reid, N. (2000). The theory of design of experiments. Chapman & Hall, Great Britain.

Cunningham, S.E., McMinn, W.A.M., Magee, T.R.A., Richardson, P.S. (2008). Experimental Study of Rehydration Kinetics of Potato Cylinders, *Food and Bioproducts Processing*, 86, 15-24.

Cutter C.N., Sumner, S.S. (2002). Application of edible coatings in muscle foods. In: *Protein-Based Films and Coatings*. A. Gennedios (ed.). CRC, Boca Raton, FL.

D

Dainty, R.H., Mackey, B.M. (1992). The relationship between the phenotypic properties of bacteria from chill-stored meat and spoilage processes. *Journal of Applied Bacteriology*, 73, 103–114.

Dangaran, K., Tomasula, P.M., Qi, P. (2009). Structure and Function of Protein-Based Edible Films and Coatings. In *Edible films and coatings for food application*. Eds. M.E. Embuscado, H.C. Huber, Springer, New York.

Datamonitor (2010). Containers & Packaging: Global Industry Guide 2010. Datamonitor, London.

de Monte, M., Padoano, E., Pozzetto, D. (2005). Alternative coffee packaging: an analysis from a life cycle point of view. *Journal of Food Engineering*, 66, 405–411.

Delcour, J.A., Hosney, R.C. (2010). Principles of Cereal Science and Technology, AACC International, Inc., St. Paul, MN.

Demiate, I.M., Dupuy, N., Huvenne, J.P., Cereda, M.P., Wosiacki, G. (2000). Relationship between baking behavior of modified cassava starches and starch chemical structure determined by FTIR spectroscopy. *Carbohydrate Polymers*, 42, 149–158.

Dhalla R., Hanson, S.W. (1988). Effect of permeability coatings on the storage life of fruits. II. Pro-long treatments of mangoes (*Mangifera indica* L. cv. Julie). *International Journal of Food Science and Technology*, 23, 107 – 112.

DIN 53380 (1969). Prüfung Kunststoffolien, Elastomerfolien, Bestimmung der Gasdurchlässigkeit.

Di Pierro, P., Sorrentino, A., Mariniello, L., Giosafatto, C.V.L., Porta, R. (2010). Chitosan/whey protein film as active coating to extend Ricotta cheese shelf-life. *LWT -Food Science and Technology*, 44, 2324-2327.

Ding, C., Chachin, K., Ueda, Y., Imahori, Y., Wang, C.Y. (2002). Modified atmosphere packaging maintains postharvest quality of loquat fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 24, 341-348.

Dokmanović, M. (2012). Ispitivanje zavisnosti između stresa i kvaliteta mesa svinja. Doktorska disertacija. Fakultet veterinarske medicine. Univerzitet u Beogradu

Donsì, G., Ferrari, G., Matteo, D.I. (2001). Utilization of combined processes in freeze-drying of shrimps. *Food and Bioprocess Technology*, 79, 152-159.

Drake S.R., Fellman, J.K., Nelson, J.W. (1987). Post-harvest use of sucrose polyesters for extending the shelf-life of stored Golden Delicious apples, *Journal of Food Science*, 52, 1283–1285.

Dvarioniene, J., Kruopiene, J., Stankeviciene, J. (2012). Application of cleaner technologies in milk processing industry to improve the environmental efficiency. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 14, 1037–1045.

E

Eça, K.S., Sartori, T., Menegalli, F.C. (2014). Films and edible coatings containing antioxidants – a review. *Brazilian Journal of Food Technology*, 17, 98–112.

ECR Europe (2009). The European Organisation for Packaging and the Environment, Inns, R. Packaging in the Sustainability Agenda: A Guide for Corporate Decisions Makers, ESC Europe, Brussels, Belgium.

El-Aouar, A.A., Moreira Azoubel, P., Lucena Barbosa, J.Jr., Xidien Murr, F.E. (2006). Influence of the osmotic agent on the osmotic dehydration of papaya (*Carica Papaya L.*). *Journal of Food Engineering*, 75, 267-274.

El-Dakhkhani, M., Barakat, M., El-Halim, M.A. (2000). Effect of *Nigella sativa* oil on gastric secretion and ethanol-induced ulcer in rats. *Journal of Ethnopharmacology*, 72, 299-304.

Embuscado, M.E., Huber, K.C. (2009). Edible Films and Coatings for Food Applications. Springer Science+Business Media, LLC.

EN ISO 527-3:1995. Plastics — Determination of tensile properties —Part 3: Test conditions for films and sheets, European Committee for Standardization.

Erle U., Schubert H. (2001). Combined osmotic and microwave-vacuum dehydration of apples and strawberries. *Journal of Food Engineering*, 49, 193-199.

F

Fabra, M.J., Talens, P., Chiralt, A. (2010). Water sorption isotherms and phase transitions of sodium caseinate-lipid as affected by lipid interactions. *Food Hydrocolloids*, 24, 384–391.

Fadini, A.L., Rocha, F.S., Alvim, I.D., Sadahira, M.S., Queiroz, M.B., Alves, R.M.V., Silva, L.B. (2013). Mechanical properties and water vapour permeability of hydrolysed collagen–cocoa butter edible films plasticised with sucrose. *Food Hydrocolloids*, 30, 625–631.

Falguera, V., Quinterob, J.P., Jimenez, A., Munoz, J.A., Ibarz, A. (2011). Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends in Food Science & Technology*, 22, 292-303.

Faleiro, L., Miguel, G., Gomes, S., Costa, L., Venancio, F., Teixeira, A., Figueiredo, C., Barroso, J.G., Pedro, L.G. (2005). Antibacterial and antioxidant activities of essential oils isolated from *Thymbra capitata* L. (Cav.) and *Origanum vulgare* L. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 53, 8162–8168.

Famá, L., Flores, S. K., Gerschenson, L., Goyanes, S. (2006). Physical characterization of cassava starch biofilms with special reference to dynamic mechanical properties at low temperatures. *Carbohydrate Polymers*, 66, 8–15.

Famá, L., Rojas, A.M., Goyanes, S., Gerschenson, L. (2005). Mechanical properties of cassava-starch edible films containing sorbates. *LWT-Food Science and Technology*, 38, 631–639.

Fang, J.M., Fowler, P.A., Tomkinson, J., Hill, C.A.S. (2002). The preparation and characterization of a series of chemically modified potato starches. *Carbohydrate Polymers*, 47, 245–252.

Faucitano, L., Ielo, M. C., Ster, C., Fiego, D. L., Methot, S., Saucier, L. (2010). Shelf life of pork from five different quality classes. *Meat science*, 84, 466-469.

Feiner, G. (2006). Meat products handbook, Practical science and technology, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England

Fernandez Cervera, M., Karjalainen, M., Airaksinen, S., Rantanen, J., Krogars, K., Heinamaki, J., Iraizoz Colarte, A., Yliruusi, J. (2004). Physical stability and moisture sorption of aqueous chitosan–amylose starch films plasticized with polyols. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 58, 69–76.

Filipović, V. (2013). Analiza uticaja procesa osmotske dhidratacije na prenos mase i kvalitet mesa od svinjske plečke. *Doktorska disertacija*, Tehnološki fakultet, Novi Sad.

Flores, S., Conte, A., Campos, C., Gerschenson, L., Del Nobile, M. (2007). Mass transport properties of tapioca-based active edible films. *Journal of Food Engineering*, 81, 580–586.

Flores, S.K., Costa, D., Yamashita, F., Gerschenson, L.N., Grossmann, M.V.E. (2010). Mixture design for evaluation of potassium sorbate and xanthan gum effect on properties of tapioca starch films obtained by extrusion. *Material Science and Engineering:C*, 30, 196-202.

Flores, J.D., Dock, L.L., Han, J.H. (1997). Active packaging technologies and applications. *Food Cosmetics and Drug Packaging*, 20, 10–17.

Folch, J., Lees, M., Sloane Stanley, G.H. (1957). A Simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226, 497-509.

Forsell, P., Lahtinen, R., Lahelin, M., Myllarinen, P. (2002). Oxygen permeability of amylose and amylopectin films. *Carbohydrate Polymers*, 47, 125–129.

Forsell, P.M., Mikkilä, J.M., Moates, G.K., Parker, R. (1997). Phase and glass transition behaviour of concentrated barley starch–glycerol–water mixtures, a model for thermoplastic starch. *Carbohydrate Polymers*, 34, 275–282.

Franssen, L.R., Krochta, J.M. (2003). Edible coatings containing natural antimicrobials for processed foods. In *Natural antimicrobials for minimal processing of foods*. Ed. S. Roller, CRC Press, Boca Raton.

Franssen, L.R., Rumsey, T.R., Krochta, J.M. (2002). Modeling of natamycin and potassium sorbate diffusion in whey protein isolate films for application to cheddar cheese. Poster 28-5, Institute of Food Technologists Annual Meeting, Anaheim, California.

Fu, Z., Chen, J., Luo, S-J., Liu, C-M., Liu, W. (2015). Effect of food additives on starch retrogradation: A review. *Starch/Stärke*, 67, 69–78.

G

Galignani M, del Rosario Brunetto M. (2004). Infrared detection in flow analysis—developments and trends (review). *Talanta*, 64, 1127–1146.

García, M.A., Martino, M.N., Zaritzky, N.E. (2001). Composite starch-based coatings applied to strawberries (*Fragaria×ananassa*). *Nahrung/Food* 45, 267 – 272.

García, M.A., Martino, M.N., Zaritzky, N.E. (2000a). Microstructural characterization of plasticized starch-based films. *Starch/ Stärke*, 52, 118 – 124.

García, M.A., Martino M.N., Zaritzky, N.E. (2000b). Lipid addition to improve barrier properties of edible starch-based films and coatings. *Journal of Food Science*, 65, 941 – 947.

García, M.A., Martino, M.N., Zaritzky, N.E. (1999). Edible starch films and coatings characterization: water vapour and gas permeabilities. *J. Scanning Microsc.* 21, 348–353.

García, M.A., Martino M.N., Zaritzky N.E. (1998a). Starch-based coatings: effect on refrigerated strawberry (*Fragaria×Ananassa*) quality. *J. Sci. Food Agric.* 76, 411 – 420.

García, M.A., Martino M.N., Zaritzky N.E. (1998b). Plasticizer effect on starch-based coatings applied to strawberries (*Fragaria×Ananassa*). *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 46, 3758 – 3767.

García, M.A., Pinotti, A., Martino, M.N., Zaritzky, N.E. (2004). Characterization of composite hydrocolloid films. *Carbohydrate Polymers*, 56, 339 – 345.

Gaudin, S., Lourdin, D., Forssell, P.M., Colonna, P. (2000). Antiplasticisation and oxygen permeability of starch–sorbitol films. *Carbohydrate Polymers*, 43, 33–37.

Gennadios, A., McHugh, T.H., Weller, C.L., Krochta, J.M. (1994). Edible coatings and films based on proteins. In *Edible Coatings and Films to Improve Food Quality*. Eds. J.M. Krochta, E.A. Baldwin, M.O. Nisperos-Carriedo, Technomic Publishing, Lancaster.

Ghanbarzadeh, B., Oromiehi, A.R. (2008). Studies on glass transition temperature of mono and bilayer protein films plasticized by glycerol and olive oil. *Journal of Applied Polymer Science*, 109, 2848–2854.

Ghasemlou, M., Aliheidari, N., Fahmi, R., Shojaee-Aliabadi, S., Keshavarz, B., Cran, M.J., Khaksar, R. (2013). Physical, mechanical and barrier properties of corn starch films incorporated with plant essential oils. *Carbohydrate Polymers*, 98, 1117–1126.

Ghasemlou, M., Khodaiyan, F., Oromiehie, A., Yarmand, M.S. (2011). Development and characterization of a new biodegradable edible film made from kefiran an exopolysaccharide obtained from kefir grains. *Food Chemistry*, 127, 1496–1502.

Glassford, S.E., Byrne, B., Kazarian, S.G. (2013). Recent applications of ATR FTIR spectroscopy and imaging to proteins. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1834, 2849–2858.

Gomand, S.V., Lamberts, L., Derde, L.J., Goesaert, H. Vandeputte, G.E., Goderis, B., Visser, R.G.F., Delcour, J.A. (2010). Structural properties and gelatinisation characteristics of potato and cassava starches and mutants thereof. *Food Hydrocolloids*, 24, 307–317.

Gomez-Estaca, J., Lacey, A.L., Gomez-Guillen, M.C., López-Caballero, M.E., Montero, P. (2009). Antimicrobial activity of composite edible films based on fish gelatin and chitosan incorporated with clove essential oil. *Journal of Aquatic Food Products Technology*, 18, 46–52.

Gomez-Guillen, M.C., Gimenez, B., Lopez-Caballero, M.E., Montero, M.P. (2011). Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: a review. *Food Hydrocolloids*, 25, 1813–1827.

Gontard, N., Ring, S. (1996). Edible wheat gluten film: Influence of water content on glass transition temperature. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 3474–3478.

Greener Donhowe, I., Fennema, O. (1994). Edible films and coatings: characteristics, formation, definitions, and testing methods. In J.M. Krochta, E. Baldwin, M.O. Nisperos-Carriedo (Eds.), *Edible films and coatings to improve food quality*. Lancaster, PA: Technomic Publishing Co. Inc.

Guilbert, S., Gontard, N. (1995). Technology and applications of edible protective films. *In: VII Biotechnology and Food Research – “New Shelf-Life Technologies and Safety Assessments”* Helsinki, Finland.

Gupta, A.D., Bansal, V.K., Babu, V., Maithil, N. (2013). Chemistry, antioxidant and antimicrobial potential of nutmeg (*Myristica fragrans* Houtt). *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 11, 25–31.

H

Hagenmaier, R.D., Baker, R.A. (1994). Wax microemulsions and emulsions as citrus coatings. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 899–902.

- Han, C., Zhao, Y., Leonard, S. W., Traber, M. G. (2004).** Edible coatings to improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen strawberries (*Fragaria × ananassa*) and raspberries (*Rubus idaeus*). *Postharvest Biology and Technology*, 33, 67–78.
- Han, J.H. (2014).** *Innovations in food packaging*, Elsevier, Academic Press, USA.
- Han, J.H. (2003).** Antimicrobial food packaging. In *Novel food packaging techniques*. Ed. R. Ahvenainen, Woodhead publishing, Cambridge, UK.
- Han, J.H. (2000).** Antimicrobial food packaging. *Food Technology*, 54, 56–65.
- Han, J.H., Seo, G.H., Park, I.M., Kim, G.N., Lee, D.S. (2006).** Physical and mechanical properties of pea starch edible films containing beeswax emulsions. *Journal of Food Science*, 71, E290–E296.
- Handley, D., Ma-Edmonds, M., Hamouz, F., Cuppett, S., Madigo, R., Schnepf, M. (1996).** Controlling oxidation and warmed over flavor in precooked pork chops with rosemary oleoresin and edible film. In: *Natural antioxidants chemistry, health effects and applications*. Shahidi, F. (ed). AOCS Champaign, IL.
- Harpaz, S., Glatman, L., Drabkin, V., Gelman, A. (2003).** Effects of herbal essential oils used to extend the shelf life of freshwater-reared Asian sea bass fish (*Lates calcarifer*). *Journal of Food Protection*, 66, 410–417.
- Harrick, N.J. (1967).** *Internal reflection spectroscopy*. 1st ed. New York: John Wiley and Sons.
- Hernández, O., Emaldi, U., Tovar, J. (2008).** In vitro digestibility of edible films from various starch sources. *Carbohydrate Polymers*, 71, 648–655.
- Hódsági, M. (2011).** Recent results of investigations of resistant starches. PhD-thesis Budapest University of Technology and Economics, Hungary.
- Hong, S., Krochta, J.M. (2006).** Oxygen barrier performance of whey-protein-coated plastic films as affected by temperature, relative humidity, base film and protein type. *Journal of Food Engineering*, 77, 739-745.
- Honikel, K. O. (1999).** Biohemijske i fizičko-hemijske karakteristike kvaliteta mesa. *Tehnologija mesa*, 40, 3-5.
- Hoover, R. (1995).** Starch retrogradation. *Food Reviews International*, 11, 331–346.
- Houghton, P.J., Zarka, R., de la Heras, B., Houlst, J.R.S. (1995).** Fixed oil of *Nigella sativa* and derived thymoquinone inhibit eicosanoid generation in leukocytes and membrane lipid peroxidation. *Planta Medica*. 61,33-36.

Huang, C.B., Jeng, R., Sain, M., Saville, B.A., Hubes, M. (2006). Production, characterization and mechanical properties of starch modified by *Ophiostoma* spp. *Bioresources*, 1, 257-269.

Huang, T., Nip, W. (2001). Intermediate-Moisture Meat and Dehydrated Meat. In *Meat Science and Application*, CRC Press.

Huff-Lonergan, E., Lonergan, S.M. (2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Science*, 71, 194–204.

Huijbrechts, A.M.L. (2008). Multifunctional starch derivatives: synthesis, characterization and properties. PhD-thesis Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.

Humbert, S., Rossi, V., Margni, M., Jolliet, O., Loerincik, Y. (2009). Life cycle assessment of two baby food packaging alternatives: glass jars vs. plastic pots. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 14, 95–106.

Hyltdgaard, M., Mygind, T., Meyer, R.L. (2012). Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interaction with food matrix components. *Frontiers in Microbiology*, 3, 12.

I

ICMSF 1986. International Commission on Microbiological Specifications for Foods. *Sampling for Microbiological Analysis: Principles and Scientific Applications*, 2nd ed., Vol. 2. University of Toronto Press, Toronto.

Imberty, A., Perez, S. (1988). A revisit to the 3-dimensional structure of the B-type. *Biopolymers*, 27, 1205-1221.

ISO 2528:1995. Sheet materials – determination of water vapour transmission rate – Gravimetric (dish) method, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

ISO 11292:1995. Determination of free and total carbohydrate contents - Method using high-performance anion-exchange chromatography.

J

Jane, J. (2009). Structural Features of Starch Granules II. In: J. BeMiller, R. Whistler (Eds.), *Starch: Chemistry and Technology* (3rd ed.). Amsterdam: Academic Press, The Netherlands.

Jane, J.I., Shen, J.J. (1993). Internal structure of the potato starch granule revealed by chemical gelatinization. *Carbohydrate Research*, 247, 279–290.

Javanmard, M., Ahangari, R., Tavakolipour, H. (2011). Effects of wheat starch edible films on rancidity and moisture uptake of pistachio kernels as a new package. *Journal of Food Process Engineering*, 34, 1156-1171.

Jongjareonrak, A., Benjakul, S., Visessanguan, W., Prodpran, T., Tanaka, M. (2006). Characterization of edible films from skin gelatin of brownstripe red snapper and bigeye snapper. *Food Hydrocolloids*, 20, 492–501.

Jovanović, S., Stojanović, Ž., Jeremić, K. (2002). Polimeri na bazi obnovljivih sirovina, *Hemijska Industrija*, 56, 447-460.

K

Kalichevski, M.T., Jaroszkiewicz, E.M., Blanshard, J.M. (1992). Glass transition of gluten. 1: Gluten and gluten-sugar mixtures. *International Journal of Biological Macromolecules*, 14, 257.

Kanellis, A.K., Tonutti, P., Perata, P. (2009). Biochemical and Molecular Aspects of Modified and Controlled Atmospheres. In: *Modified and Controlled Atmospheres for the Storage, Transportation, and Packaging of Horticultural Commodities*, Yahia, E.M. (Ed.), CRC Press, Boca Raton, FL.

Kasemsuwan, T., Jane, J. (1994). Location of amylose in normal starch granules. II. Locations of phosphodiester cross-linking revealed by Phosphorus-31 nuclear magnetic resonance. *Cereal Chemistry*, 71, 282–287.

Katsiotis, A., Nikoloudakis, N., Linos, A., Drossou, A., Constantinidis, T. (2009). Phylogenetic relationships in *Origanum* spp. based on rDNA sequences and intra-genetic variation of Greek *O. vulgare* subsp. *hirtum* revealed by RAPD. *Scientia horticultrae*. 121, 103–108.

Kauffman, R.G. (2001). *Meat Composition, Meat Science and Application*, Ed. O.A. Young, R.W. Rogers, Y.H. Hui, Wai-Kit Nip, Marcel Dekker, Inc. New York.

Kavoosi, G., Dadfar, S.M.M., Mohammadi Purfard, A. (2013). Mechanical, physical, antioxidant, and antimicrobial properties of gelatin films incorporated with Thymol for potential use as nano wound dressing. *Journal of Food Science*, 78, E244–E250.

Kechichian, V., Ditchfield, C., Veiga-Santos, P., Tadini, C.C. (2010). Natural antimicrobial ingredients incorporated in biodegradable films based on cassava starch. *LWT – Food Science and Technology*, 43, 1088-1094.

Kenedy, C., Buckeley, D.J., Kerry, J.P. (2004). Display life of sheep meats retail packaged under atmospheres of various volumes and compositions. *Meat Science*, 68, 649–658.

Kerry, J.P. (2014). New packaging technologies, materials and formats for fast-moving consumer products. In J.H. Han (Ed.), *Innovations in food packaging* (pp. 549–584) (2nd ed.). San Diego, USA: Academic Press.

Kerry, J.P., O'Grady, M.N., Hogan, S.A. (2006). Past, current and potential utilisation of active and intelligent packaging systems for meat and muscle-based products: A review. *Meat Science*, 74, 113–130.

Khaksar R., Moslemy M., Hosseini H.,Taslimi A., Ramezani A., Amiri Z., Sabzevari A. (2010). Comparison of lipid changes in chicken frankfurters made by soybean and canola oils during storage. *Iranian Journal of Veterinary Research*, Shiraz University.

Kim I.H., Yang, H.J., Noh, B.S., Chung, S.J., Min, S.C. (2012). Development of a defatted mustard meal-based composite film and its application to smoked salmon to retard lipid oxidation. *Food Chemistry*, 133, 1501–1509.

Kim, Y.T., Min, B., Kim, K.W. (2014). General Characteristics of Packaging Materials for Food System. In: *Innovations in Food Packaging*, Ed. (Han, J.H.), 2nd edition.

Kirwan, M.J., Strawbridge, J.W. (2003). Plastics in food packaging. In *Food Packaging Technology*. Eds. R. Coles, D. McDowell, M.J. Kirwan, Blackwell Publishing, CRC Press.

Koehler, P., Kieffer, R., Wieser, H. (2010). Effect of hydrostatic pressure and temperature on the chemical and functional properties of wheat gluten III. Studies on gluten films. *Journal of Cereal Science*, 51, 140-145.

Kolybaba, M., Tabil, L.G., Powell, T., Wang, B. (2003). Biodegradable polymers: past, present and future, October 2003; *Biorelated Polymers - Sustainable Polymer Science and Technology*. Encyclopedia of Polymer Science and Technology, Copyright John Wiley & Sons, Inc.

Koprivica, G., Mišljenović, N., Lević, Lj., Kuljanin, T. (2009). Influence of nutrients present in sugar beet molasses and saccharose solution on the quality of osmodehydrated carrot. *PTEP*, 13, 178-180.

Krochta, J.M. (2002). Proteins as raw materials for films and coatings: definitions, current status and opportunities. In *Protein-based films and coatings*. Ed. A. Genadios, CRC Press, Boca Raton.

Krochta, J.M., Baldwin, E.A., Nysperos-Carriedo, M. (1994). Edible coatings and films to improve food quality, CRC Press, Boca Raton.

Krogars, K., Antikainen, O., Heinämäki, J., Laitinen, N., Yliruusi, J. (2002). Tablet film-coating with amylose-rich maize starch. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 17, 23–30.

Kroger, M., Igoe, R.S. (1971). Edible containers. *Food Prod. Dev.* 5, 74-82.

Krokida, M.K., Marinos-Kouris, D. (2003). Rehydration kinetics of dehydrated products. *Journal of Food Engineering*, 57, 1–7.

Krokida, M.K., Philippopoulos, C. (2005). Rehydration of dehydrated foods. *Drying Technology*, 23, 799–830.

Kuorwel, K., Cran, M.J., Sonneveld, K., Miltz, J., Bigger, S.W. (2011). Antimicrobial activity of biodegradable polysaccharide and protein-based films containing active agents. *J. Food Sci.* 76, 90–102.

L

Lambert, R.J.W., Skandamis, P.N., Coote, P.J., Nychas, G.-J.E. (2001). A study of the minimum inhibitory concentration and mode of action of oregano essential oil, thymol and carvacrol. *Journal of Applied Microbiology*, 91, 453–462.

Lanari, M.C., Schaefer, D.M., Scheller, K.K. (1995). Dietary vitamin E supplementation and discoloration of pork bone and muscle following modified atmosphere packaging. *Meat Science*, 41, 237-250.

Lazarides, H.N. (1994). Osmotic dehydration: developments and prospects. In R.P. Singh, F. Oliveira (Eds.), *Minimal Processing and Process Optimization of Foods: An Interface*. CRC Press, Boca Raton, FL.

Lazaridou, A., Biliaderis, C.G. (2002). Thermophysical properties of chitosan, chitosan-starch and chitosan-pullulan films near the glass transition. *Carbohydrates Polymers*, 48, 179–190.

Lazić, V., Gvozdrenović, J., Petrović, T. (2008)a. Mogućnosti savremenog pakovanja hrane. *Časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi PTEP*, 12, 49-52.

Lazić, V., Gvozdrenović, J., Petrović, T., Romanić, R. (2008)b. Životni ciklus ambalaže, 49. Savetovanje industrije ulja: Proizvodnja i prerada uljarica, Herceg Novi, Zbornik radova: 217- 220.

- Lazić, V., Krkić, N., Petrović, Lj., Tasić, T., Ikonić, P., Savatić, S., Šojić, B. (2010a).** Svojstva ambalažnih materijala za pakovanje fermentisanih kobasica pod vakuumom i u modifikovanoj atmosferi. *Tehnologija mesa* 51, 95–102.
- Lazić, V., Krkić, N., Gvozdenović, J., Novaković, D. (2010b).** Packaging Lifecycle assessment. *PTEP*, 14, 61-64.
- Lazić, V., Novaković, D. (2010).** Ambalaža i životna sredina, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
- Lawrie R. A. (1998).** *Lawrie's Meat Science, Sixth Edition*, Woodhead Publishing Limited, Abington Hall, Abington, Cambridge CB1 6AH, England.
- Lawrie, R.A., Ledward, D.A. (2006).** *Lawrie's meat science, seventh edition*. Abington, Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Le Maguer, M. (1988).** Osmotic dehydration: review and future directions. *Proceedings of the symposium in food preservation process*. Brussels: CERFCI.
- Lee, H.B., Noh, B.S., Min, S.C. (2012).** Listeria monocytogenes inhibition by defatted mustard meal-based edible films. *International Journal of Food Microbiology*, 153, 99-105.
- Leja, K., Lewandowicz, G. (2010).** Polymer Biodegradation and Biodegradable Polymers – a Review. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19, 255-266.
- Levermore, R. (2004).** Rancidity in fresh and stored pork products. *Meat International*, 14, 16-18.
- Lewicki, P.P., Lukaszuk, A. (2000).** Effect of osmotic dewatering on rheological properties of apple subjected to convective drying. *Journal of Food Engineering*, 45, 119–126.
- Lewicki, P.P., Witrowa-Rajchert, D., Pomaranska- Lazuka, W., Nowak, D. (1998).** Rehydration properties of dried onion. *International Journal of Food Properties*, 1, 275–290.
- Leygonie, C., Britz, T.J., Hoffman, L.C. (2011).** Protein and lipid oxidative stability of fresh ostrich *M. liofibularis* packaged under different modified atmospheric packaging conditions. *Food Chemistry*, 127, 1659-1667.
- Lin, S.Y., Zhao, Y. (2007).** Innovations in development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 6, 60-75.

Lindeboom, N., Chang, P.R., Tyler, R.T. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. *Starch/Stärke*, 56, 89–99.

Liu, F., Dai, R., Zhu, J., Li, X. (2010). Optimizing color and lipid stability of beef patties with a mixture design incorporating with tea catechins, carnosine, and alphatocopherol. *Journal of Food Engineering*, 98, 170–177.

Liu, H.H., Chaudhary, D., Ingram, G., John, J. (2011). Interactions of hydrophilic plasticizer molecules with amorphous starch biopolymer – An investigation into the glass transition and the water activity behavior. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 49, 1041–1049.

Liu, H., Adhikari, R., Guo, Q., Adhikari, B. (2013). Preparation and characterization of glycerol plasticized (high-amylose) starch–chitosan films. *Journal of Food Engineering*, 116, 588–597.

Lončar, B. (2015). Hemometrijski pristup analizi osmotske dehidracije srebrnog karaša (*Carassius gibelio*). *Doktorska disertacija, Tehnološki fakultet, Novi Sad*.

Lopez, O.V., Garcia, M.A. (2012). Starch films from a novel (*Pachyrhizus ahipa*) and conventional sources: Development and characterisation. *Material Science and Engineering:C*, 32, 1931-1940.

Lopez-Lorenzo, P., Hernandez, P., Sanz-Perez, B., Ordonez, J.A. (1980). Effect of oxygen and carbon dioxide enriched atmospheres on shelf-life extension of refrigerated ground pork. *Meat Science*, 4, 89–94.

Lungu, B., Johnson, M.G. (2005). Potassium sorbate does not increase control of *Listeria monocytogenes* when added to zein Coatings with nisin on the surface of full fat turkey frankfurter pieces in a model system at 4°C. *Journal of Food Science*, 70, M95-M99.

M

Ma-Edmonds, M., Hamouz, F., Cuppett, S., Madigo, R., Schnepf, M. (1995). Use of rosemary oleoresin and edible film to control warmed-over flavor in pre-cooked beef patties. Abstract No. 50-6 IFT Annual Meeting. Anaheim, CA.

Maizura, M., Fazilah, A., Norziah, M.H., Karim, A.A. (2007). Antibacterial activity and mechanical properties of partially hydrolyzed sago starch-alginate edible film containing lemongrass oil. *Journal of Food Science*, 72, C324-C330.

- Mali, S., Grossmann, M.V., García, M.A., Martino, M.N., Zaritzky, N.E. (2002).** Microstructural characterization of yam starch films. *Carbohydrate Polymers*, 50, 379 – 386.
- Mali, S., Grossmann, M.V.E., García, M.A., Martino, M.N., Zaritzky, N.E. (2006).** Effects of controlled storage on thermal, mechanical and barrier properties of plasticized films from different starch sources. *Journal of Food Engineering*, 75, 453–460.
- Mali, S., Sakanaka, L.S., Yamashita, F., Grossmann, M.V.E. (2005).** Water sorption and mechanical properties of cassava starch films and their relation to plasticizing effect. *Carbohydrate Polymers*, 60, 283–289.
- Mancini, R.A., Hunt, M.C. (2005).** Current research in meat color. *Meat Science*, 71, 100-121.
- Mandala, I.G., Bayas, E. (2004).** Xanthan effect on swelling, solubility and viscosity of wheat starch dispersions. *Food Hydrocolloid*, 18, 191–201.
- Manojlović, D., Rahelić, S. (1987).** Utvrđivanje kvaliteta svinjskog mesa – Tehnologija proizvodnje i kvalitet svinjskog mesa. U: *Novosadski dani industrije mesa – NODA '87, Zbornik radova, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu*, 30 – 51.
- Martín-Sánchez, A.M., Chaves-López, C., Sendra, E., Sayas, E., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J.A. (2008).** Lipolysis, proteolysis and sensory characteristics of a Spanish fermented dry-cured meat product (salchichón) with oregano essential oil used as surface mold inhibitor. *Meat Science*, 89, 35-44.
- Mathew, A.P., Dufresne, A. (2002).** Plasticized waxy maize starch: effect of polyols and relative humidity on material properties. *Biomacromolecules*, 3, 1101–1108.
- Matveev, Y.I., van Soest, J.J.G., Nieman, C., Wasserman, L.A., Protserov, V.A., Ezernitskaja, M., Yuryev, V.P. (2001).** The relationship between thermodynamic and structural properties of low and high amylose maize starches. *Carbohydrate Polymers*, 44, 151-160.
- Mayers, R.H., Montgomery, D.C. (2002).** *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments*. Wiley - Interscience.
- Mark, J.E. (1999).** *Polymer Data Handbook*, Oxford University Press, Inc.
- Mayor, L., Moreira, R., Chenlo, F., Sereno, A.M. (2006).** Kinetics of osmotic dehydration of pumpkin with sodium chloride solutions. *Journal of Food Engineering*, 74, 253-262.

- McHugh, T.H. (2000).** Protein-lipid interactions in edible films and coatings. *Nahrung*, 44, 148-151.
- McHugh, T.H., Krochta, J.M. (1994).** Sorbitol vs. glycerol-plasticized whey protein edible films: integrated oxygen permeability and tensile property evaluation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42, 841–845.
- McKeen, L.W. (2012).** Introduction to Use of Plastics in Food Packaging. In: (Ed.) Ebnesajjad, S.: *Plastic Films in Food Packaging*.
- McLaughlin, C.P.A., Magee, T.R.A. (1998).** The Determination of sorption isotherm and the isosteric heats of sorption for potatoes. *Journal of Food Engineering*, 35, 267–280.
- McMillin, K. (2008).** Where is MAP Going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat Science*, 80, 43–65.
- McMinn, W.A.M., Magee, T.R.A. (1997).** Physical characteristics of dehydrated potatoes – Part II. *Journal of Food Engineering*, 33, 49–55.
- McPherson, A.E., Jane, J. (1999).** Comparison of waxy potato with other root and tuber starches. *Carbohydrate Polymers*, 40, 57–70.
- Medina-Vivanco, M., Sobral, P.J., Hubinger, M.D. (2002).** Osmotic dehydration of tilapia fillets in limited volume of ternary solutions, *Chemical Engineering Journal*, 86, 199–205.
- Mehyar, G.F., Al-Ismael, K., Han, J.H., Chee, G.W. (2012).** Characterization of Edible Coatings Consisting of Pea Starch, Whey Protein Isolate, and Carnauba Wax and their Effects on Oil Rancidity and Sensory Properties of Walnuts and Pine Nuts. *Journal of Food Science*, 77, E52–E59.
- Mehyar, G.F., Han, J.H. (2004).** Physical and mechanical properties of high-amylose rice and pea starch films as affected by relative humidity and plasticizer. *Journal of Food Science*, 69, E449–E454.
- Mejlholm, O., Dalgaard, P. (2002).** Antimicrobial effect of essential oils on the seafood spoilage micro-organism *Photobacterium phosphoreum* in liquid media and fish products. *Letters in Applied Microbiology*, 34, 27–31.
- Mendes de Souza, P., Fernandez, A., Lopez-Carballo, G., Gavara, R. Hernandez-Munoz, P. (2010).** Modified sodium caseinate films as releasing carriers of lysozyme. *Food Hydrocolloids*, 24, 300–306.
- Miller, K.S., Krochta, J.M. (1997).** Oxygen and aroma barrier properties of edible films: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 8, 228-237.

- Miles, M.J., Morris, V.J., Orford, P.D., Ring, S.G. (1985).** The roles of amylose and amylopectin in gelation and retrogradation of starch. *Carbohydrate Research*, 135, 271–281.
- Misharina, T.A., Terenina, M.B., Krikunova, N.I. (2009).** Antioxidant properties of essential oils. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 45, 642–647.
- Mitchell, C.R. (2009).** in: BeMiller, J., Whistler, R. (Eds.), *Starch: Chemistry and Technology*, Academic Press, New York.
- Montgomery, D.C. (2005).** *Design and Analysis of Experiments: Response surface method and designs*. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc.
- Montgomery, D.C., Runger, G.C. (2003).** *Applied statistics and probability for engineers*. New York: John Wiley.
- Morales, F.J., Jimenez-Perez, S. (2001).** Free radical scavenging capacity of Maillard reaction products as related to colour and fluorescence. *Food Chemistry*, 72, 119–125.
- Moreira R., Sereno A. M. (2003).** Evaluation of mass transfer coefficients and volumetric shrinkage during dehydration of apple using sucrose solutions in static and non-static conditions, *Journal of Food Engineering*, 57, 25-31.
- Moreno J., Chiralt A., Escriche I., Serra J. A. (2000).** Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries, *Food Research International*, 33, 609-616.
- Morgan, B.H. (1971).** Edible packaging update. *Food Prod. Dev.* 5, 75–77, 108.
- Mourad, A., Vilela, G., von Zuben, F. (2008).** Environmental effects from a recycling rate increase of cardboard of aseptic packaging system for milk using life cycle approach. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13, 140–146.
- Mújica-Paz H., Valdez-Fragoso A., Lopez-Malo A., Palou E., Welti-Chanes J. (2003).** Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration, *Journal of Food Engineering*, 57 305-314.
- Müller, C.M.O., Borges Laurindo, J., Yamashita, F. (2009).** Effect of cellulose fibers addition on the mechanical properties and water vapor barrier of starch-based films. *Food Hydrocolloids*, 23, 1328–1333.
- Müller, C.M.O., Yamashita, F., Laurindo, J.B. (2008).** Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. *Carbohydrate Polymers*, 72, 82–87.

Myllarinen, P., Partanen, R., Seppala, J., Forssell, P. (2002). Effect of glycerol on behaviour of amylose and amylopectin films. *Carbohydrate Polymers*, 50, 355–361.

N

Nagi, M.N., Mansour, M.A. (2000). Protective effect of thymoquinone against doxorubicin induced cardiotoxicity in rats: A possible mechanism of protection. *Pharmacology Research*, 41, 283-289.

Nanasombat, S., Wimuttigol, P. (2011). Antimicrobial and antioxidant activity of spice essential oils. *Food Science and Biotechnology*, 20, 45–53.

Narasimha, R.D., Sachindra, N.M. (2002). Modified atmosphere and vacuum packaging of meat and poultry products. *Food Review International*, 18, 263–293.

Naz, S., Siddiqi, R., Sheikh, H., Sayeed, S. A. (2005). Deterioration of olive, corn and soybean oils due to air, light, heat and deep frying. *Food Research International*, 38, 127–134.

Nergiz, C., Otlis, S. (1993). Chemical composition of *Nigella sativa* L. seeds. *Food Chemistry*, 48, 259-261.

Nerín, C., Tovar, L., Djenane, D., Camo, J., Salafranca, J., Beltrán, J.A. (2006). Stabilization of beef meat by a new active packaging containing natural antioxidants. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 54, 7840–7846.

Nicholson, A.L., Olivetti, E.A., Gregory, J.R., Field, F.R., Kirchain, R.E. (2009). End-of-life LCA allocation methods: open loop recycling impacts on robustness of material selection decision. In: *Sustainable Systems and Technology*, IEEE International Symposium.

Nickavar, B., Mojab, F., Javidnia, K., Roodgar Amoli, M.A. (2003). Chemical composition of the fixed and volatile oils of *Nigella sativa* L. *Fur Naturforschung*, 58, 629-631.

Nićetin, M.R., Ćurčić, B.Lj., Filipović, V.S., Koprivica, G.B., Lević, Lj.B., Milašinović, Lj.M. (2012). Changes in nutritive quality of osmodehydrated pork meat in sugar beet molasses. *Analecta Technica Szegedinensia*, 3–4, 112–118.

Nieto, A.B., Salvatori, D.M., Castro, M.A., Alzamora, S.M. (2004). Structural changes in apple tissue during glucose and saccharose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density and microscopic features. *Journal of Food Engineering*, 61, 269–278.

Norajit, K., Kim, K.M., Ryu, G.H. (2010). Comparative studies on the characterization and antioxidant properties of biodegradable alginate films containing ginseng extract. *Journal of Food Engineering*, 98, 377–384.

Novaković D., Karlović I., Pavlović Ž. (2005). Specifičnosti dizajna ambalaže, *Ambalaža 4*, Tectus, 15-19.

Nur Hanani, Z.A., Roos, Y.H., Kerry, J.P. (2014). Use and application of gelatin as potential biodegradable packaging materials for food products, *International Journal of Biological Macromolecules*, 10.1016/j.ijbiomac.2014.04.027.

O

O’Sullivan, A., Shaw, N.B., Murphy, S.C., van de Vis, J.W., van Pelt-Heerschap, H., Kerry, J.P. (2006). Extraction of Collagen from Fish Skins and Its Use in the Manufacture of Biopolymer Films. *Journal of aquatic food product technology*, 15, 21–32.

Oehlert, G.W. (2000). Design and analysis of experiments: Response surface design. New York: W.H. Freeman and Company.

Ogunsola, O.O., Omojola, A.B. (2008). Nutritional Evaluation of a Dehydrated Shredded Meat Product, (Danbunama). *Pakistan Journal of Nutrition*, 7(4), 554-556.

Okos, M.R., Narishman, G., Singh, R.K., Weitnauer, A.C. (1992). Food dehydration. In: Heldman, D. R. – Lund, D. B. (Ed.): *Handbook of food engineering*. New York: Marcel Dekker.

Olivas, G.I., Barbosa-Cánovas, G.V. (2005). Edible Coatings for Fresh-Cut Fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45, 657-670.

Oliveira, A.R.F., Ilincanu, L. (1999). Rehydration of dried plant tissue: basic concepts and mathematical modeling, In: Oliveira, A.R.F. and Oliveira, J.C. (Eds.): *Processing Foods: Quality, Optimization and Process Assessment*, CRC Press, London, UK.

Oriani, V.B., Molina, G., Chiumarelli, M., Pastore, G.M., Hubinger M.D. (2014). Properties of cassava starch-based edible coating containing essential oils. *Journal of Food Science*, 79, E189-E194.

Ostojić, S. (2015). Termalna svojstva proteina mesa u procesu osmotske dehidracije u melsi šećerne repe. *Doktorska disertacija*, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.

Ouattara, B., Canh, L.T., Vachon, C., Mateescu, M.A., Lacroix, M. (2002). Use of γ -irradiation cross-linking to improve the water vapor permeability and the chemical stability of milk protein films. *Radiation Physics and Chemistry*, 63, 821–825.

Oyren, B.F., Floros, J.D. (2001). Effects of emerging food processing techniques on the packaging materials. *Trends in Food Science and Technology*, 12, 60-67.

Ozdemir, M., Floros, J.D. (2004). Active food packaging technologies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 44, 185–193.

P - Q

Padua, V.G., Wang, Q. (2002). Formation and properties of corn zein films and coatings. In *Protein-based films and coatings*. Ed. A. Genadios, CRC Press, Boca Raton.

Paes, S.S., Yakimets, I., Mitchell, J.R. (2008). Influence of gelatinization process on functional properties of cassava starch films. *Food Hydrocolloids*, 22, 788-797.

Pagella, C., Spigno, G., De Faveri, D.M. (2002). Characterization of starch based edible coatings. *Food and Bioproducts Processing*, 80, 193–198.

Papastergiadis, A., Mubiru, E., Van Langenhove, H., De Meulenaer, B. (2012). Malondialdehyde Measurement in Oxidized Foods: Evaluation of the Spectrophotometric Thiobarbituric Acid Reactive Substances (TBARS) Test in Various Foods. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 60, 9589–9594.

Park, S., Marsh, K.S., Dawson, P. (2010). Application of chitosan-incorporated LDPE film to sliced fresh red meats for shelf life extension. *Meat Science* 85, 493–499.

Parker R., Ring, S.G. (2001). Aspects of the physical chemistry of starch, *Journal of Cereal Science*, 34, 1-17.

Parra, D.F., Tadini, C.C., Ponce, P. Lugao, A.B. (2004). Mechanical properties and water vapor transmission in some blends of cassava starch edible films. *Carbohydrate Polymers*, 58, 475–481.

Parry, R.T. (1993). Principles and Application of Modified Atmosphere Packaging of Foods, Blackie Academic & Professional, Glasgow.

Patrain, E.M. (2000). Industrially important polysaccharides. In: Craver, C.D., Carraher, C.E. (Eds.): *Applied Polymer Science: 21st Century*, Elsevier.

- Patsias, A., Badeka, A., Savvaidis, I.N., Kontominas, M.G. (2008).** Combined effect of freeze chilling and MAP on quality parameters of raw chicken fillets. *Food Microbiology*, 25, 575–581.
- Patzsch, K., Riedel, K., Pietzch, M. (2010).** Parameter Optimization of Protein Film Production Using Microbial Transglutaminase. *Biomacromolecules*, 11, 896–903.
- Pelissari, F.M., Grossmann, M.V.E., Yamashita, F., Pineda, E.A.G. (2009).** Antimicrobial, Mechanical, and Barrier Properties of Cassava Starch-Chitosan Films Incorporated with Oregano Essential Oil. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 57, 7499–7504.
- Perugini, F., Mastellone, M., Arena, U. (2005).** Life cycle assessment of mechanical and feedstock recycling options for management of plastic packaging wastes. *Environmental Progress* 24, 137–154.
- Petrotos, K.B., Lazarides, H.N. (2001).** Osmotic concentration of liquid foods. *Journal of Food Engineering*, 49, 201-206.
- Phan, T.D., Debeaufort, F., Luu, D., Voilley, A. (2005).** Functional properties of edible agar-based and starch-based films for food quality preservation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 973–981.
- Ponce, A.G., Roura, S.I., del Valle, C.E., Moreira, M.R. (2008).** Antimicrobial and antioxidant activities of edible coatings enriched with natural plant extracts: In vitro and in vivo studies. *Postharvest Biology and Technology*, 49, 294-300.
- Popov-Raljić, J. (2009).** Tehnologija šećera i skroba. Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu.
- Portillo-Ruiz, M.C., Viramontes-Ramos, S., Muñoz-Castellanos, L.N., Gastélum-Franco, M.G., Nevárez-Moorillón, G.V. (2005).** Antifungal activity of Mexican Oregano (*Lippia berlandieri* Shauer). *Journal of Food Protection*, 68, 2713–2717.
- Prakash Maran, J., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K., Kandasamy, S. (2013).** Modeling and analysis of film composition on mechanical properties of maize starch based edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 62, 565–573.
- Pringer, O., Bauer, A. (2008).** Plastic Packaging, Wiley-VCH, Germany.
- Prior, R.L., Wu, X., Schaich, K. (2005).** Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 4290–4302.
- Puolanne, E., Halonen, M. (2010).** Theoretical aspects of water-holding in meat. *Meat Science*, 86, 151–165.

Quintavalla, S., Vicini, L. (2002). Antimicrobial food packaging in meat industry. *Meat Science*, 62, 373–380.

R

Rahman, S.M.A., Mujumdar, A.S. (2007). Effect of osmotic treatment with concentrated sugar and salt solutions on kinetics and color in vacuum contact drying, *Journal of Food Processing and Preservation*, 31, 671-687.

Rahman, M.S. (2007). Osmotic Dehydration of Foods. In *Handbook of Food Preservation*. Ed. Rahman, M.S. (2 ed.). CRC Press.

Rastogi N.K., Raghavarao K.S.M.S., Niranjan K., Knorr D. (2002). Recent developments in osmotic dehydration: methods to enhance mass transfer. *Trends in Food Science & Technology*, 13, 48-59.

Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S. (2004). Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering fickian diffusion in cubical configuration, *LWT-Food Science and Technology*, 37, 43-47.

Ratnayake, W.S., Jackson, D.S. (2007). A new insight into the gelatinization process of native starches. *Carbohydrate Polymers*, 67, 511–529.

Realini, C.E., Marcos, B. (2014). Active and intelligent packaging systems for a modern society. *Meat Science*, 98, 404–419.

Reddy, N., Yang, Y. (2010). Citric acid cross-linking of starch films. *Food Chemistry*, 118, 702–711.

Rede, R., Petrović, Lj. (1997). Tehnologija mesa i nauka o mesu, Tehnološki fakultet, Univerzitet u Novom Sadu.

Rhim, J.W., Shellhammer, T.H. (2005). Lipid-based edible films and coatings. In *Innovations in Food Packaging*. Ed. J.H. Han, Elsevier, London.

Rimac-Brcic, S., Lelas, V., Rade, D., Simundic, B. (2004). Decreasing oil absorption in potato strips during deep fat frying. *Journal of Food Engineering*, 64, 237-241.

Robertson, G.L. (2006). *Food Packaging – Principles and Practice*, Taylor&Francis group, LLC, 313-327.

Roby, M.H.H., Sarhana, M.A., Selima, K.A.H., Khalela, K.I. (2013). Evaluation of antioxidant activity, total phenols and phenolic compounds in thyme (*Thymus vulgaris*

L.), sage (*Salvia officinalis* L.), and marjoram (*Origanum majorana* L.) extracts. *Industrial Crops and Products*, 43, 827–831.

Rodrigues A.E., Mauro M.A. (2004). Water and sucrose diffusion coefficients in apple during osmotic dehydration, *Drying 2004, Proceedings of the 14th International Drying Symposium*, São Paulo, Brazil.

Rodriguez, M., Osés, J., Ziani, K., Mate, J.I. (2006). Combined effect of plasticizers and surfactants on the physical properties of starch based edible films. *Food Research International*, 39, 840–846.

Rojas-Grau, M.A., Avena-Bustillos, R.J., Friedman, M., Henika, P.R., Martin-Belloso, O., McHugh, T.H. (2006). Mechanical, barrier, and antimicrobial properties of apple puree edible films containing plant essential oils. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 54, 9262–9267.

Rojas-Grau, M.A., Raybaudi-Massilia, R.M., Soliva-Fortuny, R.C., Avena-Bustillos, R.J., McHugh, T.H., Martin-Belloso, O. (2007). Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples. *Postharvest Biology and Technology*, 45, 254–264.

Rojas-Grau, M.A., Soliva-Fortuny, R., Martin-Belloso, O. (2009). Edible coatings to incorporate active ingredients to fresh-cut fruits: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 20, 438–447.

Romanazzi, G., Nigro, F., Ippolito, A., Di Venere, D., Salerno, M. (2002). Effects of pre- and postharvest chitosan treatments to control storage grey mold of table grapes. *Journal of Food Science*, 67, 1862-1866.

Romero-Bastida, C.A., Bello-Pérez, L.A., García, M.A., Martino, M.N., Solorza-Feria, J., Zaritzky, N.E. (2005). Physicochemical and microstructural characterization of films prepared by thermal and cold gelatinization from non-conventional sources of starches. *Carbohydrate Polymers*, 60, 235–244.

Rooney, M. L. (1995). Active packaging in polymer films. In M. L. Rooney (Ed.), *Active food packaging*. Glasgow: Blackie Academic & Professional.

Roos Y.H. (1995). *Phase Transitions in Foods*. Taylor, S.L. Academic Press San Diego, CA, USA.

Ross, C.F., Smith, D.M. (2006). Use of volatiles as indicators of lipid oxidation in muscle foods. *Comprehensive Review Food Science Food Safety*, 5, 18–25.

Róz, A.L.D., Carvalho, A.J.F., Gandini, A., Curvelo, A.A.S. (2006). The effect of plasticizers on thermoplastic starch compositions obtained by melt processing. *Carbohydrate Polymers*, 63, 417–424.

Rübsam, H., Krottenthaler, M., Gastl, M., Becker, T. (2012). An overview of separation methods in starch analysis: the importance of size exclusion chromatography and field flow fractionation. *Starch/Stärke*, 64, 683–695.

S – Š

Sacchetti G., Gianotti A., Dalla Rosa M. (2001). Sucrose-salt combined effects on mass transfer kinetics and product acceptability. Study on apple osmotic treatments. *Journal of Food Engineering*, 49, 163-173.

Sacchetti, G., Maietti, S., Muzzoli, M., Scaglianti, M., Manfredini, S., Radice, M. (2005). Comparative evaluation of 11 essential oils of different origin as functional antioxidants, antiradicals and antimicrobials in foods. *Food Chemistry*, 91, 621–632.

Sacharow, S. (1972). Edible films. *Packaging* 43, 6-9.

Saito, K., Ahhmed, A.M., Kawahara, S., Sugimoto, Y., Aoki, T., Mugumura, M. (2009). Evaluation of the performance of osmotic dehydration sheets on freshness parameters in cold-stored beef biceps femoris muscle, *Meat Science*, 82, 260-265.

Salarbashi, D., Tajik, S., Ghasemlou, M., Shojaee-Aliabadi, S., Noghabi, M.S., Khaksar, R. (2013). Characterization of soluble soybean polysaccharide film incorporated essential oil intended for food packaging. *Carbohydrate Polymers*, 98, 1127– 1136.

Sanches-Silva, A., Costa, D., Albuquerque, T.G., Buonocore, T.G., Ramos, F., Castilho, M.C. (2014). Trend in the use of natural antioxidants in active food packaging: a review. *Food Addit. Contam. Part A Chem. Anal. Control Expo. Risk Assessment*, 31, 374–395.

Sánchez-Escalante, A., Djenane, D., Torrescano, G., Beltrán, J. A., Roncalés, P. (2003). Antioxidant action of borage, rosemary, oregano and ascorbic acid in beef patties packaged in modified atmosphere. *Journal of Food Science*, 68, 339–344.

Sanchez-Gonzalez, L., Vargas, M., Gonzalez-Martinez, C., Chiralt, A., Chafer, M. (2011). Use of essential oils in bioactive edible coatings. *Food Engineering Review*, 3, 1–16.

Sandhya, (2010). Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *Food Science and Technology*, 43, 381–392.

Santhurn, S.J., Arnaud, E., Zakhia-Rozis, N., Collignan, A. (2012). Drying: Principles and Application, In: *Handbook of Meat and Meat processing*, Hui, Y.H. (Ed.), 2nd Ed., CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Sauvant, D., Perez, J.M., Tran, G. (2004). Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage: Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons, 2ème édition revue et corrigée. INRA Editions, Versailles, France.

Schrimer, M., Hussein, W. B., Jekle, M., Hussein, M. A., Becker, T. (2011). Impact of air humidity in industrial heating processes on selected quality attributes of bread rolls. *Journal of Food Engineering*, 105, 647–655.

Senna, M.M., Salmieri, S., El-naggar, A.W., Safrany, A., Lacroix, M. (2010). Improving the Compatibility of Zein/Poly(vinyl alcohol) Blends by Gamma Irradiation and Graft Copolymerization of Acrylic Acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 4470–4476.

Seow, Y.X., Yeo, C.R., Chung, H.L., Yuk, H.G. (2014). Plant essential oils as active antimicrobial agents. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54, 625–644.

Sevenou, O., Hill, S.E., Farhat, I.A., Mitchell, J.R. (2002). Organisation of the external region of the starch granule as determined by infrared spectroscopy. *International Journal of Biological Macromolecules*, 31, 79–85.

Seydim, A.C., Acton, J.C., Hall, H.A., Dawson, P.L. (2006). Effects of packaging atmospheres on shelf-life quality of ground ostrich meat. *Meat Science*, 73, 503-510.

Shahidi, F., Zhong, Y. (2005). Lipid Oxidation: Measurement Methods. In: Bailey's Industrial Oil and Fat Products, Shahidi, F. (ed.), John Wiley & Sons, Inc. Sixth Edition.

Shaw, N.B., Monahan, F.J., O'Riordan, E.D., O'Sullivan, M. (2002). Physical properties of WPI films plasticized with glycerol, xylitol, or sorbitol. *Journal of Food Science*, 67, 164–167.

Shojaee-Aliabadi, S., Hosseini, H., Mohammadifar, M.A., Mohammadi, A., Ghasemlou, M., Ojagh, S.M., Hosseini, S.M., Khaksaret, R. (2013). Characterization of antioxidant–antimicrobial κ-carrageenan films containing *Satureja hortensis* essential oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 52, 116–124.

Singleton, V.L., Orthofer, R., Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178.

Siracusa, V., Rocculi, P., Romani, S., Rosa, M.D. (2008). Biodegradable polymers for food packaging: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 19, 634-643.

Skandamis, P.N., Nychas, G. (2000). Development and evaluation of a model predicting the survival of *Escherichia coli* O157:H7 NCTC 12900 in homemade eggplant salad at various temperatures, pHs, and oregano essential oil concentrations. *Applied and Environmental Microbiology*, 66, 1646–1653.

Smiddy, M., Papkovskaia, N., Papkovsky, D.B., Kerry, J.P. (2002). Use of oxygen sensors for the non-destructive measurement of the oxygen content in modified atmosphere and vacuum packs of cooked chicken patties; impact of oxygen content on lipid oxidation. *Food Research International*, 35, 577–584.

Snyder R.L., Bish D.L. (1989). Quantitative analysis. In: Bish D.L., Post J.E. (Eds.) *Modern Powder Diffraction*. Mineralogical Society of America, Washington, DC.

Sobral, P.J.A., dos Santos, J.S., Garcí'a, F.T. (2005). Effect of protein and plasticizer concentrations in films forming solutions on physical properties of edible films based on muscle proteins of a Thai Tilapia. *Journal of Food Engineering*, 70, 93–100.

Soliman, E.A., Eldin, M.S.M., Furuta, M. (2009). Biodegradable Zein-Based Films: Influence of γ -Irradiation on Structural and Functional Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 2529–2535.

Sothornvit R., Krochta J.M. (2000). Plasticizer Effect on Oxygen Permeability of β -Lactoglobulin Films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 6298–6302.

Sothornvit R., Krochta J.M. (2001). Plasticizer effect on mechanical properties of β -lactoglobulin films. *Journal of Food Engineering*, 50, 149–155.

Souza, A.C., Benze, R., Ferrão, E.S., Ditchfield, C., Coelho, A.C.V., Tadini, C.C. (2012). Cassava starch biodegradable films: Influence of glycerol and clay nanoparticles content on tensile and barrier properties and glass transition temperature. *LWT-Food Science and Technology*, 46, 110–117

Souza, A.C., Goto, G.E.O., Mainardi, J.A., Coelho, A.C.V., Tadini, C.C. (2013). Cassava starch composite films incorporated with cinnamon essential oil: Antimicrobial activity, microstructure, mechanical and barrier properties. *LWT - Food Science and Technology*, 54, 346-352.

SRPS EN 1134:2005. Сокови од воћа и поврћа - Одређивање садржаја натријума, калијума, калцијума и магнезијума атомском апсорпционом спектрометријом (AAC).

SRPS EN ISO 4833:2008. Микробиологија хране и хране за животиње - Хоризонтална метода за одређивање броја микроорганизама - Техника бројања колонија на 30°C.

SRPS EN ISO 6579:2008. Микробиологија хране и хране за животиње -

Хоризонтална метода за откривање *Salmonella* spp.

SRPS EN ISO 8589:2012. Сензорске анализе - Опште упутство за пројектовање просторија за испитивање, добро проветреној и при контролисаној температури од 22°C.

SRPS ISO 11035:2002. Сензорске анализе - Идентификација и одабир дескриптора за утврђивање сензорског профила мултидимензионалним поступком.

SRPS ISO 11289:1998. Термички обрађена храна у херметички затвореним посудама - Одређивање рН.

SRPS ISO 13730:1999. Месо и производи од меса - Одређивање садржаја укупног фосфора - Спектрометријска метода.

SRPS ISO 1442:1998. Месо и производи од меса - Одређивање садржаја влаге (Референтна метода).

SRPS ISO 1443:1992. Месо и производи од меса. Одређивање садржаја укупне масти.

SRPS ISO 16649-2:2008. Микробиологија хране и хране за животиње - Хоризонтална метода за одређивање броја β-глукуронидаза позитивне *Escherichia coli* - Део 2: Техника бројања колонија на 44°C помоћу 5-бромо-4-хлоро-3-индолил β-Д-глукуронида.

SRPS ISO 1841-1:1999. Месо и производи од меса - Одређивање садржаја хлорида - Део 1: Метода по Волхарду.

SRPS ISO 1871:1992. Пољопривредно-прехранбени производи - Општа упутства за одређивање азота методом по Кјелдалу.

SRPS ISO 21528-2:2009. Микробиологија хране и хране за животиње - Хоризонтална метода за откривање и одређивање броја *Enterobacteriaceae* - Део 2: Метода бројања колонија.

SRPS ISO 660:2000. Masti i ulja životinjskog i biljnog porekla – Određivanje kiselog broja i kiselosti.

SRPS ISO 8586-1:2002. Сензорске анализе - Опште упутство за одабир, обуку и праћење оцењивача - Део 1: Одабрани оцењивачи.

SRPS ISO 936:1999. Месо и производи од меса - Одређивање укупног пепела.

Steffe, J. R., Singh, R. P. (1980). Volumetric reduction of short grain rice during drying. *Cereal Chemistry*, 57, 148–150.

Stoiljković, D. (1997). Polimerni materijali i njihov značaj za ambalažu, Hrana i ishrana, 3-4, 5-8.

Sudhakar, V., Singhal, R.S., Kulkar, P.R. (1996). Starch–gum interactions: Nutritional and technological implications. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 47, 117–129.

Sun, T., Tanumihardjo, S.A. (2007). An integrated approach to evaluate food antioxidant capacity. *Journal of Food Science*, 72, R159–R165.

Sung, S.Y., Sin, L.T., Tee, T.T., Bee, S.T., Rahmat, A.R., Rahman, W.A.W.A. (2013). Antimicrobial agents for food packaging applications. *Trends in Food Science and Technology*, 33, 110–123.

Suppakul, P., Miltz, J., Sonneveld, K., & Bigger, S.W. (2003). Active packaging technologies with emphasis on antimicrobial packaging and its applications. *Journal of Food Science*, 68, 408–420.

Swiderski, F., Russel, S., Waszkiewicz-Robak, B., Cholewinska, E. (1997). Evaluation of vacuum-packaged poultry meat and its products. *Roczniki Panstwowego Zakladu Higieny*. 48, 193-200.

Šušić, S., Kukić, G., Sinobad, V., Perunović, P., Koronovac, B., Bašić, Đ. (1995). Osnovi tehnologije šećera. Beograd: Industrija šećera Jugoslavije „Jugošećer“ D. D.

Šojić, B. (2013). Ispitivanje lipolitičkih i oksidativnih promena u tradicionalnoj fermentisanoj kobasici (Petrovačka kobasica) tokom standardizacije bezbednosti i kvaliteta. Doktorska disertacija, Tehnološki fakultet, Novi Sad

Šojić, B., Tomović, V., Kocić-Tanackov, S., Škaljac, S., Ikonić, P., Džinić, N., Živković, N., Jakanović, M., Tasić, T., Kravić, S. (2015). Effect of nutmeg (*Myristica fragrans*) essential oil on the oxidative and microbial stability of cooked sausage during refrigerated storage. *Food Control*, 54, 282–286.

T

Takata, M., Fukushima, K., Kino-Kimata, N., Nagao, N., Niwa, C., Toda, T. (2012). The effects of recycling loops in food waste management in Japan: based on the environmental and economic evaluation of food recycling. *Science of the Total Environment*, 432, 309–317.

Talja, R.A., Helén, H., Roos, Y.H., Jouppila, K. (2007). Effect of various polyols and polyol contents on physical and mechanical properties of potato starch-based films. *Carbohydrate Polymers*, 67, 288–295

- Teixeira, B., Marques, A., Ramos, C., Batista, I., Serrano, C., Matos, O. (2012).** European pennyroyal (*Mentha pulegium*) from Portugal: chemical composition of essential oil and antioxidant and antimicrobial properties of extracts and essential oil. *Industrial Crops and Products*, 36, 81–87.
- Tester, R.F., Karkalas, J., Qi, X. (2004).** Starch—composition, fine structure and architecture, *Journal of Cereal Science*, 39, 151–165.
- Tharanathan, R.N. (2003).** Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. *Trends in Food Science & Technology*, 14, 71-78.
- Thielemans, A., Massart, D.L. (1985).** The use of component analysis as a display method in the interpretation of analytical chemical, biological, environmental and epidemiological data, *Chimia*, 39, 236-242.
- Thomas, D.J., Atwell, W.A. (1999).** *Starches*. Eagen Press, St. Paul , MN, USA.
- Thomazine, M., Carvalho, R.A., Sobral, P.J.A. (2005).** Physical properties of gelatin films plasticized by blends of glycerol and sorbitol. *Journal of Food Science*, 70, E172–E176.
- Thompson, D.B. (2000).** On the non-random nature of amylopectin branching. *Carbohydrate Polymers*, 43, 223–239.
- Tomović, V. (2009).** Uticaj brzine hlađenja polutki, vremena otkoštavanja post mortem i postupka salamurenja na kvalitet i bezbednost kuvane šunke. Doktorska disertacija, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
- Tomović, V.M., Zlender, B.A., Jokanović, M.R., Tomović, M.S., Šojic, B.V., Škaljac, S.B., Hromiš, N.M. (2014).** Technological quality and composition of the *M. semimembranosus* and *M. longissimus dorsi* from Large White and Landrace Pigs. *Agricultural and Food Science*, 23, 9-18.
- Torreggiani, D., Bertolo, G. (2001).** Osmotic pretreatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects. *Journal of Food Engineering*, 49, 247-253.
- Trout, G.R. (1988).** Techniques for measuring water-binding capacity in muscle foods—A review of methodology. *Meat Science*, 23, 235–252.
- Tsaknis, J., Lalas, S., Evmorfopoulos, E. (1999).** Determination of malondialdehyde in traditional fish products by HPLC, *Analyst*, 124, 843–845.
- Tsimidou, M., Papavergou, E., Boskou, D. (1995).** Evaluation of oregano antioxidant activity in mackerel oil. *Food Research International*, 28, 431–433.

V

Vachon, C., Yu, H.L., Yefsah, R., Alain, R., St-Gelais, D., Lacroix, M. (2000). Mechanical and Structural Properties of Milk Protein Edible Films Cross-Linked by Heating and γ -Irradiation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 3202–3209.

Valencia-Chamorro, S.A., Palou, I., del Río, M.A., Pérez-Gago, M.B. (2011). Antimicrobial Edible Films and Coatings for Fresh and Minimally Processed Fruits and Vegetables: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51, 872-900.

Valko, M., Rhodes, C.J., Moncol, J., Izakovic, M., Mazur, M. (2006). Free radical, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemical Biological Interactions*, 160, 1-40.

Van Oeckel, M.J., Warnants, H., Boucque, Lx.B. (1999). Measurement and prediction of pork colour. *Meat Science*, 52, 347–354

Van Soest, J.J.G., Tournois, H., De Wit, D., Vliegthart, J.F.G. (1995). Short-range structure in (partially) crystalline potato starch determined with attenuated total reflectance Fourier-transform IR spectroscopy. *Carbohydrate Research*, 279, 201-214.

Van Soest, J.J.G., Tournois, H., de Wit, D., Vliegthart, J.F.G. (1996). Crystallinity in starch bioplastics. *Industrial Crops and Products*, 5, 11-22.

Vandeputte, G.E., Vermeylen, R., Geeroms, J., Delcour, J.A. (2003). Rice starches, I., Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinisation behaviour of granular starch. *Journal of Cereal Science*, 38, 43–52.

Varela, P., Fiszman, S.M. (2011). Hydrocolloids in fried foods. A review. *Food Hydrocolloids* 25, 1801-1812.

Varzinskas, V., Staniskis, J.K., Knasyte, M. (2012). Decision-making support system based on LCA for aseptic packaging recycling. *Waste Management and Research*, 30, 931–939.

Veiga-Santos, P., Oliveira, L.M., Cereda, M.P., Alves, A.J., Scamparini, A.R.P. (2005). Mechanical properties, hydrophilicity and water activity of starch–gum films: Effect of additives and deacetylated xanthan gum. *Food Hydrocolloids*, 19, 341–349.

Vermeiren, L., Devlieghere, F., Van Beest, M., de Kruijf, N., Debevere, J. (1999). Developments in the active packaging of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 10, 77–86.

Vermeiren, L., Heirlings, L., Devlieghere, F., Debevere, J. (2003). Oxygen, ethylene and other scavengers. In: R. Ahvenainen (Ed.), Novel food packaging techniques. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd (Vol.).

Vermeulen, R., Goderis, B., Reynaers, H., Delcour, J.A. (2004). Amylopectin molecular structure reflected in macromolecular organization of granular starch. *Biomacromolecules*, 5, 1775–1786.

Viña S.Z., Mugridge A., García, M.A., Ferreyra, R.M., Martino, M.N., Chaves, A.R., Zaritzky, N.E. (2007). Quality of refrigerated Brussels sprouts. Effect of plastic packaging film and edible starch coatings. *Food Chemistry*, 103, 701 – 709.

Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernandez-Lopez, J., Perez-Alvarez, J.A. (2008). Antibacterial activity of different essential oils obtained from spices widely used in Mediterranean diet. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 526–531.

Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernandez-Lopez, J., Perez-Alvarez, J.A. (2007). Chemical Composition of the Essential Oils Obtained From Some Spices Widely Used in Mediterranean Region. *Acta Chimica Slovenica*, 54, 921–926.

Vujković, I. (1997). Polimerna i kombinovana ambalaža, Poli, Novi Sad.

W – X - Y

Waliszewski K.N., Delgado J.L., Garcia M. A. (2002). Equilibrium concentration and water and sucrose diffusivity in osmotic dehydration of pineapple slabs. *Drying Technology*, 20, 527-538.

Wang, Y., Padua, G.W. (2003). Tensile properties of extruded zein sheets and extrusion blown films. *Macromolecular Materials and Engineering*, 288, 886-893.

Wang, F., Sun, Z., Wang, Y.J. (2001). Study of xanthan gum/waxy corn starch interaction in solution by viscometry. *Food Hydrocolloid*, 15, 575–581.

Waterschoot, J., Gomand, S.V., Fierens, E., Delcour, J.A. (2015). Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches. *Starch/Stärke*, 67, 14–29.

Ward, F.M. (2000). Hydrolyzed and deodorized guar gum including other guar specialty products: functional properties and applications. In: Williams P.A., Phillips, G.O. (Eds.): *Gums and Stabilisers for the Food Industry* 10, Woodhead Publishing Limited.

Wieser, H. (2007). Chemistry of gluten proteins. *Food Microbiology*, 24, 115–119.

Wiles, J.L., Vergano, P.J., Barron, F.H., Bunn, J.M., Testin, R.F. (2000). Water vapor transmission rates and sorption behavior of chitosan films. *Journal of Food Science*, 65, 1175–1179.

Wilhelm, H.M., Sierakowski, M.R., Souza, G.P., Wypych, F. (2003). Starch films reinforced with mineral clay. *Carbohydrate Polymers*, 52, 101–110.

Wolf, K.L., Sobral, P.J.A., Telis, V.R.N. (2009). Physicochemical characterization of collagen fibers and collagen powder for self-composite film production. *Food Hydrocolloids*, 23, 1886–1894.

Wong, P.Y.Y., Kitts, D.D. (2002). The effects of herbal pre-seasoning on microbial and oxidative changes in irradiated beef steaks. *Food Chemistry*, 76, 197–205.

Wu, Y., Weller, C.L., Hamouz, F., Cuppet, S., Schnepf, M. (2001). Moisture loss and lipid oxidation for precooked ground-beef patties packaged in edible starch alginate-based composite films. *Journal of Food Science*, 66, 486 – 492.

www.aaf-eu.org

www.plasticseurope.org

www.wikiwand.com/en/muscle

www.zuckerforschung.at

Xiong, H.G., Tang, S.W., Tang, H.L., Peng, Z. (2008). The structure and properties of a starch-based biodegradable film. *Carbohydrate Polymers*, 71, 263–268.

Xu, Y., Kim, K., Hanna, M., Nag, D. (2005). Chitosan-starch composite film: preparation and characterization. *Industrial Crops and Products*, 21, 185-192.

Yang, L., Paulson, A.T. (2000). Mechanical and water vapour barrier properties of edible gellan films. *Food Research International*, 33, 563–570.

Yu, J.H., Wang, J.L., Wu, X., Zhu, P.X. (2008). Effect of glycerol on water vaporsorption and mechanical properties of starch/clay composite films. *Starch/Stärke*, 60, 257–262.

Z - Ž

Zhang, L., Lin, Z.H., Leng, X.J., Huang, M., Zhou, G.H. (2013). Effect of sage (*Salvia officinalis*) on the oxidative stability of Chinese-style sausage during refrigerated storage. *Meat Science*, 95, 145–150.

Zhang, Y., Han, J.H. (2006). Plasticization of pea starch films with monosaccharides and polyols. *Journal of Food Science*, 71, E253–261.

Zhao, Y., Wells, J.H., McMillen, K.W. (1994). Application of dynamic modified atmosphere packaging systems for fresh red meats: Review, *Journal of Muscle Foods*, 5, 299–328.

Zobel, H.F. (1988). Molecules to granules: A comprehensive starch review. *Starch-Starke*, 40, 44–50.

Zobel, H.F., Stephen, A.M. (2006). Starch: Structure, analysis, and application, In: A.M. Stephen, G.O. Phillips, P.A. Williams (Eds.), *Food polysaccharides and their applications*. Boca Raton: CRC Press, FL., USA.

Zugarramurdi, A., Lupin, H.M. (1980). A model to explain observed behavior on fish salting. *Journal of Food Science*, 45, 1305–1311.

Živanović, S., Chi, S., Draughon, A.F. (2005). Antimicrobial activity of chitosan films enriched with essential oils. *Journal of Food Science*, 70, M45-M51.

Živković, D., Perunović, M. (2012). Poznavanje mesa, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu.