



**UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNOLOŠKI FAKULTET
PREHRAMBENO INŽENJERSTVO**

Uticaj ambalaže i savremenih uslova pakovanja na održivost tradicionalnih pekarskih proizvoda

- DOKTORSKA DISERTACIJA -

Mentor:

Prof. dr Vera Lazić

Kandidat:

Dipl.inž. Dragan Psodorov

Novi Sad
2019. godina

**UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNOLOŠKI FAKULTET**

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj:
RBR

Identifikacioni broj:
IBR

Tip dokumentacije: Monografska dokumentacija
TD

Tip zapisa: Tekstualni štampani materijal
TZ

Vrsta rada (dipl., mag., dokt.): Doktorska disertacija
VR

Ime i prezime autora: dipl. inž. Dragan Psodorov
AU

Mentor (titula, ime, prezime, zvanje): Prof. dr Vera Lazić, redovni profesor
MN

Naslov rada: Uticaj ambalaže i savremenih uslova pakovanja na održivost tradicionalnih pekarskih proizvoda
NR

Jezik publikacije: Srpski jezik, latinica
JP

Jezik izvoda: srp. / eng.
JI

Zemlja publikovanja: Republika Srbija
ZP

Uže geografsko područje: AP Vojvodina
UGP

Godina: 2019
GO

Izdavač: autorski reprint
IZ

Mesto i adresa: Bulevar cara Lazara 1, Novi Sad
MA

Fizički opis rada: 6 poglavlja, 143 strane, 40 slika, 27 tabela, 176 literaturnih navoda
FO

Naučna oblast: Biotehničke nauke
NO

Naučna disciplina: Prehrambeno inženjerstvo
ND

Predmetna odrednica, ključne reči: Ambalaža, pakovanje, pekarski proizvodi, pita sa sirom, aktivno pakovanje, kvalitet, održivost
PO

UDK

Čuva se:

ČU

Važna napomena:

VN

Izvod:

IZ

Biblioteka Tehnološkog fakluteta u Novom Sadu

Predmet doktorske disertacije obuhvata izbor ambalažnog materijala i uslova pakovanja, pakovanje tradicionalnog pekarskog proizvoda pite sa sirom, kao i očuvanje proizvoda tokom skladištenja.

Polupečene pite sa sirom su proizvedene i pakovane u petoslojne i sedmoslojne polimerne kese, pri atmosferskim i u uslovima modifikovane atmosfere pakovanja, sa dodatkom i bez dodatka sakupljača kiseonika. Nakon pakovanja, pite su skladištene i ispitivane po sledećoj dinamici: 0, 2, 4, 8, 12 i 16 nedelja skladištenja. Izvršena su ispitivanja ambalažnih materijala i ambalaže, kao i upakovanog proizvoda. Tokom ispitivanja ambalažnih materijala i ambalaže određivana su: fizičko-hemijska i strukturna svojstva ambalažnih materijala, barijerna svojstva ambalaže, koncentracija gasova u ambalaži i kvalitet formiranih varova. Ispitivanja upakovanog proizvoda su se odnosila na: fizičko-hemijska svojstva pite sa sirom, senzorska svojstva pite sa sirom i mikrobiološka ispitivanja pite sa sirom.

Primenjeni ambalažni materijali su pokazali odgovarajuća fizičko, mehanička i strukturna svojstva. Takođe, oba ambalažna materijala pokazuju dobre barijerne karakteristike na ispitivane gasove. Izračunavanjem ukupne zapremine kiseonika koja može biti propuštena kroz ambalažu tokom skladištenja je utvrđeno da je upotreba sakupljača kiseonika od 100 ml dovoljna da omogući skladištenje pite sa sirom, pakovane u obe vrste ambalaže, u vremenskom periodu od 122 dana (16 nedelja), bez promene koncentracije kiseonika veće od 1%. Analizom koncentracije gasova u ambalaži je utvrđeno da su najmanje oscilacije merenih gasova tokom skladištenja pokazali uzorci pakovani u petoslojne, kao i sedmoslojne kese, u atmosferi vazduha sa dodatkom sakupljača kiseonika. Fizičko-hemijska svojstva (kiselinski stepen, peroksidni broj, sadržaj vlage, a_w vrednost) uzoraka pita sa sirom su se menjala tokom skladištenja, zavisno od vrste ambalaže i uslova pakovanja. Period skladištenja utiče na senzorski kvalitet proizvedenih pita sa sirom. Nakon 16 nedelja skladištenja pita sa sirom upakovanih u sirom kese od petoslojnog i sedmoslojnog ambalažnog materijala, u atmosferskim uslovima, sa dodatkom sakupljača kiseonika, ne dolazi do promena ukupnog broja kvasaca i plesni.

Na osnovu ciljeva doktorske disertacije, izvršenih ispitivanja i postignutih rezultata, može se zaključiti da su predloženi ambalažni materijali, kao i uslovi pakovanja doprineli produženju održivosti tradicionalnog pekarskog proizvoda - pite sa sirom.

Primenom barijernih ambalažnih materijala, kombinovanjem atmosferskih uslova pakovanja i sakupljača kiseonika, moguće je skladištiti pite sa sirom u dužem periodu.

Datum prihvatanja teme od strane

18.11.2016.

NN veća:

DP

Datum odbrane:

DO

Članovi komisije:

(ime i prezime / titula / zvanje / naziv organizacije / status)

dr Dragana Šoronja-Simović, vanredni profesor,
Tehnološki fakultet Novi Sad, predsednik komisije

dr Vera Lazić, redovni profesor,
Tehnološki fakultet Novi Sad, mentor

dr Dragan Tešanović, redovni profesor,
Prirodno-matematički fakultet, Novi Sad, član

dr Senka Popović, docent,
Tehnološki fakultet Novi Sad, član

dr Danijela Šuput, naučni saradnik,
Tehnološki fakultet Novi Sad, član

**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: dipl.ing. Dragan Psodorov
AU
Mentor: Vera Lazić, Ph.D., Full Professor
MN
Title: Impact of Packaging Material and Contemporary
TI Packaging Conditions on Traditional Bakery
Products sustainability

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: 2019
PY
Publisher: Author's reprint
PU
Publication place: Bulevar cara Lazara 1, Novi Sad
PP

Physical description: 6 chapters, 143 pages, 40 figures, 27 tables, 176
PD references
Scientific field Biotechnical science
SF
Scientific discipline Food Engineering
SD
Subject, Key words Packaging materials, packaging, bakery products,
SKW phyllo dough pastry, active packaging, quality,
sustainability

UC

Holding data:
HD

Library of the Faculty of Technology, University of
Novi Sad

Note:

N

Abstract:

AB

The subject of doctoral thesis includes the selection of packaging material and packaging conditions, packaging of traditional bakery product phyllo dough pastry with cheese, as well as the preservation of the product during the storage period. Partially baked phyllo dough pastry with cheese have been produced and packed into five and seventh layer polymeric bags, by using atmospheric and modified atmospheric packaging conditions, with and without the addition of the oxygen scavengers. After the packaging, phyllo dough pastries have been stored, and the dynamics of researches has been referred to: 0, 2, 4, 8, 12 and 16 week of storing.

Researches of packaging material and the product of packaging have been conducted. Examination of packaging material includes: physicochemical and structural properties, barrier properties, concentration of gases inside the packaging and the quality of welds. Examination of the product of packaging includes: physicochemical properties, sensorial properties and microbiological properties of the phyllo dough with cheese.

Applied packaging materials have shown an adequate physical, mechanical and structural performances. Furthermore, both packaging materials have shown good barrier characteristics against examined gases. By the calculation of total oxygen volume, which might penetrate throughout packaging materials during storing period, it can be concluded that the application of 100 ml oxygen scavenger is sufficient to provide the storing of phyllo dough pastry, packed in both packaging materials, during a period of 122 days (16 weeks) without oxygen concentration changes higher than 1%. The analysis of gas concentration in packaging has shown that the smallest oscillations of gas concentration during the storage have been determined inside the packaging of five and seven layer packaging material, in air conditions by using oxygen scavengers.

Physicochemical performances (acid number, peroxide value, moisture content and a_w value) of the samples vary depending on the packaging material and the packaging conditions, during the storage period. The storage period affects the sensorial quality of phyllo dough pastries. After sixteen weeks of storage, phyllo dough pastry with cheese, packed into five and seven layer packaging material, in air atmosphere, with the addition of oxygen scavenger, did not show the increase of the total number of yeasts and molds.

Based on the goals, conducted research and results obtained, it might be concluded that suggested packaging materials, as well as the packaging conditions contribute to the additional sustainability of traditional bakery product - phyllo dough pastry with cheese. By the application of barrier packaging material, and combining the atmosphere packaging conditions and the oxygen scavenger it is possible to store phyllo dough pastry for a longer period.

Accepted on Scientific Board on: 18.11.2016.

AS

Defended:

DE

Thesis Defend Board:

DB

Dragana Šoronja-Simović, Ph.D., Associate Professor,
Faculty of Technology Novi Sad, president

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

Dragan Tešanović, Ph.D., Full Professor,
Faculty of science, Novi Sad, member

Senka Popović, Ph.D., Assistant Professor,
Faculty of Technology Novi Sad, member

Danijela Šuput, Ph.D., Research Assistant,
Faculty of Technology Novi Sad, member

SADRŽAJ

1.	UVOD.....		1
2.	PREGLED LITERATURE.....		4
2.1.	AMBALAZNI MATERIJALI I AMBALAŽA.....		4
2.2.	POLIMERNI AMBALAZNI MATERIJALI.....		11
	2.2.1.	SINTETSKI POLIMERI.....	12
	2.2.2.	BIOPOLIMERI.....	21
2.3.	PAKOVANJE I USLOVI PAKOVANJA.....		25
	2.3.1.	PAKOVANJE U MODIFIKOVANOJ ATMOSFERI.....	26
	2.3.2.	AKTIVNO PAKOVANJE.....	30
	2.3.3.	INTELIGENTNO PAKOVANJE.....	35
2.4.	TRADICINALNI PEKARSKI PROIZVODI.....		37
	2.4.1.	PROIZVODNE FAZE PEKARSKIH PROIZVODA.....	39
		2.4.1.1. Proces proizvodnje pite sa sirom.....	41
	2.4.2.	PAKOVANJE PEKARSKIH PROIZVODA.....	46
3.	MATERIJAL I METODE.....		49
3.1.	ZADATAK RADA.....		49
3.2.	EKSPERIMENTALNI MATERIJAL.....		49
3.3.	PROGRAM RADA.....		52
3.4.	METODE ISPITIVANJA.....		54
	3.4.1.	ISPITIVANJE AMBALAZNIH MATERIJALA I AMBALAŽE.....	54
		3.4.1.1. Ispitivanje fizičko-hemijskih i strukturnih svojstava ambalažnih materijala.....	54
		3.4.1.2. Ispitivanje barijernih svojstava ambalaže.....	55
		3.4.1.3. Koncentracija gasova u ambalaži.....	57
		3.4.1.4. Ispitivanje kvaliteta formiranih varova ambalaže.....	58
	3.4.2.	ISPITIVANE UPAKOVANOG PROIZVODA.....	58
		3.4.2.1. Fizičko-hemijska ispitivanja pite sa sirom.....	58
		3.4.2.2. Senzorska ispitivanja pite sa sirom.....	61
		3.4.2.3. Mikrobiološka ispitivanja pite sa sirom.....	65
	3.4.3.	STATISTIČKA OBRADA PODATAKA.....	66
		3.4.3.1. Deskriptivna statistika.....	66
		3.4.3.2. Analiza glavnih komponenti (PCA – Principal Components Analysis).....	67
		3.4.3.3. Metode odzivne promenljive (RSM).....	70
4.	REZULTATI I DISKUSIJA.....		71
4.1.	AMBALAZNI MATERIJALI I AMBALAŽA.....		73
	4.1.1.	FIZIČKO-HEMIJSKE I STRUKTURNE KARAKTERISTIKE AMBALAZNIH MATERIJALA.....	73
	4.1.2.	BARIJERNA SVOJSTAVA AMBALAŽE.....	83
	4.1.3.	KONCENTRACIJA GASOVA U AMBALAŽI.....	87
	4.1.4.	ISPITIVANJE KVALITETA FORMIRANIH VAROVA AMBALAŽE.....	92
4.2.	UPAKOVANI PROIZVOD.....		94

	4.2.1.	FIZIČKO-HEMIJSKE KARAKTERISTIKE PITE SA SIROM.....	94
	4.2.2.	SENZORSKA SVOJSTVA PITE SA SIROM.....	103
	4.2.3.	MIKROBIOLOŠKA SVOJSTVA PITE SA SIROM.....	109
	4.3.	STATISTIČKA OBRADA PODATAKA.....	114
	4.3.1.	ANALIZA GLAVNIH KOMPONENTI (PRINCIPAL COMPONENT ANALYSES, PCA).....	115
		4.3.1.1. PCA – Atmosfera pakovanja, fizičko-hemijske karakteristike pite, mikrobiološka ispitivanja pite.....	115
		4.3.1.2. PCA – Zatezna jačina formiranih varova.....	117
		4.3.1.3. PCA – Senzorska analiza.....	119
	4.3.2.	METODE ODZIVNE PROMENLJIVE (RSM).....	120
5.	ZAKLJUČAK.....		124
6.	LITERATURA.....		129

1. UVOD

Od nastanka savremene civilizacije, pa sve do danas, čovek je tražio način da sačuva teško sakupljenu i proizvedenu hranu. U vekovima iza nas čovečanstvo je bilo isključivo oslonjeno na volju prirode. Tako da su ljudi bili prinuđeni da jedu ono što pronađu i sakupe. Plodna godina bi omogućila stabilan period prehrane stanovništva tokom cele godine, dok bi sušna godina uticala na pojavu gladi, a samim tim i na preduslov za razvoj različitih bolesti uzrokovanih padom imuniteta. Višak hrane, ukoliko ga je bilo, se zakopavao, umotavao, solio, šećerio, zamrzavao ili zagrevao u cilju odloženog konzumiranja. Razvoj ambalaže i pakovanja je bio presudan za produženo čuvanje, kao i za bezbedniji transport namirnica. Istorijski gledano, mnogi ratovi su se vodili zbog namirnica, kao što su npr. začini, a većina se završavala porazom jer je vojska ostajala bez hrane, pa je bila primorana na kapitulaciju. Stoga, ne čudi činjenica da je tehnološki razvoj konzervisanja i pakovanja hrane diktirala vojna industrija, jer se suočavala sa problemima gladi vojnika koji su bili udaljeni i nepristupačni za bilo kakvu isporuku.

Proizvodi na bazi žitarica, kao što su hleb i peciva, su vekovima osnovna hrana stanovništva. Smatra se da je uzgoj žitarica pomerio čoveka iz nomadskog ka stacionarnom načinu života. Pri čemu je, na ovaj način, uz pripitomljavanje životinja, stvoren preduslov za razvoj prvih civilizacija, odnosno društava sa formiranom infrastrukturom i razvijenim institucijama. Tako su stanovnici usled stvorenih zaliha hrane imali vremena da se bave i drugim delatnostima. Konzumacija pekarskih proizvoda je ostala kroz čitavu istoriju veoma intenzivna, međutim, tehnološki postupak i sirovinski sastav su se menjali kroz vreme. Skraćenje trajanja procesa proizvodnje, kao i socio-ekonomski faktori tržišta, stvorili su tokom XX veka uslove za povećanu upotrebu aditiva, koji su predstavljali odgovor na pomenute probleme. Tek krajem XX i početkom XXI veka, lekari, nutricionisti, ali i dobro obavešteni pojedinci postavljaju pitanja o zdravstvenim aspektima upotrebe aditiva u hrani. Iz ovog razloga, prehrambena industrija se suočava sa sve kompleksnijim zahtevima, kako bi ispunila rastuća očekivanja potrošača.

U novije vreme se može uočiti pojačano interesovanje potrošača za hranu prirodnog porekla, a trendovi koji prate ove zahteve su vezani za očuvanje svežine i kvaliteta proizvoda. Pokret pod nazivom „Čista deklaracija” (Clean Label, CL) predstavlja organizaciju koja je podstaknuta zahtevima potrošača za proizvodnjom kvalitetne i autentične hrane, koja sadrži lako prepoznatljive prirodne sastojke, bez upotrebe veštačkih sastojaka ili prehrambenih aditiva (Go Clean Label,

2018). Trenutno postoji lista od preko 200 sastojaka koji ne bi smeli da budu prisutni u hrani ukoliko je ona deklarirana oznakom Čiste deklaracije (slika 1).



Slika 1. Go Clean Label (2018)

Kako bi se ostvarili uslovi za postizanje čiste deklaracije, neophodna je upotreba inovativnih metoda proizvodnje i pakovanja, koji podržavaju proizvodnju tradicionalnih prehrambenih proizvoda korišćenjem savremene tehnologije.

Novi koncept treba da ujedini tradicionalan način pripreme proizvoda i savremen način pakovanja, što za konačan cilj ima očuvanje polaznih karakteristika proizvoda na duži vremenski rok, uz poštovanje autentičnih proizvodnih receptura. Dakle, kvalitet tradicionalnih proizvoda treba da zadovoljni kriterijume proizvodnje, koji su važili pre industrijalizacije prehrambene industrije. Pored kvalitetnih sirovina, koje mogu biti organski ili konvencionalno uzgajane, glavni preduslov je eliminacija svih aditiva koji narušavaju tradicionalnu recepturu proizvoda.

Jedan od načina produženog očuvanja svežine proizvoda, bez upotrebe aditiva, je korišćenje odgovarajućih ambalažnih materijala dobrih barijernih svojstava. Pri izboru ambalažnih materijala veoma je važno uzeti u obzir prirodu proizvoda i njemu prilagoditi sistem pakovanja. Pekarski proizvodi čine grupu prehrambenih proizvoda koji su veoma zastupljeni u čitavom svetu. Ovakvi proizvodi se konzumiraju najčešće u svežem (pečenom stanju). Zbog toga što većina pekarskih proizvoda odmah nakon hlađenja menja svoje senzorske karakteristike (usled retrogradacije i premeštanja vlage iz središnjih slojeva ka kori), to ih čini nedovoljno atraktivnim za konzumaciju. Grupa pekarskih proizvoda koji sadrže punjenje, predstavljaju naročit izazov u pogledu održivosti na duži vremenski rok. Pita sa sirom pripada pomenutoj grupi proizvoda, usled čega je neophodno posebnu pažnju usmeriti ka potencijalnim uzrocima kvara ovakvih proizvoda.

Snizavanjem sadržaja kiseonika i održavanjem ispod kritične koncentracije, moguće je kontrolisati rast i razvoj svih aerobnih mikroorganizama. Primenom tehnologije pakovanja u modifikovanoj atmosferi, ostvaruje se značajno produženje roka trajanja pekarskih proizvoda. Ova tehnologija je naročito efikasna ukoliko se kombinuje sa ambalažnim materijalima dobrih barijernih svojstava ili aktivnim pakovanjem. Višeslojni polimerni ambalažni materijali na bazi poliamida se odlikuju dobrim barijernim svojstvima i niskom propustljivošću kiseonika. Dakle, visoko barijerni ambalažni materijali na bazi poliamida se mogu upotrebiti uz primenu pakovanja u modifikovanoj atmosferi, ali i aktivnog pakovanja. Pravilna upotreba aktivnog pakovanja utiče na produženje svežine proizvoda, kao i na bezbednost. Međutim, razvoj i primena ove tehnologije će umnogome zavisiti od ekonomske isplativosti i prihvatljivosti unutar prehrambene industrije i njenih potrošača.

Cilj disertacije

Cilj doktorske disertacije je istraživanje uticaja različitih ambalažnih materijala i uslova pakovanja, uz mogućnost primene aktivnog pakovanja, na kvalitet tradicionalnog pekarskog proizvoda tokom skladištenja u dužem vremenskom periodu.

2. PREGLED LITERATURE

2.1. AMBALAŽNI MATERIJALI I AMBALAŽA

Ambalaža je prisutna u svim segmentima našeg društva iako je za mnoge korisnike gotovo nevidljiva. Različite ustanove ili učesnici tržišta poput bolnica, škola, vojske, maloprodaje, veleprodaje, restorana svakodnevno se susreću sa ambalažom i pakovanjem, pri čemu se koriste najrazličitiji materijali prisutni na tržištu (Bix i sar., 2009).

Ambalaža predstavlja sredstvo čija je osnovna funkcija zaštita upakovanog sadržaja (Risch, 2009). Ambalažni materijal je polazna forma ambalaže, a odabir materijala se usaglašava sa parametrima i karakteristikama proizvoda. Ambalaža se koristi za smeštaj, čuvanje, rukovanje, isporuku, predstavljanje robe i zaštitu njene sadržine, a uključuje i predmete pogodne za pakovanje, umotavanje, vezivanje, nepropusno zatvaranje, pripremu za otpremu i označavanje robe (*Zakon o ambalaži i ambalažnom otpadu*, 2009).

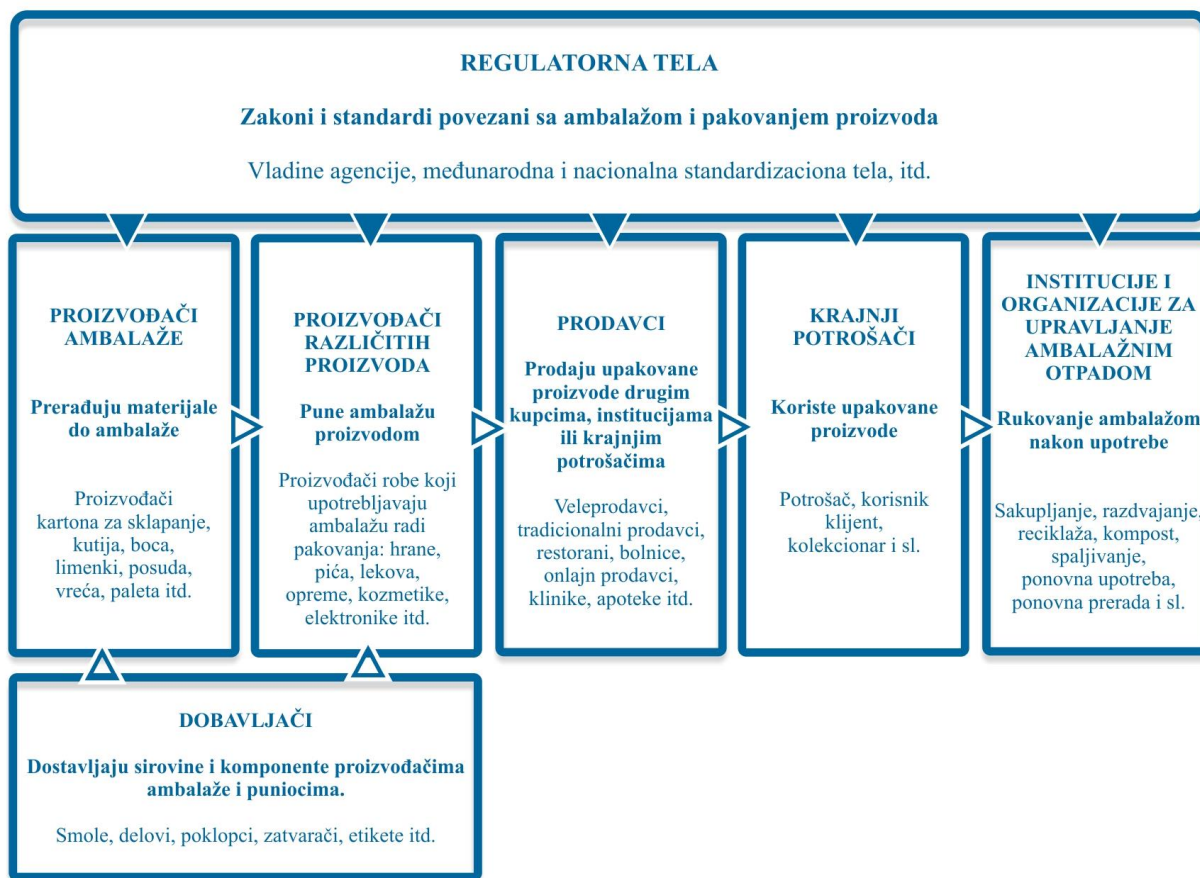
Od izuzetne je važnosti da ambalažni materijal, koji je u kontaktu sa proizvodom (hranom), osigura zdravstvenu bezbednost proizvoda. U skladu sa stavovima Evropske komisije (The Framework Regulation, 2004), postoje četiri osnovne preporuke za ambalažne materijale koje osiguravaju bezbednost hrane (Schöfer, 2010):

- 1) ambalažni materijali u kontaktu sa hranom ne smeju da ugroze zdravlje čoveka;
- 2) ambalažni materijali u kontaktu sa hranom ne smeju da menjaju sadržaj hrane na neprihvatljiv način;
- 3) ambalažni materijali u kontaktu sa hranom ne smeju da menjaju ukus, miris ili teksturu hrane;
- 4) ambalažni materijali u kontaktu sa hranom se moraju proizvoditi u skladu sa principima dobre proizvođačke prakse (GMP).

Ambalažni materijal koji se koristi na tržištu treba da bude u skladu sa zakonom koji je na snazi unutar odgovarajućeg geografskog područja. Osnovni kriterijumi koje ambalaža prisutna na teritoriji Republike Srbije mora da ispunjava su predviđeni *Zakonom o ambalaži i ambalažnom otpadu* (2009). Prema ovom zakonu, ambalaža mora biti proizvedena tako da ne utiče na promenu zapremine/mase proizvoda, kao i da omogući održavanje:

- 1) bezbednosti i zdravstvene ispravnosti proizvoda;
- 2) funkcionalnosti unutar lanca isporuke i upotrebe;
- 3) prihvatljivosti upakovanog proizvoda od strane potrošača.

Istraživači i proizvođači ambalažnih materijala moraju imati na umu različite uslove i želje svojih poslovnih partnera kada je u pitanju razvoj nove ambalaže. To predstavlja potrebu za posmatranjem šire slike u odnosu na klijente, kako bi prezentovali rešenja koja će zadovoljiti sve učesnike tržišta, odnosno da li će novi proizvod uspeti da zadovolji odgovarajuće kriterijume. Israživači moraju da razmišljaju o čitavom životnom ciklusu ambalaže, od polazne sirovine pa sve do načina upravljanja ambalažnim otpadom. Biks (Bix) i sar. (2009) predstavljaju sliku potreba učesnika tržišta ambalaže i pakovanja, koje kreatori treba da zadovolje, odnosno međusobnu povezanost činilaca tržišta ambalaže i pakovanja (slika 2).



Slika 2. Učesnici tržišta industrije ambalaže i pakovanja

Pravni okvir je polazna tačka kada je reč o tržištu i puštanju proizvoda u promet. On (pravni okvir) omogućuje i ograničava poslovne subjekte da striktno deluju u okvirima važeće zakonske regulative, vezane za poručje u kojima se vrši poslovna aktivnost. Prema tome, u skladu sa važećim zakonom i pravilnicima, svaka navedena grupa učesnika tržišta priželjkuje ostvarivanje specifičnih kriterijuma koji su važni sa aspekta njihovog poslovanja. Na primer, proizvođačima je veoma važan kriterijum jednostavnost pakovanja sopstvenih proizvoda u proizvedenu ambalažu. Takođe, menadžerima koji upravljaju životnim ciklusom ambalaže je naročito bitno da li je ambalažni materijal u skladu sa principima održivog razvoja ili ne. S druge strane, postoje univerzalni kriterijumi koji povezuju više različitih grupa učesnika tržišta. Tako su održivost upakovanog proizvoda i dug rok trajanja od važnosti za proizvođače, prodavce, ali i krajnje potrošače (Bix i sar., 2009).

Kako bi se ostvarili uslovi za proizvodnju odgovarajuće ambalaže na tržištu, Han (2005) navodi važnost mogućnosti masovne proizvodnje, posedovanja funkcionalnih ambalažnih materijala, odgovarajuće strukture i oblika, pouzdanosti i mogućnosti odlaganja nakon konzumacije proizvoda. Prema tome, proizvodnja ambalaže zahteva sveobuhvatan pristup sa industrijskog, inženjerskog, grafičkog, ali i sa aspekta zaštite životne sredine. Iz tog razloga se može reći da je odabir idealnog materijala za pakovanje gotovo nemoguć, jer je mala verovatnoća da će odabrani ambalažni materijal odgovarati svim navedenim karakteristikama i pokazati najbolje performanse. Stoga se najčešće vrši optimizacija i odabira se najbolje rešenje u datim uslovima tržišta.

Pored primene ambalaže za pakovanje farmaceutskih i kozmetičkih proizvoda, prehrambena industrija zauzima najveći deo tržišta (Datamonitor, 2010) sa ukupnim udelom 65-70%, pri čemu je projektovani rast proizvodnje 3%, a ukupna vrednost tržišta ambalaže je procenjena na 797 milijardi dolara 2013. godine (Sen i Das, 2016). Prateći statistiku, postignut je dodatni rast proizvodnje 2018. godine od 4 %, kao i povećanje iznosa vrednosti tržišta za dodatnih 284 milijarde dolara. Takođe, prema projekcijama Britanskog istraživača tržišta Smiters Pira (Smithers Pira), vrednost tržišta od 839 milijardi dolara (2015.) će zahvaljujući stopi rasta od 3,5% dostići vrednost od gotovo trilion dolara (998 milijardi) 2020. godine (Smithers, 2016).

Uloga ambalaže

Ambalaža i pakovanje su od izuzetne važnosti za učesnike tržišta, jer mogu načiniti stratešku prednost u odnosu na konkurenciju, pravovremenim osluškivanjem potreba potrošača, poboljšanjem karakteristika proizvoda, poboljšanjem kvaliteta prezentacije ili ojačanjem sopstvenog brenda (Coles, 2003). Kada se pomene ambalaža, asocijacija na njenu ulogu za većinu ljudi je prilično površna. Ambalaža se najčešće posmatra kao spoljašnji estetsko-dekorativni omotač proizvoda. Međutim, funkcije ambalaže proizvoda daleko prevazilazi pomenutu estetsku ulogu, pa se može reći da ambalaža utiče na (Coles, 2003; ECR Europe, 2009; Yam, 2009; Yildirim i sar., 2018):

- zaštitu upakovanog proizvoda;
- očuvanje celovitosti proizvoda;
- komunikaciju sa potrošačem;
- podizanje estetske vrednosti proizvoda;
- marketing, promociju i prodaju proizvoda.

Od gore nabrojanih uloga, zaštita upakovanog proizvoda je njena najvažnija osobina. Ambalaža, u zavisnosti od karakterističnih fizičko-hemijskih svojstava, štiti upakovani proizvod od neželjenog efekta svetlosti različitih talasnih dužina, razvoja mikroorganizama, vlage, kiseonika, toplote ili hladnoće. Na ovaj način, upakovani proizvod je u stanju da očuva svoje polazne karakteristike u različitim, nepovoljnim, uslovima spoljašnje sredine. Takođe, nepravilno rukovanje proizvodom ili dugotrajno skladištenje može dovesti do fizičkih, hemijskih ili bioloških uticaja, tako da je ambalaža barijera koja sprečava, ili umanjuje štetne posledice po proizvod. Međutim, ambalaža, sama po sebi, ne bi smela da reaguje ili da utiče na promene upakovanog proizvoda. Ipak, usled nepravilnog rukovanja, gotovo svaka ambalaža može predstavljati potencijalnu opasnost po upakovani proizvod.

Struktura, agregatno stanje i reološke osobine upakovanog proizvoda, bilo da je u pitanju farmaceutski, kozmetički ili prehrambeni proizvod, umnogome diktiraju odabir ambalažnog materijala i načina pakovanja. Očuvanje celovitosti proizvoda, stoga, spada među osnovne funkcije ambalaže. Prema tome, izbor ambalažnog materijala i uslova pakovanja treba prilagoditi gore pomenutim osobinama, uzimajući u obzir ostale parametre proizvodnje, kao što su ekonomski

ili ekološki. Papirna ili kartonska ambalaža se može primeniti za pakovanje hleba ili brašna, ali se ne preporučuje za pakovanje mesa ili ribe. Međutim, razvoj tehnologije, doprineo je pronalasku novih, savremenih kombinovanih ambalažnih materijala, koji su izuzetno funkcionalni, ali i ekonomski isplativi. Ovo je otvorilo mogućnost za pakovanje gotovo svih vrsta proizvoda u različite vrste ambalaže, što je ranije bilo nezamislivo.

Iako je komunikacija veština koja je prisutna isključivo prilikom interakcije živih bića, komunikacija ambalaže sa konzumentom/potrošačem predstavlja personifikaciju informativne uloge ambalažnog materijala. Ta komunikacija je svakako jednosmerna i potrošaču pruža neophodne informacije o proizvodu. Na ovaj način, potrošač može saznati: od čega se sastoji proizvod, da li može izazvati neželjene reakcije, kako ga čuvati do momenta upotrebe ili koliko dugo proizvod može ostati upokovan pre konzumacije. Deklaracija proizvoda, koja se gotovo isključivo nalazi na površini ambalažnog materijala je najdeskriptivniji deo ambalaže i mora da sadrži podatke koji su propisani *Pravilnikom o deklarisanju, označavanju i reklamiranju hrane* (Službeni glasnik RS, 19/2017 i 16/2018).

Estetska vrednost proizvoda spada među senzorske karakteristike proizvoda, naročito kada je reč o pojavi, fizičkom izgledu ili strukturi. Ukoliko proizvod ne zadovoljava estetske kriterijume ili nije u skladu sa specifikacijom, mala je verovatnoća da će se prodati. Estetsku vrednost proizvoda ambalaža može da sakrije, ali ne može da ispravi. Međutim, ukoliko je estetska vrednost na zadovoljavajućem nivou, ambalaža može dodatno podići ukupnu estetsku vrednost i načiniti proizvod još više vizuelno atraktivnim za potrošača. Korišćenjem transparentnih filmova, omogućuje se bolji prikaz proizvoda, što proizvođači vrlo često koriste. Kombinacijom netransparentnih ambalažnih materijala (npr. kartona) i transparentnih materijala (polietilen/polipropilen) moguće je sakriti manje atraktivne delove proizvoda, a prikazati vizuelno efektivnije delove proizvoda. Pored ove tehnike, razvoj savremenih ambalažnih materijala je omogućio upotrebu digitalne štampe, što dodatno proširuje mogućnost dekorativnog delovanja. Marketinške aktivnosti u XXI veku predstavljaju prioritet prilikom strateškog planiranja prodaje robe, a kompanije često ulažu veoma velike sume novca kako bi proizvod stigao do ciljne grupe potrošača. Ambalaža predstavlja važan deo vizuelne kampanje, pri čemu se teži što verodostojnijem prikazu identiteta kompanije, odnosno brenda. Pojam brend je preuzet od američkih farmera, koji su žigosali stoku najčešće inicijalima, kako bi je zaštitili od krađe

(Emblem, 2012). Kasnije je brend postao sinonim kvaliteta, na osnovu kojeg potrošači odlučuju kome će ukazati poverenje.

Prilikom odlaska u kupovinu, potrošači uglavnom nemaju mogućnost kompletne senzorske ocene proizvoda, odnosno nisu u prilici da probaju proizvod. Najčešće se sve svodi na vizuelnu percepciju, pri čemu se posebno obraća pažnja na dizajn ambalažnog materijala. Atraktivni dizajn ambalažnog materijala će definitivno načiniti prvi korak, kada je u pitanju interakcija sa potrošačem. Iz ovoga sledi da prvi utisak o proizvodu u značajnoj meri kreira ambalaža proizvoda. Postoji nepisano pravilo da će kupac samo jednom dati šansu proizvodu koji mu se vizuelno sviđi, ukoliko ne zadovolji očekivanja. Stoga, između dva proizvoda koji imaju približno identičnu cenu, pobedu će odneti onaj čiji je vizuelni utisak atraktivniji, a tu je ambalaža od izuzetne važnosti.

Vrste Ambalažnih materijala

Veliki broj različitih ambalažnih materijala se može pronaći na tržištu u celom svetu, međutim svi materijali se proizvode od pet osnovnih grupa sirovina (materijala): papir i karton (38 mas.%), staklo (26 mas.%), polimeri (18 mas.%), metali (12 mas.%), drvo i ostali materijali (6 mas.%) (Jovanović i Džunuzović, 2011).

Sve pomenute vrste ambalaže se koriste u velikoj meri prilikom pakovanja prehrambenih, kozmetičkih, farmaceutskih i medicinskih proizvoda. Takođe, često se radi poboljšanja pojedinačnih funkcionalnih svojstava ambalaže, vrši kombinovanje dve ili više vrsta različitih materijala.

Namirnice čine veoma osetljivu grupu proizvoda podložnu kvarenju. Stoga, ambalaža koja se primenjuje za pakovanje mora da osigura očuvanje celovitosti i ispravnosti proizvoda tokom predviđenog roka trajanja. Međutim, hrana koja nije konzumirana u predviđenom roku, najčešće biva bačena (Amani i Gadde, 2015), što predstavlja veliki problem savremenog društva. Jedan od učestalih razloga bacanja hrane leži u kratkom roku trajanja gotovog proizvoda. Između 30 i 50% proizvedene hrane se baca u nerazvijenim zemljama usled neodgovarajuće zaštite, pakovanja, skladištenja ili transporta, dok je taj procenat značajno niži u razvijenim zemljama 2-3% (Coles, 2003). Osim osnovnih karakteristika proizvoda u koje spadaju sirovinski sastav, a_w vrednost, pH vrednost ili sadržaj konzervanasa, na rok trajanja hrane utiču odabrani ambalažni materijali, ambalaža, ali i uslovi pakovanja.

Hrana pakovana u limenke, a zatim pasterizovana ili sterilizovana toplotom, može da izdrži dve, tri ili više godina skladištenja (Page i sar., 2003). Mogućnost korozije, netransparentnost proizvoda, kao i cena ambalažnog materijala, mogu spadati u nedostatke metalne ambalaže. Staklena ambalaža poseduje dosta prednosti, ali i nedostataka u slučaju pakovanja hrane. Nepropusnost na gasove ili vodenu paru su veoma poželjne osobine ambalažnih materijala, međutim, lomljivost i visoka gustina (velika masa ambalaže) spadaju u krupne nedostatke staklene ambalaže (Grayhurst, 2012). Papirna i kartonska ambalaža je u intenzivnoj upotrebi u prehrambenoj industriji, od filter vrećica za čaj do zbirnih kutija za pakovanje pojedinačnih proizvoda (Kirwan, 2003). Usled slabih barijernih svojstava, kombinovanje sa polimernim materijalima ili aluminijumskom folijom može značajno poboljšati karakteriste ove ambalaže (Riley, 2012b).

U tabeli 1. su predstavljene ključne karakteristike osnovnih vrsta ambalaže.

Tabela 1. Ključne karakteristike osnovnih ambalažnih materijala (Coles, 2003)

Vrsta materijala	Osnovne karakteristike
Metalna ambalaža	Čvrst materijal koji može biti velike gustine u slučaju čelika ili male gustine u slučaju aluminijuma; Odlična barijerna svojstva prema svetlu, vodenoj pari i gasovima; Potreban poklopac za zatvaranje ambalaže; Mogućnost korozije.
Staklena ambalaža	Inertna u odnosu na hranu; Nepropusna na vlagu i gasove; Selektivno propusna na svetlost; Krta i lomljiva; Potreban poklopac ili zatvarač za zatvaranje ambalaže.
Papirna i kartonska ambalaža	Lagan materijal male gustine; Barijera za svetlost; Loša barijera za vlagu i gasove; Može se spajati sa drugim materijalima; Pogodan material za štampu;
Polimerna ambalaža	Različite barijerne karakteristike za gasove i vodenu paru; Različita zatezna čvrstoća materijala; Može biti transparenta; Funkcionalna za različite temperaturne opsege; Fleksibilna; Može se kombinovati sa drugim materijalima.

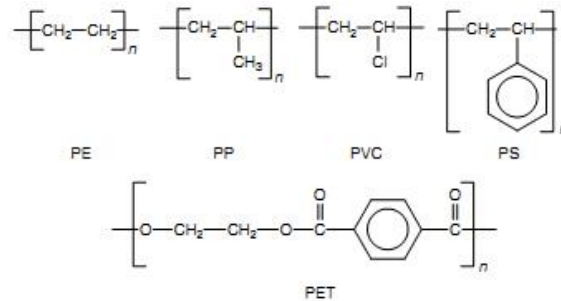
2.2. POLIMERNI AMBALAŽNI MATERIJALI

Čovečanstvo je kroz čitavu istoriju upotrebljavalo prirodne materijale na bazi polimera. Vuna, pamuk ili koža samo su neki od materijala koji su bili veoma korisni za upotrebu. Kasnije su ljudi shvatili da se sitnim modifikacijama polaznog materijala mogu proizvesti materijali još boljih karakteristika. Tako je godine 1839. Čarls Gudjir (Charles Goodyear) proizveo tvrdnu gumu, zagrevanjem prirodne gume uz dodatak sumpora. Ovaj proces pod nazivom vulkanizacija postao je polazna tačka mnogih istraživanja u cilju poboljšanja elastičnosti gume (Strong, 2006). Prvi polimerni, providni film je izumeo Švajcarski tekstilni inženjer Žak E. Brandenberger (Jacques E. Brandenberger), koji je zahvaljujući konobaru koji je prolio vino na stolnjak, razmišljao kako da proizvede vodootporni prekrivač. Godine 1908. proizveo je „celofan” na bazi tečne viskoze (materijal se zove rajon), koji je bio suviše krut. Tako da su E. I. du Pont de Nemours i Co godine 1912. unapredili ovaj film, dodajući mu nitro celulozni omotač koji je služio kao vodootporna barijera (Wagner i Marks, 2010). U novije vreme, polimerni materijali se u najvećem procentu primenjuju upravo pri proizvodnji ambalaže (38%), što je više u odnosu na primenu u građevinarstvu (21%), automobilskoj industriji (7%), elektrici i elektronici (6%). Za poslednjih 50-60 godina, potrošnja polimera je dostigla 260 miliona tona (2007) od čega je čak trećina vezana isključivo za ambalažu i pakovanje (Plackett, 2011).

Polimerni materijali predstavljaju široku grupu hemijskih jedinjenja, ali se u svakodnevnom žargonu stanovništva ovaj naziv retko primenjuje, a opšte prihvaćeni trivijalni sinonim nosi naziv *plastika*. Iako ne postoji sveobuhvatna definicija, moglo bi se reći da plastika predstavlja grupu materijala, koji čine veliki molekuli, koji su proizvedeni sintetički, modifikovani ili pronađeni u prirodi (Strong, 2006). Takođe, plastičnim se još naziva i sposobnost materijala da zadržava oblik nakon upotrebe mehaničke sile (Riley, 2012a).

Polimerima se nazivaju makromolekuli sačinjeni od monomernih jedinica koje se ponavljaju (Azapagic i sar., 2003a; Strong, 2006; Wagner i Marks, 2010; Riley, 2012a). Kovanicu „polimer”, prvi put je upotrebio švedski hemičar Jons Jakob Berzelius (Jöns Jakob Berzelius) 1833. godine, gde reč *poly* (*više*) vuče korene iz grčkog jezika, dok se reč *meros* može prevesti kao *deo*. Proces pri kojem monomeri podležu reakcijama kako bi se formirali polimeri se naziva polimerizacija. Rezultujući polimer se može predstaviti kao ponavljajući niz monomernih jedinica ili CRU *Constitutional Repeating Unit* – konstituciona ponavljajuća jedinica). Slika 3 prikazuje konstitutivne jedinice najčešće korišćenih polimernih materijala u industriji pakovanja. U slučaju

polietilena, CRU je - CH₂ - (metilen), jer strukturna formula glasi - CH₂ - CH₂ -. Vrednost *n* koja se piše posle zagrade, označava broj ponavljanja monomera, a nosi naziv *prosečni stepen polimerizacije DP (The Average Degree of Polymerisation)* (Azapagic i sar., 2003a).



Slika 3. Struktura najčešće korišćenih polimera prikazana prema CRU (Azapagic i sar., 2003a)

Iako se za davanje naziva polimernim materijalima preporučuje korišćenje IUPAC-ove nomenklature, na bazi njihovih monomernih jedinica, nomenklature najčešće predstavljaju mešavinu trivijalnih naziva, trgovačkih naziva i akronima. Na primer, PET je poznat kao poli(etilen tereftalat), međutim pravilnije bi bilo reći poli(oksi etilen oksitereftaloil) (Azapagic i sar., 2003a).

2.2.1. SINTETSKI POLIMERI

Na tržištu se nalazi veliki broj ambalažnih proizvoda koji se izrađuju od polimernih materijala poput fleksibilnih plastičnih filmova (vreće, kese), plastičnih posuda (čase, boce, tube), fleksibilnih folija, poklopaca i zatvarača, traka i sl. (Stoiljković, 1997). Polazna sirovina za proizvodnju sintetskih polimernih materijala je pretežno nafta, koja prema tome, predstavlja početak životnog ciklusa polimernih materijala nastalih iz ovih izvora (Vujković, 1997; Azapagic i sar., 2003b; Lazić i Novaković, 2010). Nafta, prirodni gas ili neka druga sirovina se podvrgava procesu rafinacije pri čemu kao produkt nastaju karakteristični monomeri. Monomer se nakon procesuiranja nalazi u obliku mase kao rastopljeni materijal, rastvor, ili kao emulzija. Monomeri se koriste za sintezu polimera, najčešće u prisustvu katalizatora i izvora energije. Primenuju se dva procesa polimerizacije, koja su poznata kao postepena i lančana polimerizacija. Postepena

polimerizacija, poznata još kao polimerizacija kondenzacijom, se ostvaruje serijom kondenzacionih reakcija. Dobijeni polimer se u većini slučajeva razlikuje od polaznog monomera, jer se dolazi do eliminacije malih molekula tokom reakcije. Lančana polimerizacija se dešava tokom reakcija nastanka višestrukih veza iniciranih slobodnim radikalima ili jonima. Produkt nastao ovakvom polimerizacijom poseduje identičnu hemijsku strukturu kao polazni monomer (Azapagic i sar., 2003a), a njegov trivijalni naziv je smola, ili polazna sirovina za proizvodnju ambalažnih materijala. U najčešće upotrebljavane smole spadaju: polietilen, polipropilen, polistiren, polivinilhlorid i poliamid, a u fabrike se dopremaju u obliku tečnost, granula ili pahuljica (Strong, 2006). Dobijene smole je neophodno pripremiti mešanjem sa odgovarajućim dodacima, kako bi se kreirali polimerni ambalažni materijali, a sam proces pripreme zahteva operacije poput: mešanja, klasiranja, sušenja, sitnjenja, granuliranja, valjanja, utrljavanja (Lazić i Novaković, 2010).

Za pakovanje hrane i pića se najčešće koriste višeslojni polimerni i kombinovani ambalažni filmovi, folije, trake i ploče. Višeslojni polimerni ambalažni materijali se proizvode postupcima kaširanja, ekstruzionog oslojavanja i koekstruzijom. S druge strane, kombinovani ambalažni materijali koji pored polimernih, sadrže i druge ambalažne materijala, se proizvode procesima kaširanja i ekstruzionog oslojavanja. Takođe, u cilju poboljšanja karakteristika kvaliteta ambalažnog materijala i pripreme za spajanje sa drugim materijalima, primenjuju se postupci orijentacije, obrade površine ili nanošenja prajmera (Vujković, 1997).

Proizvodnja orijentisanih filmova je viši stepen izrade filmova izrađenih od jednog materijala homogene strukture. Dobijaju se postupkom istezanja prethodno proizvedenih filmova u jednom (uzdužnom) pravcu ili oba (uzdužnom i poprečnom) pravca (Lazić i Novaković, 2010).

Kaširanje (laminiranje) predstavlja spajanje dva materijala uz upotrebu vezivnog sredstva, odnosno ateziva (Kirwan i Strawbridge, 2003; Dixon, 2011). Zavisno od vrste i karakteristika kvaliteta ateziva, postupci kaširanja mogu obuhvatiti (Vujković, 1997):

- suvo kaširanje, koriste se atezivi rastvoreni u organskim rastvaračima;
- suvo kaširanje bez rastvarača, koriste se tečni atezivi bez rastvarača;
- mokro kaširanje, kao rastvarač se koristi voda;
- kaširanje voskovima;
- ekstruziono kaširanje, primenjuju se plastomeri kao atezivi.

Potupcima kaširanja se mogu spajati (Lazić i Novaković, 2010):

- polimerni ambalažni materijali;
- polimerni ambalažni materijali sa metalnim folijama, tankim trakama i trakama;
- polimerni ambalažni materijali sa papirom;
- polimerni ambalažni materijali sa kartonom;
- papiri sa metalnim folijama.

Ekstrudiranje je najzastupljeniji način prerade plastomera, pri čemu se uz pomoć ekstrudera proizvode proizvodi neodređene (beskonačne) dužine: cevi, vlakna, creva, filmovi, folije i trake (Vujković, 1997; Lazić i Novaković, 2010).

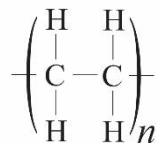
Ekstruziono oslojavanje predstavlja nanošenje polimernog sloja na prethodno proizvedenu podlogu, čime se, uz primenu odgovarajućih polimernih materijala, poboljšavaju karakteristike polaznog materijala za pakovanje (Vujković, 1997).

Kalandiranje je postupak propuštanja omekšanog polimernog materijala između sistema parova valjaka sa podesivim razmakom, pri čemu se proizvode beskonačno dugi filmovi, folije i trake (Lazić i Novaković, 2010).

Koekstruzija je proces gde se dva ili više različita rastopljena polimerna materijala kombinuju u cilju formiranja višeslojne folije (Hatfield i Horvath, 2009; Dixon, 2011). Ovakav proces zahteva postojanje dva ili više ekstrudera, pri čemu se mora obratiti pažnja na parametre procesa kao što su različite mehaničke ili termičke karakteristike pojedinačnih polimera. Gotovi proizvodi predstavljaju creva, ravne folije i trake (Vujković, 1997).

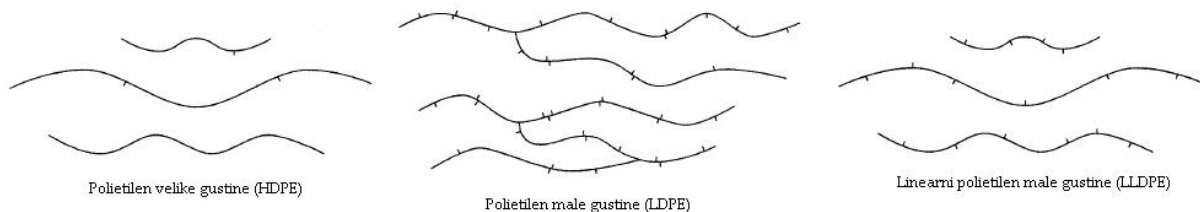
Polietilen (PE)

Polietilen (PE) predstavlja strukturno najjednostavniji sintetski polimer, čija je osnovna prednost, u odnosu na konkurentske ambalažne materijale, niska cena i relativno jednostavna proizvodnja. Ostvaruje se adicionom polimerizacijom gasovitog etilena u reaktorima pod uslovima visoke temperature i pritiska (Kirwan i Strawbridge, 2003). Osnovu ovog polimera čini etilen, koji se sastoji od dva ugljenikova i četiri vodonikova atoma (slika 4).



Slika 4. Strukturna formula polietilena

Etilen se dobija iz izvora prirodnog gasa (metana) ili sirove nafte. Pojedine osobine polietilena zavise od načina međusobne interakcije molekula, koja je uslovljena prostornom strukturom. Razlike prostorne strukture molekula nastaju promenom polimerizacionih uslova, kao što su temperatura, pritisak, vrsta katalizatora. Na ovaj način postiže se molekularno grananje osnovnog lanca, tj. formiranje bočnih lanaca. Bočni lanci se formiraju kada dođe do cepanja vodoničnih veza tokom polimerizacionih reakcija. U slučaju polimerizacije koja se izvodi pri visokoj temperaturi, dolazi do cepanja vodonične veze i nastanka slobodnog radikala na ugljenikovom atomu. Ovako nastali ugljenični slobodni radikal može poslužiti kao polazna stanica polimerizacije, prilikom čega se lančani rast molekula odvija ili na uobičajenom mestu na kraju lanca ili na novoformiranoj lokaciji gde se nalazi slobodni ugljenični radikal (Strong, 2006). Zavisno od načina grananja (broj i dužina bočnih grana) dolazi do napred pomenutih strukturnih promena (slika 5).



Slika 5. Strukturni prikaz pojedinih tipova polietilena

Polietilen velike gustine (HDPE) se sastoji od slabo razgranatih molekula, pri čemu se ostvaruje visoka kristalnost. Ovakvi molekuli poseduju veću gustinu u odnosu na ostale tipove polietilena, pri čemu se opseg gustina obično kreće od 0,94 do 0,97 g/cm³. Pojedini HDPE materijali se kopolimerizuju malim koncentracijama 1-alkena, kako bi došlo do redukcije nivoa kristalnosti (Peacock, 2000).

Polietilen male gustine (LDPE) poseduje veliki broj bočnih grana, što utiče na proces kristalizacije, a krajnji rezultat predstavlja mala gustina polimera. Kako je kristalnost ovakvih molekula niska (približno 40%), njihova struktura je pretežno amorfnu (Strong, 2006). Gustina polimernih materijala načinjenih od LDPE se kreće u granicama od 0,90 do 0,94 g/cm³ (Peacock, 2000), odnosno između 0,910 i 0,925 g/cm³ (Kirwan i Strawbridge, 2003).

Linearni polietilen male gustine (LLDPE) se sastoji od linearno povezanih polietilenskih molekula na koje su nasumično prikačeni kratki lanci koji se sastoje od alkil grupa (Peacock, 2000). Uobičajen broj bočnih grana se kreće između 16 i 35 na 1000 povezanih ugljenikovih atoma (Strong, 2006). Gustina materijala od LLDPE je približna onima koji se proizvode od LDPE, međutim, zahvaljujući prisustvu bočnih lanaca ovakvi materijali pokazuju bolje mehaničke karakteristike, kao što su pojačana otpornost na kidanje i zatezna čvrstoća (Kirwan i Strawbridge, 2003).

Ambalažni materijali načinjeni od polietilena se često primenjuju, između ostalog, zbog svojih povoljnih mehaničkih karakteristika. Mogu formirati čvrste, tvrde filmove, dobrih barijernih osobina, naročito prema propustljivosti vlage i vodene pare. Ipak, u poređenju sa ostalim ambalažnim materijalima, poseduju nešto slabije barijerne karakteristike kada su u pitanju ulja i masti ili gasovi kao što su kiseonik i ugljen-dioksid. Barijerne karakteristike se poboljšavaju sa porastom gustine polimera. Jedan od najvećih nedostataka PE je niska toplotna otpornost, pri čemu se tačka topljenja polimera nalazi na temperaturi od približno 120 °C (Kirwan i Strawbridge, 2003).

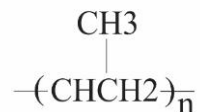
Kao ambalažni materijal PE se koristi u obliku filmova i folija različite debljine (do 100µm), a koristi se i kao monomaterijal za dobijanje višeslojnih folija. Kada je PE u toku proizvodnje filma istegnut do određenog stepena, dolazi do orijentacije, a pri ponovnom zagrevanju se vraća u prvobitni oblik. Tada se PE ponaša kao termoskupljajući film i ima veliku primenu za zbirna pakovanja. Od PE se još najčešće proizvode kese (tregerice), boce i različite posudice (Lazić i Novaković, 2010).

Takođe, različiti tipovi polietilena odgovaraju različitoj nameni. HDPE se pokazao kao dobar materijal za proizvodnju boca, ambalaže za deterdžente, motorna ulja, antifriz i sl. Pored toga primenjuje se za proizvodnju buradi i tankova u koje se skladište različite hemikalije. S druge strane, niska kristalnost LDPE-a rezultira proizvodnjom mekih i transparentnih folija, pogodnih za pakovanje proizvoda u veleprodaji i maloprodaji. Druge primene LDPE-a su za proizvodnju

streč folija, ojačanja pelena, vreća za hemijsko čišćenje itd. LLDPE se može primenjivati u funkciji pakovanja namirnica u vidu vreća ili streč folija, ali se često koristi i kao izolacioni materijal pri proizvodnji žica i kablova (Peacock, 2000).

Polipropilen (PP)

Polipropilen predstavlja linearan polimer propilena proizveden pri visokoj temperaturi i pritisku. Strukturno je veoma blizak polietilenu, međutim, prisustvo bočne metil grupe (CH₃), vezane za drugi ugljenikov atom, može uticati na promenu osobina materijala. Na ovaj način, može doći do promene simetrije molekula, koja uzrokuje povišenje tačke topljenja materijala ili povećanje kristalnosti u odnosu na polietilen (Brydson, 1999). Strukturna formula polipropilena je predstavljena slikom 6.



Slika 6. Strukturna formula polipropilena

Postoje izvesne sličnosti prilikom proizvodnje polietilena i polipropilena, jer se u oba slučaja koriste katalizatori istog tipa (Cigler Nata – *Ziegler Natta*) (Brydson, 1999; Kirwan i Strawbridge, 2003; Strong, 2006). Gas propan se frakcionom destilacijom izdvaja iz naftnih proizvoda bez većih poteškoća, međutim, nešto komplikovaniji proces predstavlja separacija propilena iz propana, gde je potrebno ukloniti nečistoće poput metilacetilena i vode (Brydson, 1999). Zavisno od vrste upotrebljenih katalizatora, postoji mogućnost proizvodnje 3 različite vrste stereoizomera polipropilena (Brydson, 1999; Strong, 2006):

- 1) izotaktička konfiguracija;
- 2) sindiotaktička konfiguracija;
- 3) ataktička konfiguracija.

Kod izotaktičke konfiguracije, metil grupa se javlja na tercijernom ugljenikovom atomu uvek sa iste strane. Stoga je ovakva struktura prilično stabilna i linearna. S druge strane, kod sindiotaktičke strukture, metil grupa se naizmenično nalazi sa jedne, a zatim s druge strane tercijernog ugljenikovog atoma. U slučaju ataktičke konfiguracije, metil grupa je nasumično pozicionirana unutar molekula sa obe strane tercijernog ugljenikovog atoma. Zahvaljujući uređenoj strukturi molekula u slučaju izotaktičke konfiguracije, moguće je ostvariti visoku kristalnost molekula, tako da je ovo jedini stereoizomer koji ima komercijalni značaj prilikom proizvodnje ambalaže i pakovanja (Brydson, 1999).

Mehaničke osobine polipropilena čine ga pogodnim za proizvodnju ambalažnih materijala. U odnosu na polietilen, ovaj materijal je mehanički čvršći i vizuelno transparentniji. Visoka tačka topljenja (160 °C) i hemijska postojanost u odnosu na organska i neorganska jedinjenja, čine ga atraktivnim sa stanovišta pakovanja proizvoda koji su izloženi agresivnim spoljašnjim faktorima (Kirwan i Strawbridge, 2003). Osetljivost na UV svetlosti, kiseonik i lomljivost na temperaturama ispod 0 °C, neki su od najvećih nedostataka polipropilena (Brydson, 1999; Kirwan i Strawbridge, 2003; Strong, 2006). Niska masa po jedinici površine predstavlja problem prilikom štampanja ambalaže, pa se preporučuje kombinovanje sa materijalima koji su pogodniji za ovu svrhu.

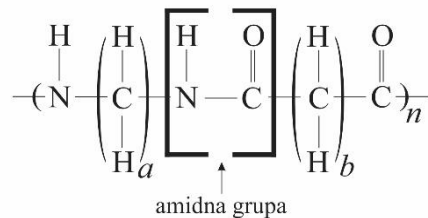
Niska cena i velika univerzalnost polipropilena čine ga pogodnim za proizvodnju fleksibilnih, kao i krutih ambalažnih jedinica. Većina prehrambenih proizvoda se pakuje u ambalažu proizvedenu od PP. Za meso i proizvode od mesa, kao i kod konditorskih proizvoda, se prilikom pakovanja primenjuju BOPP filmovi. Kod mleka i mlečnih proizvoda koristi se termooblikovana PP ambalaža. Kod brašna i proizvoda od brašna, PP filmovi i BOPP filmovi. Za voće, povrće i srodne proizvode se primenjuju PP filmovi, a za masti i ulja PP trake (Lazić i Novaković, 2010).

Poliamid (PA)

Poliamid spada među prve i najčešće korišćene termoplastične materijale u industriji pakovanja. Proizveden je davne 1935. godine od strane W. H. Karotera (Carothers) i njegovih kolega, procesom kondenzacione polimerizacije (Brydson, 1999), a trivijalni naziv najlon se povezuje sa kompanijom DuPont, koja ga je patentirala i komercijalizovala 1939. godine. Od tada do danas, najlon predstavlja sinonim za poliamidna jedinjenja, bez obzira na proizvođača ili vrstu proizvoda (Strong, 2006).

Poliamidi se mogu proizvesti reakcijom diamina i dikarboksilnih kiselina, samokondenzacijom ω -amino kiseline, otvaranjem laktanskog prstena, reakcijom diamina sa dikiselim hloridom i reakcijom di-izocijanata sa dikarboksilnom kiselinom (Brydson, 1999; Piringer, 2000).

Hemijska struktura poliamida je prikazana slikom 7. Oznake *a*, unutar amino grupe, odnosno *b*, unutar karboksilne grupe, označavaju brojeve ponavljanja konstitutivnih grupa. Na ovaj način postoje različite vrste poliamida unutar ove familije, zavisno od broja konstitutivnih jedinica (Strong, 2006). Broj ugljenikovih atoma unutar molekula poliamida služi kao oznaka za identifikaciju vrste materijala. Poliamid može biti sastavljen od amino grupe na jednom kraju i karboksilne grupe na drugom kraju. Tako, polikaprolaktam proizveden od kaprolaktama nosi naziv PA 6, jer sadrži 6 ugljenikovih atoma u diaminskom delu molekula (Piringer, 2000). Ukoliko je, na primer, molekul sastavljen od 6 ugljenikovih atoma u diaminskom delu i 12 ugljenikovih atoma u dikiselinskom delu, komercijalni naziv glasi poliamid 6/12 (Strong, 2006). Na tržištu se mogu naći najlon 6, najlon 6/6, najlon 11, najlon 6/12, najlon 44, najlon 66 itd.



Slika 7. Stukturna formula poliamida

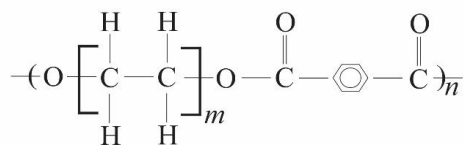
Polarnost molekula poliamida, omogućava formiranje sekundarnih vodoničnih veza, koje fiksiraju molekul i ojačavaju zateznu čvrstoću. Zahvaljujući tome, poliamid kao materijal poseduje dobru čvrstoću i tvrdoću, nisku propustljivost gasova i vodene pare, otpornost na abraziju, dobru izdržljivost i toplotnu otpornost (Strong, 2006). Najlon 6 i najlon 6/6 su veoma pogodni za proizvodnju ambalažnih materijala, jer imaju mehaničke i toplotne karakteristike poput PET ambalaže (Kirwan i Strawbridge, 2003). Nedostatak poliamidnih jedinjenja je osetljivost na polarne rastvarače, kao što je voda.

Primena poliamida u industriji pakovanja je ograničena cenom proizvodnje i osobinama ovog monomaterijala. Iako pokazuje odlične barijerne karakteristike prema kiseoniku ili mirisima, osetljivost prema polarnim rastvaračima ga usmerava na kombinovanje sa drugim ambalažnim

materijalima, koji imaju bolje karakteristike prema navedenim kriterijumima. Na ovaj način, poliamid (PA) je sastavni deo višeslojnih barijernih i visoko rezistentnih ambalažnih materijala, pogodnih za pakovanje proizvoda u modifikovanoj atmosferi, kao i aktivnog pakovanja (Piringer, 2000). U kombinaciji sa polietilenskim filmovima (PE), višeslojni ambalažni materijali na bazi poli amida (PA), ostvaruju poboljšana barijerna svojstva u odnosu na vlagu (Kirwan i sar., 2011), pa se mogu koristiti za pakovanje prehrambenih proizvoda, visokog rizika od mikrobiološke kontaminacije, poput mesa i proizvoda od mesa, ribe i sireva.

Polietilen teraftalat (PET)

Polietilen teraftelat (PET) spada u grupu termoplastičnih poliestara dobijenih kondenzacionom polimerizacijom estarskih monomernih jedinica (Kirwan i Strawbridge, 2003). Konstitutivna ponavljajuća jedinica je prikazana slikom 8. U slučaju kada je konstitutivna jedinica $m=1$, reč je o jedinjenju pod nazivom polietilen teraftelat (PET). U slučaju kada je $m=2$, formula se odnosi na polibutilen teraftelat (Strong, 2006).



Slika 8. Stukturna formula polietilen teraftalata

PET se može oblikovati do postizanja željene ambalaže bilo procesom duvanja ili livenja, a podesan je za koekstruziju sa drugim polimernim materijalima. Takođe, ovaj materijal ne zahteva upotrebu aditiva za svoju proizvodnju, što svakako pojeftinjuje proizvodni proces. Polietilen taraftelat se najčešće proizvodi u obliku vlakana, filmova i smola za oblikovanje. Vlakna se najviše koriste u tekstilnoj industriji, pojedinačno ili u kombinaciji sa prirodnim materijalima poput vune ili pamuka. Pored vlakana i smola, u industriji ambalaže i pakovanja se intenzivno koriste termoplastični filmovi. Ovi proizvodi poseduju dobre mehaničke karakteristike zahvaljujući molekulskoj orijentaciji, koja je linearna duž osnovne hemijske veze. Debljina proizvedenih filmova se kreće u granicama od 12 μm do 200 μm (Kirwan i Strawbridge, 2003).

Piringer (2000) navodi da su barijerne karakteristike PET-a veoma dobre, naročito prema gasovima, aromama i mastima. Međutim, Kirwan i Strawbridge (2003) predlažu kombinovanje

PET-a sa aluminijumom radi snižavanja propustljivosti prema kiseoniku. Uz to treba naglasiti da je pored prisustva polarnih karboksilnih grupa, koje su ipak manje zastupljene, apsorpcija vlage na prilično niskom nivou. Ovaj podatak potvrđuje njegova učestala primena u električnoj industriji (Piringer, 2000). PET filmovi su najčešće u upotrebi zbog svoje robusnosti i transparentnosti, a često se koekstrudiraju ili laminiraju sa drugim polimernim materijalima.

Upotreba PET ambalaže je naročito učestala i popularna pri pakovanju sokova, osvežavajućih bezalkoholnih pića i mineralne vode (Kirwan i Strawbridge, 2003; Strong, 2006). PET vlakna se koriste za ojačavanje guma, sigurnosnih pojaseva i vatrogasnih creva, a postoji primena i u medicini pri čemu su posude za sterilizaciju načinjene od ovog materijala (Strong, 2006).

2.2.2. BIOPOLIMERI

Paralelno sa razvojem nauke i tehnologije u svetu, dolazi do inovacija unutar industrije ambalaže i pakovanja. Ove inovacije se ne odnose samo na poboljšanja karakteristika ambalaže, pojeftinjenja proizvodnje ili uvođenja pametne tehnologije, već se odnose i na aktuelne društvene trendove (Kerry, 2014). Počev od 1960-ih pa nadalje, svaku deceniju su obeležili karakteristični zahtevi koji su usmeravali pravac tehnološkog razvoja ambalaže i pakovanja.

Tabela 2. Dominantni zahtevi vezani za industriju ambalaže i pakovanja u XX veku (Han, 2005)

Vremenski period	Zahtevi
1960.	Pouzdanost i direktni marketing (cena i sniženja artikla su istaknuti)
1970.	Lakoća materijala, ušteda energije
1980.	Zaštita od otvaranja proizvoda
1990.	Uticaj na životnu sredinu
2000.	Bezbednost i sigurnost

Osim pomenutih zahteva koji su i dalje aktuelni, period posled 2000-ih obeležavaju biopolimeri, aktivno i inteligentno pakovanje.

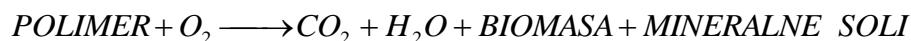
Jedan od savremenih trendova hemijske industrije svakako predstavlja proizvodnja biopolimera. Prednost biopolimera u odnosu na ostale materijale najbolje se može sagledati sa aspekta zaštite

životne sredine, jer se ovakvi materijali proizvode iz obnovljivih izvora, a nakon odbacivanja podležu biorazgradnji (Plackett, 2011).

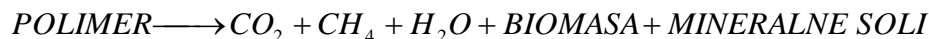
U literaturi se često poistovećuju izrazi biorazgradivi polimeri sa izrazom biopolimeri, iako postoji jedna suštinska razlika među njima. Biopolimeri (biomaterijali) su proizvedeni iz obnovljivih izvora i biorazgradivi su. S druge strane, u biorazgradive polimere spadaju biopolimeri, ali i razgradivi sintetski polimeri (Babu i sar., 2013; Lazić i Popović, 2015).

Sam proces biorazgradnje podrazumeva degradaciju i asimilaciju polimera preko metaboličkih procesa mikroorganizama pri čemu nastaju produkti razgradnje. Organizmi koji su najzaslužniji za degradaciju su plesni, bakterije i alge. Biorazgradnja se prema neophodnosti kiseonika za metaboličke reakcije mikroorganizama može podeliti na: aerobnu i anaerobnu (Leja i Lewandowicz, 2010).

Aerobna degradacija:



Anaerobna degradacija:

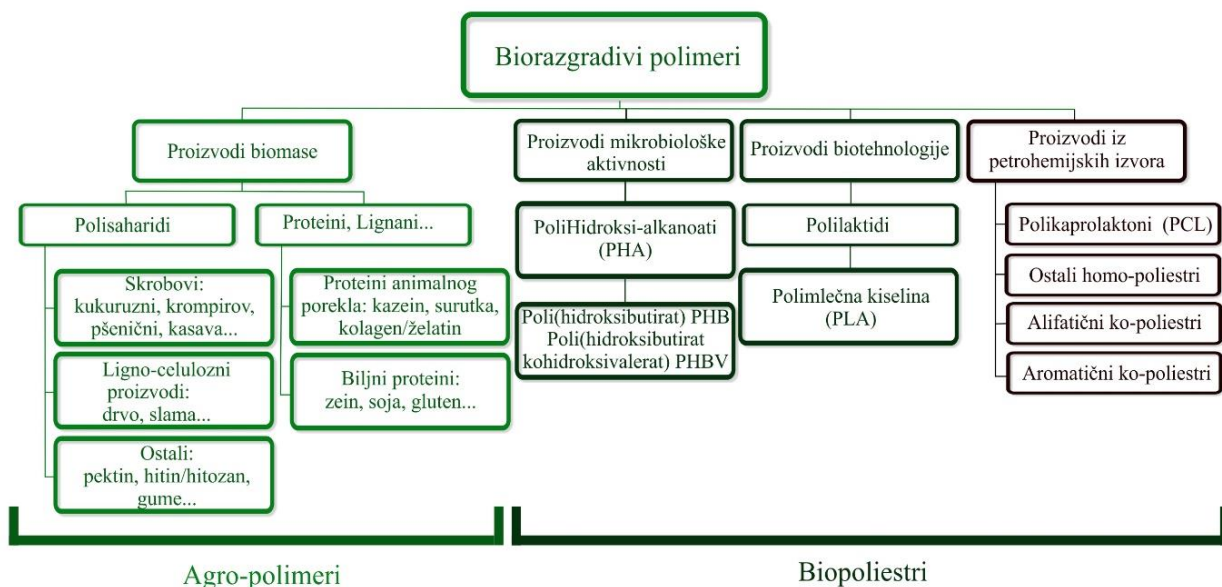


Kada je kiseonik prisutan, dešava se aerobna biorazgradnja, a kao gasoviti proizvod nastaje ugljen-dioksid. Odsustvom kiseonika, dešava se anaerobna degradacija uz nastajanje metana (Leja i Lewandowicz, 2010). Iako je biorazgradnja najčešće definisana kao razgradnja koja je uzrokovana biološkim aktivnostima, često je neophodna upotreba naknadnih faktora poput fotorazgradnje ili hidrolize, radi započinjanja ili ubrzavanja procesa razgradnje (Bastioli, 2005; Ashwin Kumar i sar., 2011).

Biopolimeri u skladu sa održivim razvojem

Biorazgradivi polimeri od celuloznih materijala i skroba su u upotrebi decenijama, pri čemu pojava polimera na bazi celuloze datira još iz 1862. godine (Marsh i Bugusu, 2007). Danas se na tržištu mogu naći biorazgradivi polimeri koji vode poreklo iz različitih izvora, a budući da je glavna funkcija zaštita upakovanog proizvoda, neophodno je da ovi polimeri poseduju dobre barijerne karakteristike (Lazić i Gvozdenović, 2007). Jedna od klasifikacija biorazgradivih polimera je prema procesu sinteze, prema kojoj se ovakvi polimeri razvrstavaju na četiri grupe: proizvodi

biomase, polimeri dobijeni mikrobiološkom aktivnošću, polimeri konvencionalno proizvedeni od monomera iz agro-izvora i polimeri dobijeni iz fosilnih izvora (slika 9).



Slika 9. Klasifikacija biorazgradivih polimera (Avérous i Pollet, 2012)

Proizvodi dobijeni iz biomase čine grupu *Agro-polimera*, dok preostale tri grupe čine *Biopoliestri*. Pored toga, prve tri grupe proizvoda potiču iz obnovljivih izvora.

Metodi proizvodnje biorazgradivih polimera se prema samom proizvodnom procesu mogu podeliti na tri grupe (Sudesh i Iwata, 2008):

1. Modifikovani prirodni polimeri (hitin)
2. Hemijski polimerizovani monomeri proizvedeni biološkim procesima (PLA)
3. Direktno mikrobiološki biosintetizovani polimeri (PHA)

Hitin predstavlja polimer N-acetilglukozamina (β -1,4 povezana 2-acetamido-D-glukoza), prisutan je u eksoskeletu ljuskara, kao i u ćelijskom zidu gljiva, insekata i kvasaca (Fernández-Saiz i Lagaron, 2011). Hitozan se ne može tako lako naći u prirodi kao hitin. Prisutan je kod pojedinih gljiva i u abdominalnom zidu termita (Avérous i Pollet, 2012). Hitozan se industrijski dobija

deacetilacijom hitina u prisustvu alkalija, do izvesnog stepena. Upotreba hitozana kao ambalažnog materijala prilikom pakovanja hrane, podstaknuta je njegovim dobrim karakteristikama prilikom formiranja filma. Međutim, velika hidro-osetljivost hitozana predstavlja najveći problem ovakvih filmova, pa se preporučuje kombinovanje sa drugim hidro rezistentnijim materijalima. U svojim istraživanjima, Hromiš i sar. (2012) su prikazali da kombinovani filmovi hitozana i kolagena poseduju veću ili jednaku zateznu čvrstoću u odnosu na konvencionalne plastične filmove (LDPE i HDPE). Dodatak eteričnog ulja origana filmovima hitozana i kolagena pokazuje pozitivan uticaj na snižavanje propustljivosti vode. Primena hitozana, osim kao aktivnog pakovanja može biti višestruka. Koristi se u medicini za kontrolu oslobađanja lekova, u kozmetičkoj industriji za proizvodnju krema i losiona, kao i prilikom tretmana otpadnih voda i zaštite biljaka.

Polilaktična kiselina (PLA) spada među najčešće izučavane bio-polimerne materijale, zahvaljujući prihvatljivim barijernim svojstvima, ali i mogućnosti biorazgradnje. Polazna komponenta za sve vrste polilaktida je mlečna kiselina (LA – *lactic acid*), koja je u većini slučajeva prirodnog porekla (može biti i hemijski sintetizovana). Mlečna kiselina se proizvodi na biološki način procesima fermentacije ugljenohidratnog supstrata, zahvaljujući mlečno-kiselim bakterijama (najčešće roda *Lactobacillus*) ili gljivama. Primena PLA u industriji pakovanja se uglavnom zasniva na proizvodnji filmova, termoformiranih posuda i bočica kratkog roka trajanja. PLA se takođe primenjuje i u medicini, farmaceutskoj industriji, kao i pri proizvodnji računara i tehnike. Preradivost PLA je nešto složenija u odnosu na konvencionalne ambalažne materijale, jer je higroskopne prirode i slabe stabilnosti (ograničena stabilnost topljenja i podložnost hidrolitičkoj degradaciji) (Södergård i Inkinen, 2011).

Polihidroksialkanoati (PHA) se obično proizvode i skladište unutar mnogih mikroorganizama u odsustvu hrane, kao rezervne materije koje će kasnije moći da se iskoriste. PHA predstavljaju lipidne materije, akumulirane od strane različitih mikroorganizama u prisustvu viška izvora ugljenika (Sudesh i Doi, 2005). PHA se skladišti u vidu sferičnih intracelularnih granula sa amorfnim, hidrofobnim PHA jezgrom, koje je okruženo proteinima uključenim u metabolizam PHA (Rehm, 2010). Zahvaljujući enzimima PHA sintazama, dolazi do polimerizacije, pri čemu nastaju optički aktivni kristalni poliestri velike molekulske mase (M_w). Kasnije kristalni poliestri intrigantno prelaze u amorfni oblik, što je prezentovano eksperimentima *in vivo* (Sudesh i Doi, 2005). PHA se u industriji pakovanja može prerađivati uobičajenim metodama u komponente

oblikovane brizganjem kao što su: filmovi i folije, vlakna, laminati, athezivi, voskovi, higijenski proizvodi i sl. Ovakvi materijali su pogodni za široku primenu prilikom pakovanja hrane, pri čemu se najčešće proizvode: posude i poklopci, viljuške, kašike, noževi, tube, tacne, kozmetička i medicinska ambalaža.

2.3. PAKOVANJE I USLOVI PAKOVANJA

Pakovanje se može definisati kao koordinisani proces prenosa proizvoda u odgovarajuću ambalažu radi zaštite od promene polaznog stanja ili fizičkih, hemijskih ili bioloških opasnosti (Patel i sar., 2018). Kol (Coles) (2003) još definiše pakovanje kao bezbedno i materijalno efektan proces kojim se dostavlja roba potrošačima u skladu sa poslovnom strategijom organizacije. Industriju pakovanja odlikuje inovativnost i permanentna potreba za razvojem novih materijala i uslova pakovanja, kako bi se pratio korak sa promenama životnih navika ljudi i osigurala proizvodnja zdravstveno bezbedne hrane (Han i sar., 2018).

Uslovi pakovanja ne označavaju faktore prisutne tokom procesa pakovanja, poput temperature, vlažnosti vazduha ili prisustva mikroorganizama u prostoru gde se vrši pakovanje, već se odnose na atmosferu koja se nalazi oko upakovanog proizvoda (iznad, ispod, sa strane), koja je u ambalaži. Dakle, pod atmosferom pakovanja podrazumeva se hemijski sastav okolne atmosfere, kao i sadržaj inkorporiran unutar ambalaže koji aktivno deluje na atmosferu i površinu proizvoda. Na izbor uslova pakovanja prvenstveno utiču vrsta i karakteristike ambalažnog materijala i upakovanog proizvoda, način čuvanja i očekivani rok trajanja proizvoda.

Proces pakovanja bi trebao da bude izvršen prema propisanim procedurama u higijenskim uslovima, kako bi se sprečile inicijalne kontaminacije neželjenim vrstama opasnosti (fizičke, hemijske i biološke). Pri konvencionalnim metodama pakovanja, upakovani proizvod dolazi u kontakt sa vazduhom što rezultira pakovanjem u vazdušnoj atmosferi. Vazduh se sastoji od približno 78% N₂, 21% O₂ i ostatka drugih gasova u zanemarljivom procentu. Na ovaj način, logično je da atmosfera upakovanog proizvoda odgovara pomenutom procentnom sastavu. S obzirom da ovako visoka koncentracija kiseonika nije idealna za pakovanje većine prehrambenih proizvoda, najčešće zbog razvoja aerobnih mikroorganizama, u praksi se često pribegava upotrebi vakuuma prilikom pakovanja.

Pakovanje u vakuumu se postiže istiskivanjem vazduha do pojave potpritiska, nižeg od atmosferskog, koji teži pritisku od 0 Pa. Ukoliko ambalažni materijal poseduje dobre barijerne

karakteristike prema kiseoniku, pakovanje u vakuumu bi trebalo da produži održivost prehrambenog proizvoda u poređenju sa konvencionalnim pakovanjem. Tvrdi sirevi, meso ili mlevena kafa se učestalo pakuju korišćenjem ove tehnike. Međutim, postoje proizvodi koji nisu pogodni za vakuumsko pakovanje usled lomljivosti ili stišljivosti, poput pekarskih proizvoda (Blakistone, 1999). Takođe, barijerna svojstva ambalaže moraju biti odgovarajuća, jer će u suprotnom vrlo brzo doći do izjednačavanja pritiska sa atmosferskim vazduhom, a samim tim i do povećanja koncentracije kiseonika.

Kako bi se unapredili postojeći uslovi pakovanja na tržištu su se pojavile savremene tehnike pakovanja proizvoda kao što su: pakovanje u modifikovanoj atmosferi (MAP), aktivno pakovanje (AP) i inteligentno pakovanje (IP).

2.3.1. PAKOVANJE U MODIFIKOVANOJ ATMOSFERI

Pakovanje u modifikovanoj atmosferi (Modified Atmosphere Packaging, MAP) se odnosi na uklanjanje vazduha iz unutrašnjosti ambalaže i zamenu sa jednim ili sa više odabranih vrsta gasova (Parry, 1993; Blakistone, 1999; Lazić i sar., 2010). Prvenstveni cilj MAP-a je da iskoristi fiziološku reakciju mikroorganizama prema gasovima (kiseonik, ugljen-dioksid), radi produženja održivosti proizvoda (Beaudry, 2007). Blagotvorno delovanje MAP-a na produženje održivosti proizvoda otkriveno je početkom XX veka, kada se meso transportovalo brodovima iz južne hemisfere u Veliku Britaniju. Polutke jagnjetine, govedine i ovčetine koje su bile čuvane u suvom ledu ugljen-dioksida, pokazale su bolju održivost u odnosu na iste proizvode čuvane u ledu. Nakon toga, ljudima je bilo jasno da je za produženje svežine proizvoda ključnu ulogu imala različita gasna atmosfera (Brody, 1999).

Prilikom pakovanja proizvoda veoma je važno prilagoditi gasnu smešu modifikovane atmosfere karakteristikama proizvoda. Osim toga, neophodno je uzeti u obzir sastav i karakteristike ambalažnog materijala, vlažnost i procenat masnoće proizvoda, kao i održivost boje proizvoda. Pored toga, Ding i sar. (2002) preporučuju skladištenje proizvoda na niskim temperaturama, kako bi se postigao još bolji efekat MAP-a. Gasovi koji se najčešće koriste u ovom procesu su kiseonik, azot i ugljen-dioksid (McMillin, 2008; Arvanitoyannis, 2012), a preporučeni procentualni udeli gasova za pakovanje proizvoda u modifikovanoj atmosferi, prikazani su u tabeli 3.

Tabela 3. Preporučene koncentracije gasova za pakovanje prehrambenih proizvoda u modifikovanoj atmosferi (Parry, 1993)

Proizvod	Kiseonik (%)	Ugljen-dioksid (%)	Azot (%)
Crveno meso	60-85	15-40	-
Kuvano meso	-	20-35	65-80
Živina	-	25	75
Riba (bela)	30	40	30
Riba (plava)	-	60	40
Losos	20	60	20
Tvrđi sir	-	100	-
Meki sir	-	30	70
Hleb	-	60-70	30-40
Torte (bez mleka)	-	60	40
Torte (sa mlekom)	-	-	100
Testenina (sveža)	-	-	100
Voće i povrće	3-5	3-5	85-95
Sušena/pržena hrana	-	-	100

Kao što se može uočiti pregledom tabele 3, pojedini proizvodi zahtevaju prisustvo veće količine kiseonika unutar pakovanja, poput sveže ribe ili crvenog mesa. S druge strane, testenina ili pržena hrana se optimalno pakuju u atmosferi 100% azota. Kako bi se bolje razumeo uzrok različitosti procentnih udela gasova nosilaca modifikovane atmosfere, neophodno je razjasniti uticaj pojedinačnih gasova na upakovani proizvod.

Kiseonik (O₂)

Kiseonik predstavlja esencijalni gas respiratornog ciklusa aerobnih bioloških vrsta. Prilikom odluke o učešću ili koncentraciji kiseonika u sastavu MAP-a, neophodno je poznavanje fizičko-hemijskih karakteristika proizvoda uz razumevanje metaboličkih reakcija mikroorganizama. Kod većine prehrambenih proizvoda prilikom primene MAP tehnologije preporučuje se nizak nivo kiseonika zbog potencijalne neželjene fermentacije, ali i zbog sprečavanja razvoja aerobnih vrsta mikroorganizama (Arvanitoyannis i Bouletis, 2012). Pored toga, redukcija kiseonika do koncentracije 1% sprečava oksidaciju i razgradnju lipida i usporava reakcije potamljivanja, inhibicijom delovanja polifenol oksidaze (Beaudry, 2007). Međutim, pojedini prehrambeni proizvodi, poput voća, povrća i mesa, zahtevaju prisustvo kiseonika usled respiracije ili očuvanja

stabilne boje proizvoda (Blakistone, 1999). Kompletno uklanjanje kiseonika unutar ambalaže ponekad može biti problematično, naročito u slučaju bele ribe, pri čemu potpuno odsustvo kiseonika favorizuje razvoj anaerobnih bakerijskih vrsta roda *Clostridium botulinum* (Blakistone, 1999).

Ugljen-dioksid (CO₂)

Ugljen-dioksid je bezbojan gas, slabog mirisa, koji poseduje veoma značajne bakteriostatske i fungistatske karakteristike (Arvanitoyannis i Bouletis, 2012). Takođe, inhibira rast gram-negativnih aerobnih bakterija poput roda *Pseudomonas* (Blakistone, 1999). Dobro se rastvara u vodi, masti i drugim organskim rastvaračima. U dodiru sa vodom formira ugljenu kiselinu, koja snižava pH vrednost sistema, ostvarujući sinergetski inhibitorski efekat na mikrobiološku populaciju (Blakistone, 1999; Arvanitoyannis i Bouletis, 2012). Ovo snižavanje pH vrednosti može uticati na senzorske promene proizvoda. Ugljen-dioksid kao gas u sastavu MAP-a predstavlja dobar izbor prilikom pakovanja pekarskih proizvoda ili mekih sireva, koji su podložni kvarenju usled aktivnosti aerobnih mikroorganizama, poput plesni (Guynot i sar., 2003a; Romeo i sar., 2010; Plavšić i sar., 2011).

Ukoliko bi se isključivo ugljen-dioksid koristio kao gas prilikom primene MAP tehnologije, postoji mogućnost njegove apsorpcije vlage, usled visoke vodorastvorljivosti i stvaranja takozvanog finog vakuuma. Nastala ugljena kiselina i podpritisak mogu delovati na varove i usloviti urušavanje ambalaže (Hastings, 1993). Iz ovog razloga se često preporučuje kombinovanje ugljen-dioksida sa azotom prilikom primene MAP tehnologije.

Azot (N₂)

Azot je gas bez ukusa i mirisa. Prilikom njegove upotrebe u okviru MAP tehnologije, azot uglavnom ima ulogu inertnog nosača, jer u velikoj meri zamenjuje vazduh i atmosferski kiseonik. Zbog svoje slabe rastvorljivosti u vodi (0,018 g/kg pri 20 °C) ili masti, preventivno deluje na urušavanje kvaliteta ambalažnog materijala, ali i na razvoj aerobnih mikroorganizama (Arvanitoyannis i Bouletis, 2012).

Procesna oprema za pakovanje u modifikovnoj atmosferi

Pakovanje u modifikovanoj atmosferi predstavlja veoma efikasnu tehniku za pakovanje i produženje održivosti proizvoda. Međutim, nepravilna upotreba može da poništi pozitivne efekte ove tehnologije ili donese neočekivane rezultate. Kako bi primena MAP tehnologije bila u potpunosti uspešna, neophodno je prilagoditi mašinu za pakovanje, materijal za pakovanje i sastav gasa proizvodu koji se pakuje (Hastings, 1993).

Kao što je već rečeno, čak i najmanje oštećenje ambalažnog materijala može dovesti do curenja gasa i uravnoteženja atmosfere pakovanja sa atmosferskim vazduhom. Mašina za pakovanje (pakerica) mora da obezbedi zahtevanu i ujednačenu koncentraciju gasa unutar svakog pojedinačnog pakovanja, bez grešaka na ambalaži, poput grešaka (falti) na varu.

Uređaji koji se primenjuju za pakovanje proizvoda u modifikovanoj atmosferi rade po principu vakuumiranja unutrašnjosti ambalaže, a zatim ubrizgavanja smeše gasova do postizanja modifikovane atmosfere. Drugi način predstavlja ispiranje vazdušne atmosfere odabranim gasovima bez prethodne vakuumizacije. Metoda koja će biti primenjena zavisi isključivo od vrste proizvoda. Ukoliko potencijalni vakuum može uticati na oštećenje upakovanog proizvoda, bira se metoda direktnog ubrizgavanja gasa. Na tržištu su poznate dve vrste uređaja za pakovanje (pakerice) u MAP uslovima, a to su komorne i protočne pakerice (Hastings, 1993; Arvanitoyannis i Bouletis, 2012). Komorne pakerice mogu biti termoformirajuće i mašine za pakovanje prethodno formiranih posuda.

Termoformirajuće pakerice se primenjuju za čvrste i polu-čvrste materijale i razlikuju se od ostalih pakerica po tome što formiraju ambalažu od polaznog materijala u prvom koraku procesa. S druge strane, kod komornih mašina za pakovanje prethodno formiranih posuda proizvod se dodaje u prvom koraku, nakon koga sledi komorno zatvaranje, uklanjanje vazduha i ubrizgavanje gasova MAP-a, kao i kod termoformirajućih pakerica. Najčešće se na tržištu mogu naći automatske verzije ovih uređaja, međutim, praktičnu industrijsku primenu imaju i poluautomatske komorne pakerice sa prethodno formiranim posudama. Kod ovakvih uređaja se prenošenje ambalaže u kojoj je pozicioniran proizvod vrši manuelno. A zatim sledi zatvaranje komore i istiskivanje vazduha, dodavanje smeše gasova i termoformiranje vara. Poluautomatske komorne pakerice su veoma pogodne za pakovanje fleksibilnih ambalažnih materijala (Hastings, 1993).

Fleksibilne protočne pakerice mogu biti horizontalno i vertikalno orijentisane. Ove pakerice su naročito pogodne za ambalažne materijale osetljive na visoke temperature formiranja termo vara. Ambalažni materijal se formira u obliku creva u sektoru pod nazivom procesor. Proizvod se pozicionira unutar ambalaže, a zatim dolazi do ubrizgavanja gasa unutar pakovanja i formiranja termovara (Hastings, 1993; Arvanitoyannis i Bouletis, 2012).

Ambalažni materijali za pakovanje u modifikovanoj atmosferi

Odabir ambalažnog materijala je od ključne važnosti prilikom upotrebe pakovanja u MAP-u. Stoga je veoma važno poznavanje mehaničkih i barijernih osobina pojedinačnih ambalažnih materijala koji se koriste u ovom procesu. Treba napomenuti da ne postoji pojedinačan ambalažni materijal koji poseduje optimalne karakteristike za pakovanje svih vrsta proizvoda. Zato se preporučuje kombinovanje različitih ambalažnih materijala, kao što je slučaj kod koekstrudiranih polimernih materijala.

Ambalažni materijali, koji će biti primenjeni za pakovanja u modifikovanoj atmosferi, treba da poseduju nisku propustljivost vodene pare, nisku propustljivost gasova, dobre mehaničke karakteristike i termostabilnost (Hastings, 1993). Bilo kakav nedostatak nabrojanih osobina može uzrokovati gubitak gasa i poništavanje pozitivnog delovanja MAP-a.

Višeslojne polimerne folije imaju značajnu primenu prilikom upotrebe MAP tehnologije. Kombinacija PET-a i polietilena, ili poliamida i polietilena, PVC-a ili orijentisanog polipropilena su najčešće upotrebljavani na tržištu (Hastings, 1993). Pored poliamida, etilen-vinil alkohol (EVOH) predstavlja odličan barijerni materijal u odnosu na gasove, rastvarače i strane mirise, tako da je veoma primenljiv u slučaju MAP tehnologije (Arvanitoyannis i Bouletis, 2012).

2.3.2. AKTIVNO PAKOVANJE

Aktivno pakovanje (AP) predstavlja veoma raznovrsnu grupu savremenih tehnika koje se primenjuju radi efikasnijeg pakovanja i zaštite proizvoda. Iako je pojam „aktivno pakovanje” prisutan od kraja osamdesetih godina prošlog veka, upotreba i primena ove tehnologije počinje znatno ranije (Rooney, 2007). U tropskim regijama, na primer, stanovništvo tradicionalno vekovima, pakuje proizvode u lišće različitih biljaka, pri čemu dolazi do prenosa arome, boje,

enzima (papain) ili antimikrobnih supstanci sa lišća na proizvod (Dainelli i sar., 2008). Posledica ovog transfera je uticaj aktivnih komponenata na karakteristike proizvoda. U današnje vreme, razvoj inovativnih tehnologija, poput aktivnog pakovanja, predstavlja neophodnost i sa stanovišta bezbednosti, ali i kvaliteta proizvoda (Arvanitoyannis i Oikonomou, 2012).

Aktivnim pakovanjem se može nazvati inovativni koncept, u kojem se ambalaža, proizvod i atmosfera pakovanja nalaze u međusobnoj interakciji kako bi produžili svežinu, poboljšali bezbednost i senzorske karakteristike proizvoda (Prasad i Kochhar, 2014). Dej (Day) (2003) navodi kako aktivno pakovanje predstavlja dodatak aditiva unutar ambalažnog prostora ili unutar same ambalaže, sa ciljem održanja i produženja roka trajanja proizvoda. Saglasno sa prethodnim definicijama, Robertson (2006) opisuje aktivno pakovanje kao nameran dodatak pomoćnih komponenti unutar ambalažnog prostora ili ambalaže radi poboljšanja performansi ambalaže. Prema tome, osnovna svrha aktivnog pakovanja je pre svega aktivno delovanje na upakovani proizvod, produženje roka trajanja i održanje ili čak poboljšanje kvaliteta proizvoda (Dainelli i sar., 2008; Singh i sar., 2011).

Brodi (Brody) i sar. (2001) navode da je u literaturi prisutna različita terminologija u slučaju aktivnog pakovanja, poput interaktivnog ili pametnog (smart) pakovanja. Međutim, pored aktivnog pakovanja postoji inteligentno pakovanje (IP), pa se pametnim pakovanjem naziva sinergetsko delovanje aktivnog i inteligentnog pakovanja. Osim toga, razlika između aktivnog i inteligentnog pakovanja je u tome što inteligentno pakovanje, zahvaljujući postojanju senzora, pruža informacije o stanju ambalaže i/ili proizvoda, dok aktivno pakovanje aktivno deluje u cilju postizanja željenog efekta na proizvod (Robertson, 2006).

Tehnologija aktivnog pakovanja je veoma prisutna, naročito u razvijenijim zemljama poput Japana, Kine i SAD, a očekivano je proširenje tržišta i u drugim delovima sveta. Najčešće primenjivane vrste aktivnog pakovanja su prikazane u tabeli 4.

Tabela 4. Vrste, mehanizmi i svrha pojedinih sistema aktivnog pakovanja (Day, 2003; Arvanitoyannis i Oikonomou, 2012)

Sistem aktivnog pakovanja	Mehanizam	Svrha	Primena za pakovanje hrane
Sakupljači kiseonika	Na bazi gvožđa Metal/kiselina Najlon MXD6 Platinasti katalizatori Askorbat/metalne soli Na bazi enzima	Redukcija/prevenција plesni, kvasaca i aerobnih bakterija Prevenција oksidacije masti, ulja, vitamina, boja Prevenција štete nastale uticajem insekata i crva	Hleb, torte, peciva, pice, paste, meso i riba, kafa, snek proizvodi i napici
Emiteri i sakupljači ugljen-dioksida	Kalcijum hidroksid, Natrijum hidroksid, Kalijum hidroksid Kalcijum oksid/aktivni ugalj Feri karbonat/metal halid	Uklanjanje ugljen-dioksida formiranog tokom skladištenja u cilju prevencije kolapsa pakovanja ili dodavanje ugljen-dioksida	Kafa, sveže meso i riba, orašasti plodovi, snek proizvodi i biskvitne torte
Sakupljači etilena	Kalijum permanganat Aktivni ugalj Aktivna glina/zeolit	Prevenција preranog zrenja i omekšavanja proizvoda	Voće, povrće i drugi poljoprivredni proizvodi
Apsorberi vlage	Aktivna glina Silika gel	Prevenција mikrobiološkog rasta Uklanjanje kapljuće vode Prevenција zamagljivanja	Riba, meso, živina, snek proizvodi, žitarice, sušena hrana, sendviči, voće i povrće
Apsorberi ukusa/mirisa	Film na bazi celuloznog acetata koji sadrži enzim naringinazu Limunska ili askorbinska kiselina Specijalno tretirani polimeri	Redukcija gorčine kod gorkih sokova Poboljšanje ukusa ribe i proizvoda koji sadrže ulje	Voćni sokovi, riba, hrana koja sadrži ulje, poput čipsa, biskviti, proizvodi na bazi žitarica, pivo
Pakovanja sa kontrolom temperature	Hidrofluorugljenični gas Amonijum nitrat/voda Kalcijum hlorid/voda	Temperaturna stabilnost	Gotova jela, meso, riba, živina i pića
Apsorberi UV svetla	Poliolefini potopljeni u materijal koji poseduje UV apsorbujuće agense	Odstranjivanje oksidacije uzrokovane svetlom	Hrana osetljiva na svetlost kao što je šunka ili napici
Odstranjivači holesterola	Imobilisana holesterol reduktaza unutar ambalaže	Poboljšanje zdravstvenog aspekta mlečnih proizvoda	Mleko i mlečni proizvodi

Kao što se može uočiti iz tabele 4, postoji nekoliko potklasa aktivnog pakovanja, zavisno od načina funkcionisanja aktivnih dodataka. Dakle, postoje apsorpcioni sistemi (apsorberi, sakupljači),

otpuštajući sistemi i ostali sistemi (samo-zagrevanje, samo-hlađenje i konzerviranje) (Lazić i sar., 2008; Johansson, 2013; Karam i sar., 2013).

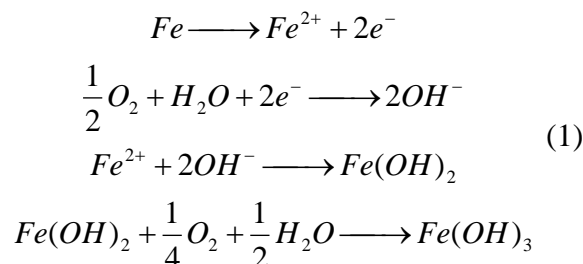
Sakupljači kiseonika

Uklanjanje kiseonika koji potiče iz vazduha ili kao produkt metaboličkih reakcija, pozicioniranog u međuprostoru ambalaže i proizvoda, predstavlja izazov sa kojim se naučnici ozbiljno bave duži niz godina (Rooney M., 1995; Suppakul i sar., 2003; Gibis i Rieblinger, 2011; Muizniece-Brasava i sar., 2012; Gaikwad i sar., 2018). Odavno je poznat uticaj kiseonika na promenu ukusa, boje, mirisa ili nutritivnih karakteristika pojedinih proizvoda, stoga, kiseonični sakupljači nalaze primenu u svojstvu aktivnog pakovanja. Sakupljačima i apsorberima kiseonika se mogu nazvati dodaci koji pomažu održavanje kvaliteta proizvoda. To postižu snižavanjem metaboličkih aktivnosti hrane, redukovanjem oksidativne kiselosti, inhibicijom neželjene oksidacije pigmenata i vitamina, kontrolom enzimatskih obezbojenja i potamljivanja i inhibitornim dejstvom na rast i razvoj aerobnih mikroorganizama (Rooney M., 1995).

U literaturi se često poistovećuje izraz kiseonični apsorberi sa sakupljačima kiseonika, međutim, postoji bitna razlika između ove dve kategorije. Mehanizam apsorbera kiseonika se zasniva na principu fizičkog vezivanja (apsorpcije) kiseonika iz atmosfere, dok se mehanizam sakupljača kiseonika svodi na hemijsku reakciju koja se dešava prilikom kontakta kiseonika sa materijalima koji se koriste za ovu svrhu (Brody i sar., 2001). Grupa sakupljača kiseonika je daleko rasprostranjenija na tržištu u odnosu na kiseonične apsorbere. Poznato je još da su brzo delujući i velikog kapaciteta, jer u kontaktu sa kiseonikom dolazi do momentalne hemijske reakcije koja se dešava sve do potpunog iskorišćenja sakupljača. Poznati su sakupljači na bazi gvožđa, askorbinske kiseline, liganada, katehola, oksidativnih enzima, nezasićenih ugljenih hidrata i poliamida.

Sakupljači kiseonika na bazi gvožđa pripadaju grupi najčešće primenjivanih dodataka u okviru aktivnog pakovanja. Najčešće sadrže lako oksidujuće komponente upakovane u formu kiseonično propustljive vrećice, pri čemu se kapacit vezivanja kiseonika kreće u granicama između 20 i 2000 ml (Singh i sar., 2011). Poznata su dva mehanizma za početak delovanja sakupljača kiseonika na bazi gvožđa i oba uključuju postojanje vode. Prvi tip je samoreagujući koji sadrži vodu unutar vrećice i započinje delovanje momentalno kada dođe u dodir sa kiseonikom. Suprotno, druga vrsta je uslovljena postojanjem vlage unutar samog proizvoda (Cruz i sar., 2012). Hemijske reakcije

koje se dešavaju kod sakupljača kiseonika se zasnivaju na principima oksidacije gvožđa i predstavljene su sledećim hemijskim reakcijama (Arvanitoyannis i Oikonomou, 2012; Cruz i sar., 2012; Yuan Lee i sar., 2015).



Dakle, aktivni sistem reaguje sa vodom koja se nalazi unutar vrećice ili hrane stvarajući reaktivni hidrirani metalni redukujući agens koji je u stanju da sakuplja kiseonik i formira stabilan oksid (Yuan Lee i sar., 2015). Sakupljač može vezati onoliko kiseonika kolika je količina gvožđa prisutna unutar vrećice. Pretpostavka je da 1 g gvožđa, na ovaj način, može da veže približno 300 ml kiseonika (Cruz i sar., 2012).

Gore je pomenuto da kiseonik može biti uzročnik snižavanja kvaliteta hrane tokom perioda skladištenja proizvoda. Kiseonik unutar ambalaže deluje kao uzročnik (Brody i sar., 2001):

- mikrobiološkog kvara;
- enzimatskog kvara;
- biohemijskog kvara hrane.

Kiseonik predstavlja respiratorni metabolički gas zahvaljujući kojem je moguć rast i razvoj jedne velike grupe organizama koja nosi naziv aerobni organizmi. Uzročnici kvara hrane su pretežno mikroorganizmi, tako da prisustvo kiseonika stvara osnovni preduslov za razvoj aerobnih mikroorganizama (Hosseinejad, 2014). Redukcijom kiseonika do 0,1% se sprečava rast i razvoj većine plesni, a samim tim se odlaže i kvar prehrambenog proizvoda (Rooney M., 1995). Ipak, najveća opasnost koja dolazi od potpunog uklanjanja kiseonika predstavlja favorizovanje razvoja anaerobnih mikroorganizama, kojima ovakvi uslovi izrazito pogoduju (Brody i sar., 2001).

Enzimatski kvarovi hrane se dešavaju tokom skladištenja u slučajevima kada enzimi, normalno prisutni u hrani, nisu inaktivirani toplotom ili nekom drugom metodom. Usled oksidativnih

reakcija uzrokovanih enzimima može doći do fenolnog potamljivanja, oštećenja vitamina C ili promene ukusa i mirisa hrane (Brody i sar., 2001).

Biohemijski neenzimatski kvarovi se dešavaju paralelno sa prethodno pomenutim vrstama kvara namirnica. U biohemijske reakcije koje su karakteristične za prahrambene proizvode spadaju: neenzimatsko fenolno potamljivanje, oksidacija lipida, oksidacija vitamina i sl. (Brody i sar., 2001). Sakupljači kiseonika iz svega navedenog predstavljaju idealno rešenje u pogleda pakovanja proizvoda koji mogu biti sačuvani redukcijom sadržaja kiseonika unutar ambalaže. Takođe, veoma su pogodni za upotrebu u kombinaciji sa MAP tehnologijom (Day, 2003; Prasad i Kochhar, 2014). Međutim, potrošači pokazuju skeptičnost prema vrećicama u kojima se nalazi gvožđe, umnogome jer se plaše potencijalnog gutanja sadržaja. Čak i kada se to dogodi, neće doći do smrtnog ishoda, jer je LD_{50} (smrtonosna doza koja ubija 50% populacije) za gvožđe 16 g/kg telesne težine, dok najveća komercijalna vrećica sadrži 7 g gvožđa (Cruz i sar., 2012). Ipak, na površini vrećice sakupljača kiseonika na bazi gvožđa mora velikim slovima biti naznačeno: nije za jelo (Do not eat) (Day, 2003). Takođe, ambalažni materijali koji se primenjuju za upotrebu sakupljača kiseonika moraju biti u skladu sa propisima EU i FDA (Food and Drug Administration) u vezi sa bezbednošću hrane (Realini i Marcos, 2014).

2.3.3. INTELIGENTNO PAKOVANJE

Inovativan pristup naučnika povezanih sa industrijom ambalaže i pakovanja je omogućio prevazilaženje zaštitne, odnosno, pasivne uloge tradicionalne ambalaže, kod koje nije postojala interakcija između ambalaže i upakovanog proizvoda. Savremene tendencije uključuju aktivno delovanje ambalaže na kvalitet i održivost prehrambenih proizvoda, kao i na nadgledanje stanja upakovanog proizvoda (Dobrucka i Cierpiszewski, 2014).

Inteligentno pakovanje (IP) predstavlja važan evolutivni iskorak unutar prehrambene industrije, koji pruža informaciju u skladu sa standardima bezbednosti proizvoda i omogućuje kupcu bolji uvid u specifične karakteristike proizvoda (Bento i sar., 2015). Osnovna uloga inteligentne ambalaže je unapređena komunikacija sa potrošačem ili proizvođačem, pri čemu ovakva vrsta ambalaže može da registruje promene u okolini proizvoda, kao i promene pojedinih karakteristika proizvoda (Restuccia i sar., 2015). U skladu sa navedenim, inteligentna ambalaža se može opisati kao vrsta ambalaže koja detektuje promene merenih parametara, kako bi omogućila korisniku

pogodnosti poput veće pouzdanosti, bezbednosti ili poboljšanih karakteristika, odnosno, dužeg čuvanja kvaliteta (Brody, 2007).

Pojedini primeri primene inteligentne ambalaže u prehrambenoj industriji obuhvataju (Restuccia i sar., 2015):

- Indikatore kvaliteta/bezbednosti proizvoda (indikatori vreme/temperatura (TTI), indikatori mikrobiološkog rasta, detektori patogena);
- Indikatori praćenja/protiv krađe (identifikatori radio frekvencije (RFID))
- Indikatore autentičnosti proizvoda (hologramske slike, logoi, skriveni elementi dizajna, RFID);
- Bar kod;
- Indikatori svežine voća i povrća (senzori etilena);
- Indikatori merenja koncentracije gasova (indikatori O₂, indikatori CO₂).

Kao što je ranije navedeno, indikatori inteligentnog pakovanja su vezani za promene specifičnih mernih parametara proizvoda. Stoga, primena ove tehnologije se zasniva na pretpostavci da ukoliko je moguće izmeriti promene merenih karakteristika, moguće je držati proizvod pod kontrolom (Brody, 2007).

Indikatori vreme/temperatura (TTI) su veoma dugo prisutni na tržištu, a njihova funkcija se zasniva na mehaničkom, električnom ili fizičko-hemijskom praćenju promena temperature u funkciji vremena. Na tržištu se mogu pronaći indikatori koji od početka primene hronološki prate promene temperature i uređaji koji to čine parcijalno. Indikatori koji prate čitavu istoriju promena kreću sa radom momentalno nakon aktivacije i kontinuirano beleže promene temperature tokom skladištenja, a poznati su kao TTI uređaji. Parcijalni, odnosno, jednostavni indikatori ukazuju isključivo da je kritični temperaturni prag ostvaren (Han i sar., 2005).

Indikatori svežine predstavljaju detektore čije delovanje se zasniva na praćenju svežine i bezbednosti proizvoda na osnovu različitih mikrobioloških aktivnosti. Jedna od najčešćih reakcija, na osnovu koje funkcionišu indikatori svežine, je detekcija metaboličkih aktivnosti mikroorganizama tokom rasta i razvoja. Indikatori se proizvode najčešće u obliku samolepljive trake koja se lepi na ambalažu, sa koje se jednostavno očitava stanje svežine proizvoda. Postoji

više tipova indikatora svežine i oni detektuju: metaboličke aktivnosti, fermentativne aktivnosti, isparljive azotne komponente, biogene amine, ugljen-dioksid, degradaciju ATP-a i sl. Dakle, radi uspešne upotrebe indikatora svežine, neophodno je poznavati prehrambeni proizvod, mikroorganizme koji su potencijalni kontaminanti proizvoda i metaboličke reakcije koje mogu biti indikatori promene svežine proizvoda (Smolader, 2008).

Primarna uloga indikatora kiseonika se zasniva na pružanju signala o prisustvu ili odsustvu kiseonika. Neke od dodatnih funkcija indikatora kiseonika su (Brody, 2007):

- da utvrdi da li se sakupljač kiseonika prisutan unutar ambalaže ponaša prema specifikacijama;
- da prati mogućnost oksidacije proizvoda;
- da ukaže na suficit kiseonika koji učestvuje u metaboličkim reakcijama mikroorganizama.

Indikatori kiseonika se mogu kombinovati sa sakupljačima kiseonika kako bi se utvrdilo da li sakupljač kiseonika vrši svoju funkciju ili da li je došlo do fizičkog oštećenja ambalaže proizvoda. Kompanija *Ageless Mitsubishi Gas Chemical Corporation*, na primer, proizvodi sakupljače kiseonika (Ageless™), ali i indikatore kiseonika (Ageless Eye™) (Han i sar., 2005).

2.4. TRADICIONALNI PEKARSKI PROIZVODI

Hleb i pekarski proizvodi predstavljaju osnovne namirnice u dnevnoj ishrani većinskog dela populacije. Primarni razlozi zastupljenosti pekarskih proizvoda u ishrani su povoljan nutritivni sastav i odlične senzorske karakteristike, pri čemu obezbeđuju značajan deo energije neophodne za normalno funkcionisanje organizma (Ali Karrar, 2014). Takođe, prednost pekarskih proizvoda bazira se na činjenici da se mogu konzumirati pojedinačno (kifla, pereca, kroasan) ili u kombinaciji sa drugom vrstom namirnica (sendvič, jogurt, meso).

Pekarske proizvode čine hleb, pecivo, a u širem smislu torte, kolači i brojni slični proizvodi koji su tokom istorije postali deo tradicionalne ugostiteljske ponude različitih naroda širom planete. Definiciju i zajedničku karakteristiku svih pekarskih proizvoda nije jednostavno dati, jer su proizvodi usled brojnih razlika u sirovinskom sastavu, postupcima proizvodnje i nutritivnom kvalitetu veoma specifični. Ukoliko bi se reklo da je zajednička karakteristika svih pekarskih proizvoda upotreba brašna, utvrdili bismo da pojedini proizvodi poput mering masa ne bi pripadali

ovaj grupi namirnica. Takođe, pečenje je osnovni toplotni proces koji se primenjuje za većinu pekarskih proizvoda, ali i tu ima izuzetaka poput kineskog parenog hleba ili prženih krofni (Cauvain i Young, 2005). U Republici Srbiji kvalitet pekarskih proizvoda regulisan je *Pravilnikom o kvalitetu žita, mlinskih i pekarskih proizvoda i testenina* (SG RS, 56/2018) i *Pravilnikom o kvalitetu i drugim zahtevima za fine pekarske proizvode, žita za doručak i snek proizvode* (Službeni glasnik RS, 68/2016). Fine pekarske proizvode čine keks i srodni proizvodi, kao i poslastičarski proizvodi, dok se pekarski proizvodi prema vrsti upotrebljenih sirovina, sadržaju masti i postupku proizvodnje mogu razvrstati na sledeće proizvode (*Pravilnik o kvalitetu žita, mlinskih i pekarskih proizvoda i testenina* (SG RS, 56/2018)):

- hleb;
- pecivo;
- ostali pekarski proizvodi.

Hleb pripada grupi osnovnih i najzastupljenijih pekarskih proizvoda. Relativno skroman sirovinski sastav koji uključuje: brašno, vodu, kvasac i so, zahteva vrhunsko umeće pekara. Od ovih sirovina treba načiniti dobro narastao, ukusan hleb, hrskave kore (Amendola i Rees 2002).

Peciva čine proizvodi dobijeni identičnim postupkom mešenja, kao što je slučaj kod hleba, međutim, ukupna masa proizvoda ne sme prelaziti 250 g (SG RS, 56/2018). Peciva se mogu proizvoditi korišćenjem različitih tipova i vrsta brašna. Takođe, pravilnikom je definisano da vlaga peciva ne sme biti veća od 40% za pecivo mase do 50 g, 43% za pecivo mase između 50 i 150 g i 45% za pecivo između 150 i 250 g.

Ostali proizvodi sačinjavaju veoma široku grupu pekarskih proizvoda, dobijenih na bazi kombinacije mlinskih proizvoda sa vodom i sa ili bez dodatka kvasca. Ovakvi proizvodi mogu biti izrađeni posebnim tehnikama uz dodatak ostalih sirovina, poluproizvoda ili punjenja. U ostale proizvode spadaju: punjeno pecivo, burek, pita, štrudla, pecivo od lisnatog i kvasnog lisnatog testa, krofna, mekika, đevrek, pereca i drugi pekarski proizvodi (SG RS, 56/2018).

Osim pekarskih proizvoda od pšeničnog brašna, koji se najčešće proizvode, na tržištu se još mogu pronaći i pekarski proizvodi načinjeni od različitih kombinacija brašna koji imaju za cilj da održe zdravlje organizma i preveniraju različite bolesti uzrokovane nepravilnom ishranom (Afzal i sar., 2013). Alternativna brašna koja se primenjuju pri proizvodnji hleba i drugih pekarskih proizvoda su: raženo, ovseno, kukuruzno, ječmeno i sl. Takođe, primenjuju se i brašna pojedinih kultura koja

ne pripadaju žitaricama, poput heljadinog brašna. S obzirom da se sastav proteina alternativnih brašna razlikuje u odnosu na proteinski sastav pšeničnog brašna, formirano testo se razlikuje po elastičnosti i rastegljivosti, što kasnije utiče na zapreminu i strukturu gotovog proizvoda. Zbog toga, pekarski proizvod umešen od 70% raženog brašna ili 50% heljadinog brašna neće postići identičnu zapreminu i mekoću sredine, kao što bi bio slučaj sa hlebom od 100% pšeničnog brašna. U današnje vreme je uočljiv trend povratka tradicionalnim pekarskim proizvodima, što dokazuje pojačana potražnja zanatskog hleba proizvedenog od kiselog testa. Kiselo testo predstavlja proizvod koji je dobijen u sinergetskoj aktivnosti divljih rodova kvasaca (*Candida milleri*, *Pichia saitoi* i *Saccharomyces exiguus*) i mlečno-kiselih bakterija rodova *Lactobacillus sanfranciscensis*, *Lactobacillus acidophilus* ili *Lactobacillus delbrueckii*. Kiselkasta i prijatna aroma pečenog hleba je rezultat zajedničke fermentacije nabrojanih mikroorganizama.

2.4.1. PROIZVODNE FAZE PEKARSKIH PROIZVODA

Proizvodnja većine pekarskih proizvoda se zasniva na inicijalnoj proizvodnji testa ili mase, od kojih će se nakon obrade i odgovarajućeg termičkog tretmana dobiti finalni proizvodi. Neophodno je praviti razliku između mase i testa (Schünemann i Treu, 1988), pri čemu postoji razlika u strukturi, viskozitetu i konzistenciji dobijene smeše. Osnovna sirovina za izradu testa je brašno, koja uz pomoć vode, tokom zamesa, formira strukturnu mrežu sačinjenu od proteinsko-skrobnog matriksa (Rinsky i Halpin Rinsky, 2009). Dva osnovna uslova potrebna za razvoj testa su hidratacija proteina i uneta mehanička energija (Cauvain i Young, 2005). Hidratacija proteina se vrši dodatkom vode, mleka ili druge odgovarajuće tečnosti, a količina zavisi od karakteristika brašna i moći upijanja vode. Uneta mehanička energija omogućuje ubrzanje procesa hidratacije proteina, pri čemu se ručno ili uz pomoć mesilice znatno skraćuje vreme formiranja testa. Faza mešenja predstavlja proces u kojem se dva pomenuta uslova ostvaruju, a osnovni ciljevi mešenja testa su (Hui i sar., 2006):

- uniformno inkorporiranje svih sastojaka;
- hidratacija brašna i ostalih sastojaka;
- razvoj glutena (u slučaju pšeničnog i raženog brašna).

Fermentacija testa je opcionalna faza koja se vrši isključivo kod kvasnih vrsta testa. Prilikom faze fermentacije delovanjem ćelija kvasca (najčešće *Saccharomyces cerevisiae*) dolazi do optimalnog razvoja gasa, ukusa i arome, svojstvenih kvasnim pekarskim proizvodima. Prilikom proizvodnje hleba, postoje čak tri faze fermentacije koje je neophodno ostvariti, a to su: fermentacija u masi, intermedijerna i završna fermentacija. Faza fermentacije traje od trenutka zamesa kvasnog testa pa sve do kraja prve faze pečenja (Auerman, 1988).

Laminiranje ili istanjivanje proizvoda je tehnološka faza u kojoj se uz pomoć laminatora (ručnog ili automatskog) koriste kohezivne karakteristike testa, kako bi se ono dovelo u oblik pogodan za oblikovanje (hleb i pecivo), preklapanje (lisnato testo), punjenje (pite) ili nadevanje (pica). Prisustvo pšeničnog glutena je od velike važnosti za proces laminiranja, jer testo bez razvijene glutenske mreže teško može ostati homogeno nakon prolaska između valjaka laminatora. Različite vrste proizvoda zahtevaju različite karakteristike testa. Elastičnost testa je manje cenjena osobina kod lisnatih testa u odnosu na hlebno testo (Cauvain i Young, 2005), međutim, rastegljivost testa je veoma važna kod laminiranih i lisnatih vrsta testa.

Testo se kombinuje tako da testani komad poprimi odgovarajuću formu nakon faze pečenja. Zavisno od vrste proizvoda, okruglo oblikovanje može biti sprovedeno ranije, nakon procesa premesivanja testa, a ovako formiran testani komad najčešće služi kao polazna osnova za dalju obradu laminiranjem.

Priprema za pečenje obuhvata premazivanje testa uljem, mlekom ili nekom drugom sirovinom radi poboljšanja senzorskih karakteristika poput ukusa ili boje kore. Takođe, kod hleba, vrši se narezivanje testane površine, što ima za cilj prevenciju pucanja strukture na neželjenom mestu tokom pečenja. Iako se narezivanje najčešće vrši nožem, pojedini pekari koriste makaze, kako bi unapredili estetsku vrednost proizvoda (Treuille i Ferrigno, 2004).

Pečenje testa predstavlja finalni korak prelaza testa u pekarski proizvod uz primenu odgovarajućeg termičkog tretmana (Cauvain i Young, 2005). Toplota se konvekcijom, kondukcijom ili zračenjem prenosi sa tela više temperature na testani komad, pri čemu dolazi do različitih reakcija koje uključuju denaturaciju proteina, želatinizaciju skroba, inaktivaciju enzima i nastajanje bojnih jedinjenja (Majarove reakcije i reakcije karamelizacije). Na dužinu trajanja faze pečenja utiču različiti faktori poput: temperature pečenja, veličine i oblika proizvoda, načina pečenja, sastava proizvoda i intenziteta vlaženja proizvoda tokom pečenja (Stojanović i Psodorov, 2007).

2.4.1.1. Proces proizvodnje pite sa sirom

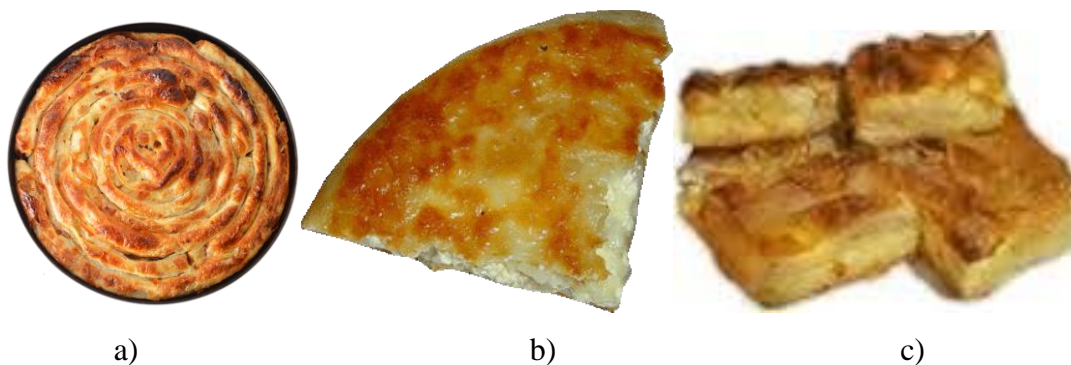
Pojam pita se prvi put pominje 1301. godine u Oksfordskom rečniku i odnosi se na pečena jela od voća, povrća, mesa ili ribe prekrivena testanom osnovom različite vrste (Janet, 2009). Slično navedenom, pita prema našoj terminologiji predstavlja tanko, vučeno (laminirano) testo sa punjenjem od mesa, sira, jabuke, bundeve ili oraha. Međutim, nije izuzetak da se pitom naziva proizvod koji sadrži neku drugu vrstu testa poput kvasnog ili biskvitnog.

Vučeno ili laminirano testo za proizvodnju pite spada u vrstu testa koje se koristi za čuveni turski desert baklavu. Originalno poreklo ovog deserta je predmet rasprave brojnih istoričara hrane, pri čemu pojedini tvrde da je područje porekla Centralna Azija ili Azerbejdžan, dok profesor Speros Vryonis (Speros Vryonis) tvrdi da su baklavu Turci preuzeli iz Vizantije (Akkaya i Koc, 2017). U prilog tome govori skripta grčkog pisca Artemikosa (Arthemikoros) iz 2. veka pre n.e., u kojoj pomenuti pisac navodi jelo pod nazivom *plakountas tetyromenous*, što na staro-grčkom predstavlja pojam vezan za pite na bazi sira. Takođe, verzija pite sa sirom sadrži *trahana* (tarana, sitno granulasto testo) i naziva se *trahanapitta*. Napravili su je stanovnici Vizantije a sastoji se još od žumanaca, putera i sira (Salaman, 1986). Suprotno, Čarls Peri (Charless Perry), istoričar hrane, navodi da je grupa proizvoda u koju spadaju pita sa sirom i baklava, u svom inicijalnom obliku nastala u XVI veku, kada su turski nomadi poreklom iz anadoljske provincije pripremali „tanki hleb”. Taj hleb bi brzo bio pečen, a predstavljao je među-korak ka proizvodnji tankih kora. On navodi da tanko testo formirano po slojevima, što predstavlja osnovu pite, nije nikada ranije pravljeno u Grčkoj ili Vizantiji (Rodinson i Arberry, 2001). Bilo da pita sa sirom vuče korene iz Grčke, Vizantije, Centralne Azije ili Turske, osvajanja, ratovi i migracije stanovništva su proširili recepte pite sa sirom na čitavo Balkansko poluostrvo, gde se i danas učestalo konzumira.

U različitim državama regiona, ista grupa proizvoda nosi različit naziv. Burek (tur. börek, alb. byrek, grč. *μπουρέκι*) je proizvod od lisnatog tankog testa (tur. yufka) punjen sirom, mesom ili spanaćem i predstavlja sinonim za pitu sa sirom u Republici Srbiji. Naziv ovog proizvoda potiče od turskog glagola *bur*, koji znači „umotati”. Međutim, u Bosni i Hercegovini, reč burek se isključivo odnosi na proizvod punjen mesom. Stoga, proizvod od vučenog testa punjenog sirom u Bosni i Hercegovini nosi naziv *sirnica* ili pita sa sirom. Nije redak slučaj da u pekarskim radnjama u Republici Srbiji postoji ponuda bureka sa sirom i pite sa sirom istovremeno. U tom slučaju, burek je slojevite strukture sa punjenjem među slojevima testa, a pita ima cevast oblik sa sirnim

punjenjem u sredini. Takođe, za proizvodnju bureka se primenjuje veća količina svinjske masti između slojeva testa i sira.

Još jedan srodan proizvod se može naći isključivo na srpskim trpezama. Reč je o gibanici, tradicionalnom specijalitetu koji se pravi isključivo sa domaćim sirom (najčešće kravljeg porekla) od testa koje je po pravilu deblje od istanjenog testa za pite. Osim testa i sira u recept za gibanicu ulaze jaja i ulje, što doprinosi obogaćivanju nutritivnih i senzorskih karakteristika. Verovatno najpoznatija gibanica nosi naziv „gužvara”, usled zbijanja slojeva testa natopljenih uljem, jajima i sirom.



Slika 10. a) Pita sa sirom b) Burek sa sirom c) Gibanica

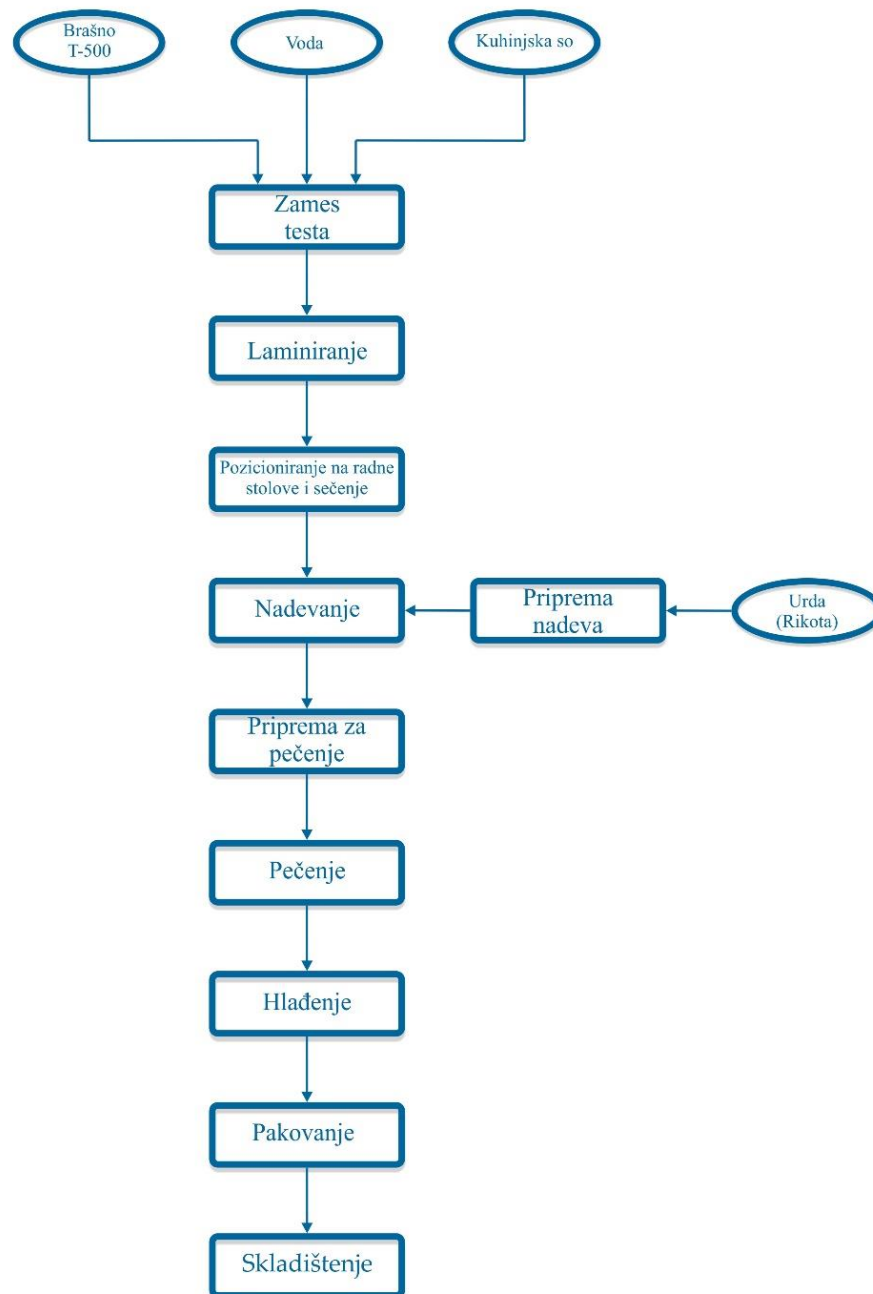
Tajna pite sa sirom leži u tankim korama, za čiju proizvodnju je potrebno osim kvalitetnih sirovina i vrhunsko umeće istanjivanja do postizanja vrlo tankog testa. Tehnika ručnog istanjivanja može poprimiti elemente atakcije, kada se kore okreću i bacaju u vazduh. Ovako proizvedene kore predstavljale su vrhunac kulinarskih veština domaćica.

Pita sa sirom je energetski vredan obrok uz koji se često konzumira mlečni proizvod poput jogurta ili pavlake. Na ovaj način, kalorijska vrednost raste, a postiže se zadovoljavajući nutritivni i senzorski efekat obroka.

Pita sa sirom prema *Pravilniku o kvalitetu žita, mlinskih i pekarskih proizvoda i testenina* (SG RS, 56/2018) spada prema Članu 33. u ostale pekarske proizvode, u podgrupu pod nazivom pite (Član 43.). Prema strukturi se svrstava u složene pekarske proizvode (Psodorov i Psodorov, 2014), jer pored laminiranog testa, kao njegove osnovne komponente, sadrži punjenje na bazi sira

prozvedenog od surutke - urde (ital. *ricotta*). Prema tome, punjenje predstavlja potencijalnu kritičnu tačku, kada je u pitanju održivost svežine proizvoda.

Pita sa sirom *Rustik* kompanije *Ekomil pite* d.o.o. je polupečeni pekarski proizvod za čiju konzumaciju se preporučuje upotreba naknadnog termičkog tretmana. Proces proizvodnje pite sa sirom šematski je prikazan slikom 11.



Slika 11. Dijagram toka procesa proizvodnje pite sa sirom

Pita sa sirom se sastoji od beskvasne testane osnove i punjenja na bazi sira. Stoga, prvi korak predstavlja zames tankog (laminiranog) testa koji se sastoji od brašna, vode i kuhinjske soli. Brašno koje se koristi za proizvodnju visoko rastegljivih testa mora da sadrži visok procenat elastičnog i rastegljivog glutena. Najčešće se upotrebljava pšenično brašno T-400 ili T-500, međutim, mogu se proizvesti kore i od mešovitog integralnog pšenično ili raženog brašna, heljadinog i kukuruznog brašna. Procenat pomenutih vrsta ne bi smeo da prelazi 20 %, u odnosu na količinu pšeničnog brašna, kako bi testo očuvalo povoljne osobine za laminiranje.

Zames traje 12 minuta od čega 8 minuta u nižoj brzini i 4 minuta u višoj brzini do postizanja karakteristične zrnaste strukture (testane grudvice veličina zrna pirinča), pogodne za razvijanje optimalnih karakteristika testa, koja će sačuvati kompaktnost tokom laminiranja.

Nakon zamesa, testo se istanjuje mašinski na laminatoru ili ručno, do debljine od približno 400 µm. Zatim se pozicionira na radne stolove i seče do dimenzije pojedinačnih pita.

Proces koji sledi je punjenje, depozitorom ili ručno, nadevom koji se sastoji od urde u količini od 30% u odnosu na masu testa. Urda je sir koji se dobija iz surutke nakon izdvajanja kazeina iz mleka. Najčešće se proizvodi toplotnom ili kiselinskom koagulacijom proteina surutke. Kada je nadevanje završeno, pristupa se finalnom oblikovanju i pripremi za pečenje.

Sledi proces pečenja koji se izvodi na temperaturi od 200 °C do 220 °C, u trajanju od 40 min do 60 min. Na ovaj način dobija se delimično pečen proizvod, sačinjen od laminiranih kora zlatno-braon boje sa punjenjem od termički obrađene urde. Ovako dobijen proizvod se može konzumirati, međutim, radi postizanja optimalnih senzorskih karakteristika neophodno je izvršiti naknadni termički tretman.

U slučaju proizvodnje *Rustik* pite sa sirom, u poslednjem proizvodnom koraku pite se ostavljaju 20 minuta na hlađenju u pogonskim uslovima (20°C), radi postizanje optimalnih karakteristika za pakovanje.

Kada su pite ohlađene, pakuju se u aluminijumske podloške, neophodne za jednostavan naknadni termički tretman proizvoda. Pite sa podloškama se posle toga prenose u kese formirane od petoslojnih i sedmoslojnih ambalažnih materijala. Naredni korak podrazumeva dodatak aktivnog pakovanja u vidu sakupljača kiseonika. Na kraju procesa pakovanja, vrši se odabir uslova pakovanja i zatvaranje ambalaže formiranjem termovara.

Skladištenje pite sa sirom se vrši u uslovima rashladnog uređaja na temperaturi do 4 °C, a period skladištenja zavisi prvenstveno od primenjene ambalaže i uslova pakovanja. Period skladištenja pite sa sirom, ograničen je rokom trajanja proizvoda. Rok trajanja se može posmatrati kao rok minimalne održivosti i tehnički rok trajanja (Page i sar., 2003). Pod rokom minimalne održivosti se podrazumeva očuvanje svih nutritivnih karakteristika proizvoda za koje su propisane prehrambene tvrdnje, tokom perioda skladištenja. Prehrambene tvrdnje su eksplicitne izjave proizvođača o nutritivnom i zdravstvenom kvalitetu namirnice, navedene su na deklaraciji, u skladu sa zakonom. Neke od prehrambenih tvrdnji glase: bez trans masti, obogaćeno vitaminom C, nizak sadžaj šećera i sl. Nakon isteka roka minimalne održivosti hrana se i dalje može nesmetano konzumirati. Suprotno tome, tehnički rok trajanja namirnice predstavlja definisani period nakon koga namirnica više nije upotrebljiva za ishranu.

Potencijalni problemi dugoročnog skladištenja pite sa sirom su pre svega vezani za sirovinski sastav proizvoda. Pita se sastoji od tankih kora i sirnog punjenja, pa je neophodno obratiti pažnju na moguće opasnosti promene karakteristika proizvoda svakog segmenta pojedinačno.

Degradacija kvaliteta pekarskih proizvoda, pa samim tim i pite sa sirom, može biti posledica različitih mikrobioloških aktivnosti, procesa starenja ili gubitka vlage, pri čemu se faktori koji dovode do ovakvih pogoršanja kvaliteta dele na unutrašnje i spoljašnje (Seiler, 1999). Neki od unutrašnjih faktora su aktivnost vode (a_w vrednost namirnice), hemijski sastav, pH vrednost i oksido-redukcioni potencijal, dok su spoljašnji faktori temperatura prostorije, relativna vlažnost i sastav gasne faze (Smith, 1993; Seiler 1999; Restuccia i sar., 2015).

Od svih nabrojanih faktora, najčešći uzrok kvara pekarskih proizvoda, naročito onih čija je a_w vrednost viša od 0,9 predstavlja aktivnost mikroorganizama i starenje uzrokovano retrogradacijom skroba (Robertson, 2009; Sanguinetti i sar., 2009). Pored toga, neke od neželjenih biohemijskih reakcija, nastale usled prisustva kiseonika su oksidacija masti, vitamina ili neenzimatsko fenolno potamnjivanje (Brody i sar., 2001).

Sir urda ima povoljan nutritivni sastav, zahvaljujući proteinima surutke, međutim, zbog visoke a_w vrednosti i niske koncentracije soli ima veoma ograničenu održivost, što zavisi i od primenjene vrste pakovanja (Del Nobile i sar., 2009). Kiseonik, koji se nalazi unutar ambalaže, može uticati na promenu kvaliteta sira (Alam i Goyal, 2011), jer su namirnice koje u svom sastavu sadrže veću količinu masti sklone oksidativnim reakcijama. To može uticati na snižavanje senzorskog i nutritivnog kvaliteta proizvoda (Dalsgaard i sar., 2010; Pop i Boltea, 2014). Hemijske reakcije

koje su odgovorne za pogoršanje nutritivnog ili senzorskog kvaliteta, tokom skladištenja sireva, su oksidacija i lipoliza (Khoshgozaran i sar., 2012). Pored ove dve reakcije, autooksidacija kao reakcija nezasićenih masnih kiselina, može dovesti do trajnih organoleptičkih i toksikoloških promena proizvoda, a krajnja posledica može biti ugrožavanje zdravlja konzumenata (Chudy i sar., 2015).

Nakon procesa skladištenja, pita se transportuje pri uslovima skladištenja (0-4 °C) do veleprodajnih i maloprodajnih objekata. Ukoliko se planira odložena konzumacija, potrošači imaju obavezu da skladište proizvod pod uslovima koji su propisani na deklaraciji.

Pre neposredne konzumacije neophodno je izvršiti naknadni tretman proizvoda.

Naknadni termički tretman pite sa sirom

Polupečena pita sa sirom je proizvod, čije optimalne senzorske karakteristike dolaze do izražaja tek nakon odgovarajućeg tretmana, što je u skladu sa tradicionalnim načinom pripreme ovog jela. Ovaj proces podrazumeva upotrebu dodatnih sirovina i naknadnu termičku obradu. Na ovaj način, pita sa sirom se servira kao toplo predjelo ili glavno jelo odličnih senzorskih i nutritivnih karakteristika.

2.4.2. PAKOVANJE PEKARSKIH PROIZVODA

Raznovrsnost pekarskih proizvoda utiče na širinu ponude ambalažnih materijala i uslova pakovanja. Ambalažni materijali od papira, kartona, sintetskih polimera i biopolimera su najčešće u upotrebi, a zaštitna svojstva, funkcionalnost i transparentnost ambalaže su neke od karakteristika koje su poželjne prilikom pakovanja pekarskih proizvoda. Svež hleb i peciva se najčešće pakuju u papirnu ili polimernu ambalažu. Kada se zahteva duži rok trajanja proizvoda, primenjuje se višeslojna polimerna ambalaža uz dodatak pakovanja u MAP-u i/ili aktivnog pakovanja. Funkcionalne karakteristike od važnosti za pakovanje tost hleba su dobra barijerna svojstva u odnosu na vlagu i gasove, ali i mogućnost štampe, tako da se u ove svrhe koriste materijali poput polietilena niske gustine (LDPE), linearnog polietilena niske gustine (LLDPE) i polipropilena (PP). S druge strane, torte i slični poslastičarski proizvodi su, usled visoke vlažnosti, podložni kvarenju i razvoju plesni nakon svega nekoliko dana. Kako bi se očuvala svežina ovakvih proizvoda što duže, primenjuju se materijali boljih barijernih i mehaničkih karakteristika, kao što

su kopolimerni polipropilenski filmovi (CPP) ili polivinilni hlorid (PVC). Iako je jednostavno uočljivo da polimerni materijali dominiraju prilikom pakovanja pekarskih i poslastičarskih proizvoda, često se prilikom proizvodnje ekskluzivnih ili ograničenih serija proizvoda primenjuje ambalaža na bazi metala, drveta ili stakla. Prema tome, pekarski i poslastičarski proizvodi se mogu pakovati i u drvene kutije, staklenke ili limenke.

Održivost pekarskih proizvoda pakovanih MAP tehnologijom

Naučni radovi koji se zasnivaju na upotrebi MAP-a se uglavnom odnose na sprečavanje mikrobiološke kontaminacije prehrambenih proizvoda kao i produženje roka trajanja. Kocijanis (Kotsianis) i sar. (2002) su istakli da pakovanje pekarskih proizvoda u MAP atmosferi pruža velike prednosti, ali je potrebno prilagoditi gasnu smešu pojedinačnim proizvodima. Rezultati koji su objavili Gujno (Guynot) i sar. (2003a) su pokazali da CO₂ poseduje fungistatski efekat pri različitim pH i a_w vrednostima hrane.

Višeslojni ambalažni materijal koji se sastojao od poliamida i polietilena se pokazao kao dobro rešenje u slučaju pakovanja keksa od badema u modifikovanoj atmosferi (Romeo i sar., 2010). Istraživanje Plavšić i sar. (2011) je pokazalo da je štrudla sa makom koja je pakovana u atmosferi MAP-a 20% CO₂ i 80% N₂, uz korišćenje višeslojnog polimernog ambalažnog materijala, nakon 5 nedelja skladištenja sadržala minimalan ukupan broj mikroorganizama. Voidaru (Voidarou) i sar. (2012) u svom istraživanju navode važnost pravilnog rukovanja ambalažnim materijalom, jer čak i najsitnija oštećenja mogu dovesti do kvarenja upakovanog proizvoda znatno pre očekivanog roka.

Održivosti pekarskih proizvoda primenom aktivnog pakovanja

Aktivnim pakovanjem (AP) se bavi široka grupa naučnih radnika iz oblasti ambalaže i pakovanja u čitavom svetu. Većina radova se zasniva na održanju svežine proizvoda uz praćenje karakteristika proizvoda i mikrobioloških aktivnosti.

El-Kuri (El-Khoury) (1999) je u svojoj doktorskoj disertaciji objavio da se rok trajanja ravnog hleba (flat bread) može produžiti od 3 do 35 dana korišćenjem MAP tehnologije, odnosno do 42 dana korišćenjem apsorbera kiseonika u kombinaciji sa pakovanjem u MAP-u. Takođe, Kruz

(Cruz) i sar. (2006) su okarakterisali sakupljače kiseonika na bazi gvožđa, zajedno sa vakuum pakovanjem, kao dobar način da se sačuva lazanja bez upotrebe aditiva. Takođe, ukupan broj kolonija *Staphylococcus ssp.*, koliformih bakterija i *E. Coli* bio je u dozvoljenim granicama, prema brazilskom zakonu, nakon 30 dana skladištenja. Pored tradicionalnih pekarskih proizvoda, aktivno pakovanje se pokazalo kao dobro rešenje u slučaju produženja trajanja čokoladnih torti. Primena sakupljača kiseonika uz dodatak meda kao aktivnog sastojka je doprinela produženju roka trajanja torti sa 3 na 12 dana pri skladištenju u sobnim uslovima (Jariyawanugoon, 2013).

Parna faza karanfilića i esencijalno ulje majčine dušice su efikasna sredstva protiv plesni koji su česti kontaminanti pekarskih proizvoda poput *Aspergillus flavus* i *Fusarium graminearum*. Pri koncentracijama od 2000 ppm karanfilića i esencijalnog ulja majčine dušice je dolazilo do: urušavanja ćelijske strukture plesni, promena na hifama, redukovanja konidiospora i gubljenja pigmenta (Dobre i Niculiță, 2012). Biorazgradivi filmovi na bazi skroba, poli (butilen adipat-ko-teraftalata), glicerola i kalijum sorbata su uticali na produženje roka trajanja sveže testenine (Andrade-Molina i sar., 2013).

Pakovanje hleba u aktivnoj ambalaži na bazi parafina sa dodatkom esencijalnog ulja cimeta u količini od 6% pokazuje, nakon tri dana skladištenja, gotovo potpunu inhibiciju razvoja vrste plesni *R. Stonifer* (Rodríguez i sar., 2008). Slično, Manso i sar. (2014) su objavili da koncentracija esencijalnog ulja na bazi cimeta igra značajnu ulogu prilikom redukcije antifungalnih i antimikotoksigenih aktivnosti. Zbog toga dolazi do potpune inhibicije stvaranja aflatoksina (AFB1) kod uzoraka upakovanih u polipropilenski film, sa inkorporiranim esencijalnim uljem u koncentraciji od 4% i 6%.

3. MATERIJAL I METODE

3.1. ZADATAK RADA

U skladu sa postavljenim ciljem, zadatak ove doktorske disertacije je izbor i karakterizacija ambalažnih materijala, izbor uslova pakovanja, pakovanje tradicionalnog pekarskog proizvoda - pite sa sirom. Takođe, zadatak rada je i istraživanje uticaja primenjene ambalaže i uslova pakovanja na kvalitet i održivost pite sa sirom tokom skladištenja.

3.2. EKSPERIMENTALNI MATERIJAL

Pita sa sirom je proizvedena prema proizvođačkoj specifikaciji kompanije *Ekomil pite* d.o.o. (Bačka Palanka, Srbija) od sledećih sirovina (tabela 5).

Tabela 5. Korišćene sirovine za proizvodnju pite sa sirom

R.br.	Sirovina	Proizvođač
1.	Pšenično brašno T-400	<i>Petrovsky mlyn</i> d.o.o. (Bački Petrovac, Srbija)
2.	Sir na bazi surutke – urda	<i>Ekomil</i> d.o.o. (Bačka Palanka, Srbija)
3.	Voda	Vodovod (Bačka Palanka, Srbija)
4.	Kuhinjska so	<i>Solana</i> d.d. (Tuzla, BiH)

Pšenično brašno

Kako bi se proizvelo testo za pitu sa sirom specifičnih senzorskih, fizičkih, teksturalnih i hemijskih karakteristika korišćeno je pšenično brašno T-400, koje zadovoljava uslove propisane *Pravilnikom o kvalitetu žita, mlinskih i pekarskih proizvoda i testenina* (Službeni glasnik RS, 56/2018).

Tabela 6. Karakteristike pšeničnog brašna T-400 korišćenog za proizvodnju pite sa sirom

Veličina čestica (prosejavanje)	>150 μm – 14 % <150 μm – 86 %
Sadržaj vode	15,88 %
Sadržaj pepela (gravimetrijski)	0,44
Kiselinski stepen (titrimetrijski)	1,52
Farinografski pokazatelji kvaliteta	
Moć upijanja vode	51,1 %
Razvoj testa	1,2 min
Stabilitet testa	0,2 min
Stepen omekšanja testa	78 FJ
Kvalitetni broj	48,3
Kvalitetna klasa	B-2
Ekstenzografski pokazatelji kvaliteta	
Energija (E)	121 cm^2
Otpor (na 5 cm)	665 EJ
Rastegljivost (R)	120 mm
Odnos O/R	5,54

Sir na bazi surutke - urda

Urda korišćena za proizvodnju pite sa sirom pripada grupi albuminskih sireva i poseduje karakteristike propisane *Pravilnikom o kvalitetu i drugim zahtevima za mleko, mlečne proizvode, kompozitne mlečne proizvode i starter kulture* (Službeni glasnik RS, 33/2010).

Nutritivni sastav sira urde korišćene za proizvodnju pite sa sirom je predstavljen u tabeli 7.

Tabela 7. Nutritivni sastav sira urde (%)

Ukupne masti	13
Zasićene masti	8
Proteini	11
Ugljeni hidrati	3

Voda

Voda primenjena u proizvodnji pite sa sirom je odgovararala mikrobiološkim, biološkim, hemijskim, fizičko-hemijskim, fizičkim i radiološkim pokazateljima prikazanim u *Pravilniku o higijenskoj ispravnosti vode za piće* (Službeni glasnik SRJ, 42/98 i 44/99).

Kuhinjska so

Kuhinjska so primenjenja prilikom procesa proizvodnje je u saglasnosti sa *Pravilnikom o kvalitetu i drugim zahtevima za so za ljudsku ishranu i proizvodnju namirnica* (Službeni glasnik SCG, 31/2005). Takođe, ova sirovina je značajna zbog uticaja na senzorske, fizičke, strukturne i hemijske karakteristike testa.

Po proizvođačkoj specifikaciji, od navedenih sirovina, proizvedeno je 144 pite sa sirom.

Ambalaža za pakovanje pite sa sirom

Za pakovanje pite sa sirom korišćene su kese od višeslojnih polimernih materijala, proizvedenih u preduzeću *Blik Produkt* d.o.o. (Kikinda, Srbija). Petoslojni ambalažni materijali sastava polietilen/ateziv/poliamid/ateziv/polipropilen i polietilen/ateziv/poliamid/ateziv/polietilen dobijeni su procesom koekstruzije. Sedmoslojni ambalažni materijal je dobijen tako što je petoslojni materijal sastava polietilen/ateziv/poliamid/ateziv/polietilen spojen atezivom prilikom procesa kaširanja sa PET folijom. Od oba materijala formirane su kese. U tabeli 8 su prikazani sastavi polimernih ambalažnih materijala korišćenih za formiranje kesa za pakovanje pite sa sirom.

Tabela 8. Sastav ambalažnih materijala kesa za pakovanje pita sa sirom

R.br.	Oznaka uzorka	Sastav ambalažnog materijala
1.	Ambalaža 5L	Petoslojni ambalažni materijal PE/Ad/PA/Ad/PP
2.	Ambalaža 7L	Sedmoslojni ambalažni materijal PE/Ad/PA/Ad/PE/Ad/PET

Pite sa sirom su pakovane u kese uz primenu različitih uslova pakovanja. Polovina uzoraka je upakovana u atmosferi vazduha (ATM), a druga polovina u modifikovanoj atmosferi (MAP). Takođe, polovini uzoraka pakovanih u ATM i MAP-u je dodat sakupljač kiseonika kapaciteta 100 ml (SK) (tabela 9).

Tabela 9. Uslovi pakovanja korišćeni za pakovanje pita sa sirom

R.br.	Oznaka	Atmosfera pakovanja	Sastav gasne faze
1.	ATM	Atmosfera vazduha	78,08% N ₂ ; 20,95% O ₂ ; ≈1% (Ar, CO ₂ , He, Ne, CH ₄ , Kr, N ₂ O, H ₂ , Xe, O ₃)
2.	MAP	Modifikovana atmosfera	70% N ₂ ; 30% CO ₂
3.	SK	Sakupljač kiseonika (<i>Shenzhen Chunwang Environmental Protection Technology Co. Ltd., China</i>)	/

Proizvedene i ohlađene pite sa sirom su, neposredno pre procesa pakovanja u kese, prenošene u aluminijumske podloške. Osnovna svrha aluminijumskih podlošaka je pojednostavljenje termičkog tretmana proizvoda.

3.3. PROGRAM RADA

Proizvodnja i pakovanje pite sa sirom

Pite sa sirom su proizvedene u preduzeću *Ekomil pite d.o.o.* (Bačka Palanka, Srbija) od sirovina navedenih u tabeli 5. Sveže proizvedene pite su ohlađene, a zatim prenošene u aluminijumske podloške, nakon čega su pite upakovane u petoslojne i sedmoslojne kese u atmosferskim uslovima (ATM) i u modifikovanoj atmosferi (MAP), sa ili bez sakupljača kiseonika (SK). Na ovaj način dobijeni su uzorci sa sledećim oznakama:

- **Uzorak 1:** 5L ATM (pita pakovana u petoslojnu ambalažu u atmosferi vazduha);
- **Uzorak 2:** 5L ATM SK (pita pakovana u petoslojnu ambalažu u atmosferi vazduha sa sakupljačem kiseonika);
- **Uzorak 3:** 5L MAP (pita pakovana u petoslojnu ambalažu u MAP atmosferi);
- **Uzorak 4:** 5L MAP SK (pita pakovana u petoslojnu ambalažu u MAP atmosferi sa sakupljačem kiseonika);
- **Uzorak 5:** 7L ATM (pita pakovana u sedmoslojnu ambalažu u atmosferi vazduha);
- **Uzorak 6:** 7L ATM SK (pita pakovana u sedmoslojnu ambalažu u atmosferi vazduha sa sakupljačem kiseonika);
- **Uzorak 7:** 7L MAP (pita pakovana u sedmoslojnu ambalažu u MAP atmosferi);
- **Uzorak 8:** 7L MAP SK (pita pakovana u sedmoslojnu ambalažu u MAP atmosferi sa sakupljačem kiseonika).

Uslovi, period skladištenja i dinamika ispitivanja

Uzorci su skladišteni u pogonu *Ekomil pite* d.o.o. (Bačka Palanka, Srbija) u rashladnoj komori na temperaturi do 4 °C. Period skladištenja i dinamika ispitivanja su se odnosili na period odmah nakon proizvodnje (nulta proba), a zatim nakon 2, 4, 8, 12 i 16 nedelja skladištenja. Uzorci su nakon skladištenja transportovani iz Bačke Palanke do Novog Sada u uslovima rashladne komore do 4 °C.

Ispitivanja ambalaže su vršene na Katedri za inženjerstvo konzervisane hrane, laboratorija za ambalažu i pakovanje na Tehnološkom fakultetu Novi Sad. Ispitivanja upakovanog proizvoda su vršena na Tehnološkom fakultetu Novi Sad i Naučnom institutu za prehrambene tehnologije (FINS, Novi Sad).

Analize upakovanog proizvoda su rađene do momenta mikrobiološke kontaminacije svih uzoraka iz pojedinačne serije.

3.4. METODE ISPITIVANJA

3.4.1. ISPITIVANJE AMBALAŽNIH MATERIJALA I AMBALAŽE

3.4.1.1. Ispitivanje fizičko-hemijskih i strukturnih svojstava ambalažnih materijala

Vizuelni pregled

Ovo je opisna metoda kod koje se vizuelnom kontrolom prati i konstatuje izgled ambalažnog materijala i nedostaci uočljivi golim okom, kao što su: pojava ispupčenja ili udubljenja, kvalitet adhezije i pojava mehurova, kvalitet printa (štampe), pravilnost namotaja rolni itd. Rezultat je predstavljen opisno.

Debljina i masa po jedinici površine

Debljina ambalažnih materijala merena je mikrometrom (Tesa, type 30, Switzerland), sa osetljivošću 0,001 mm pomoću metode SRPS G.S2.733:1972, tačka 4, metoda A - povučen. Obe strane kese (A i B) po tri probe petoslojne (5L) i sedmoslojne (7L) ambalaže merene su na osam pozicija, a rezultat je iskazan kao srednja vrednost \pm standardna devijacija (SD).

Masa po jedinici površine je određena metodom SRPS G.S2.702. Od kese se iseku uzorci poznate površine, izmeri se njihova masa i preračuna na jedinicu površine. Merene su mase tri probe, obe strane (A i B) uzoraka petoslojne (5L) i sedmoslojne (7L) ambalaže, sa po tri ponavljanja, a rezultat je iskazan kao srednja vrednost \pm standardna devijacija (SD).

Zatezna jačina i izduženje pri kidanju

Zatezna jačina (TS-tensile strength) i izduženje pri kidanju (EB-elongation at break), koji spadaju u mehaničke osobine ambalažnih materijala, su mereni su na aparatu Instron (Instron Universal Testing Instrument, Model No 4301) (*Instron Engineering Corp.*, Canton, MA), prema standardnoj metodi SRPS G.S2.737:2011. Uzorci ambalažnih materijala sečeni su u pravougaone

epruvete dužine 90 mm i širine 15 mm. Početni razmak između klema instrumenta iznosio je 100 mm.

Vrednost zatezne jačine TS (MPa) je računata kao odnos maksimalne sile kojom je podvrgnut ambalažni materijal, pre kidanja, i poprečnog preseka ambalažnog materijala, na koji deluje sila. Vrednost izduženja pri kidanju EB je računata kao odnos dužine uzorka ambalažnog materijala pre (50 mm) i nakon delovana maksimalne sile, u trenutku kada je došlo do kidanja uzorka. EB je prikazana kao srednja vrednost procenta izduženja (%). TS i EB su mereni poprečno i uzdužno za po tri probe petoslojnih (5L) i sedmoslojnih (7L) kesa, obe strane (A i B), sa po tri ponavljanja, a rezultati su prikazani kao srednja vrednost \pm standardna devijacija (SD).

Strukturna svojstva

Furije transformišuća infracrvena spektroskopska (FTIR) analiza uzoraka filmova izvedena je u opsegu talasnih dužina od 4000 do 600 cm^{-1} , pri čemu je rezolucija iznosila 4 cm^{-1} . Analiza je sprovedena na IR spektrofotometru Nikolet (Nicolet iS10), Thermo Scientific (Massachusetts, USA), u okviru dodatka za atenuaciju totalne refleksije (ATR). Slepa proba je snimana pre analize svakog uzorka, dok je svaki pojedinačno uzorak skeniran šesnaest puta. IR spektrofotometrom se upravlja računarskim putem, uz pomoć softvera (software) Omnic 8.1. (Thermo Fisher Scientific, MA, USA).

3.4.1.2. Ispitivanje barijernih svojstava ambalaže

Propustljivost gasova i određivanje kapaciteta sakupljača kiseonika

Propustljivost gasova (CO_2 , N_2 , O_2) ambalažnih materijala je merena pomoću procedure Lisi (Lyssy). Ona podrazumeva izostatičku gas-hromatografsku metodu (DIN 53380), koja se izvodi upotrebom uređaja Lisi (Lyssy) GPM-200, gasnog hromatografa (proizvođača *Gasukuro Kogyo GC - 320*) i integratora (HP 3396A). Osnovni instrument za kvantitativnu analizu je standardni gasni hromatograf Gou-Mek (Gow-Mac) serije 552, sa detektorom termičke provodljivosti. Ovaj gasni hromatograf sadrži dvojni sistemom kolona, odnosno kolonu Porapak (Porapack) QS (3 m) i kolonu sa molekulskim sitima (4,5 m), koje su povezane serijski. Odnos razdvajanja gasnog

protoka kroz kolone može biti regulisan restrikcijom ventilom, koji je integrisan ispred Porapak kolone, što omogućava razdvajanje svih merenih gasova, naročito kiseonika i azota iz vazduha. Ispitivanja su vršena u uslovima 23 °C, a razlika pritiska je iznosila 1 bar. Uzorci ambalažnih materijala su fiksirani na nosač i postavljani u eksperimentalnu komoru. Propustljivost gasova određena je izostatski, u komori podeljenoj uzorkom ispitivane ambalaže na dve celine. Sa jedne strane ambalaže, u komori je čist helijum, a s druge, smeša gasova: kiseonik, ugljen-dioksid, azot (1:1:1). Pritisak sa obe strane filma je identičan (0.2 bar). U toku analize postepeno dolazi do zasićenja helijuma smešom gasova, u zavisnosti od propustljivosti ambalažnog materijala. Koncentracija merenih gasova u komori sa helijumom je detektovana i definisana uz pomoć gasnog hromatografa i integratora. Površina pika na dobijenom hromatogramu, na određenom retencionom vremenu, predstavlja količinu propuštenog gasa iz smeše, dok je propustljivost vazduha računata na osnovu poznatog sadržaja pojedinih gasova u vazduhu. Rezultati su izraženi u ml/(m²24h) pri razlici pritiska od 1 bar.

Za određivanje kapaciteta sakupljača kiseonika, koji će biti dodat prilikom aktivnog pakovanja, potrebno je poznavati: početnu koncentraciju kiseonika unutar ambalaže, propustljivost vazduha ambalažnog materijala, površinu ambalažnog materijala, zapreminu proizvoda i vremenski rok čuvanja proizvoda. Zapremina kiseonika nakon pakovanja (*A*) se izračunava prema sledećoj formuli (Cruz i sar., 2015):

$$A = \frac{(V - P) \times [O_2]}{100} \quad (2)$$

V (ml) – zapremina gotove ambalaže sa proizvodom, izračunata Arhimedovim zakonom;

P (g) – masa upakovanog proizvoda;

[O₂] - inicijalna koncentracija kiseonika unutar pakovanja (ukoliko je vazduh = 21%).

Zapremina kiseonika koja će penetrirati unutar ambalaže, tokom perioda skladištenja se računa prema formuli:

$$B = S \times P \times D \quad (3)$$

S (m²) – površina ambalaže;

P ($\text{ml}/\text{m}^2/24\text{h}/\text{atm}$) - propustljivost ambalažnog materijala;

D – planirani broj dana skladištenja proizvoda.

Ukupna zapremina kiseonika koja će biti vezana (C) se računa prema formuli:

$$C = A + B \quad (4)$$

Na osnovu izračunate zapremine kiseonika koja će biti vezana tokom skladištenja, odabira se kapacitet sakupljača kiseonika (20 ml, 50 ml, 100 ml, 200 ml) i broj vrećica sa sakupljačem koji je neophodno upotrebiti (Cruz i sar., 2012).

Propustljivost vodene pare

Analize propustljivosti vodene pare su određene gravimetrijskom metodom (dish method), prema ISO 2528:1995 (uslov A: temperatura (25 ± 1) °C, relativna vlažnost (90 ± 2)%, (postignuta uz pomoć zasićenog rastvora kalijum-nitrata)). Kao desikant je upotrebljen anhidrovani silika gel za popunjavanje test posuda. Ove posude su čuvane u definisanim uslovima okoline i merena im je masa sve dok nije ustanovljena konstantna brzina porasta mase. Ostvareni prinosi vrednosti mase su upotrebljeni za izračunavanje količine vlage propuštene kroz ambalažni materijal. Za svaki uzorak pojedinačno su vršena po tri ponavljanja.

Propustljivost svetlosti

Propustljivost svetlosti je vršena instrumentalnom metodom na T80+ UV-VIS spektrofotometru (PG instruments LTG), pri opsegu talasnih dužina od 200 do 800 nm (vidljiva oblast i UV oblast spektra). Urađena su merenja transmisije u staklenim i kvarcnim kivetama za petoslojni (5L) i sedmoslojni (7L) ambalažni materijal. Na osnovu dobijenih vrednosti načinjen je dijagram.

3.4.1.3. Koncentracija gasova u ambalaži

Vrednosti koncentracije gasova unutar ambalaže su određene mobilnim analizatorom OXY BABY M+ O_2/CO_2 . Septum se postavlja na površinu ambalaže, kako bi kroz njega penetrirala igla za

merenje koncentracije gasova. Neophodno je da igla ne bude u kontaktu sa proizvodom u toku merenja. Nakon utvrđivanja koncentracije gasova unutar ambalaže, aparat zvučnim signalom označava kraj merenja i na displeju (display) prikazuje rezultat. Aparat je u mogućnost da iskaže procentualne vrednosti kiseonika i ugljen-dioksida unutar ambalaže, dok se do vrednosti azota dolazi jednostavnim sabiranjem vrednosti kiseonika i ugljen-dioksida i oduzimanjem zbira od vrednosti 100%.

3.4.1.4. Ispitivanje kvaliteta formiranih varova ambalaže

Zatezna jačina i mikroporoznost varova

Zatezna jačina vara je ispitana metodom SRPS G.E4.111, tačka 3.2.2.- povučen, uz upotrebu uređaja Instron (INSTRON 4301). Na području formiranog vara isecaju se eksperimentalne epruvete širine 15 mm normalno u odnosu na var. Početni razmak između hvataljki uređaja je iznosio 15 mm, a brzina razmicanja hvataljki 100 mm/min. Epruvete su sečene sa svih karakterističnih pozicija varova formiranih ambalažnih jedinica. Ispitivani su varovi uz bočnu ivicu i varovi u sredini ambalažnog materijala, pri čemu su svi uzorci mereni po tri puta.

Mikroporoznost formiranih varova je ispitana nanošenjem penetracionog sredstva (0,5% rastvor Rhodamin-a B / $C_{28}H_{31}ClN_2O_2$ / u etilenglikolmonoetiletru) uz var i razlivanjem po celoj dužini vara (Curaković i sar., 1992).

3.4.2. ISPITIVANJE UPAKOVANOG PROIZVODA

3.4.2.1. Fizičko-hemijska ispitivanja pite sa sirom

Kiselinski stepen

Stepen kiselosti pite sa sirom je određen metodom za određivanje stepena kiselosti testenina, opisanom u *Pravilniku o metodama fizičkih i hemijskih analiza za kontrolu kvaliteta žita, mlinskih i pekarskih proizvoda, testenina i brzo smrznutog testa* (Službeni list SFRJ, 74/88).

Kiselost se izražava kao „kiselinski stepen” (KS) koji označava broj ml 1 mol (NaOH)/l potrebnih za neutralizaciju slobodnih masnih kiselina u 100% uzorka i računa se prema formuli:

$$ks = a \times 2 \quad (5)$$

pri čemu je:

ks – kiselinski stepen, ml (1 mol NaOH/l);

a – broj mililitara 0,1 (NaOH)/l utrošen za neutralizaciju.

Peroksidni broj

Ispitivanje peroksidnog broja je vršeno modifikovanom Vilerovom metodom (Wheeler, 1932). Postupak rada je obuhvatao odmeravanje 1 g uzorka sa tačnošću od 0,001 g, u erlenmajeru od 100 ml. Uzorak je zatim rastvoren u 10 ml smeše glacijalne sirćetne kiseline i hloroforma uz kružno mešanje. Dodato je 0,2 ml zasićenog rastvora kalijum-jodida i homogenizovano mešanjem u vremenu od 60 s. Prekid reakcije se vrši dodatkom 20 ml destilovane vode. Posle dodatka nekoliko kapi indikatora skroba (1%-ni rastvor skroba izmešan u 100 ml destilovane vode i pušten da ključa), oslobođeni jod se titriše standardnim rastvorom $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Završetak titracije označava nagli nestanak plavog obojenja.

Slepa proba se vrši na identičan način, samo bez upotrebe uzorka. Ukoliko se za titraciju slepe probe utroši više od 0,1 ml rastvora $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, neophodno je pripremiti sveže rastvore.

Peroksidni broj, izražen u milimolovima po kg se računa po formuli:

$$Pbr \text{ (mmol/kg)} = \frac{(V_1 - V_0) f \times 5}{m} \quad (6)$$

pri čemu je:

V_1 – zapremina rastvora $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, koncentracije 0,01 mol/l, utrošenog za titraciju uzorka, u ml;

V_0 - zapremina rastvora $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, koncentracije 0,01 mol/l, utrošenog za titraciju slepe probe, u ml;

f – faktor rastvora $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, kod koncentracije od 0,01 mol/l, iznos $f = 1$;

m – masa dela uzorka za ispitivanje, u gramima.

Aktivnost vode (A_w vrednost)

Vrednost aktivnosti vode (a_w) pite sa sirom su određivane uređajem TESTO 650 (*Testo, Inc.*, 40 White Lake Rd, Sparta, NJ, USA) i specijalnom sondom tačnosti $\pm 0,001$ na temperaturi od 25 °C. Postupak se zasniva na homogenizaciji uzorka pite (sredine i krajeva) i punjenju merne posude do 2/3 ukupne zapremine. Nakon toga se postavlja merni deo sonde u posudu i meri se na sobnoj temperaturi do uspostavljanja ravnotežnog stanja aktivnosti vode.

Sadržaj vlage

Sadržaj vlage pite sa sirom je određen metodom opisanom u *Pravilniku o metodama fizičkih i hemijskih analiza za kontrolu kvaliteta žita, mlinskih i pekarskih proizvoda, testenina i brzo smrznutog testa* (Službeni list SFRJ, 74/88). Prema ovom Pravilniku, pita sa sirom pripada grupi proizvoda za čije određivanje vlage je neophodno primeniti dvostepeni postupak, usled neadekvatnih granulometrijskih karakteristika i visokog sadržaja vlage proizvoda (više od 17%).

Masnokiselinski sastav

Odmereno je po 5 g uzoraka ivica (A1, B1) i sredina pita sa sirom (A2, B2), a potom usitnjeno i homogenizovano u blenderu. Po 1,61 g svakog uzorka preneseno je u epruvetu za centrifugiranje, dodato je 3 ml metilen-hlorida za ekstrakciju liposolubilnih materija i homogenizovano je na mešalici (Vorteks) u trajanju od 1 min. Uzorci su potom centrifugirani 10 min na 2000 obrtaja/min. U vijale je izdvojeno po 1 ml bistrog supernatanta svakog analiziranog uzorka i dodato po 50 μ l reagensa za derivatizaciju (0,2 M TMSH, trimetilsulfonijum-hidroksid u metanolu, Macherey-Nagel), pri čemu je izvršena transesterifikacija masnih kiselina iz triacilglicerola u odgovarajuće isparljive metil-estre.

Analiza lipidnog, odnosno, masnokiselinskog profila uzoraka ivica i sredina proizvedenih pita sa sirom urađena je na gasnom hromatografu (GC, Agilent Technologies 7890) kuplovanim sa uređajem za maseno-spektrometrijsku detekciju (MS, Agilent Technologies MSD 5975). Primenjeni su standardni uslovi za analizu metil-estara masnih kiselina GC/MS sistemom. U cilju jonizacije korišćeno je bombardovanje elektronima pri energiji od 70 eV. Upotrebljeni su DB-5

MS kolona dimenzija $60\text{ m} \times 0,25\text{ mm} \times 25\text{ }\mu\text{m}$, i sledeći temperaturni program: $50 - 130\text{ }^\circ\text{C}$, $30\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ i $130 - 280\text{ }^\circ\text{C}$, $15\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$. Pri tome je na kraju svake analize temperatura zadržana 8 min na $280\text{ }^\circ\text{C}$. Temperatura injektora bila je $250\text{ }^\circ\text{C}$, a protok helijuma, kao gasa nosača, bio je $1,1563\text{ ml}/\text{min}$. U uređaj je injektovan po $1\text{ }\mu\text{l}$ rastvora svakog analiziranog uzorka, uz split-odnos 1:50. Hromatogrami dobijeni GC/MS analizom obrađeni su programom MSD ChemStation Data Analysis (Agilent Technologies), a pikovi masnih kiselina, u formi odgovarajućih metil-estara, identifikovani su pretragom i poređenjem njihovih karakterističnih fragmentacija sa Wiley 275 bibliotekom masenih spektara, uz korišćenje AMDIS algoritma. Uzorci pita korišćenih u GC/MS analizi su označeni u tabeli 10.

Tabela 10. Oznake uzoraka pita korišćenih za ispitivanje masnokiselinskog sastava


R.br.	Oznaka	Uzorak
1.	A1	Ivica pite sa sirom analizirane odmah nakon proizvodnje i pakovanja
2.	A2	Središnji deo pite sa sirom analiziran nakon proizvodnje i pakovanja
3.	B1	Ivica pite sa sirom analizirana nakon skladištenja
4.	B2	Središnji deo pite sa sirom analiziran nakon skladištenja

3.4.2.2. Senzorska ispitivanja pite sa sirom

Senzorska svojstva

Senzorska analiza pite sa sirom je rađena u skladu sa dinamikom ostalih ispitivanja, pri čemu je nulta proba ocenjena 24 h nakon pečenja, a ostali uzorci nakon 2., 4., 8., 12. i 16. nedelje. Panel za ocenu se sastojao od pet osoba koje su prethodno učestvovala u brojnim deskriptivnim metodima ocene prehrambenih proizvoda i koji su u stanju da opišu i kvantifikuju svoje percepcije i mogu se smatrati ekspertima u oblasti senzorske ocene. Pored toga, na osnovu dugogodišnjeg iskustva, ovi članovi panela su eksperti iz oblasti tehnologije pekarstva, što im je dodatno omogućilo da sagledaju značaj i uticaj sirovina, tehnološkog postupka proizvodnje, pakovanja, skladištenja na ključna senzorska svojstva, prilikom definisanja senzorskog profila, prihvatljivosti, ali i definisanja senzorske specifikacije za potrebe održivosti i kontrole kvaliteta ovog prehrambenog proizvoda.

Iz razloga nepostojanja standardnih kriterijuma za ocenjivanje pite sa sirom, panelisti su utvrdili senzorski opis kontrolnog uzorka (sveže pite sa sirom) i kriterijume ocenjivanja. Senzorske karakteristike su sadržane u senzorskoj specifikaciji, prikazanoj na slici 12.

Proizvod:		Pita sa sirom
Izgled:		 <ul style="list-style-type: none"> * Ocenjuje se vizuelno posmatrajući uzorak pod veštačkom dnevnom svetlošću nakon uklanjanja iz ambalaže - Zlatnožuta boja kore, karakteristična za polupečene proizvode od laminiranog testa - Moguće je prisustvo beličastih grudvica na površini koje potiču od sirnog punjenja
Miris:		<ul style="list-style-type: none"> * Ocenjuje se mirisanjem uzorka nakon vizuelnog pregleda - Karakterističan za proizvode od testa sa sirom
Ukus:		<ul style="list-style-type: none"> * Ocenjuje se uzimanjem zalogaja centralnog dela pite i krajnjeg dela pite - Blago slan i prijatan, svojstven pečenom laminiranom testu sa sirom od urde
Tekstura:		<ul style="list-style-type: none"> * Ocenjuje se istovremeno sa ukusom uzimanjem zalogaja centralnog dela pite - Homogena, blago hrskava, umereno vlažna i meka
Opšte karakteristike:		Proizvod bez stranog mirisa, ukusa i stranih primesa
	*	Način ocenjivanja senzorskih svojstava
	-	Karakteristike senzorskih svojstava

Slika 12. Senzorske karakteristike pite sa sirom

Senzorsko profilisanje izvršeno je primenom generičke deskriptivne senzorske tehnike, prema Sedej i sar. (2011), uključujući ocenu izabranih reprezentativnih svojstava (atributa) pite sa sirom,

definisanih u okviru senzorske specifikacije (slika 12). Reprezentativna svojstva su ocenjena metodom bodovanja, koristeći ocene 1-5, pri čemu je svaka pojedinačna ocena prethodno bila definisana opisom, oslikavajući određeni nivo senzorskog kvaliteta (Pajin, 2000; 2009) (tabela 11, 12, 13 i 14).

Tabela 11. Definisanje ocene-nivoa kvaliteta za izgled pite sa sirom

Izgled pite sa sirom	
Ocena	Opis ocene
5	Potpuno u skladu, neizmenjen, zlatnožuta boja kore ujednačeno zastupljena bez vidljivih odstupanja
4	Neznatno izmenjen izgled i boja kore, neznatna odstupanja površine
3	Delimično izmenjen izgled, delimično promenjena boja i struktura površine
2	Izmenjen izgled, bleđa ili tamna boja površine kore, veća odstupanja površinske strukture
1	Potpuno izmenjen, neprihvatljiv, pojava kolonija plesni, nekarakteristična boja i struktura površine proizvoda

Tabela 12. Definisanje ocene-nivoa kvaliteta za miris pite sa sirom

Miris pite sa sirom	
Ocena	Opis ocene
5	Potpuno u skladu, neizmenjen, miris karakterističan za proizvode sa sirnim punjenjem
4	Neznatno izmenjen ili slabije izražen miris u odnosu na vrstu proizvoda
3	Delimično izmenjen miris, slabo ili jače izražen u odnosu na karakteristike vrste proizvoda
2	Izmenjen miris, miris stranog porekla, izmenjen miris sirnog punjenja
1	Potpuno izmenjen, neprihvatljiv, miris koji ukazuje na razvoj kolonija plesni, neprijatan miris sirnog punjenja

Tabela 13. Definisiranje ocene-nivoa kvaliteta za ukus pite sa sirom

Ukus pite sa sirom	
Ocena	Opis ocene
5	Potpuno u skladu, neizmenjen, blago slan i prijatan ukus karakterističan za pekarske proizvode sa punjenjem na bazi urde
4	Neznatno izmenjen ili slabije izražen ukus u odnosu na vrstu proizvoda
3	Delimično izmenjen ukus, slabo izražen ili blago kiseo usled promena karakteristika punjenja
2	Izmenjen ukus, ukus stranog porekla, kiseo usled promena sirnog punjenja
1	Potpuno izmenjen, neprihvatljiv, stran ukus, neprijatan ili kiseo, ukus koji ukazuje na razvoj kolonija plesni

Tabela 14. Definisiranje ocene-nivoa kvaliteta za teksturu pite sa sirom

Tekstura pite sa sirom	
Ocena	Opis ocene
5	Potpuno u skladu, neizmenjena, blago hrskava, umereno vlažna i meka
4	Neznatno izmenjena tekstura bez velikih odstupanja od karakteristika proizvoda
3	Delimično izmenjena tekstura, blago grudvičasta ili blago suva
2	Izmenjena tekstura, žilava konzistencija, brašnasta i tvrđa struktura usled retrogradacije
1	Potpuno izmenjena, neprihvatljiva, tvrda, žilava, suva ili suviše mekana i vodnjikava

Za potrebe ocenjivanja, uzorci pite sa sirom su označeni trocifrenim kodovima i servirani su na plastičnim tanjirićima na sobnoj temperaturi i dostavljani ocenjivačima pojedinačno i nasumično uz prethodno dobro definisan eksperimentalni dizajn. Panelisti su dobijali po parče krajeva i sredine pite sa sirom. Destilovana voda i jabuke su korišćene za uklanjanje zaostalog ukusa nakon prethodnog ocenjivanja i započinjanja ocene narednog uzorka, uz vremensku distancu između uzoraka od 5 minuta.

3.4.2.3. Mikrobiološka ispitivanja pite sa sirom

Pita sa sirom je proizvedena prema proizvođačkoj specifikaciji kompanije *Ekomil pite* d.o.o. (Bačka Palanka, Srbija). Pri tome kompanija koristi sopstvene procedure upravljanja bezbednošću hranom i uspostavlja odgovarajući režim uzorkovanja, što je u skladu sa *Vodičem za primenu mikrobioloških kriterijuma za hranu* (Ministarstvo poljoprivrede, trgovine, šumarstva i vodoprivrede, 2011). Prema pomenutom Vodiču, pita sa sirom pripada grupi pekarskih proizvoda koje čine: hleb, peciva, pite i ostali pekarski proizvodi. Iz tog razloga su vršena određivanja ukupnog broja *Enterobacteriaceae*, ukupnog broja *Bacillus Cereus* i ukupnog broja kvasaca i plesni u 1 g uzorka.

Ukupan broj *Enterobacteriaceae*

Ukupan broj enterobakterija određen je prema standardnoj metodi SRPS ISO 21528-2:2017. Metoda se zasniva u sledećem: zasejava se 1 ml pripremljenih razređenja uzoraka u Petri ploče na ljubičasto-crvenom žučnom agaru sa glukozom (VRBG) (Himedia, Indija).

Nakon završetka inkubiranja na $37^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ} \text{C}$ tokom $24 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$ izaberu se ploče koje sadrže manje od 150 karakterističnih kolonija. Karakteristične kolonije su ružičaste do crvene ili purpurne boje (sa oreolima taloga ili bez njih). Sa svake zadržane Petri ploče izaberu se karakteristične kolonije za potrebe biohemijskih testova reakcije oksidaze i fermentacije glukoze. Ako nema karakterističnih kolonija, izaberu se netipične kolonije za testove potvrđivanja.

Nakon testova potvrđivanja na osnovu broja izraslih kolonija izračunat je broj enterobakterija u 1 g uzorka.

Ukupan broj *Bacillus Cereus*

Broj *Bacillus Cereus* određen je prema standardnoj metodi SRPS EN ISO 7932:2009. Metoda se zasniva na površinskom zasejevanju 0,1 ml pripremljenih razređenja uzoraka na čvrstu selektivnu hranljivu podlogu koja se nalazi u Petri pločama.

Nakon inkubacije na $30^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ} \text{C}$ u trajanju od 18h do 48h izaberu se ploče koje sadrže manje od 150 kolonija. Prebroje se suspektne kolonije *B. cereus*. Suspektne kolonije su velike, ružičaste

i obično okružene zonom taloženja što ukazuje na nastajanje lecitinaze. Sa svake zadržane Petri ploče izaberu se suspektne kolonije za potvrđivanje ispitivanjem hemolize na agaru od ovčije krvi. Nakon potvrđivanja na osnovu broja izraslih kolonija izračunat je broj *Bacillus cereus* u 1 g uzorka.

Ukupan broj kvasaca i plesni

Ukupan broj kvasaca i plesni određen je prema standardnoj metodi SRPS ISO 21527-2:2011. Metoda se zasniva na površinskom zasejevanju 0,1 ml pripremljenih razređenja uzorka na čvrstu hranljivu podlogu Dihloran agar sa 18% glicerola (DG18) (Himedia, Indija) koja se nalazi u Petri pločama. Zasejane podloge se inkubiraju na $25^{\circ} \text{C} \pm 1^{\circ} \text{C}$ od 5 do 7 dana.

Nakon završetka inkubiranja izaberu se ploče koje sadrže manje od 150 kolonija i na osnovu broja izraslih kolonija izračunava se broj kvasaca i plesni u 1 g uzorka.

3.4.3. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA

3.4.3.1. Deskriptivna statistika

Deskriptivna statistika se koristi za kvantitativno opisivanje ispitivanih osobina, tj. da bi se opisali podaci i sagledali njihovi uzajamni odnosi. Rezultati deskriptivne statistike su predstavljeni preko srednje vrednosti i standardne devijacije, a urađena su tri merenja po uzorku.

Interpretacija rezultata se vrši na osnovu Takijevog (Tukey) HSD testa, na nivou značajnosti $p < 0,05$, pri čemu je nivo poverenja 95%. Taki HSD (Honestly Significant Distance, HSD) test prikazuje koliko treba da bude udaljenost bilo koje dve srednje vrednosti, kako bi one bile statistički različite. Ukoliko je razlika dve srednje vrednosti veća od standardne devijacije (SD), prema Takijevom testu upućuje na statističku značajnost. Testiranjem podataka dobijenih različitim eksperimentalnim merenjima, utvrđeno je da je većina uzoraka statistički značajno različita na nivou $p < 0,05$. Ovim je dokazano da su ispitani uzorci dovoljno raznovrsni kako bi se pristupilo statističkoj analizi i matematičkom modelovanju (Lončar, 2015).

Deskriptivna statistička analiza, uz korišćenje softvera (software) Microsoft Excel 2007 i softverskog paketa Statistica version 12 (StatSoft Inc. 2012, USA)®, upotrebljena je za sva statistička i matematička izračunavanja u ovom istraživanju.

3.4.3.2. Analiza glavnih komponenti (PCA – Principal Components Analysis)

Analiza glavnih komponenti, kao izraz, se odnosi na matematičku metodu za analizu podataka pri čemu se formiraju višeparametarski linearni modeli pomoću kompleksnog niza podataka. PCA modeli koji su linerani višeparametarski se razvijaju uz pomoć ortogonalnih baznih vektora, često nazivanih kao glavne komponente (Thielemans i Massart, 1985).

PCA predstavlja višeparametarsku matematičku metodu gde se istražuju korelacije između promenljivih, usled čega se broj promenljivih smanjuje, i utvrđuju se nove faktorske koordinate. Transformacije (preslikavanja) ovih koordinata se vrše tako što prva faktorska koordinata obuhvata varijansu sistema koja je najveća moguća, a analiza se primenjuje kako bi se obezbedila najveća moguća diferenciranost među grupama (klasterima) definisanih od strane promenljivih. Pomenuta metoda raspoznavanja sličnosti među grupama uzoraka se primenjuje za karakterizaciju i diferencijaciju uzoraka, prema utvrđenim osobinama uzoraka (na bazi eksperimentalnih merenja svih promenljivih veličina, pripisanih određenom uzorku) (Lončar, 2015).

Primenom PCA je moguće značajno smanjivanje broja promenljivih. Takođe, moguće je i utvrđivanje strukturnih zavisnosti prisutnih između različitih uzoraka i eksperimentalno merenih veličina, što pruža poseban osvrt na faktore koji utiču na proces skladištenja. Za višeparametarsku komparaciju različitih kompleksnih uzoraka hrane se često primenjuje „auto - skaliranje”, gde se uzorci ocenjuju (rangiraju) prema srednjoj vrednosti i standardnoj devijaciji grupe uzoraka.

Takođe, usled različitosti i nekompatibilnosti jedinica i skale različitih promenljivih koje predstavljaju poređene uzorke, neophodno je konvertovati podatke svih merenja u takozvane standardne ocene. To su bezdimenzionalne vrednosti koje su dobijene na osnovu srednjih vrednosti eksperimentalnih (merenih) podataka određene veličine (za posmatrani uzorak), podeljene sa standardnom devijacijom grupe, prema sledećoj jednačini (Lončar, 2015):

$$\text{Standardna ocena} = (x - \mu)/\sigma \quad (7)$$

gde je:

x - mereni podatak;

μ - srednja vrednost grupe podataka;

σ - standardna devijacija.

Kompletan skup podataka se uvrštava u PCA analizu u formi „auto-skalirane” matrice (Prior i sar., 2005; Sun i Tanumihardjo, 2007; Lončar, 2015). Uz pomoć PCA, „eventualno” korelisani podaci se transformišu ortogonalno u skup linearno nekorelisanih promenljivih, odnosno glavne komponente. Primenom linearnih transformacija originalnih promenljivih se formiraju faktorske koordinate, pri čemu nekoliko osnovnih, početnih, komponenti sadrži veći deo varijabilnosti originalnog skupa podataka. Transformacija je određena na način da prva glavna komponenta poseduje najveću moguću varijansu (tj. najveću varijabilnost podataka), a svaka sledeća komponenta ima najveću moguću varijansu, ukoliko je ortogonalna (u korelaciji) u odnosu na prethodne komponente (Lončar, 2015).

Najosnovnija vrsta PCA deli kovarijansne (tj. korelacione) matrice na „svojstvene vrednosti” (Eigenvalues), uglavnom nakon centriranja i normalizacije srednjih vrednosti matrica, u odnosu na svaku promenljivu. Pomenuta svojstvena vrednost meri količinu varijacije, opisanu pomoću faktorskih koordinata, gde najveći uticaj poseduje prvu osnovna komponenta, pri čemu svaka sledeća komponenta ima manji uticaj. Svojstvena vrednost koja je veća od 1 označava da PCA uvrštava više varijansi u odnosu na originalne promenljive. Stoga se obično za tumačenje koriste samo pomenute faktorske koordinate. PCA rezultati analize se uglavnom tumače na osnovu učinka (score) promenljivih u komponentama. Prema navodima Abdija i Viliijamsa (Abdi i Williams, 2010), PCA predstavlja najzastupljeniju multivarijacionu analizu koja se zasniva na otkrivanju međusobnog odnosa podataka, tako što najbolje prikazuje njihovu varijansu. PCA se učestalo primenjuje za analizu rezultata fizičko hemijskih parametara hrane (Koprivica, 2013; Cvetković, 2014; Lončar, 2015).

Oznake uzoraka korišćenih za PCA analizu su predstavljene u tabeli 15, pri čemu su uzorci razvrstani prema vrsti ambalaže i uslovima pakovanja, ali i periodu skladištenja. Ispitivanja su vršena sve dok je najmanje jedan uzorak iz iste serije bio mikrobiološki ispravan.

Tabela 15. Oznaka uzoraka pita sa sirom korišćenih za PCA analizu

R.br.	Uzorak	Period skladištenja
1.	5L ATM	Nulta proba
2.	5L ATM	Druga nedelja
3.	5L ATM	Četvrta nedelja
4.	5L ATM SK	Nulta proba
5.	5L ATM SK	Druga nedelja
6.	5L ATM SK	Četvrta nedelja
7.	5L ATM SK	Osma nedelja
8.	5L ATM SK	Dvanaesta nedelja
9.	5L ATM SK	Šesnaesta nedelja
10.	5L MAP	Nulta proba
11.	5L MAP	Druga nedelja
12.	5L MAP	Četvrta nedelja
13.	5L MAP	Osma nedelja
14.	5L MAP SK	Nulta proba
15.	5L MAP SK	Druga nedelja
16.	5L MAP SK	Četvrta nedelja
17.	5L MAP SK	Osma nedelja
18.	7L ATM	Nulta proba
19.	7L ATM	Druga nedelja
20.	7L ATM	Četvrta nedelja
21.	7L ATM SK	Nulta proba
22.	7L ATM SK	Druga nedelja
23.	7L ATM SK	Četvrta nedelja
24.	7L ATM SK	Osma nedelja
25.	7L ATM SK	Dvanaesta nedelja
26.	7L ATM SK	Šesnaesta nedelja
27.	7L MAP	Nulta proba
28.	7L MAP	Druga nedelja
29.	7L MAP	Četvrta nedelja
30.	7L MAP	Osma nedelja
31.	7L MAP	Dvanaesta nedelja
32.	7L MAP SK	Nulta proba
33.	7L MAP SK	Druga nedelja
34.	7L MAP SK	Četvrta nedelja
35.	7L MAP SK	Osma nedelja
36.	7L MAP SK	Dvanaesta nedelja
5L – pita pakovana u petoslojnu ambalažu, 7L – pita pakovana u sedmoslojnu ambalažu, ATM – pita pakovana u atmosferi vazduha, MAP – pita pakovana u MAP atmosferi, SK – pita pakovana uz dodatak sakupljača kiseonika		

PCA i korelaciona analiza su urađene primenom StatSoft Statistica 10 programa.

3.4.3.3. Metode odzivne promenljive (RSM)

Najvažnija prednost korišćenja RSM je smanjenje broja eksperimenata koji obezbeđuju dovoljno podataka za statistički značajne rezultate. Jednačine RSM opisuju delovanje procesnih promenljivih na posmatrane odzivne promenljive. RSM uočava međuzavisnosti procesnih promenljivih i prikazuje kombinovane uticaje procesnih parametara na posmatrane sistemske odzive.

Za fitovanje eksperimentalnih podataka i formiranje matematičkog modela je primenjena sledeća jednačina u obliku polinoma drugog reda (Second Order Polynomial, SOP). Razvijeno je 15 ovakvih jednačina, za predikciju 15 odziva (Y), na osnovu 3 promenljive (X), za svaki uzorak:

$$Y_k = \beta_{k0} + \sum_{i=1}^2 \beta_{ki} \cdot X_i + \sum_{i=1}^2 \beta_{kii} \cdot X_i^2 + \beta_{k12} \cdot X_1 \cdot X_2, k=1-15 \quad (8)$$

pri čemu su: β_{k0}^l , β_{ki}^l , β_{kii}^l , β_{k12}^l konstantni regresioni koeficijenti, a Y_k^l , ili: O₂, CO₂, N₂, kiselinski stepen, peroksidni broj, a_w, vlaga, ukupan broj kvasaca i plesni, var uz bočnu ivicu, var u sredini, var uz bočnu ivicu 2, IZGLEĐ, MIRIS, UKUS i TEKSTURA; dok su: X₁ – Ambalaža; X₂ - Tretman; X₃ - Vreme.

4. REZULTATI I DISKUSIJA

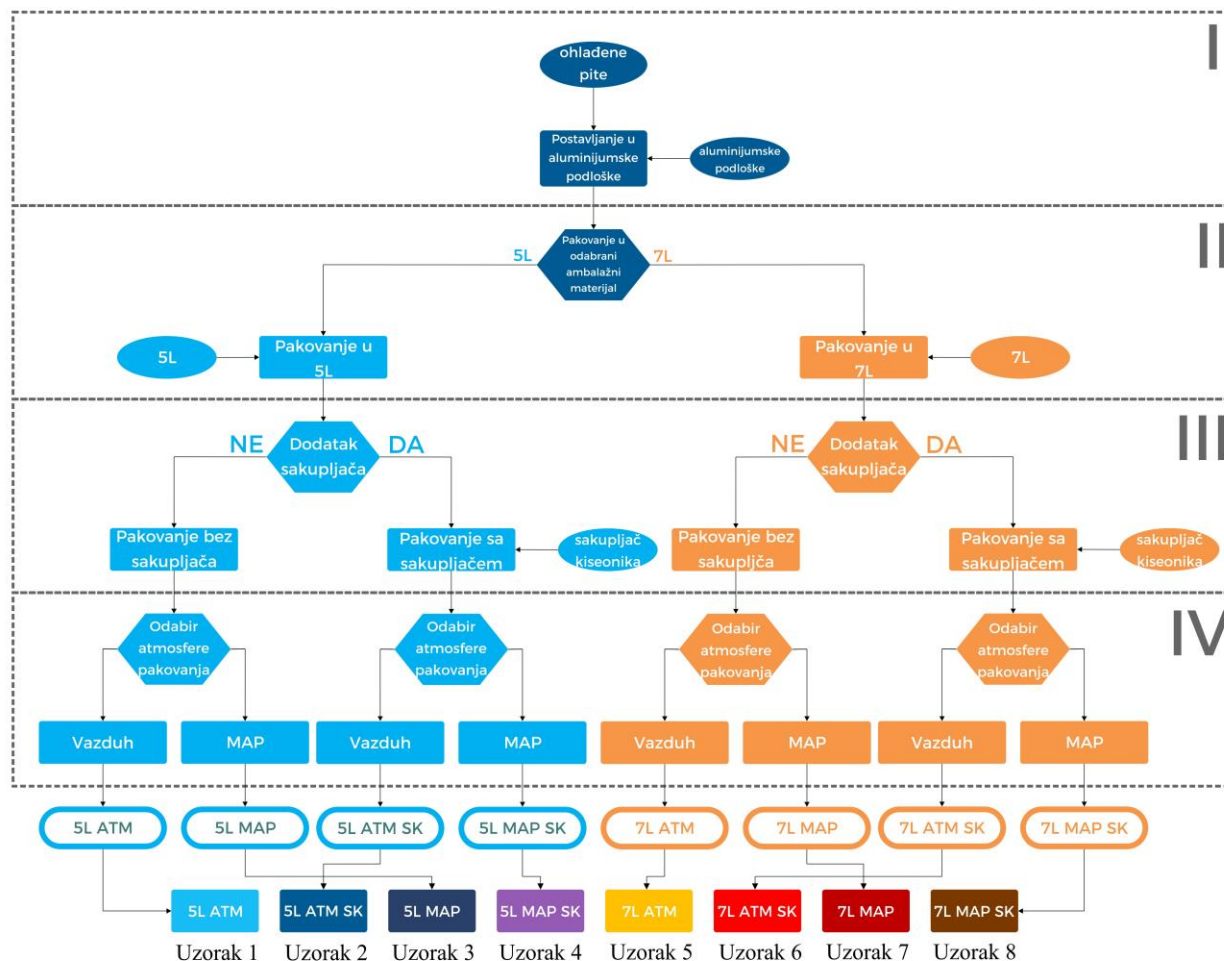
Proizvodnja i pakovanje pite sa sirom

Proces proizvodnje i pakovanja pite sa sirom ilustrovan je slikom 13. U pogonu *Ekomil pite* d.o.o. (Bačka Palanka, Srbija) napravljeno je 144 pite. One su pripremljene od 255 g pšeničnog brašna, 90 g vode i 5 g soli (1), mešane su u mesilici (KEMPER SP 30) 8 minuta na prvoj brzini i 4 minuta na drugoj brzini (2). Laminiranje testa je vršeno uz pomoć mašine (MATEKS MAKINA) do debljine testa 0,4 mm (3), a posle toga je usledilo punjenje sa 100 g sira urde (4) i završno oblikovanje u cevast oblik. Pite su zatim pečene (rotaciona peć SVEBA DAHLEN C150 45) na 220 °C 40 minuta (5), a nakon toga su hladene 20 minuta na temperaturi pogona od 20 °C (6). Potom je usledio proces pakovanja (7) i skladištenja na temperaturama od 4 °C ± 2 °C (8).



Slika 13. Proces proizvodnje i pakovanja pite sa sirom

Pakovanje pite sa sirom je, takođe, izvedeno u pogonu *Ekomil pite* d.o.o. (Bačka Palanka, Srbija) u četiri procesna koraka, koja su prikazana na slici 14.



Slika 14. Šema pakovanja pite sa sirom

Po četiri rolne ohlađene pite je postavljeno u aluminijumske podloške dimenzija 20x30 cm (prvi procesni korak, slika 14 (I)). Osnovna funkcija aluminijumskih podlošaka je da pojednostave naknadni termički tretman proizvoda, kao zamena pleha za pečenje.

U drugom procesnom koraku pakovanja (slika 14 (II)), polovina uzoraka (72) ohlađenih pita su pakovane u kese od petoslojnog ambalažnog materijala (5L), a druga polovina u sedmoslojne polimerne kese (7L).

U trećem procesnom koraku polovini uzoraka 5L i 7L kesa je dodat sakupljač kiseonika (SK) od 100 ml (CHUNGWANG, China) (slika 14 (III)).

Četvrti procesni korak je obuhvatao pakovanje u atmosferi vazduha (ATM) ili u modifikovanoj atmosferi (MAP) korišćenjem uređaja DZQ vacuum packager (dzq600/2sb) uz formiranje završnog vara (slika 14 (IV)).

4.1. AMBALAŽNI MATERIJALI I AMBALAŽA

4.1.1. FIZIČKO-HEMIJSKE I STRUKTURNE KARAKTERISTIKE AMBALAŽNIH MATERIJALA

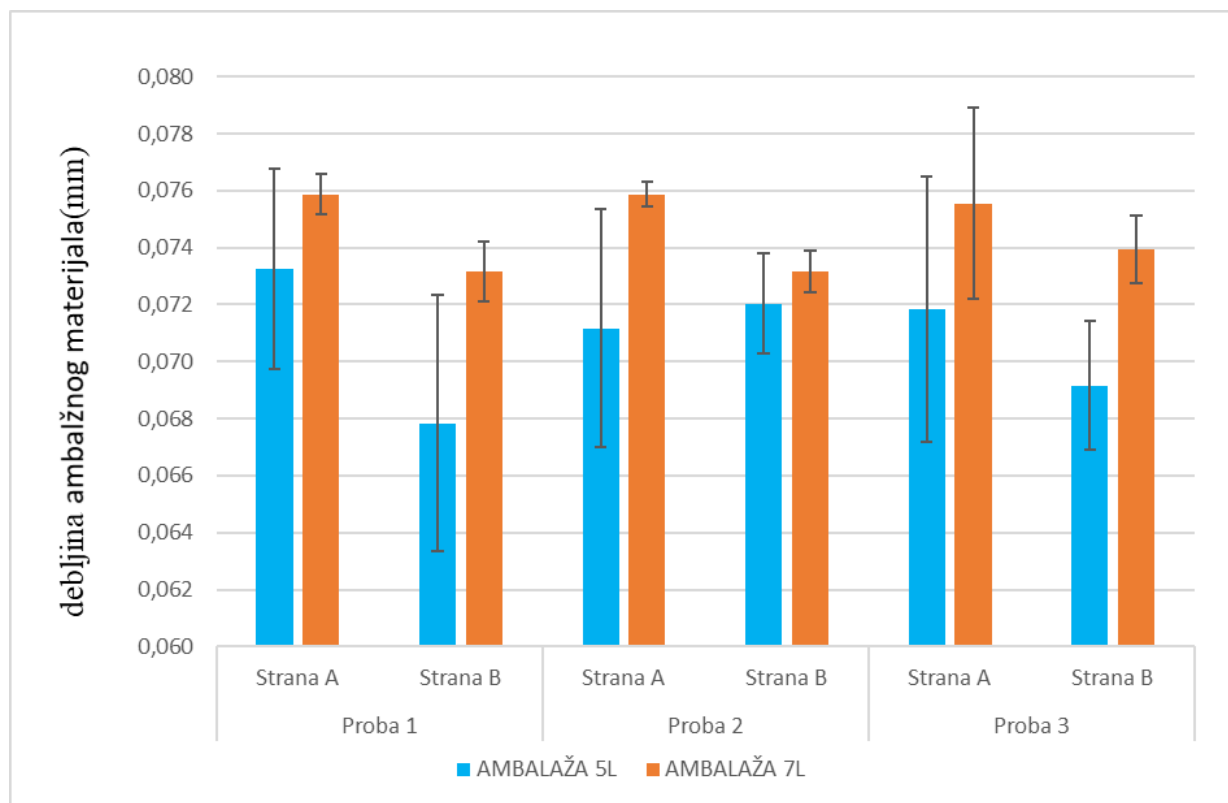
Vizuelni pregled

Vizuelnim pregledom je konstatovano da su korišćeni ambalažni materijali odgovarajućih karakteristika, pri čemu je sedmoslojni materijal štampan, dok je petoslojni materijal bio potpuno transparentan. Pažljivim posmatranjem ambalažnih materijala nisu uočeni vidljivi nedostaci. Na bočnim, donjim i gornjim varovima formiranih kesa nisu pronađene nikakve nepravilnosti ili falte nastale tokom formiranja ambalaže.

Prilikom kontrole uzoraka pita upakovanih u odgovarajuću ambalažu, kod uzorka pod šifrom 7L ATM SK-15, analiziranog nakon dvanaeste nedelje skladištenja je došlo do mehaničkog oštećenja ambalaže i to na gornjoj površini, nekoliko centimetara ispod vara. Oštećenje je verovatno nastalo tokom manipulacije uzorcima, usled skladištenja ili transporta.

Debljina i masa po jedinici površine

Debljina ambalažnih materijala je važna fizička karakteristika, povezana sa prohodnošću materijala na pakericama. Ujednačenost debljine ambalaže utiče na pravilno formiranje ambalaže, kao i ostvarivanje hermetičnosti varova. Rezultati merenja debljine ambalažnih materijala prikazani su na slici 15.



Slika 15. Debljina ambalažnih materijala (mm)

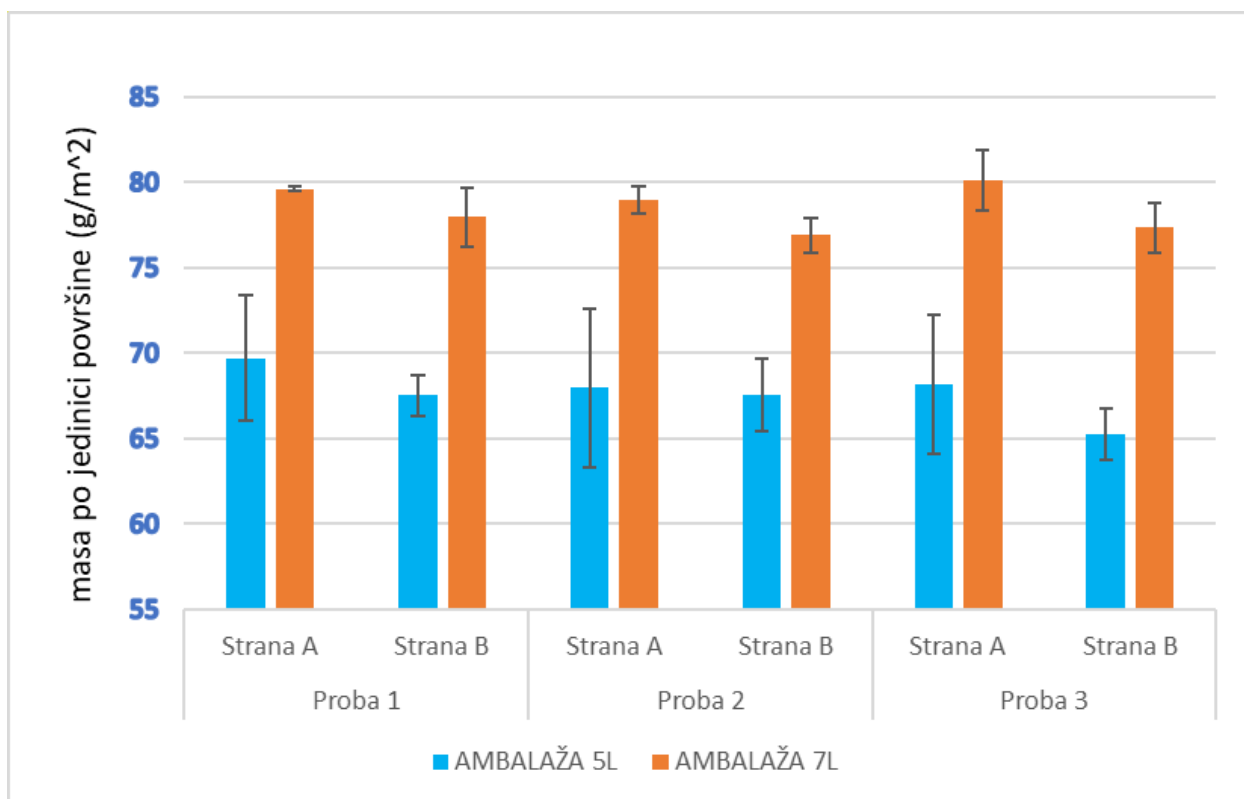
Debljina petoslojnog ambalažnog materijala se prosečno kretala u rasponu od 0,068 mm do 0,073 mm. Pojedinačno, za probu 1 srednja vrednosti merenja debljine strane A je iznosila $0,073 \pm 0,0035$ mm, dok je debljine strane B $0,068 \pm 0,0045$ mm. Za probu 2, debljina strane A je iznosila $0,071 \pm 0,0042$ mm, a strana B $0,072 \pm 0,0018$. Vrednost probe 3, strane A iznosila je $0,072 \pm 0,0047$ mm i vrednost debljine strane B $0,069 \pm 0,0023$ mm.

Debljina sedmoslojnog ambalažnog materijala se prosečno kretala u rasponu od 0,073 mm do 0,076 mm. Pojedinačno, za probu 1 srednja vrednosti merenja debljine strane A je iznosila $0,076 \pm 0,0007$ mm, dok je debljine strane B $0,073 \pm 0,001$ mm. Za probu 2, debljina strane A je iznosila $0,076 \pm 0,0005$ mm, a strana B $0,073 \pm 0,0007$. Vrednost probe 3, strane A iznosila je $0,076 \pm 0,0034$ mm i vrednost debljine strane B $0,074 \pm 0,0012$ mm.

Debljina sedmoslojnog ambalažnog materijala je prosečno veća za 0,004 mm u odnosu na petoslojni ambalažni materijal. Standardna devijacija merenih uzoraka sedmoslojnog ambalažnog materijala je iznosila 0,001818, dok je za petoslojni ambalažni materijal iznosila 0,003601. Dvostruko niža standardna devijacija uzoraka sedmoslojne ambalaže ukazuje na veću

ujednačenost debljine sedmoslojnog ambalažnog materijala, u odnosu na petoslojni ambalažni materijal.

Poput debljine, masa po jedinici površine predstavlja pouzdan pokazatelj ponašanja ambalažnog materijala tokom manipulacije, transporta i skladištenja upakovanog proizvoda. Mase po jedinici površine ambalaže su prikazane na slici 16.



Slika 16. Masa po jedinici površine ambalažnih materijala (g/m^2)

Vrednosti mase po jedinici površine petoslojnog ambalažnog materijala su se kretale u opsegu od $65,22 \text{ g}/\text{m}^2$ do $69,7 \text{ g}/\text{m}^2$. Pri čemu je izmerena prosečna masa po jedinici površine probe 1 za stranu A iznosila $69,7 \pm 3,69 \text{ g}/\text{m}^2$, a za stranu B $67,55 \pm 1,2 \text{ g}/\text{m}^2$. Zatim, masa po jedinici površine probe 2 strane A je iznosila $67,98 \pm 4,66 \text{ g}/\text{m}^2$, a strane B $67,55 \pm 2,15 \text{ g}/\text{m}^2$. Vrednost probe 3 strane A je iznosila $68,17 \pm 4,1 \text{ g}/\text{m}^2$, dok je izmerena vrednost strane B iznosila $65,22 \pm 1,5 \text{ g}/\text{m}^2$.

Izmerene srednje vrednosti mase po jedinici površine sedmoslojnog ambalažnog materijala su se kretale u opsegu od $76,92 \text{ g}/\text{m}^2$ pa do $80,1 \text{ g}/\text{m}^2$. Pri čemu je izmerena prosečna masa po jedinici

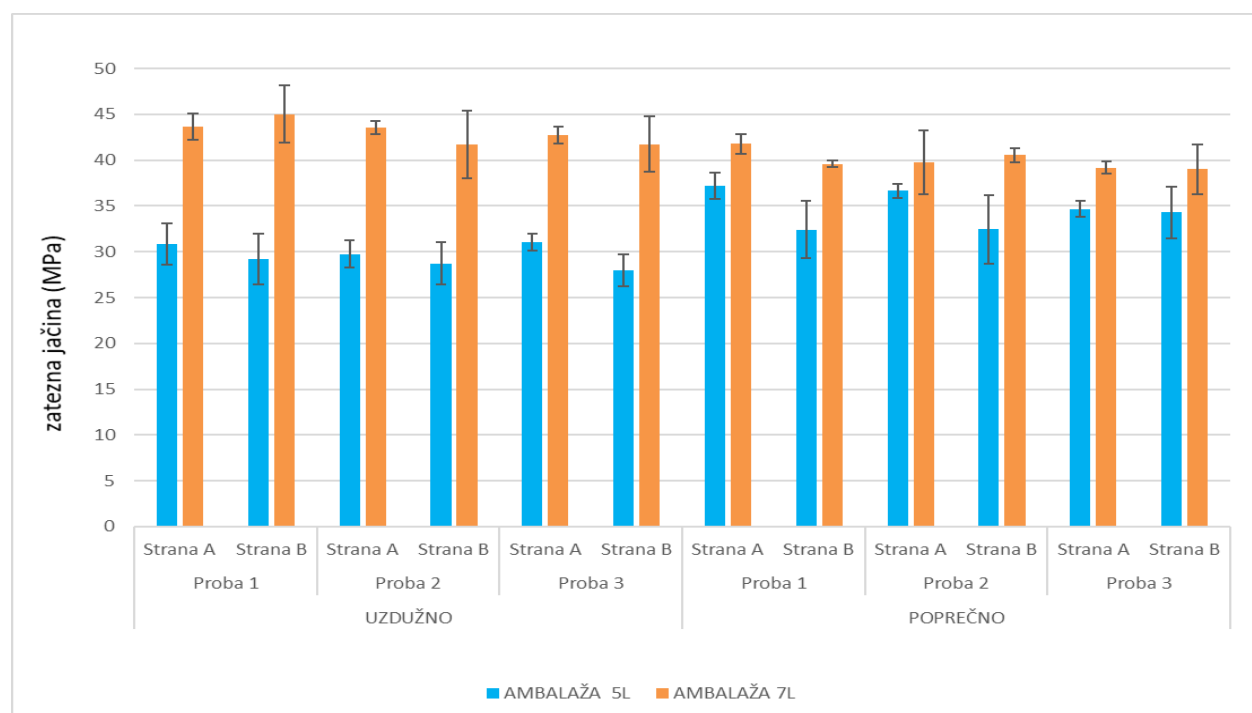
površine probe 1 za stranu A iznosila $79,63 \pm 0,1 \text{ g/m}^2$, a za stranu B $77,95 \pm 1,72 \text{ g/m}^2$. Zatim, masa po jedinici površine probe 2 strane A je iznosila $78,96 \pm 0,82 \text{ g/m}^2$, a strane B $76,92 \pm 1,01 \text{ g/m}^2$. Vrednost probe 3 strane A je iznosila $80,09 \pm 1,76 \text{ g/m}^2$, dok je izmerena vrednost strane B iznosila $77,33 \pm 1,48 \text{ g/m}^2$.

Srednja vrednost mase po jedinici površine sedmoslojnog ambalažnog materijala je bila veća za $10,79 \text{ g/m}^2$ u odnosu na masu po jedinici površine petoslojnog ambalažnog materijala. Razlika u masi po jedinici površine svakako je rezultat prisustva sloja PET folije.

Ukupna standardna devijacija je gotovo dva puta viša kod petoslojnog ambalažnog materijala (2,99) u odnosu na sedmoslojni materijal (1,62). Ovaj rezultat je u skladu sa rezultatom merenja debljine ambalažnih materijala.

Zatezna jačina i izduženje pri kidanju

Zatezna jačina i izduženje pri kidanju predstavljaju osnovne mehaničke karakteristike ambalažnih materijala. Rezultati zatezne jačine uzoraka prikazani su na slici 17.



Slika 17. Zatezna jačina ambalažnih materijala (MPa)

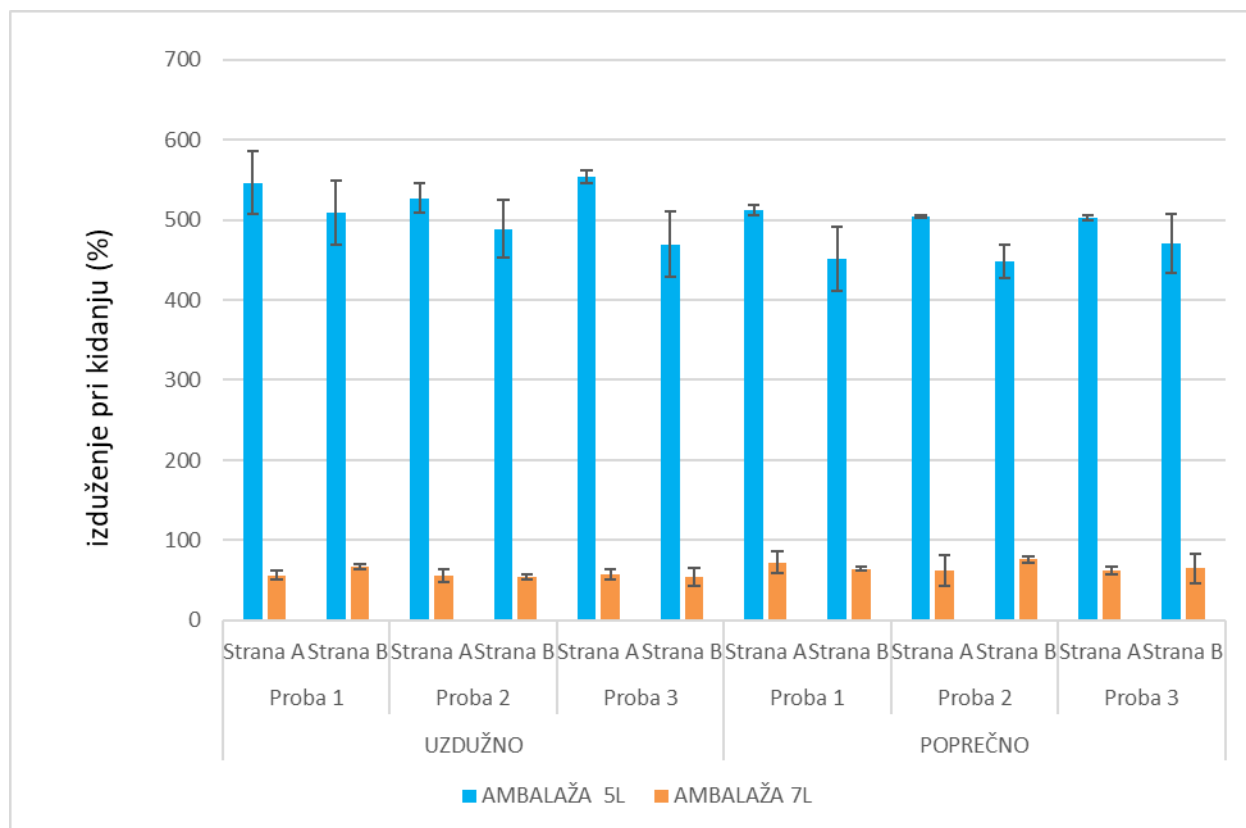
Zatezna jačina petoslojnog ambalažnog materijala uzdužno sečenih epruveta se kretala u granicama od 26,46 MPa do 32,94 MPa. Zatezna jačina petoslojnog ambalažnog materijala

poprečno sečenih epruveta se kretala u granicama od 28,31 MPa do 38,24 MPa. Zatezna jačina uzdužno sečenih epruveta petoslojnog ambalažnog materijala je prosečno iznosila $29,58 \pm 2,43$ MPa, dok je zatezna jačina poprečno sečenih epruveta prosečno iznosila $34,61 \pm 2,8$ MPa.

S druge strane, vrednosti zatezne jačine uzdužno sečenih uzoraka sedmoslojnog ambalažnog materijala su izmerene u opsegu od 39,17 MPa do 45,84 MPa. Vrednosti zatezne jačine poprečno sečenih uzoraka sedmoslojnog ambalažnog materijala su se kretale od 36,80 MPa do 42,97 MPa. Uzdužno sečene epruvete uzoraka sedmoslojne ambalaže su posedovale prosečnu vrednost $43,07 \pm 1,28$ MPa, a poprečne epruvete $39,78 \pm 1,03$ MPa.

Izmerena prosečna vrednost zatezne jačine sedmoslojnog ambalažnog materijala je iznosila 8,46 MPa više u odnosu na prosečnu vrednost zatezne jačine petoslojnog ambalažnog materijala. To je u skladu sa rezultatima debljine i mase po jedinici površine ambalažnih materijala. Ukupna standardna devijacija petoslojnog i sedmoslojnog materijala iznosile su 3,51 i 2,5, respektivno.

Izduženje pri kidanju (%) predstavlja prirast dužine, odnosno izduženje do trenutka pucanja tokom ispitivanja mehaničkih osobina. Izražava se kao procentualna promena početne dužine uzorka u odnosu na izduženje ambalažnog materijala u momentu pucanja. Rezultati izduženja pri kidanju prikazani su na slici 18.



Slika 18. Izduženje pri kidanju ambalažnih materijala (%)

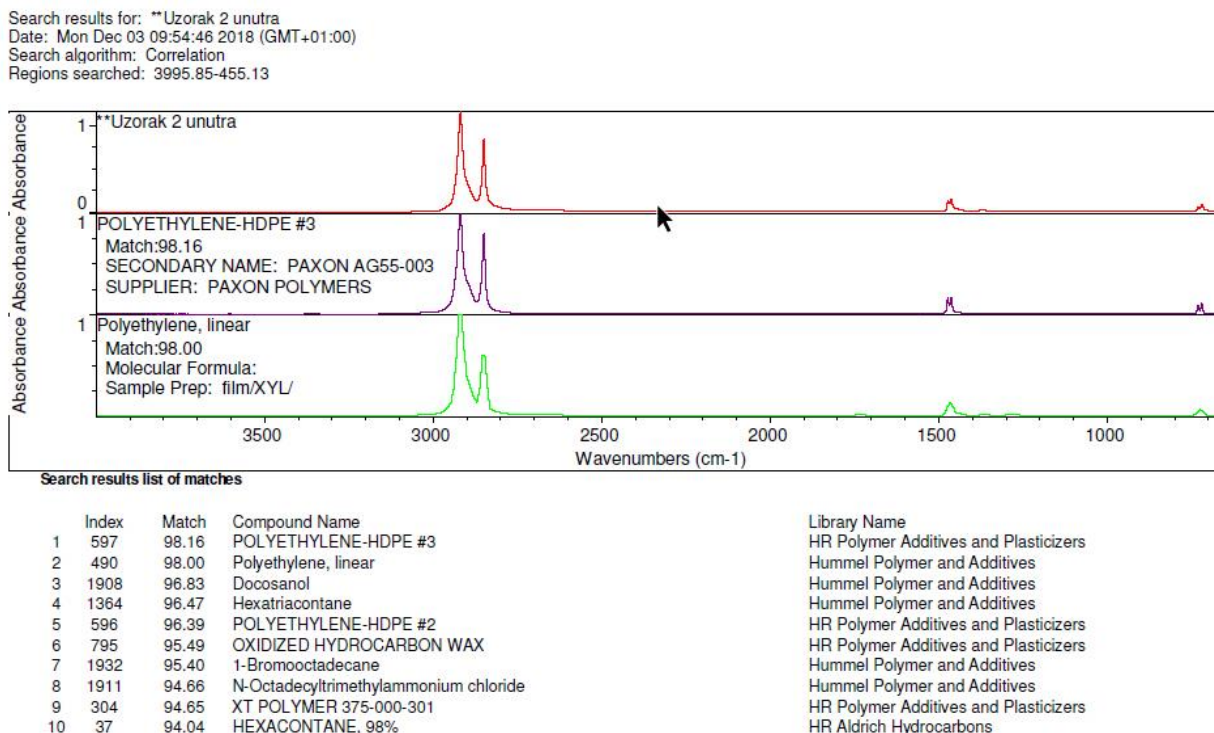
Izduženje pri kidanju petoslojnog ambalažnog materijala se kretalo u granicama od 448,00% do 553,77%. Srednje vrednosti izduženja obe strane (strana A i strana B) kod uzdužno sečenih epruveta su iznosile $527,75 \pm 40,79\%$ za probu 1, $507,82 \pm 33,41\%$ za probu 2, a $511,55 \pm 53,26\%$ za probu 3. Kod poprečno sečenih epruveta, vrednosti izduženja pri kidanju su iznosile $482,03 \pm 42\%$ za probu 1, $475,88 \pm 33,17\%$ za probu 2, a $486,6 \pm 29,11\%$ za probu 3.

Rezultat izduženja pri kidanju sedmoslojnog ambalažnog materijala je pokazivao minimalnu vrednost 53,97%, dok je maksimalna izmerena vrednost bila 76,37%. Posmatrajući pojedinačne uzorke, uzdužno sečene merne epruvete prikazivale su vrednosti $61,83 \pm 7,17\%$ za probu 1, $55,36 \pm 5,7\%$ za probu 2 i $55,52 \pm 8,43\%$ za probu 3. Srednje vrednosti poprečno sečenih epruveta sedmoslojnog ambalažnog materijala su iznosile $68,59 \pm 9,55\%$ za probu 1, $69,12 \pm 14,72\%$ za probu 2 i $63,31 \pm 12\%$ za probu 3.

Razlika vrednosti izduženja pri kidanju petoslojnih i sedmoslojnih ambalažnih materijala potiče od prirode primenjenih monomaterijala, prvenstveno PET-a, koji se nalazi u sastavu sedmoslojnog ambalažnog materijala.

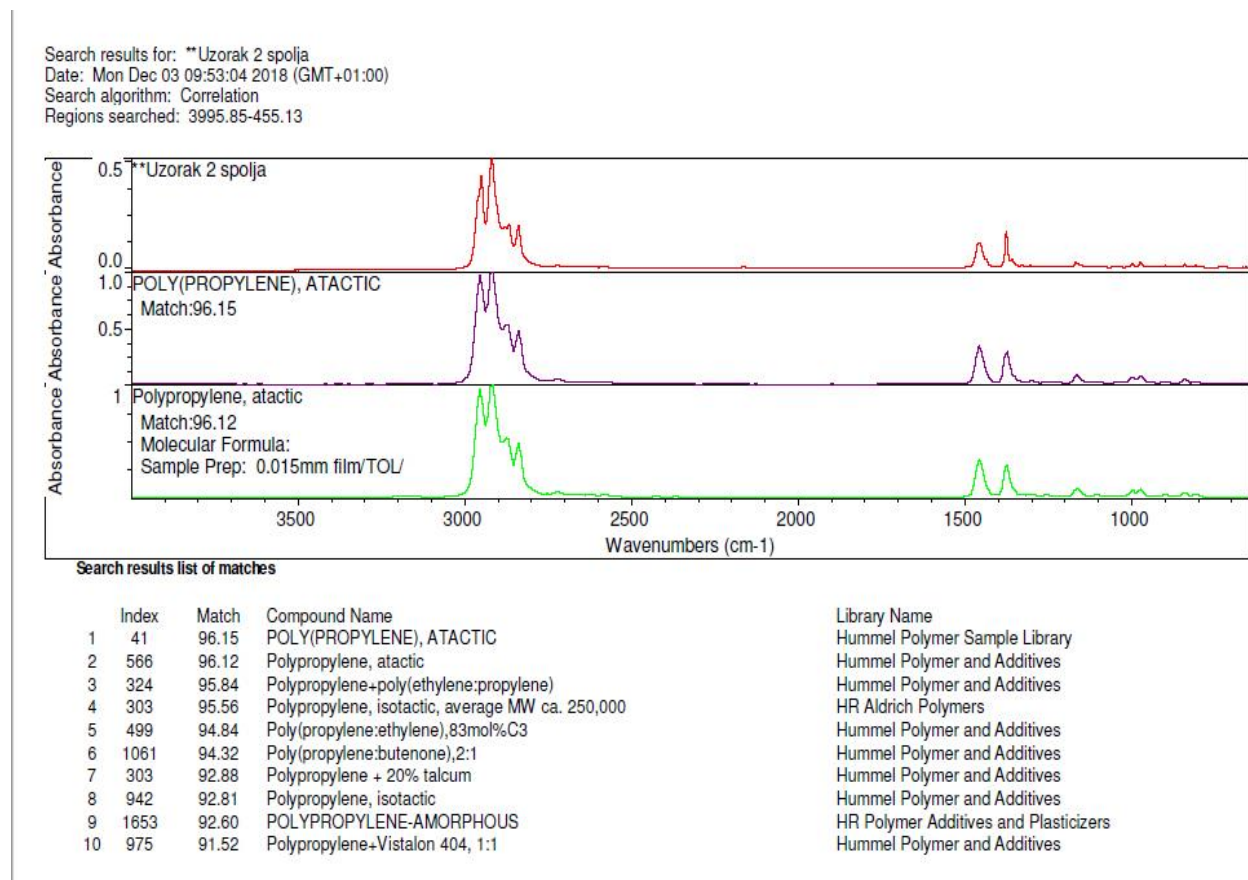
Strukturna svojstva

Furije transformišuća infracrvena spektroskopija je primenjena za određivanje strukturnih karakteristika ambalažnih materijala. Zahvaljujući postojanju karakterističnih hemijskih veza i interakcija između atoma i molekula, moguća je identifikacija spoljašnje i unutrašnje strane uzoraka petoslojne (slika 19 i 20) i sedmoslojne ambalaže (slika 21 i 22). Analizirani uzorci upoređeni su sa bazom podataka softvera Omnic 8.1. (Thermo Fisher Scientific, MA, USA).



Slika 19. Petoslojni ambalažni materijal (unutrašnja površina)

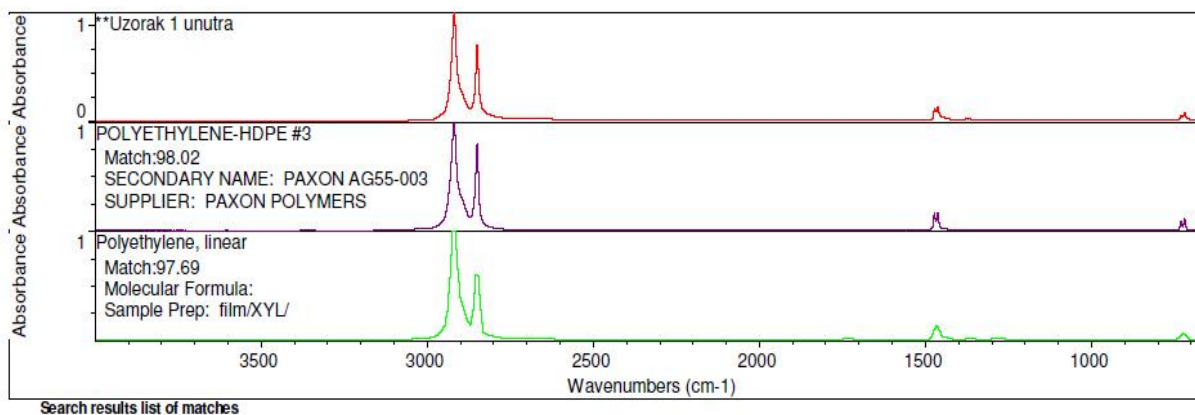
Dobijeni spektri pokazuju, sa 98,16% poklapanja, da je unutrašnja strana petoslojnog ambalažnog materijala sačinjena od polietilena visoke gustine (HDPE). Karakteristični pikovi absorbancije se javljaju na 2915 nm i 2845 nm, a uzrokovani su rastegljivim vibracijama C-H veza, kao i pikovi detektovani na 1472 nm, 1462 nm, 730 nm i 717 nm, koji potiču od CH₂ veze (Noda i sar., 2007; Asensio i sar., 2009; Jung i sar., 2018).



Slika 20. Petoslojni ambalažni materijal (spoljašnja površina)

Analiza spektra pokazuje, sa 96,15% poklapanja, da je spoljašnja površina petoslojnog ambalažnog materijala sačinjena od polipropilena (PP). Karakteristični pikovi absorbcije se javljaju na 2951 nm, zahvaljujući asimetričnim rastegljivim vibracijama CH₃ veze, na 2919 nm (CH₂ asimetrične vibracije), 2868 nm (CH₃ simetrične rastegljive vibracije) i na 2837 nm (simetrične rastegljive vibracije CH₂ veze) (Noda i sar., 2007). Takođe, uočen je pik absorbcije na 1455 nm, koji ukazuje na rastegljive oscilacije CH₂ veze, ali i na 1377 nm, što je uzrokovano rastegljivim vibracijama CH₃ hemijske veze (Jung i sar., 2018).

Search results for: **Uzorak 1 unutra
 Date: Mon Dec 03 09:51:16 2018 (GMT+01:00)
 Search algorithm: Correlation
 Regions searched: 3995.85-455.13

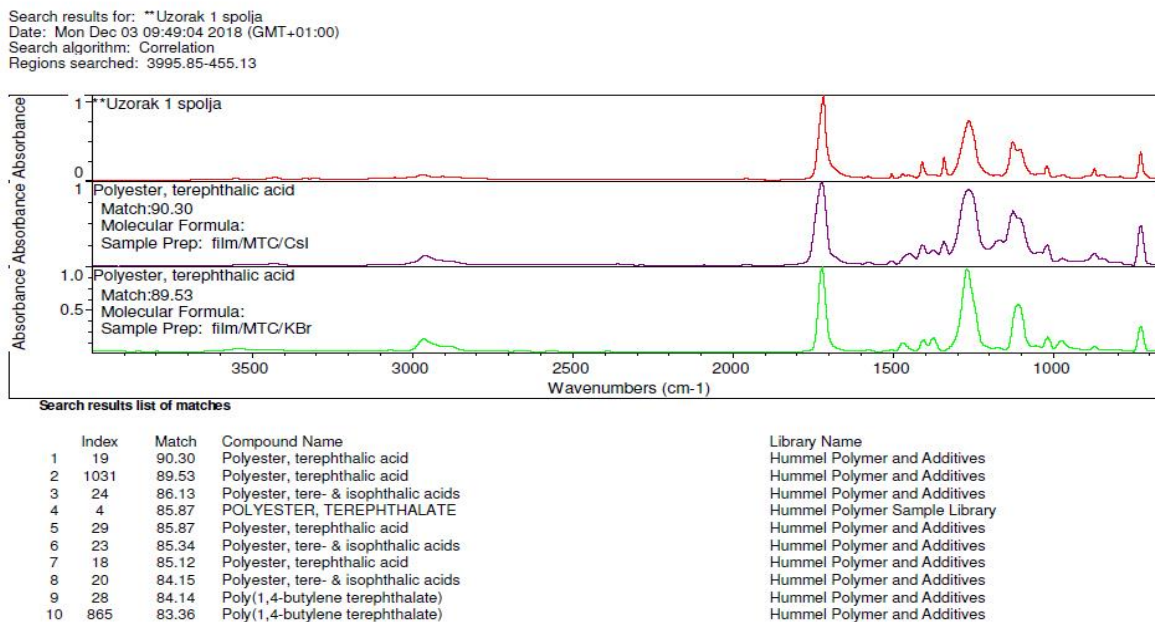


Search results list of matches

Index	Match	Compound Name	Library Name
1	597	98.02 POLYETHYLENE-HDPE #3	HR Polymer Additives and Plasticizers
2	490	97.69 Polyethylene, linear	Hummel Polymer and Additives
3	1908	96.70 Docosanol	Hummel Polymer and Additives
4	1364	96.38 Hexatriacontane	Hummel Polymer and Additives
5	596	96.18 POLYETHYLENE-HDPE #2	HR Polymer Additives and Plasticizers
6	304	95.89 XT POLYMER 375-000-301	HR Polymer Additives and Plasticizers
7	795	95.86 OXIDIZED HYDROCARBON WAX	HR Polymer Additives and Plasticizers
8	1932	95.05 1-Bromooctadecane	Hummel Polymer and Additives
9	1911	94.69 N-Octadecyltrimethylammonium chloride	Hummel Polymer and Additives
10	796	94.09 OXIDIZED CLAY-TREATED MICROCRYSTALLINE WAX CONTAINING POLYET	HR Polymer Additives and Plasticizers

Slika 21. Sedmoslojni ambalažni materijal (unutrašnja strana)

Slično kao i u slučaju petoslojnog ambalažnog materijala, dobijeni spektri prikazuju sa 98,02% poklapanja, da je unutrašnja strana sedmoslojnog ambalažnog materijala sačinjena od polietilena visoke gustine (HDPE). Karakteristični pikovi absorbancije se javljaju na 2915 nm i 2845 nm, a uzrokovani su rastegljivim vibracijama C-H veza, kao i pikovi detektovani na 1472 nm, 1462 nm, 730 nm i 717 nm, koji potiču od CH₂ veze (Noda i sar., 2007; Asensio i sar., 2009; Jung i sar., 2018).



Slika 22. Sedmoslojni ambalažni materijal (spoljašnja strana)

Analizom dobijenih spektara je utvrđeno, sa 90,30% poklapanja, da se spoljašnji sloj sedmoslojnog ambalažnog materijala sastoji od polietilen teraftalata (PET). Maksimumi absorbancije su detektovani na 2969 nm, a uzrokovani su rastegljivim asimetričnim oscilacijama CH₂ hemijske veze, zatim, na 1725 nm, usled rastegljivih oscilacija C=O dvostruke veze. Slede pikovi na 1343 nm, koji potiču od CH₂ rastegljivih oscilacija i pikovi na 1260 nm (C-O rastegljive vibracije), 1102 nm (C-O rastegljive vibracije), 975 nm (trans konfiguracija C-O rastegljivih oscilacija), 795 nm (C=O i C-O deformacije) i 730 nm (aromatične harmonične CH oscilacije) (Noda i sar., 2007).

Unutrašnji sloj oba ambalažna materijala (5L i 7L) je sačinjen od identičnog materijala, odnosno polietilena visoke gustine (HDPE). Spoljašnji sloj petoslojnog ambalažnog materijala se sastoji od polipropilena (PP), dok je u slučaju sedmoslojnog ambalažnog materijala spoljašnji sloj ambalaže sačinjen od polietilen teraftelata (PET). Različitost spoljašnjeg sloja, pored ukupnog broja slojeva, može biti odgovorna za drugačije mehaničke, barijerne i strukturne osobine ispitivanih ambalažnih materijala, koje mogu uticati na fizičko-hemijske, senzorske i mikrobiološke osobine upakovanog proizvoda.

Analizom strukturnih svojstava potvrđena je proizvođačka specifikacija oba ambalažna materijala.

4.1.2. BARIJERNA SVOJSTAVA AMBALAŽE

Propustljivost gasova i određivanje kapaciteta sakupljača kiseonika

Propustljivost gasova predstavlja veoma važnu karakteristiku prilikom odabira ambalažnog materijala, usled potencijalnog uticaja propuštenih gasova na upakovani proizvod. Ova karakteristika je od suštinskog značaja i u slučaju primene pakovanja u modifikovanoj atmosferi i/ili aktivnog pakovanja. Ambalažni materijal odgovarajućih barijernih karakteristika čini osnovni preduslov za očuvanjem polaznih parametara prehrambenog proizvoda tokom perioda skladištenja. Rezultati propustljivosti gasova odabranih ambalažnih materijala su prikazani u tabeli 16.

Tabela 16. Propustljivost gasova ($\text{cm}^3 \text{m}^{-2}/24 \text{h}$)

Uzorak	CO₂	O₂	N₂	Vazduh
Ambalaža 5L	26,6	11,4	7,9	3,5
Ambalaža 7L	23,2	9,8	4,7	2,2

Iz tabele 16 se može uočiti da sedmoslojna ambalaža poseduje nešto bolje barijerne karakteristike za sve ispitivane gasove. Prema podacima u literaturi (Kirwan i Strawbridge, 2003), pojedinačne vrednosti propustljivosti kiseonika se kreću od 50 do 75 ($\text{cm}^3 \text{m}^{-2}/24 \text{h}$) za PA, 100-150 ($\text{cm}^3 \text{m}^{-2}/24 \text{h}$) za PET, 2000-4000 ($\text{cm}^3 \text{m}^{-2}/24 \text{h}$) za PP, a 6500-8500 ($\text{cm}^3 \text{m}^{-2}/24 \text{h}$) za PE. Prema tome, oba ispitana ambalažna materijala pokazuju dobre barijerne karakteristike na ispitivane gasove.

Na osnovu eksperimentalnih rezultata propustljivosti kiseonika odabranih ambalažnih materijala, uz poznavanje površine ambalaže i zapremine proizvoda, moguće je izračunati zapreminu kiseonika koja bi mogla biti propuštena kroz ambalažu tokom zadatog perioda skladištenja. Ovim se olakšava odabir sakupljača kiseonika odgovarajućeg kapaciteta.

Prosečna zapremina pite sa sirom pakovane u petoslojnu i sedmoslojnu ambalažu je iznosila 475 ml. Masa proizvoda upakovanih u petoslojnu i sedmoslojnu ambalažu je iznosila približno 450 g.

Površina petoslojne i sedmoslojne ambalaže u dodiru sa vazduhom je iznosila 0,07 m². Propustljivost kiseonika petoslojne ambalaže je iznosila 11,4 ml/(m²24h), a sedmoslojne ambalaže 9,8 ml/(m²24h). Broj dana skladištenja je iznosio 122 (16 nedelja).

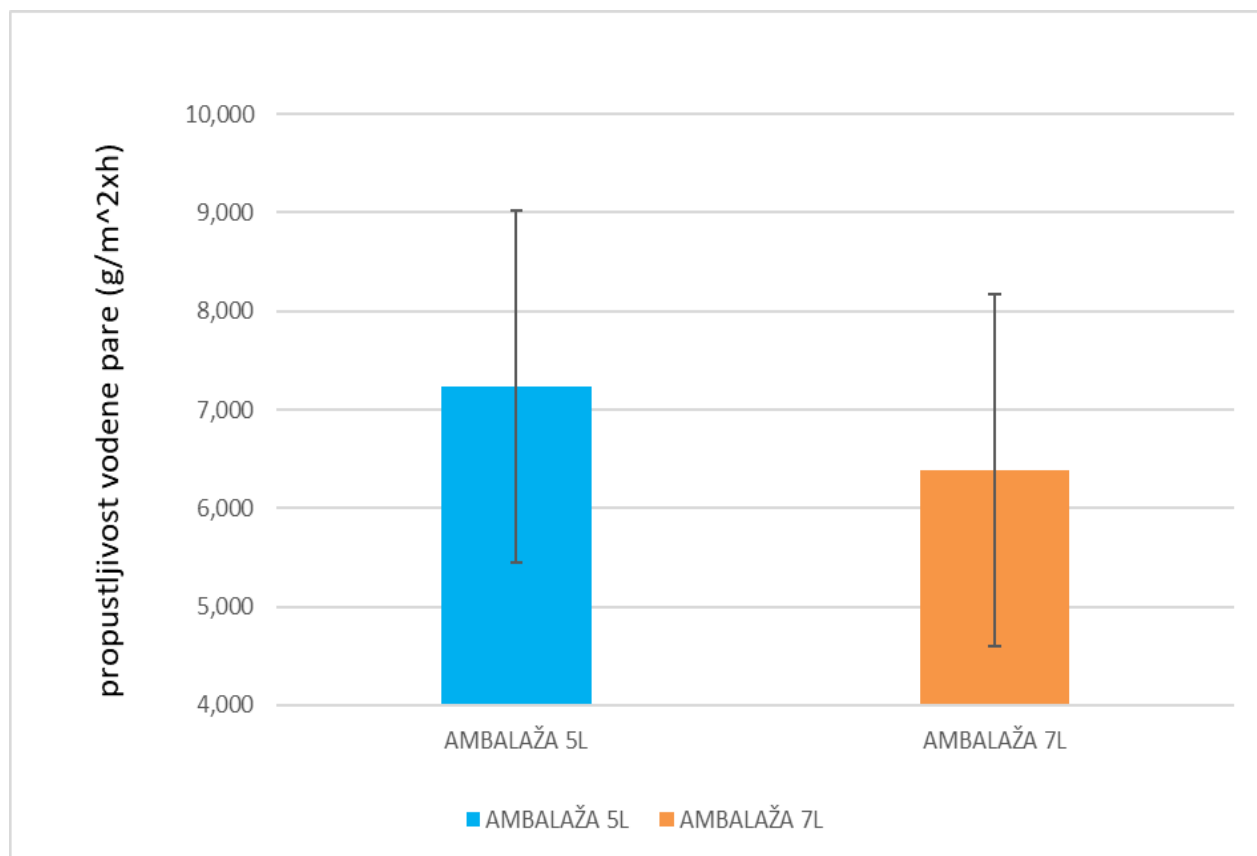
Ukupna zapremina kiseonika koja će biti propuštena kroz petoslojnu ambalažu nakon zadanog perioda skladištenja iznosi 102,61 ml, od čega zapremina kiseonika u trenutku pakovanja iznosi 5,25 ml.

Ukupna zapremina kiseonika koja će biti propuštena kroz sedmoslojnu ambalažu nakon zadanog perioda skladištenja iznosi 88,94 ml, od čega zapremina kiseonika u trenutku pakovanja iznosi 5,25 ml.

Pretpostavka je da je upotreba sakupljača kiseonika od 100 ml dovoljna da omogući skladištenje pite sa sirom, pakovane u obe vrste ambalaže, u periodu od 122 dana (16 nedelja), bez promene koncentracije kiseonika veće od 1%.

Propustljivost vodene pare

Barijerne sposobnosti ambalaže prema vodenoj pari su od izuzetnog značaja za održivost prehrambenih proizvoda. Propustljivost vlage ambalaže može uticati na promenu teksture i pojavu mikrobiološkog kvara, ili suprotno, može doći do migracije vlage od unutrašnjosti proizvoda prema spolja. Takođe, može uzrokovati senzorske promene, promenu teksture i smanjenje mase (Kirwan i Strawbridge, 2003). Rezultati propustljivosti vodene pare ispitivanih ambalažnih materijala su prikazani na slici 23.

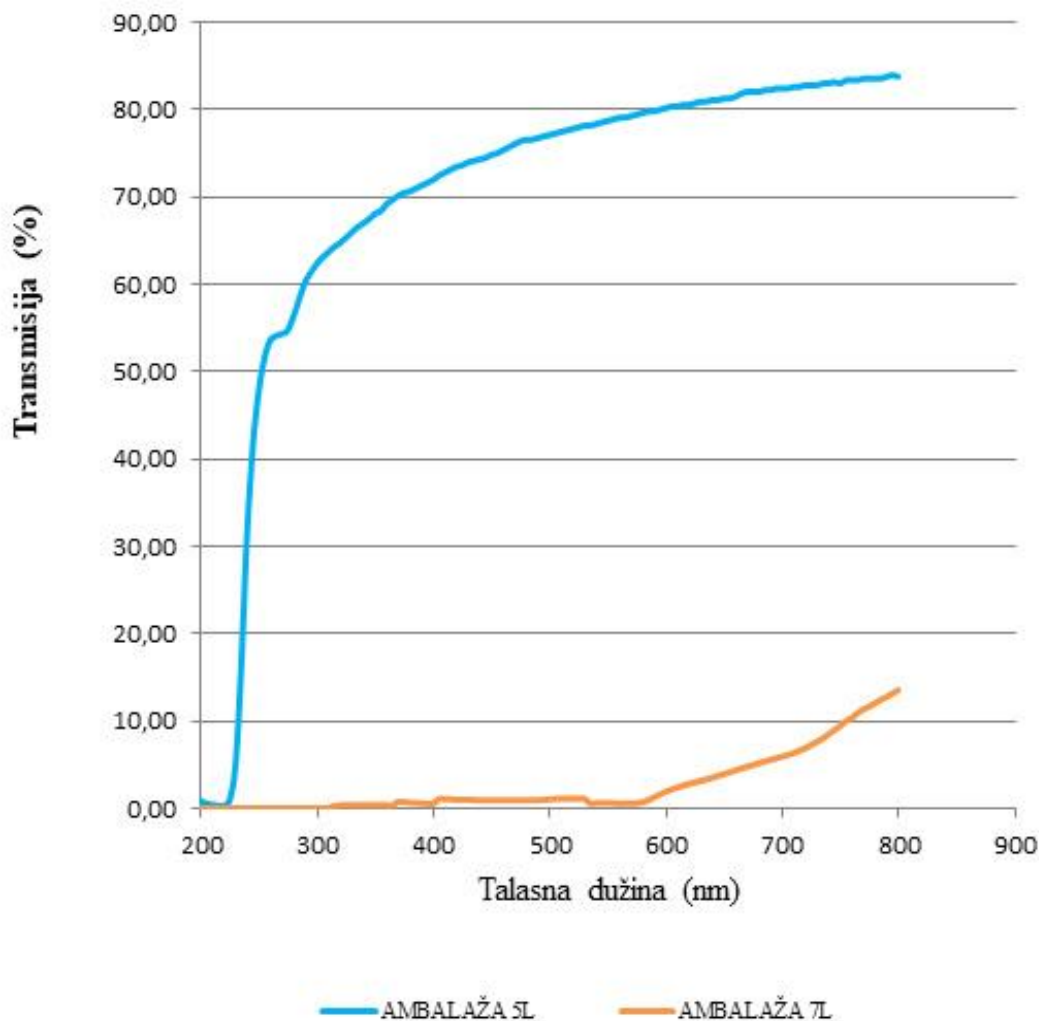


Slika 23. Propustljivost vodene pare ambalažnih materijala (g/m²h)

Propustljivost petoslojnog ambalažnog materijala je iznosila $7,235 \pm 2,51$ g/m²h, a propustljivost sedmoslojnog ambalažnog materijala $6,387 \pm 1,79$ g/m²h. Propustljivost sedmoslojnog ambalažnog materijala prema vodenoj pari je niža u odnosu na propustljivost petoslojnog ambalažnog materijala, što se može objasniti različitim sastavom ambalažnih materijala. Sedmoslojni ambalažni materijal poseduje dodatni barijerni sloj koji se sastoji od PET-a, čija se propustljivost kreće u granicama 0,4-0,7 nmol/m•s/dan i poseduje dva sloja PE čije su vrednosti propustljivosti 0,2-0,4 nmol/m•s/dan (Kim i sar., 2014). S druge strane, petoslojni ambalažni materijal poseduje PP spoljašnji sloj, čija su barijerna svojstva u odnosu na vodenu paru izuzetno dobra (0,06-0,2 nmol/m•s/dan) i jedan unutrašnji sloj PE. Oba ispitana ambalažna materijala pokazuju dobre barijerne karakteristike vodene pare.

Propustljivost svetlosti

Propustljivost svetlosti je važan parametar koji se uzima u obzir prilikom određivanja barijernih sposobnosti ambalaže, jer izlaganje upakovane hrane zracima vidljivog ili UV spektra može uticati na oksidativne promene masti, vitamina ili drugih organskih jedinjenja i time dovesti do promene boje, ukusa ili nutritivnog sastava (Singh i Singh, 2005). Rezultati propustljivosti svetlosti (transmisije) ispitanih ambalažnih jedinica su prikazani na slici 24.



Slika 24. Transmisija svetlosti ispitanih ambalažnih materijala (%)

Na osnovu dobijenih rezultata konstatuje se visoka propustljivost svetlosti za uzorak petoslojnog ambalažnog materijala. U UV oblasti talasnih dužina, od 250 do 400 nm uočava se nagli skok

vrednosti transmisije. Izmerene vrednosti prelaze 70% za talasne dužine preko 400 nm, a maksimalna vrednost je izmerena na 800 nm i iznosi 83,75%.

S druge strane, sedmoslojni ambalažni materijal predstavlja dobru barijeru za svetlost u celokupnom opsegu zadatih talasnih dužina. Diskretan porast vrednosti transmisije uočava se u oblasti talasnih dužina 600-800 nm. Maksimalna vrednost transmisije za sedmoslojni ambalažni materijal iznosi 13,55% na 800 nm. Sedmoslojna ambalaža predstavlja znatno bolju barijeru za svetlost u odnosu na petoslojnu, što može biti posledica prisustva PET sloja (Sackey i sar., 2015), različite debljine ambalažnih materijala (Nelson i Cathart, 1984), kao i orijentacije polimera, različite kristalnosti ili dodatka aditiva (Singh i Singh, 2005). Ipak, najznačajniji faktor koji utiče na dobijene rezultate je prisustvo štampe na sedmoslojnom materijalu, dok je petoslojni transparentan.

4.1.3. KONCENTRACIJA GASOVA U AMBALAŽI

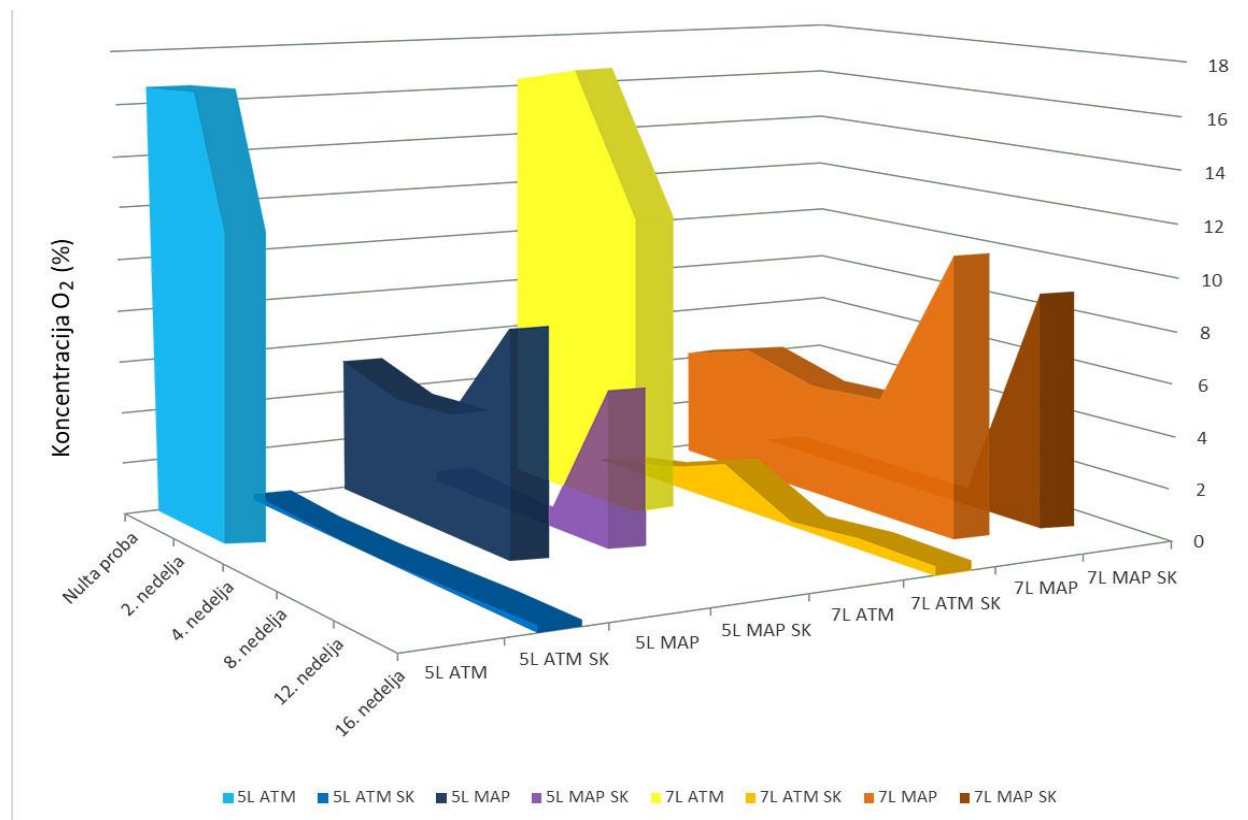
Praćenje koncentracije gasova u ambalaži, iznad upakovanog proizvoda, predstavlja veoma značajan segment ispitivanja održivosti pite sa sirom. Promene polaznih koncentracija gasova unutar ambalaže utiču na fizičko-hemijske, senzorske i mikrobiološke promene proizvoda. Stoga je od presudnog značaja upotreba ambalažnog materijala dobrih barijernih karakteristika na propustljivost gasova. Rezultati promene koncentracije gasova tokom perioda skladištenja su prikazani u tabeli 17.

Tabela 17. Koncentracija gasova u ambalaži tokom skladištenja (%)

R.b r.	Ozna ka uzork a	Vrst a gasa	Period ispitivanja (nedelja)					
			0	2	4	8	12	16
1.	5L ATM	O ₂	16,67±0,40 ^e	16,87±0,06 ^e	7,40±6,60 ^{abc}	/	/	/
		CO ₂	1,67±0,12 ^{abc}	0,07±0,15 ^{ab}	10,17±5,27 ^{abcde}	/	/	/
		N ₂	81,67±0,51 ^{abcdef}	82,47±0,2 ^{abcde}	82,43±1,50 ^{abcde}	/	/	/
2.	5L ATM SK	O ₂	0,17±0,29 ^a	0,00±0,00 ^a	0,00±0,00 ^a	0,07±0,06 ^a	0,20±0,10 ^a	0,20±0,00 ^a
		CO ₂	1,33±0,06 ^{abc}	0,70±0,17 ^{ab}	1,60±0,60 ^{abc}	0,37±0,23 ^{ab}	0,87±0,38 ^{abc}	1,80±2,17 ^{abc}
		N ₂	98,50±0,27 ^{lm}	99,30±0,17 ^{lm}	98,40±0,61 ^{lm}	99,57±0,21 ^m	98,93±0,31 ^{lm}	98,00±2,17 ^{klm}
3.	5L MAP	O ₂	5,27±7,91 ^{abc}	4,50±2,43 ^{abc}	4,67±0,32 ^{abc}	8,67±3,92 ^{bc}	/	/
		CO ₂	22,6±14,82 ^{efg}	17,37±1,38 ^{defg}	10,2±0,56 ^{abcde}	8,17±3,33 ^{abcde}	/	/
		N ₂	72,13±6,93 ^{ab}	78,13±1,06 ^{abcde}	85,13±0,72 ^{cd}	83,17±4,35 ^{bcdefg}	/	/
4.	5L MAP SK	O ₂	0,30±0,52 ^a	0,00±0,00 ^a	0,00±0,00 ^a	6,03±2,47 ^{abc}	/	/
		CO ₂	24,27±2,93 ^g	12,13±0,38 ^{bcdef}	6,13±1,77 ^{abcd}	10,27±6,76 ^{abcde}	/	/
		N ₂	75,43±2,54 ^{abc}	87,87±0,38 ^{efgh}	93,87±1,77 ^{hijklm}	83,7±9,01 ^{bcdefgh}	/	/
5.	7L ATM	O ₂	16,33±0,06 ^{de}	17,00±1,13 ^e	11,63±0,29 ^{cd}	/	/	/
		CO ₂	1,43±0,15 ^{abc}	1,5±0,10 ^{abc}	4,77±2,12 ^{abc}	/	/	/
		N ₂	82,23±0,12 ^{abcde}	81,50±1,04 ^{abcde}	83,60±2,4 ^{bcdefgh}	/	/	/
6.	7L ATM SK	O ₂	0,00±0,00 ^a	0,50±0,87 ^a	1,53±2,16 ^{ab}	0,13±0,23 ^a	0,40±0,27 ^a	0,33±0,23 ^a
		CO ₂	0,97±0,32 ^{abc}	1,3±0,00 ^{abc}	2,33±0,78 ^{abc}	0,90±0,46 ^{abc}	7,30±11,43 ^{abcde}	0,50±0,00 ^{ab}
		N ₂	99,03±0,32 ^{lm}	98,20±0,87 ^{lm}	96,13±1,99 ^{ijklm}	98,90±0,52 ^l	92,30±11,69 ^{ghijklm}	99,30±0,00 ^{lm}
7.	7L MAP	O ₂	4,27±1,00 ^{abc}	5,07±3,58 ^{abc}	4,37±0,38 ^{abc}	4,53±0,10 ^{abc}	10,77±3,72 ^{cde}	/
		CO ₂	23,3±1,65 ^{fg}	17,53±4,15 ^{defg}	11,967±0,78 ^{bcdef}	8,07±0,92 ^{abcde}	0,13±0,15 ^a	/
		N ₂	72,43±0,85 ^a	77,47±0,76 ^{abcd}	83,67±0,40 ^{bcdefgh}	87,4±0,95 ^{defghij}	89,1±3,65 ^{fghijkl}	/
8.	7L MAP SK	O ₂	0,07±0,12 ^a	0,00±0,00 ^a	0,00±0,00 ^a	0,03±0,06 ^a	9,03±5,44 ^{bcd}	/
		CO ₂	22,10±0,20 ^{fg}	9,67±1,70 ^{abcde}	5,87±0,95 ^{abcde}	3,20±0,56 ^{abc}	0,00±0,00 ^a	/
		N ₂	77,83±0,31 ^{abcde}	90,33±1,70 ^{fg}	94,13±0,95 ^{ijklm}	96,77±0,51 ^j	90,97±5,44 ^{fghi}	/

^{a-m}Oznaka da se srednje vrednosti značajno statistički razlikuju na nivou p<0,05
/ - uzorci nisu ispitivani usled povećanog broja mikroorganizama

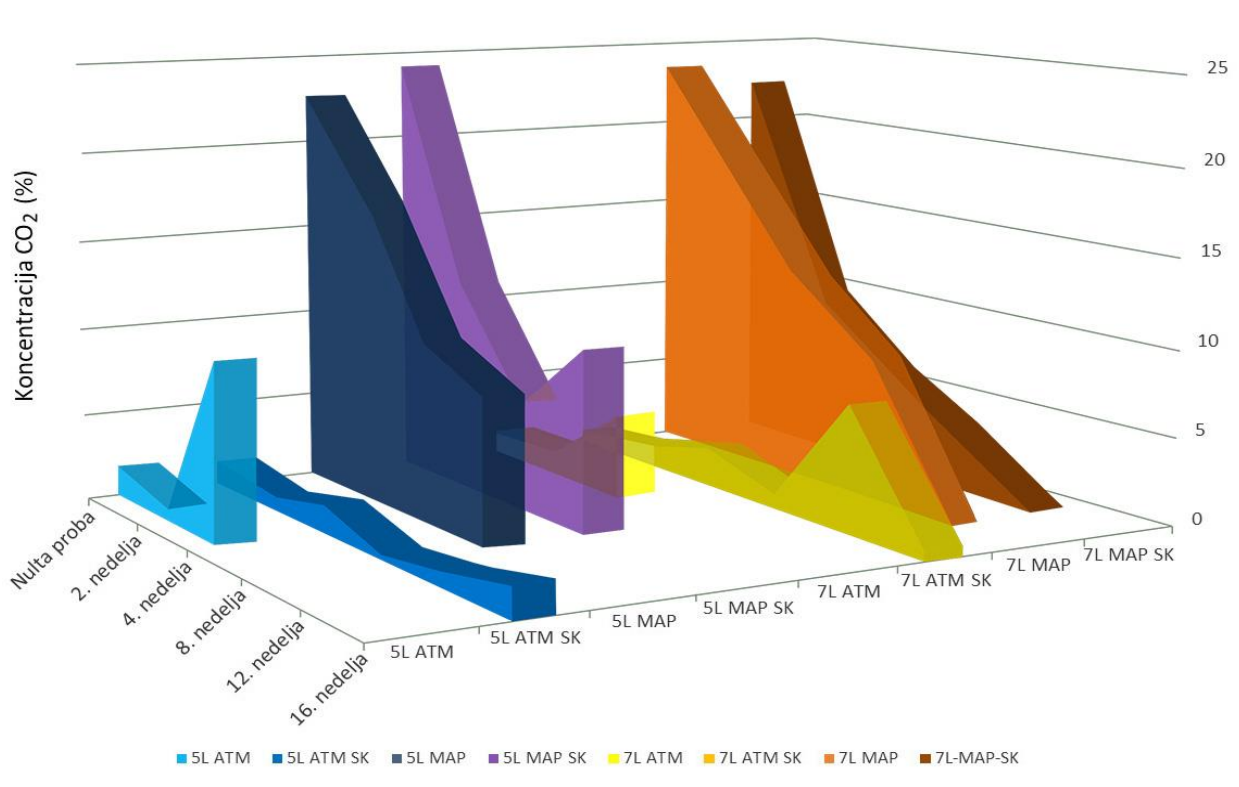
Rezultati predstavljeni u tabeli 17 su prikazani uz pomoć trodimenzionalnih poligona promene koncentracije kiseonika (slika 25) i ugljen-dioksida (slika 26) tokom perioda skladištenja.



Slika 25. Koncentracija kiseonika (O_2) u ambalaži tokom perioda skladištenja (%)

Kod uzoraka označenih sa 5L ATM koncentracija kiseonika je bila oko 17% u toku prve dve nedelje ispitivanja, da bi nakon četvrte nedelje pala na $7,4 \pm 6,6\%$. Koncentracija O_2 uzoraka 5L ATM SK se kretala ispod $0,2 \pm 0,1$ tokom svih šesnaest nedelja ispitivanja. Kod uzoraka 5L MAP nakon četvrte nedelje ispitivanja koncentracija O_2 je iznosila $4,67 \pm 0,32\%$, da bi vrednost rasla do $8,67 \pm 3,92\%$. Slično poput uzoraka pakovanih u petoslojnu ambalažu u atmosferi vazduha, uzorci označeni kao 7L ATM beleže pad koncentracija kiseonika sa $16,33 \pm 0,06\%$ na $11,63 \pm 0,29\%$, nakon četvrte nedelje skladištenja. Uzorci 7L ATM SK su tokom šesnaest nedelja skladištenja beležili vrednosti kiseonika do $0,4 \pm 0,27\%$ osim nakon četvrte nedelje, kada je ta vrednost iznosila nešto više $1,53 \pm 2,16\%$. U slučaju uzoraka 7L MAP dolazi do naglog porasta koncentracije kiseonika do $10,77 \pm 3,7\%$ nakon dvanaeste nedelje skladištenja. Takođe, kod uzoraka 7L MAP SK dolazi do porasta koncentracije kiseonika nakon dvanaeste nedelje skladištenja $9,03 \pm 5,44\%$. Zapaženo je da u uzorcima koji su pakovani u modifikovanoj atmosferi u prisustvu sakupljača kiseonika (5L MAP SK i 7L MAP SK) dolazi do porasta kiseonika unutar pakovanja ranije nego što se to dešava kod uzoraka koji su pakovani u atmosferi vazduha. Siverstvik (2007) je naveo da

pojedine vrste sakupljača kiseonika na bazi gvožđa (Ageless SS Mitsubishi) neplanirano vezuju deo ugljen-dioksida, formirajući gvožđe-karbonat. Ovo jedinjenje u sledećem koraku vezuje kiseonik, međutim, apsorpcija kiseonika je usporena, a kapacitet sakupljača umanjen u značajnoj meri. Prema tome, zajednička upotreba sakupljača kiseonika CHUNGWANG i MAP-a ne pruža optimalne rezultate.



Slika 26. Koncetracija ugljen-dioksida (CO₂) u ambalaži tokom perioda skladištenja (%)

Koncentracija ugljen-dioksida kod uzoraka 5L ATM je porasla nakon četvrte nedelje skladištenja sa $1,67 \pm 0,12\%$ (početna vrednost) do $10,17 \pm 5,27\%$. U slučaju uzoraka 5L ATM SK vrednosti CO₂ nisu prelazile vrednost $1,8 \pm 2,17\%$ nakon šesnaest nedelja skladištenja. Kod uzoraka 5L MAP koncentracija CO₂ je sukcesivno padala od početne vrednosti od $22,6 \pm 14,82\%$, pa sve do $8,17 \pm 3,3\%$, nakon osme nedelje skladištenja. Međutim, kod uzoraka 5L MAP SK je vrlo uočljiv pad vrednosti u četvrtoj nedelji od početnih $24,27 \pm 2,93\%$ do $6,13 \pm 1,77\%$, a nakon toga ponovni porast u osmoj nedelji ispitivanja $10,27 \pm 6,76\%$. U uzorcima 7L ATM se uočava blagi porasti koncentracije CO₂ nakon četiri nedelje skladištenja $4,77 \pm 2,12\%$. Kod uzoraka označenih sa 7L ATM SK vrednost ugljen-dioksida nije prelazila $2,33 \pm 0,78\%$ tokom šesnaest nedelja skladištenja,

osim u dvanaestoj nedelji ispitivanja $7,3 \pm 11,43\%$, kada je uočeno oštećenje ambalaže uzorka 7L ATM SK 15. Kasnije je utvrđena i mikrobiološka kontaminacija. Sukcesivan pad koncentracije CO_2 tokom dvanaest nedelja skladištenja kod uzoraka 7L MAP se kretao u intervalu od $23,3 \pm 1,65\%$ do $0,13 \pm 0,15\%$. Slično se dešavalo i kod uzoraka pod oznakom 7L MAP SK jer je vrednost opala sa početnih $22,1 \pm 0,2\%$ na $0 \pm 0\%$.

Evidentno je da koncentracija CO_2 sporije opada kod uzoraka pakovanih u MAP-u koji ne poseduju sakupljač kiseonika (5L MAP i 7L MAP). Budući da sakupljač vezuje izvestan deo O_2 iz ukupne koncentracije CO_2 , to dovodi do snižavanja ukupne koncentracije CO_2 kod ovih uzoraka i u skladu je sa gore navedenim tvrdnjama.

Porast CO_2 kod uzoraka pita tokom skladištenja se može povezati sa porastom broja mikroorganizama, pri čemu Mattila i sar. (1990) navode korelaciju između porasta koncentracije ugljen-dioksida i mikrobiološkog rasta u aseptičnim pakovanjima supe.

Prateći uzorke pite sa sirom koji su upakovani u petoslojni ambalažni materijal, koncentracija merenih gasova u pakovanju se najmanje menjala tokom skladištenja kod uzoraka 5L ATM SK pakovanih u atmosferi vazduha, uz dodatak sakupljača kiseonika. Nešto veće promene koncentracije gasova tokom skladištenja su zabeležene kod uzoraka 5L MAP pakovanih u modifikovanoj atmosferi. Uzorci 5L MAP SK pakovani u modifikovanoj atmosferi sa dodatkom sakupljača kiseonika su prikazali veće promene koncentracije merenih gasova u odnosu na uzorke 5L MAP, koji su pakovani bez sakupljača kiseonika. Najveće promene koncentracije gasova, za najkraći period skladištenja su prikazali uzorci 5L ATM, pakovani u atmosferi vazduha.

Kod uzoraka pite sa sirom upakovanih u sedmoslojni ambalažni materijal, koncentracija merenih gasova u pakovanju se najmanje menjala tokom skladištenja kod uzoraka 7L ATM SK, koji su pakovani u atmosferi vazduha, uz dodatak sakupljača kiseonika. Nešto veće promene koncentracije gasova tokom skladištenja su zabeležene kod uzoraka 7L MAP pakovanih u modifikovanoj atmosferi. Uzorci 7L MAP SK pakovani u modifikovanoj atmosferi sa dodatkom sakupljača kiseonika su prikazali veće promene koncentracije merenih gasova, u odnosu na uzorke 7L MAP, pakovane bez sakupljača kiseonika. Najveće promene koncentracije gasova, za najkraći period skladištenja su prikazali uzorci 7L ATM, pakovani u atmosferi vazduha.

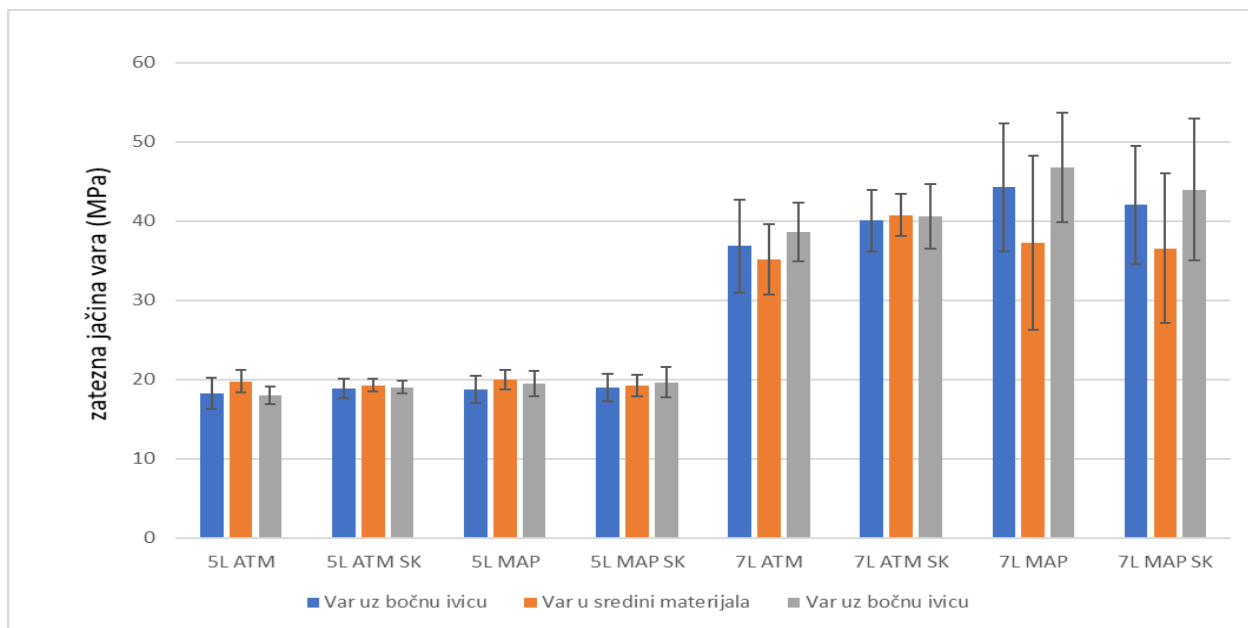
Kada se uporede svi uzorci, pakovani u petoslojnu i sedmoslojnu ambalažu, najmanje oscilacije merenih gasova pokazuje uzorak 5L ATM SK, a odmah zatim 7L ATM SK. Sedmoslojna

ambalaža pokazuje nešto bolje barijerne karakteristike. To jest ona pokazuje manje promene koncentracije gasova, u slučaju pakovanja u modifikovanoj atmosferi, bez dodatka sakupljača kiseonika 7L MAP, u odnosu na petoslojnu ambalažu 5L MAP. Suprotno, kod uzoraka pakovanih u modifikovanoj atmosferi sa sakupljačem kiseonika, veće promene koncentracije prikazuju uzorci pite sa sirom pakovani u sedmoslojnu ambalažu 7L MAP SK, u odnosu na pite sa sirom pakovane u petoslojnu ambalažu 5L MAP SK. Kod uzoraka pakovanih u atmosferi vazduha bez dodatka sakupljača kiseonika, veće promene koncentracije gasova su zabeležene kod uzoraka pakovanih u petoslojnu ambalažu 5L ATM, u odnosu na uzorke pakovane u sedmoslojnu ambalažu 7L ATM.

4.1.4. ISPITIVANJE KVALITETA FORMIRANIH VAROVA AMBALAŽE

Zatezna jačina i mikroporoznost varova

Zatezna jačina vara se odnosi na kvalitet formiranog vara nakon procesa pakovanja proizvoda, a direktno je vezana za sposobnost formiranja vara ispitivanog ambalažnog materijala. Vrednosti zatezne jačine ispitivanih uzoraka ambalaže su prikazane na slici 27.



Slika 27. Zatezna jačina varova uz bočnu ivicu i na sredini ispitivane ambalaže (MPa)

Zatezna jačina varova petoslojne ambalaže se kretala u granicama od 17,99 do 19,94 MPa. Prosečna vrednost je iznosila $19,08 \pm 0,59$ MPa. Var u sredini materijala je posedovao najvišu vrednost u odnosu na ostale varove kod uzoraka 5L ATM ($19,76 \pm 1,4$ MPa), 5L ATM SK

(19,28±0,8MPa) i 5L MAP (19,94±1,26MPa). Kod uzorka 5L MAP SK je izmerena najviša vrednost bočnog vara (19,61MPa±1,9). Kod uzorka petoslojne ambalaže prilikom određivanja zatezne jačine varova je najčešće dolazilo do raslojavanja i razdvajanja slojeva ambalaže.

U slučaju sedmoslojne ambalaže, vrednosti zatezne jačine varova su iznosile prosečno od 35,15 do 46,75 MPa. Prosečna vrednost jačine varova sedmoslojne ambalaže je iznosila 40,22±3,55 MPa. Bočni varovi uzorka 7L ATM (38,62±3,72), 7L MAP (46,75±6,94), 7L MAP SK (43,95±8,91) su posedovali najviše izmerene vrednosti. U slučaju uzorka 7L ATM SK, srednji var je imao najvišu vrednost zatezne jačine vara (40,76±2,69). Prilikom određivanja zatezne jačine varova, kod sedmoslojne ambalaže je najčešće dolazilo do kidanja materijala uz var i kidanje materijala preko vara.

U slučaju merenja zatezne jačine varova atmosfera pakovanja nije imala nikakvu ulogu, jer nema uticaja na proces formiranja vara. Suprotno, vrsta ambalaže pravi statistički značajnu razliku ($p < 0,05$), pri čemu sedmoslojna ambalaža poseduje duplo veću vrednost zatezne jačine varova.

Mikroporoznost ili hermetičnost vara je od izuzetnog značaja za održivost upakovanog proizvoda. Najmanja pora, nastala usled neravnomernog procesa zavarivanja ili nepodešenih parametara, predstavlja površinu kroz koju je moguća: penetracija vlage unutar proizvoda, sušenje proizvoda, prodor kiseonika, gubitak gasova MAP-a, mikrobiološka kontaminacija i sl.

Analizom 144 uzorka ambalaže upakovanih pita sa sirom, nije utvrđena mikroporoznost ni jednog uzorka. Može se konstatovati sledeće: da su od odabranih ambalažnih materijala kese dobro formirane, pita pakovana u ambalažu je dobro zatvorena, varovi su hermetični.

4.2. UPAKOVANI PROIZVOD

4.2.1. FIZIČKO-HEMIJSKE KARAKTERISTIKE PITE SA SIROM

Kiselinski stepen

Tokom perioda skladištenja se dešavaju različite promene unutar proizvoda usled delovanja enzima, kiseonika ili mikrobioloških aktivnosti. Na ovaj način dolazi do razlaganja jedinjenja veće molekulske mase na jedinjenja manje molekulske mase i kiseline, koje mogu uticati na organoleptičke promene proizvoda. Naglo povećanje kiselinskog stepena može biti indikator bitnih strukturnih promena proizvoda. Rezultati kiselinskog stepena uzoraka pite sa sirom prikazani su u tabeli 18.

Tabela 18. Kiselinski stepen uzoraka pita sa sirom tokom perioda skladištenja
(ml(1molNaOH/l))

R.br.	Oznaka	Period ispitivanja (nedelja)					
		0	2	4	8	12	16
1.	5L ATM	2,27±0,06 ^{ab}	2,19±0,06 ^a	/	/	/	/
2.	5L ATM SK	2,29±0,16 ^{ab}	2,19±0,11 ^a	2,23±0,09 ^a	2,42±0,20 ^{ab}	2,72±0,16 ^{abc}	2,72±0,08 ^{abc}
3.	5L MAP	2,22±0,07 ^a	2,18±0,09 ^a	2,57±0,14 ^{ab}	/	/	/
4.	5L MAP SK	2,22±0,04 ^a	2,27±0,05 ^{ab}	2,44±0,12 ^{ab}	/	/	/
5.	7L ATM	2,22±0,12 ^a	2,19±0,08 ^a	/	/	/	/
6.	7L ATM SK	2,19±0,02 ^a	2,24±0,09 ^{ab}	2,27±0,08 ^{ab}	2,43±0,16 ^{ab}	2,67±0,49 ^{ab}	2,69±0,26 ^{ab}
7.	7L MAP	2,19±0,07 ^a	2,24±0,12 ^{ab}	2,53±0,09 ^{ab}	2,73±0,44 ^{abc}	2,80±0,12 ^{bc}	/
8.	7L MAP SK	2,18±0,06 ^a	2,19±0,02 ^a	2,42±0,11 ^{ab}	2,40±0,12 ^{ab}	3,27±0,59 ^c	/

^{a-c}Oznaka da se srednje vrednosti značajno statistički razlikuju na nivou p<0,05
/ - uzorci nisu ispitivani usled povećanog broja mikroorganizama

Rezultati kiselinskog stepena pita sa sirom su se kretali u intervalu od $2,18 \pm 0,06$ do $3,27 \pm 0,59$. Vrednosti kiselinskog stepena su rasle nakon svakog narednog perioda ispitivanja, osim kod uzoraka 5L ATM, 5L ATM SK, 5L MAP i 7L MAP. Kod njih su u drugoj nedelji vrednosti kiselinskog stepena bile niže u odnosu na nultu probu ispitivanja. Nakon osme nedelje ispitivanja vrednost kiselinskog stepena je iznosila preko $2,40 \pm 0,12$ kod svih ispitivanih uzoraka. Maksimalna izmerena vrednost kiselinskog stepena je iznosila $3,27 \pm 0,59$ u dvanaestoj nedelji ispitivanja kod uzorka 7L MAP SK. To se može povezati sa mikrobiološkom kontaminacijom pite sa sirom, koja je naknadno bila utvrđena. Nakon šesnaeste nedelje skladištenja kod uzoraka 5L ATM SK i 7L ATM SK, rezultati kiselinskog stepena su iznosili $2,72 \pm 0,08$ i $2,69 \pm 0,26$.

Prema standardnoj laboratorijskoj praksi, uzorci koji su sadržali povećan broj mikroorganizama, nisu podvrgnuti ispitivanju kiselinskog stepena.

Peroksidni broj

Peroksidni broj predstavlja tradicionalnu metodu za određivanja primarnih produkata oksidativne degradacije masti. Ovom metodom se može pratiti nastanak hidroperoksida, produkata autooksidacije masnih kiselina. Rezultati peroksidnog broja prikazani su u tabeli 19.

Tabela 19. Peroksidni broj uzoraka pita sa sirom tokom skladištenja (mmol/kg)

R.br.	Oznaka	Period ispitivanja (nedelja)					
		0	2	4	8	12	16
1.	5L ATM	$4,47 \pm 0,38^{ab}$	$4,30 \pm 0,17^a$	/	/	/	/
2.	5L ATM SK	$4,37 \pm 0,35^{ab}$	$4,50 \pm 0,17^{ab}$	$4,47 \pm 0,25^{ab}$	$4,83 \pm 0,71^{ab}$	$5,70 \pm 0,56^b$	$7,43 \pm 0,57^c$
3.	5L MAP	$4,70 \pm 0,10^{ab}$	$4,33 \pm 0,25^{ab}$	$4,63 \pm 0,25^{ab}$	/	/	/
4.	5L MAP SK	$4,30 \pm 0,27^a$	$4,43 \pm 0,404^{ab}$	$4,56 \pm 0,29^{ab}$	/	/	/
5.	7L ATM	$4,57 \pm 0,32^{ab}$	$4,33 \pm 0,32^{ab}$	/	/	/	/
6.	7L ATM SK	$4,50 \pm 0,36^{ab}$	$4,17 \pm 0,12^a$	$4,50 \pm 0,30^{ab}$	$4,77 \pm 0,21^{ab}$	$5,10 \pm 0,26^{ab}$	$7,10 \pm 0,70^c$
7.	7L MAP	$4,10 \pm 0,10^a$	$4,53 \pm 0,15^{ab}$	$4,60 \pm 0,35^{ab}$	$4,90 \pm 0,46^{ab}$	$12,23 \pm 1,17^d$	/
8.	7L MAP SK	$4,43 \pm 0,06^{ab}$	$4,33 \pm 0,23^{ab}$	$4,50 \pm 0,35^{ab}$	$4,87 \pm 0,60^{ab}$	$12,47 \pm 1,17^d$	/

^{a-d}Oznaka da se srednje vrednosti značajno statistički razlikuju na nivou $p < 0,05$
/ - uzorci nisu ispitivani usled povećanog broja mikroorganizama

Vrednosti peroksidnog broja ispitivanih pita sa sirom tokom procesa skladištenja su bile u granicama od $4,10 \pm 0,1$ do $12,47 \pm 1,17$. Do dvanaeste nedelje ispitivanja vrednosti peroksidnog broja nisu prelazile vrednost $4,9 \pm 0,46$, međutim, u dvanaestoj nedelji su zabeležene najviše vrednosti peroksidnog broja za uzorke 7L MAP ($12,23 \pm 1,17$) i 7L MAP SK ($12,47 \pm 1,17$). Ove vrednosti statistički značajno odstupaju od ostalih merenja, u intervalu $p < 0,05$ i najverovatnije su povezane sa povećanim brojem mikroorganizama uzoraka pita, koje su naknadno utvrđene. Nakon šesnaeste nedelje skladištenja uzorci 5L ATM SK i 7L ATM SK su dostigli vrednosti $7,43 \pm 0,57$ i $7,10 \pm 0,70$. Međutim, ova metoda treba da se kombinuje sa drugim metodama zbog pouzdanijih rezultata. Tako usled procesa skladištenja može doći do razlaganja hidoperoksida, ponekad i većom brzinom u odnosu na proces stvaranja novih hidoperoksida (Matthäus, 2010).

Prema standardnoj laboratorijskoj praksi, uzorci koji su sadržali povećan broj mikroorganizama, nisu podvrgnuti ispitivanju peroksidnog broja.

Aktivnost vode (a_w vrednost)

Osim uobičajene metode merenja sadržaja vlage proizvoda, u laboratorijskoj praksi se često pristupa merenju aktivnosti vode (a_w). Aktivnost vode se obično povezuje sa delovanjem mikroorganizama, tako da proizvodi čija je a_w vrednosti preko 0,7 predstavljaju povoljan supstrat za rast i razvoj plesni i bakterija. Vrednosti aktivnosti vode tokom skladištenja pite sa sirom su prikazane u tabeli 20.

Tabela 20. Aktivnosti vode (a_w) uzoraka pita sa sirom tokom skladištenja

R.br.	Oznaka	Period ispitivanja (nedelja)					
		0	2	4	8	12	16
1.	5L ATM	$0,95 \pm 0,01^b$	$0,95 \pm 0,01^b$	$0,94 \pm 0,01^{ab}$	/	/	/
2.	5L ATM SK	$0,95 \pm 0,01^b$	$0,95 \pm 0,02^b$	$0,95 \pm 0,01^b$	$0,94 \pm 0,02^b$	$0,93 \pm 0,02^{ab}$	$0,89 \pm 0,01^a$
3.	5L MAP	$0,95 \pm 0,01^b$	$0,95 \pm 0,01^b$	$0,93 \pm 0,04^{ab}$	$0,93 \pm 0,02^{ab}$	/	/
4.	5L MAP SK	$0,95 \pm 0,00^b$	$0,95 \pm 0,01^b$	$0,95 \pm 0,06^b$	$0,92 \pm 0,01^{ab}$	/	/
5.	7L ATM	$0,96 \pm 0,01^b$	$0,94 \pm 0,03^b$	$0,95 \pm 0,01^b$	/	/	/
6.	7L ATM SK	$0,95 \pm 0,01^b$	$0,95 \pm 0,01^b$	$0,94 \pm 0,03^b$	$0,95 \pm 0,01^b$	$0,91 \pm 0,02^{ab}$	$0,89 \pm 0,02^a$
7.	7L MAP	$0,96 \pm 0,01^b$	$0,93 \pm 0,02^{ab}$	$0,96 \pm 0,00^b$	$0,94 \pm 0,02^{ab}$	$0,92 \pm 0,02^{ab}$	/
8.	7L MAP SK	$0,95 \pm 0,01^b$	$0,95 \pm 0,01^b$	$0,95 \pm 0,01^b$	$0,94 \pm 0,02^b$	$0,91 \pm 0,02^{ab}$	/

^{a-b} Oznaka da se srednje vrednosti značajno statistički razlikuju na nivou $p < 0,05$
 / - uzorci nisu ispitivani usled povećanog broja mikroorganizama

Aktivnosti vode uzoraka pita sa sirom su se kretale od $0,96 \pm 0,01$ do $0,89 \pm 0,01$. Osetan pad a_w vrednosti je izmeren u osmoj nedelji kod uzoraka pakovanih u petoslojan ambalažni materijal (0,92-0,94). To se može povezati sa nešto slabijim barijernim karakteristikama u odnosu na propustljivost vlage ove vrste ambalaže. Nakon šesnaeste nedelje ispitivanja, a_w vrednosti uzoraka 5L ATM SK i 7L ATM SK su iznosile $0,89 \pm 0,01$ i $0,89 \pm 0,02$.

Aktivnost vode uzoraka pita sa sirom je opadala tokom perioda skladištenja, što je u skladu sa rezultatima Chochkov i sar. (2018), međutim, Ayub i sar. (2003) su naveli da se a_w vrednosti hleba tokom skladištenja od pet dana statistički značajno povećava.

Primetno je statistički značajno snižavanje a_w vrednosti, na nivou $p < 0,05$, kod uzoraka ispitivanih nakon dvanaeste i šesnaeste nedelje, što je najverovatnije posledica preraspodele vlage unutar proizvoda, pri čemu je deo slobodne vode prešao u oblik vezane vode usled dugotrajnog skladištenja.

Prema standardnoj laboratorijskoj praksi, uzorci koji su sadržali povećan broj mikroorganizama, nisu podvrgnuti ispitivanju aktivnosti vode.

Sadržaj vlage

Praćenje sadržaja vlage proizvoda može biti dobar pokazatelj promena koje su se dogodile tokom perioda skladištenja. Radi očuvanja početne vrednosti sadržaja vlage proizvoda, neophodno je primeniti ambalažne materijale dobrih barijernih karakteristika prema vodenoj pari. Povećanje vrednosti sadržaja vlage nakon perioda skladištenja ukazuje na pojavu kondenzacije, odnosno, suviše nizak sadržaj vlage na sušenje prehrambenog proizvoda. Rezultati sadržaja vlage prikazani su u tabeli 21.

Tabela 21. Sadržaj vlage uzoraka pita sa sirom tokom skladištenja (%)

R.b r.	Oznaka	Period ispitivanja (nedelja)					
		0	2	4	8	12	16
1.	5L ATM	35,18±0,86 ^a b	34,87±2,54 ^a b	30,23±1,7 ^a	/	/	/
2.	5L ATM SK	37,07±2,71 ^a b	37,91±3,26 ^a b	38,22±1,39 ^a b	36,84±2,59 ^a b	37,09±1,25 ^a b	35,31±3,00 ^a b
3.	5L MAP	33,81±3,35 ^a b	35,96±2,42 ^a b	35,87±2,35 ^a b	32,14±1,85 ^a b	/	/
4.	5L MAP SK	37,95±2,14 ^a b	36,14±3,14 ^a b	34,39±3,1 ^{ab}	31,49±2,36 ^a b	/	/
5.	7L ATM	36,02±3,60 ^a b	35,36±3,19 ^a b	30,28±2,24 ^a b	/	/	/
6.	7L ATM SK	38,38±2,70 ^a b	37,84±2,44 ^a b	36,23±2,74 ^a b	37,94±1,57 ^a b	35,04±4,60 ^a b	37,44±2,03 ^a b
7.	7L MAP	37,60±0,44 ^a b	38,23±0,82 ^a b	34,73±1,79 ^a b	35,05±3,94 ^a b	32,37±3,61 ^a b	/
8.	7L MAP SK	38,5±2,95 ^b	37,68±0,87 ^a b	37,2±2,27 ^{ab}	34,97±1,21 ^a b	32,38±1,34 ^a b	/

^{a-b}Oznaka da se srednje vrednosti značajno statistički razlikuju na nivou p<0,05
/ - uzorci nisu ispitivani usled povećanog broja mikroorganizama

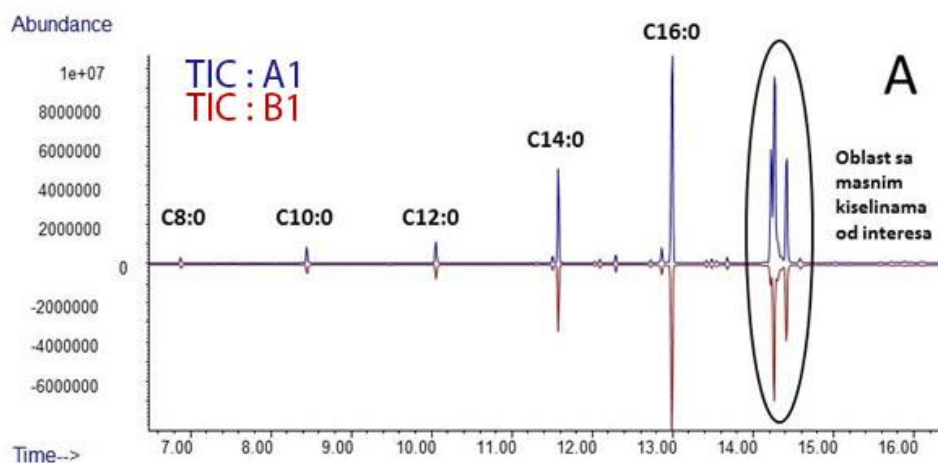
Prosečna vrednost sadržaja vlage proizvoda je bila u granicama od 38,5±2,95% do 30,23±1,7%. Praćenjem pojedinačnih rezultata, primetno je da je sadržaj vlage opadao tokom perioda skladištenja, naročito kod uzoraka pakovanih u atmosferi vazduha. Najnižu vrednost sadržaja vlage imao je uzorak 5L ATM (30,23±1,7%), nakon četvrte nedelje skladištenja. Rezultati vlažnosti proizvoda uzoraka 5L ATM SK (35,31±3%) i 7L ATM SK (37,44±2,03%) nakon šesnaest nedelja skladištenja se nisu statistički značajno promenili, na nivou p<0,05, u odnosu na nultu probu ispitivanja.

Prema standardnoj laboratorijskoj praksi, uzorci koji su sadržali povećan broj mikroorganizama, nisu podvrgnuti ispitivanju sadržaja vlage.

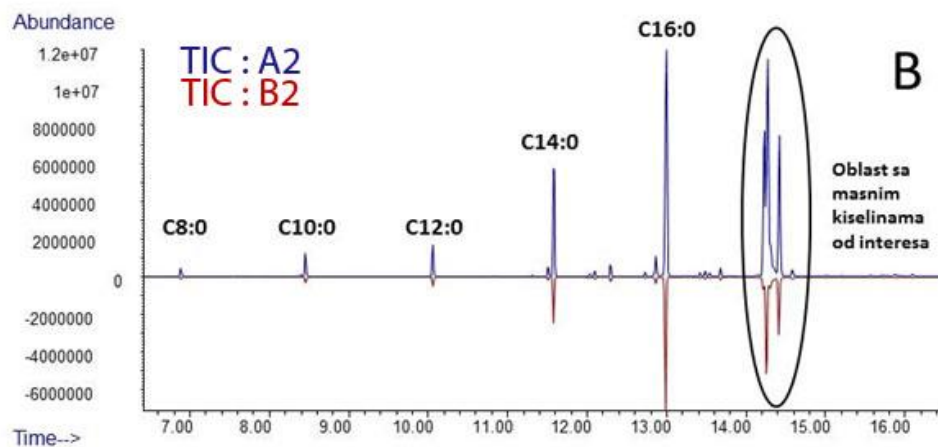
Analiza masnokiselinskog sastava

Kako bi pekarski proizvod - pita sa sirom bio upotrebljiv za konzumaciju nakon skladištenja, pretpostavka je da ne bi smelo doći do značajne promene sastava i sadržaja proizvoda. Masne kiseline pripadaju grupi nutrijenata kod kojih može doći do promene usled različitih faktora tokom perioda skladištenja, kao što su: temperatura, vlažnost vazduha, prisustvo kiseonika i sl.

Hromatogrami ukupne jonske struje (TIC – Total Ion Current) uzoraka krajeva pita (A1 i B1) i sredina pita sa sirom (A2 i B2), analiziranih odmah posle pakovanja (A1 i A2) i nakon skladištenja (B1 i B2) su prikazani na slici 28 i slici 29.



Slika 28. Hromatogrami ukupne jonske struje (TIC – total ion current) uzoraka krajeva pite sa sirom analiziranih odmah posle pakovanja (A1) i nakon skladištenja (B1)



Slika 29. Hromatogrami ukupne jonske struje (TIC – Total Ion Current) uzoraka sredine pite sa sirom analiziranih odmah posle pakovanja (A2) i nakon skladištenja (B2)

Posmatranjem dobijenih hromatograma može se uočiti velika sličnost pikova koji na njima eluiraju. Tabela 22 prikazuje detektovane masne kiseline, kao i njihov procentualni sastav u odnosu na najzastupljeniju heksadekansku (palmitinsku) kiselinu (100%).

Tabela 22. Detektovane masne kiseline i procentualni sastav u odnosu na palmitinsku kiselinu

R. br.	Masna kiselina	Oznaka	A1 %	A2 %	B1 %	B2 %
1.	Oktanska Kaprilna	C8:0	2,57	2,87	2,17	2,34
2.	<i>cis</i> -4-Decenska	C10:1 ω 6	0,60	0,64	0,22	0,43
3.	Dekanska Kaprinska	C10:0	7,06	7,90	6,19	6,43
4.	Dodekanska Laurinska	C12:0	9,42	10,37	8,31	8,46
5.	Tridekanska	C13:0	0,26	0,30	0,13	0,26
6.	12-Metil-tridekanska	C14:0	0,40	0,43	0,33	0,38
7.	<i>cis</i> -9-Tetradecenska Miristoleinska	C14:1 ω 5	2,86	3,09	3,10	2,50
8.	Tetradekanska Miristinska	C14:0	36,13	39,14	34,36	33,44
9.	12-Metil-tetradekanska	C15:0	1,58	1,81	1,60	1,66
10.	Pentadekanska	C15:0	3,58	3,96	3,81	3,76
11.	<i>cis</i> -9-Heksadecenska Palmitoleinska	C16:1 ω 7	6,28	5,66	5,83	5,25
12.	Heksadekanska Palmitinska	C16:0	100,00	100,00	100,00	100,00
13.	4-Metil-heksadekanska	C17:0	1,61	1,41	1,70	1,58
14.	<i>cis</i> -10-Heptadecenska	C17:1 ω 7	1,07	1,07	0,91	1,01
15.	Heptadekanska	C17:0	2,26	2,49	2,31	2,00
16.	<i>cis,cis</i> -9,12-Oktadekadienska Linolna	C18:2 ω 6	46,63	44,61	9,68	8,19
17.	<i>cis</i> -9-Oktadecenska Oleinska	C18:1 ω 9	93,18	93,36	87,75	82,31
18.	<i>trans</i> -9-Oktadecenska Elaidinska	C18:1 ω 9	11,89	13,38	14,38	11,71
19.	<i>trans</i> -15-Oktadecenska	C18:1 ω 9	3,10	3,02	3,45	4,73
20.	Oktadekanska Stearinska	C18:0	47,74	48,82	48,08	47,91
21.	<i>cis,trans</i> -9,11-Oktadekadienska Konjugovana linolna	C18:2 ω 6	2,17	2,35	2,67	2,46
22.	<i>cis</i> -10-Nonadecenska	C19:1 ω 9	0,29	0,33	0,29	0,28
23.	Nonadekanska	C19:0	0,30	0,28	0,24	0,25
24.	<i>cis</i> -11-Eikozenska Gondoinska	C20:1 ω 9	0,96	0,94	0,83	0,62
25.	Eikozanska Arahidinska	C20:0	0,81	0,87	0,60	0,53

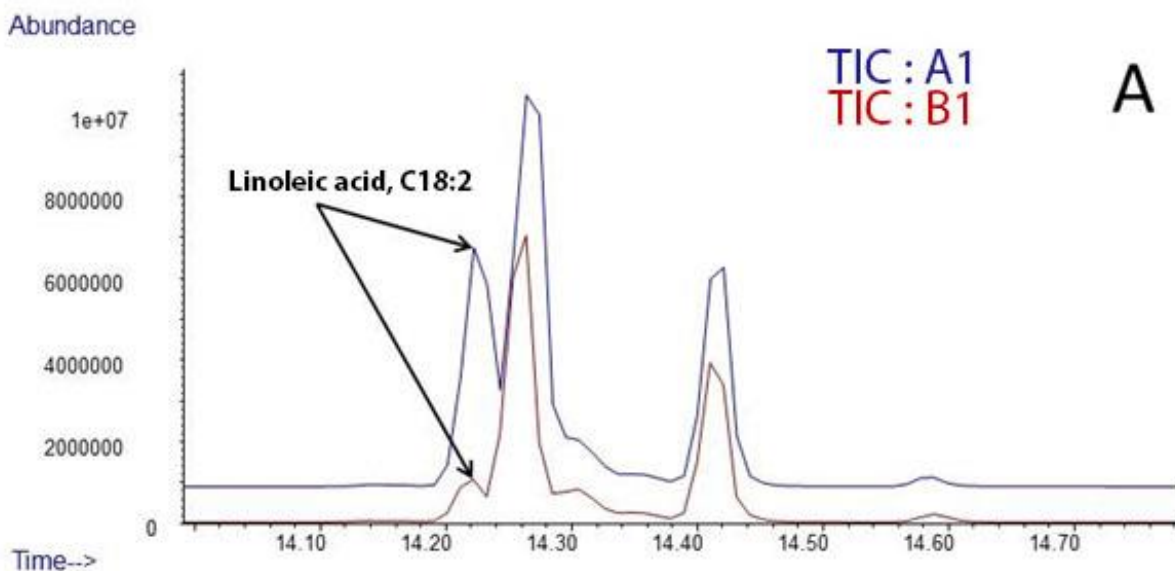
Prisutvo detektovanih masnih kiselina je karakteristično za mlečne masti, čiji sastav i sadržaj može varirati zavisno od različitih faktora (Moate i sar., 2007), koje potiču iz urde korišćene za proizvodnju pite.

Automatskom integracijom površina detektovanih metil-estara masnih kiselina, dobijaju se numeričke vrednosti površina pikova. One su uz vrednosti procentualnog udela svih masnih kiselina u odnosu na palmitinsku podvrgnute statističkoj obradi. Analizom varijanse (ANOVA) uzoraka pite sa sirom odmah posle pakovanja (A1 i A2) i pite sa sirom pakovane i analizirane nakon skladištenja (B1 i B2), za svaku detektovanu masnu kiselinu ponaosob, testirani su odnosi između varijanse međugrupnog varijabiliteta i varijanse unutargrupnog varijabiliteta.

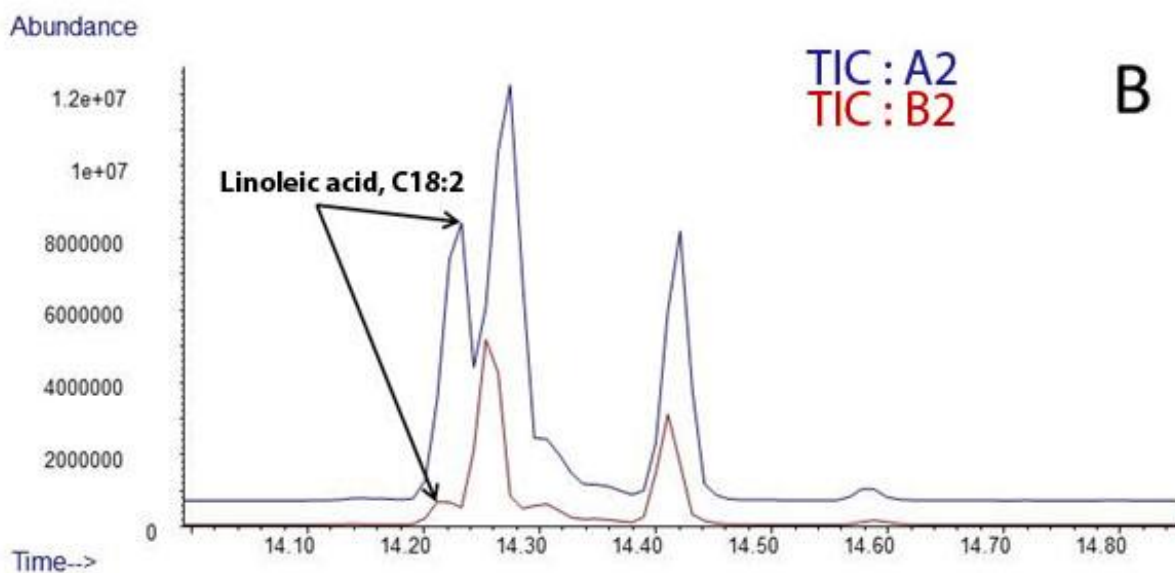
Rezultati statističke obrade podataka pokazuju da u većini slučajeva ne postoji statistički značajna razlika u sadržaju zasićenih i mononezasićenih masnih kiselina između uzoraka pite sa sirom analizirane nakon proizvodnje i pakovanja (A1 i A2) i pite sa sirom analizirane nakon skladištenja (B1 i B2). Dobijena F - vrednost pretežno ne prelazi vrednost F – kritično, a dobijena p vrednost je tada veća od 0,05. Međutim, izuzetak predstavlja dinezasićena *cis,cis*-9,12-oktadekadienska (linolna) kiselina, kod koje dobijena F-vrednost (42,8850) prevazilazi F-kritično (9,5520), a dobijena *p*-vrednost (0,0062) je manja od 0,05. To znači da se u slučaju dinezasićene linolne kiseline može zabeležiti statistički značajna promena u sadržaju nakon predviđenog perioda skladištenja.

Iz tog razloga je odlučeno da se vreme elucije svih masnih kiselina koje sadrže 18 ugljenikovih atoma u molekulu, koje obuhvata retencionna vremena od 14,16 do 14,50 min, označi kao oblast od interesa (slika 28 i 29). Tako da se masne kiseline koje eluiraju u tom intervalu retencionih vremena ponovno, manuelno integrišu i statistički se upoređuje njihov sadržaj u uzorcima A i B. Navedene masne kiseline obuhvataju: heksadekansku (palmitinsku), *cis,cis*-9,12-oktadekadiensku (linolnu), *cis*-9-oktadecensku (oleinsku), *trans*-9-oktadecensku (elaidinsku), *trans*-15-oktadecensku, oktadekansku (stearinsku) i *cis,trans*-9,11-oktadekadiensku kiselinu.

Slika 30 i slika 31 prikazuju uveličan TIC hromatogram sa akcentom na interval retencionih vremena oblasti od interesa, za uzorke ivica (A1 i B1) i sredina (A2 i B2) pite sa sirom analizirane odmah posle pakovanja (A1 i A2) i pite sa sirom analizirane nakon skladištenja (B1 i B2).



Slika 30. TIC hromatogram sa akcentom na interval retencionih vremena oblasti od interesa, za uzorke ivica pite sa sirom analizirane odmah posle pakovanja A1 i nakon skladištenja B1



Slika 31. TIC hromatogram sa akcentom na interval retencionih vremena oblasti od interesa, za uzorke sredine pite sa sirom analizirane odmah posle pakovanja A2 i nakon skladištenja B2

Sa slika se uočava jasna razlika u sadržaju linolne (*cis,cis*-9,12-oktadekadienske) kiseline između uzoraka ivica (A1 i B1, slika 30) i sredina (A2 i B2, slika 31), pite sa sirom analizirane odmah posle pakovanja (A1 i A2) i pite sa sirom analizirane nakon skladištenja (B1 i B2).

Ponovnom statističkom obradom podataka oblasti od interesa, primenom ANOVA testa, došlo se do zaključka da je, samo i jedino, dinezasićena *cis,cis-9,12*-oktadekadienska (linolna) kiselina pretrpela statistički značajne gubitke u ispitivanom periodu čuvanja proizvoda. Među masnim kiselinama, najpodložnija je oksidaciji i degradaciji, usled prisustva dve dvostruke veze u svom molekulu. U uzorcima ivica analiziranih pita sa sirom njen sadržaj se smanjio za 85,55%, dok u uzorcima sredina pita sa sirom ta vrednost iznosi 81,85% (aritmetička sredina 83,705%). S obzirom na blago povećanje sadržaja konjugovane linolne kiseline (*cis,trans-9,11*-oktadekadienska), u navedenoj oblasti od interesa (za 24,72%), može se reći da se *cis,cis-9,12*-oktadekadienska, odnosno linolna kiselina, delimično transformisala u svoj stabilniji *trans*-izomer, tj. u *cis,trans-9,11*-oktadekadiensku, odnosno konjugovanu linolnu kiselinu. Ostatak koji nije transformisan u konjugovani oblik linolne kiseline je verovatno katabolisao u produkte manje molekulske mase, kao što su niži aldehidi, ketoni i alkoholi, koji ne mogu biti detektovani primenom ovakve analitičke metode. Što se tiče konjugovane linolne kiseline, njena koncentracija nije značajno povišena, ali je došlo do porasta sadržaja *trans* masnih kiselina. Iako se u literaturi (Parodi, 1999; Ritvanen i sar., 2012) navodi da konjugovana linolna kiselina ima antikarcinogeni, antiaterogeni i antidiabetički efekat, u izveštaju Evropske uprave za bezbednost hrane (*European Food Safety Authority, EFSA*) (2010) se navodi da ne postoje dovoljno uverljivi dokazi o pozitivnom uticaju konjugovane linolne kiseline na zdravlje pojedinca, pa prema tome ne postoje preporučene dnevne doze unosa ovih masnih kiselina.

4.2.2. SENZORSKA SVOJSTVA PITE SA SIROM

Senzorska ocena

Senzorska analiza, uz hemijske i mikrobiološke analize predstavlja pouzdan pokazatelj svežine prehrambenog proizvoda tokom perioda skladištenja. Rezultati senzorske analize za četiri odabrana faktora svojstva (izgled, miris, ukus, tekstura) prikazani su u tabeli 23.

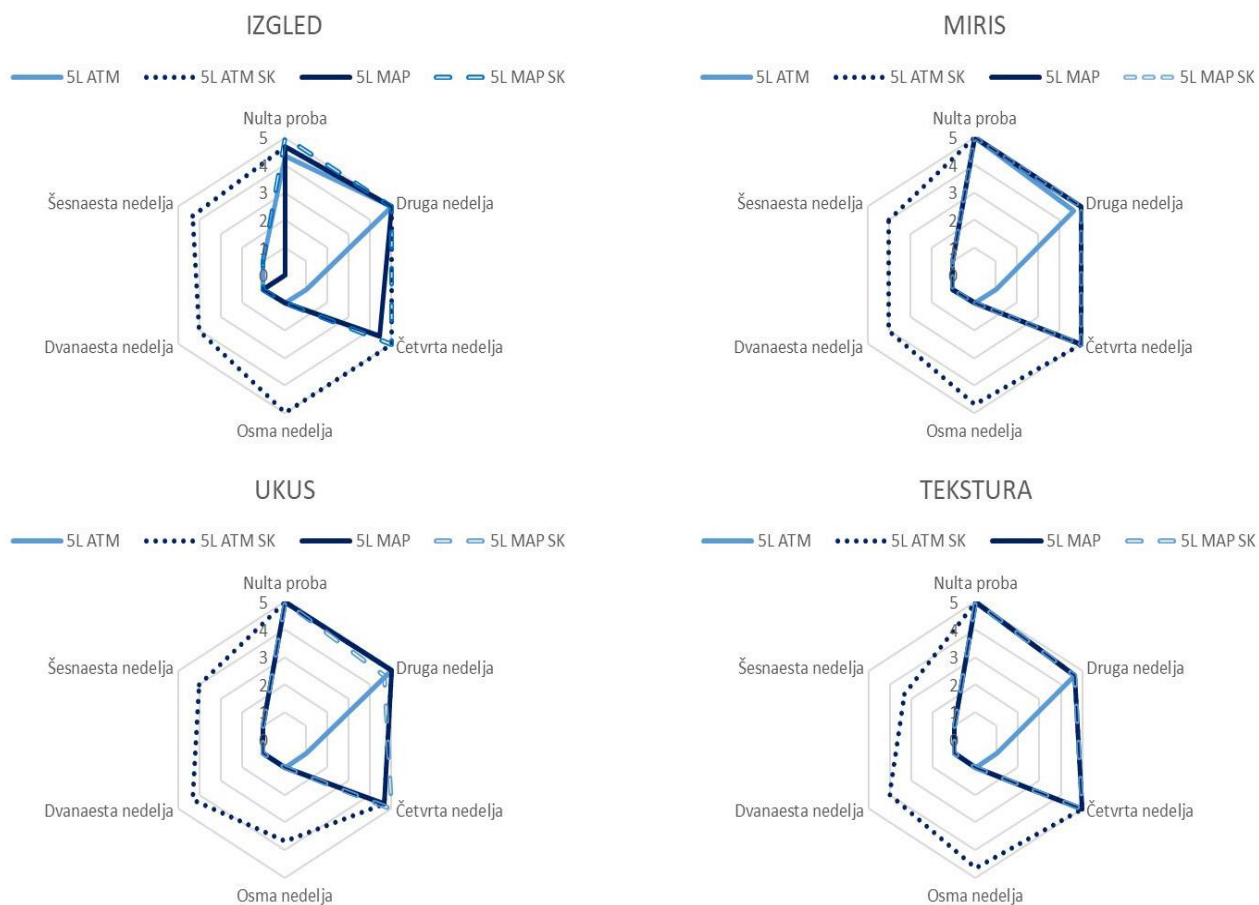
Tabela 23. Senzorska ocena uzoraka pite sa sirom tokom skladištenja

R. br.	Oznaka	Svojstva	Period ispitivanja (nedelja)					
			0	2	4	8	12	16
1.	5L ATM	Izgled	4,33±0,58 ^b _c	5,00±0,00 ^c	1,00±0,00 ^a	/	/	/
		Miris	5,00±0,00 ^c	4,67±0,58 ^c	1,00±0,00 ^a	/	/	/
		Ukus	5,00±0,00 ^c	5,00±0,00 ^e	1,00±0,00 ^a	/	/	/
		Tekstura	5,00±0,00 ^d	4,67±0,58 ^c _d	1,00±0,00 ^a	/	/	/
2.	5L ATM SK	Izgled	4,67±0,58 ^c	5,00±0,00 ^c	5,00±0,00 ^c	5,00±0,00 ^c	4,00±0,00 ^{bc}	4,33±1,16 ^{bc}
		Miris	5,00±0,00 ^c	5,00±0,00 ^c	5,00±0,00 ^c	4,67±0,58 ^c	4,00±0,00 ^{bc}	4,00±0,00 ^{bc}
		Ukus	5,00±0,00 ^e	5,00±0,00 ^e	4,67±0,58 ^{de}	3,67±0,58 ^{cd} _e	4,33±0,58 ^{de}	4,00±0,00 ^{cd} _e
		Tekstura	5,00±0,00 ^d	4,67±0,58 ^c _d	5,00±0,00 ^d	4,67±0,58 ^{cd}	4,00±0,00 ^{bcd}	3,33±0,58 ^{bc} _d
3.	5L MAP	Izgled	4,67±0,58 ^c	5,00±0,00 ^c	4,33±0,58 ^{bc}	1,00±0,00 ^a	/	/
		Miris	5,00±0,00 ^c	5,00±0,00 ^c	5,00±0,00 ^c	1,00±0,00 ^a	/	/
		Ukus	5,00±0,00 ^e	5,00±0,00 ^e	4,67±0,58 ^{de}	1,00±0,00 ^a	/	/
		Tekstura	5,00±0,00 ^d	4,67±0,58 ^c _d	5,00±0,00 ^d	1,00±0,00 ^a	/	/
4.	5L MAP SK	Izgled	5,00±0,00 ^c	5,00±0,00 ^c	5,00±0,00 ^c	1,00±0,00 ^a	/	/
		Miris	5,00±0,00 ^c	5,00±0,00 ^c	4,67±0,58 ^c	1,00±0,00 ^a	/	/
		Ukus	5,00±0,00 ^e	4,67±0,58 ^d _e	5,00±0,00 ^e	1,00±0,00 ^a	/	/
		Tekstura	5,00±0,00 ^d	4,67±0,58 ^c _d	5,00±0,00 ^d	1,00±0,00 ^a	/	/
5.	7L ATM	Izgled	4,67±0,58 ^c	5,00±0,00 ^c	2,33±2,31 ^{ab}	/	/	/
		Miris	5,00±0,00 ^c	4,67±0,58 ^c	2,33±2,31 ^{ab}	/	/	/
		Ukus	5,00±0,00 ^e	5,00±0,00 ^e	1,67±1,16 ^{ab}	/	/	/
		Tekstura	5,00±0,00 ^d	5,00±0,00 ^d	2,33±2,31 ^{ab}	/	/	/
6.	7L ATM SK	Izgled	4,67±0,58 ^c	5,00±0,00 ^c	4,33±0,58 ^{bc}	5,00±0,00 ^c	3,00±1,73 ^{abc}	4,00±0,00 ^{bc}
		Miris	5,00±0,00 ^c	4,67±0,58 ^c	4,67±0,58 ^c	4,33±0,58 ^{bc}	3,67±2,31 ^{bc}	4,33±0,58 ^{bc}
		Ukus	5,00±0,00 ^e	5,00±0,00 ^e	5,00±0,00 ^e	4,00±0,00 ^{cd} _e	3,00±1,73 ^{bcd}	3,67±0,58 ^{cd} _e
		Tekstura	5,00±0,00 ^d	5,00±0,00 ^d	5,00±0,00 ^d	5,00±0,00 ^d	3,00±1,73 ^{abc} _d	4,00±1,00 ^{bc} _d
7.	7L MAP	Izgled	4,67±0,58 ^c	4,67±0,58 ^c	5,00±0,00 ^c	4,67±0,58 ^c	4,33±0,58 ^{bc}	/
		Miris	5,00±0,00 ^c	5,00±0,00 ^c	4,67±0,58 ^c	5,00±0,00 ^c	3,67±0,58 ^{bc}	/
		Ukus	5,00±0,00 ^e	5,00±0,00 ^e	5,00±0,00 ^e	4,67±0,58 ^{de}	3,67±0,58 ^{cde}	/
		Tekstura	5,00±0,00 ^d	5,00±0,00 ^d	4,67±0,58 ^{cd}	4,33±0,58 ^{bc} _d	3,33±0,58 ^{bcd}	/
8.	7L MAP SK	Izgled	4,67±0,58 ^c	5,00±0,00 ^c	5,00±0,00 ^c	5,00±0,00 ^c	3,00±1,73 ^{abc}	/
		Miris	5,00±0,00 ^c	5,00±0,00 ^c	4,67±0,58 ^c	4,67±0,58 ^c	3,00±1,73 ^{abc}	/
		Ukus	5,00±0,00 ^e	5,00±0,00 ^e	4,67±0,58 ^{de}	4,00±0,00 ^{cd} _e	2,33±1,53 ^{abc}	/
		Tekstura	5,00±0,00 ^d	5,00±0,00 ^d	4,33±0,58 ^{bc} _d	4,33±0,58 ^{bc} _d	2,67±1,53 ^{abc}	/

^{a-e} Oznaka da se srednje vrednosti značajno statistički razlikuju na nivou $p < 0,05$

/ - uzorci nisu ispitivani usled povećanog broja mikroorganizama

Rezultati senzorske ocene uzoraka pita pakovanih u petoslojnu ambalažu su prikazani na slici 32.



Slika 32. Senzorska ocena uzoraka pite sa sirom pakovanih u petoslojnu ambalažu tokom skladištenja

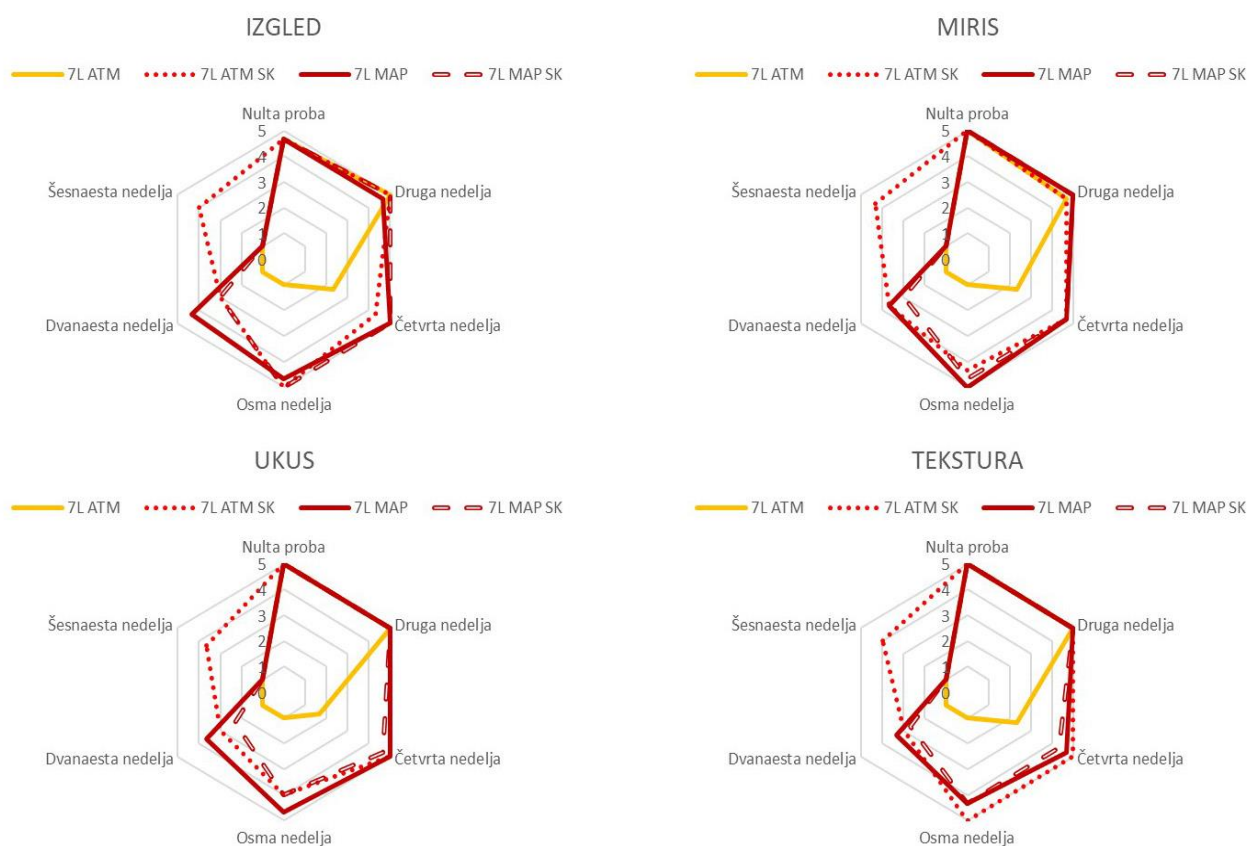
Uzorci pite 5L ATM su nakon proizvodnje (nulte proba) ocenjeni u intervalu od 4,33 do 5,00, za sva 4 posmatrana svojstva. Nakon druge nedelje skladištenja izgled, miris, ukus i tekstura se nisu značajno izmenili. U četvrtoj nedelji su pomenuti uzorci ocenjeni ocenom 1,00 jer je došlo do povećanog broja mikroorganizama.

Senzorski kvalitet uzoraka 5L ATM SK je u prve četiri nedelje bio vrlo visok (ocene u intervalu od 4,67 do 5,00). U osmoj nedelji dolazi do statistički značajnih senzorskih promena, pri čemu je najniža ocena zabeležena za ukus 3,67. U dvanaestoj nedelji maksimalna ocena svih ispitivanih atributa ne prelazi vrednost 4,33. Nakon šesnaeste nedelje skladištenja tekstura proizvoda je ocenjena prosečnom ocenom 3,33, a izgled ocenom 4,33. Ostali parametri su bili u granicama dobrog i vrlo dobrog kvaliteta.

Uzorci pakovani u petoslojnu ambalažu u MAP atmosferi (5L MAP) u prve dve nedelje imaju sličan senzorski kvalitet kao i uzorci 5L ATM i 5L ATM SK. Nakon četvrte nedelje skladištenja dolazi do statistički značajne promene izgleda proizvoda ($4,33 \pm 0,58$, na nivou $p < 0,05$), dok su maksimalne ocene zabeležene u pogledu teksture i mirisa (5,00). U osmoj nedelji skladištenja došlo je do vidljivog rasta plesni i kvasaca pa su uzorci ocenjeni za sva ispitivana svojstva ocenom 1,00.

Kod uzoraka 5L MAP SK nakon četiri nedelje skladištenja ocene za senzorski kvalitet proizvoda su bile visoke, iznad 4,67. Nakon osme nedelje ispitivanja dolazi do statistički značajnog pada ocena za sva ispitivana svojstva.

Rezultati senzorske ocena uzoraka pita pakovanih u sedmoslojnu ambalažu su prikazani na slici 33.



Slika 33. Senzorska ocena uzoraka pite sa sirom pakovanih u sedmoslojnu ambalažu tokom skladištenja

Nakon prve dve nedelje skladištenja uzoraka pita pakovanih u sedmoslojnu ambalažu u atmosferi vazduha (7L ATM), senzorski kvalitet je bio na nivou kvaliteta uzorka pakovanih u petoslojnoj ambalažni materijal. U četvrtoj nedelji skladištenja, uočene su statistički značajne senzorske promene u odnosu na nultu probu i kvalitet proizvoda nakon dve nedelje skladištenja. Prosečna ocen za ukus proizvoda je bila $1,67 \pm 1,16$, a za izgled, miris i teksturu je bila oko 2,00. Uzorci 7L ATM SK su nakon dve nedelje skladištenja imali vrlo visok senzorski kvalitet (ocene u opsegu od 4,67 do 5,00). Nakon četvrte nedelje ispitivanja dolazi do blagog pada kvaliteta, što potvrđuju nešto niže prosečne ocene pojedinih senzorskih parametra. Tek nakon osme nedelje je utvrđena statistički značajna promena ukusa (ocena 4,00), a posle dvanaeste nedelje je uočen pad vrednosti svih svojstava, pri čemu su prosečne ocene bile u intervalu od 3,00 do 3,67. Naknadnom analizom uzoraka je utvrđeno da je došlo do fizičkog oštećenja ambalaže jednog od tri uzorka (7L ATM SK 15), što je uticalo na porast ukupnog broja mikroorganizama, a time i umanilo prosečnu ocenu za pomenuti uzorak. Senzorska analiza nakon isteka šesnaeste nedelje skladištenja ukazuje na pad kvaliteta u odnosu na nultu probu i uzorke koji su skladišteni kraće vreme. Ocene pojedinih parametra su bile između 3,67 i 4,33, što je prividno bolji kvalitet u odnosu na rezultate dobijene nakon dvanaeste nedelje skladištenja. Međutim, nešto bolji kvalitet uzoraka je rezultat očuvanja celovitosti ambalaže svih ispitivanih uzoraka.

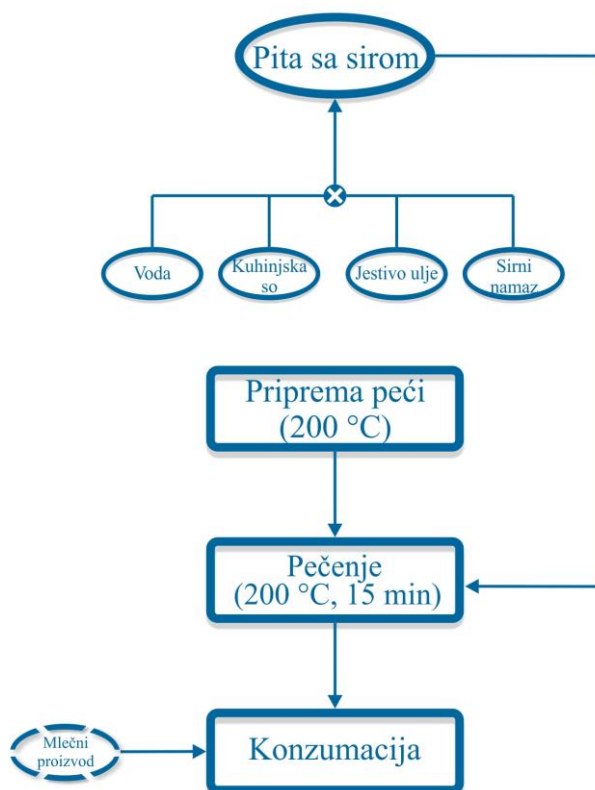
Uzorci pakovani u sedmoslojnu ambalažu u MAP atmosferi (7L MAP) i nakon četiri nedelje skladištenja imaju izuzetno visoke ocene za senzorski kvalitet proizvoda. Nakon osme nedelje skladištenja dolazi do statistički značajnog, na nivou $p < 0,05$, snižavanja senzorske ocene za teksturu i ukus proizvoda dok je nakon dvanaest nedelja uočen pad vrednosti svih ispitivanih svojstava.

Prosečne senzorske ocene uzoraka 7L MAP SK su nakon dve nedelje skladištenja bile visoke između 4,67 i 5,00. U četvrtoj nedelji dolazi do promene u teksturi proizvoda što utiče na smanjenje ocene na 4,33, kao i blagih promena u ukusu i mirisu proizvoda. Posle osme nedelje skladištenja došlo je do statistički značajnog pada ocene za ukus 4,00, dok su u dvanaestoj nedelji ocene svih parametara značajno snižene i bile u intervalu od 2,33 do 3,00. Zapažene promene teksture proizvoda tokom skladištenja, zbog kojih pite postaju tvrđe i krtije u odnosu na početne uzorke, su posledica starenja pekarskog proizvoda, odnosno retrogradacije skroba (Hoover, 1995; Delcour i Hosney 2010; Jane, 2009; Tako i sar., 2014). Iako su pite pakovane u MAP atmosferi pokazale duži rok trajanja u odnosu na pite pakovane u atmosferi vazduha, sa izuzećem aktivnog

pakovanja, prosečna senzorska ocena uzoraka je opadala sa dužinom skladištenja. Hastings (1993) navodi kako je upotreba CO₂ u pekarskoj industriji veoma učestala, pri čemu zamena kiseonika ovim gasom dovodi do inhibicije razvoja plesni, najčešćih uzročnika kvara pekarskih proizvoda, međutim, ostaje nerešen problem retrogradacije skroba. Dalje, Hastings navodi da su pojedini proizvođači ovaj problem rešili proizvodnjom delimično pečenih proizvoda. Upravo ovaj metod je primenjen pri proizvodnji pite sa sirom, pri čemu se naknadnoa priprema i pečenje vrši radi postizanja optimalnih senzorskih karakteristika proizvoda.

Evidentno je da senzorski kvalitet sveže proizvedenih pita pokazuje bolji rezultat u odnosu na pite koje su skladištene u dužem vremenskom periodu. Međutim, svi uzorci koji nisu sadržali povećan broj mikroorganizama, prema preporukama ocenjivača na osnovu definisanih ocena-nivoa kvaliteta, su prihvatljivi za konzumaciju. Naknadnim termičkim tretmanom polupečenog proizvoda uzoraka moguće je promeniti senzorski kvalitet pite sa sirom.

U cilju poboljšanja senzorskog kvaliteta proizvoda neposredno pored konzumiranja urađen je naknadni termički tretman koji uključuje i dodatak pojedinih sirovina polupečene pite sa sirom (slika 34).



Slika 34. Naknadni termički tretman polupečene pite sa sirom

Sva ispitivana senzorska svojstva uzoraka nakon naknadnog tretmana su značajno bolja u odnosu na senzorski kvalitet proizvoda koji su skladišteni do 16 nedelja nakon proizvodnje.

4.2.3. MIKROBIOLOŠKA SVOJSTVA PITE SA SIROM

Ukupan broj *Enterobacteriaceae*

U ispitivanim uzorcima pita nisu izolovane bakterije iz familije *Enterobacteriaceae* u količini većoj od dozvoljene *m* granične vrednosti (10 cfu/g) propisane u *Vodiču za primenu mikrobioloških kriterijuma za hranu* (Ministarstvo poljoprivrede, trgovine, šumarstva i vodoprivrede, 2011).

Ukupan broj bakterija iz roda *Bacillus Cereus*

U ispitivanim uzorcima pita nisu izolovane bakterije *Bacillus Cereus* u količini većoj od dozvoljene *m* granične vrednosti (100 cfu/g) propisane u *Vodiču za primenu mikrobioloških kriterijuma za hranu* (Ministarstvo poljoprivrede, trgovine, šumarstva i vodoprivrede, 2011).

Ukupan broj kvasaca i plesni

Kvasci i plesni predstavljaju vodeće kontaminante pekarskih proizvoda, pri čemu su plesni najčešći uzrok ograničenja roka trajanja pekarskih proizvoda, naročito onih koji sadrže srednje visoku ili visoku vlažnost (Guynot i sar., 2003b). Rezultati ukupnog broja kvasaca i plesni su prikazani u tabeli 24.

Tabela 24. Ukupan broja kvasaca i plesni uzoraka pita sa sirom tokom skladištenja (CFU/g)

R . br .	Ozna ka	Period ispitivanja (nedelja)					
		0	2	4	8	12	16
1.	5L ATM	<100±0 ^a	<100±0 ^a	1x10 ⁶ ±0 ^b	/	/	/
2.	5L ATM SK	<100±0 ^a	<100±0 ^a	<100±0 ^a	<100±0 ^a	<100±0 ^a	<100±0 ^a
3.	5L MAP	<100±0 ^a	<100±0 ^a	<100±0 ^a	1,1x10 ⁵ ±9,5x10 ⁴ ^a	/	/
4.	5L MAP SK	<100±0 ^a	<100±0 ^a	<100±0 ^a	2,0x10 ⁵ ±1,9x10 ⁵ ^a	/	/
5.	7L ATM	<100±0 ^a	<100±0 ^a	1,2x10 ⁵ ±1x10 ⁵ ^a	/	/	/
6.	7L ATM SK	<100±0 ^a	<100±0 ^a	<100±0 ^a	<100±0 ^a	6,7x10 ⁵ ±1,2x10 ⁶ ^{ab}	<100±0 ^a
7.	7L MAP	<100±0 ^a	<100±0 ^a	<100±0 ^a	<100±0 ^a	2,2x10 ⁴ ±7,6x10 ³ ^a	/
8.	7L MAP SK	<100±0 ^a	<100±0 ^a	<100±0 ^a	<100±0 ^a	1,2x10 ⁵ ±1,6x10 ⁵ ^a	/

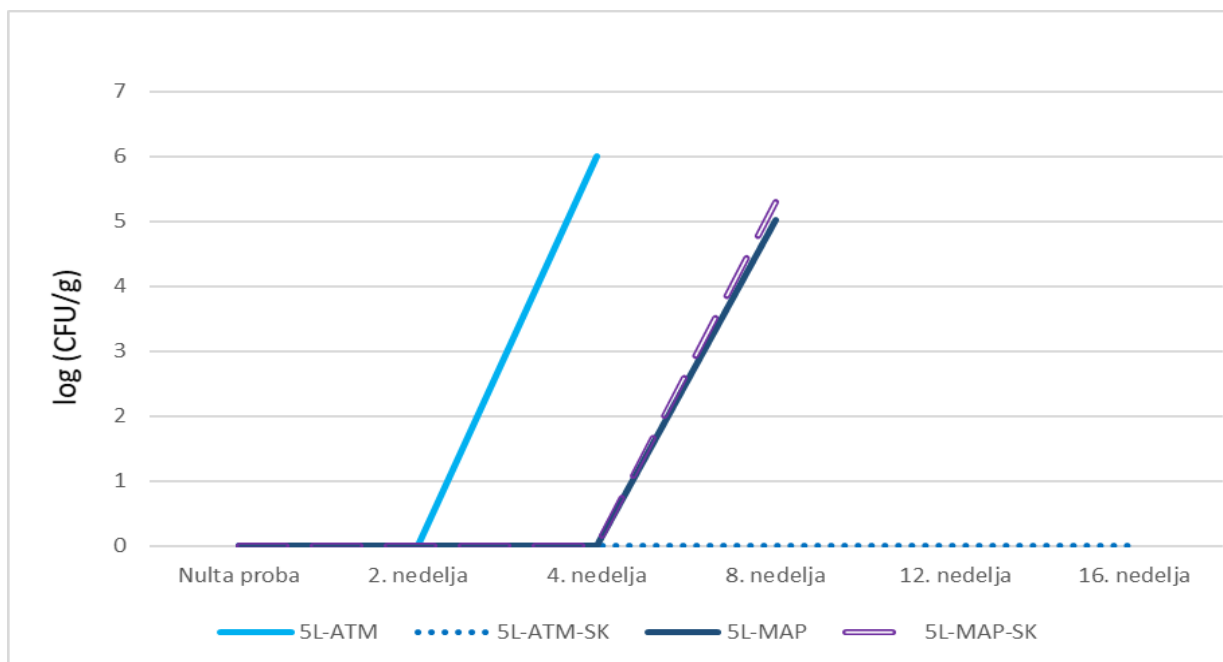
^{a-b}Oznaka da se srednje vrednosti značajno statistički razlikuju na nivou p<0,05
/ - uzorci nisu ispitivani usled povećanog broja mikroorganizama

Mikrobiološkom analizom je utvrđeno da je u pojedinim slučajevima došlo do uvećanog broja kvasaca i plesni, najverovatnije usled povoljnog nutritivnog sastava, a_w vrednosti i drugih faktora koji utiču na razvoj mikroorganizama (slika 35).



Slika 35. Uzorak pite sa sirom koji sadrži uvećan broj kvasaca i plesni

Radi jasnijeg pregleda rezultata, ukupan broj kvasaca i plesni kod uzoraka pita pakovanih u petoslojnu ambalažu je prikazan na slici 36.

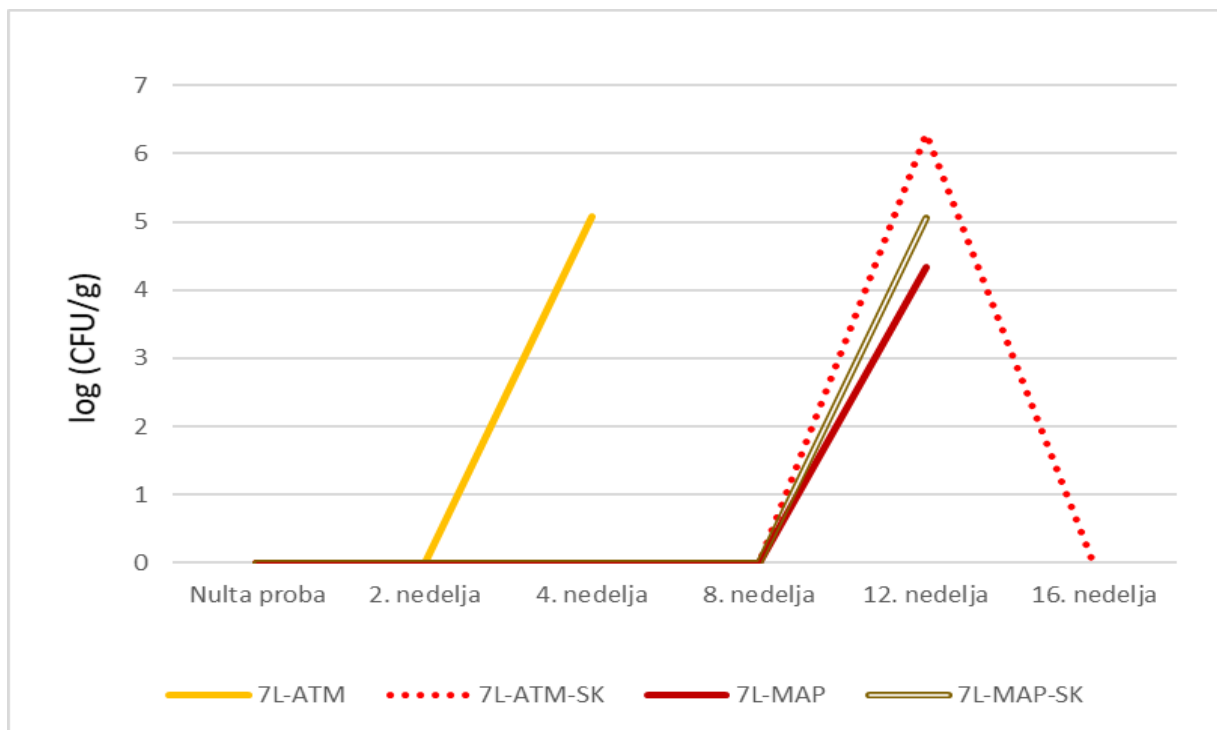


Slika 36. Ukupan broj kvasaca i plesni uzoraka pakovanih u petoslojnu ambalažu tokom perioda skladištenja

Ukupan broj kvasaca i plesni u uzorcima pakovanim u petoslojnu ambalažu (5L ATM, 5L ATM SK, 5L MAP, 5L MAP SK) se kretao od <100 do $1,0 \times 10^6 \pm 0$ cfu/g. U nultoj probi i nakon druge nedelje nije došlo do povećanja ukupnog broja kvasaca i plesni (<100 cfu/g). U četvrtoj nedelji, kod uzoraka pod oznakom 5L ATM utvrđen je uvećan broj kvasaca i plesni ($1 \times 10^6 \pm 0$ cfu/g), dok su preostali uzorci sadržali <100 cfu/g. U osmoj nedelji u uzorcima pakovanim u MAP-u (5L MAP i 5L MAP SK) su izolovani mikroorganizmi u velikom broju $1,0 \times 10^5 \pm 9,5 \times 10^4$ cfu/g i $2,0 \times 10^5 \pm 1,9 \times 10^5$. U uzorcima označenim kao 5L ATM SK ukupan broj kvasaca i plesni nije prelazio 100 cfu/g tokom perioda od 16 nedelja skladištenja, što je u skladu sa dozvoljenom *m* graničnom vrednošću (100 cfu/g) propisanom u *Vodiču za primenu mikrobioloških kriterijuma za hranu* (Ministarstvo poljoprivrede, trgovine, šumarstva i vodoprivrede, 2011).

Uzorci u kojima je u sve tri probe utvrđen ukupan broj kvasaca i plesni >100 cfu/g nisu ispitivani u narednim ciklusima ispitivanja.

Radi jasnijeg pregleda rezultata, ukupan broj kvasaca i plesni kod uzoraka pita pakovanih u sedmoslojnu ambalažu je prikazan na slici 37.



Slika 37. Ukupan broj kvasaca i plesni uzoraka pakovanih u sedmoslojnu ambalažu tokom perioda skladištenja

Ukupan broj kvasaca i plesni u uzorcima pakovanim u sedmoslojnu ambalažu (7L ATM, 7L ATM SK, 7L MAP, 7L MAP SK) se kretao od <100 do $6,7 \times 10^5 \pm 1,2 \times 10^6$ cfu/g. U nultoj probi i nakon druge nedelje nije došlo do uvećanja broja kvasaca i plesni u količini većoj od m granične vrednosti (100 cfu/g) propisane u *Vodiču za primenu mikrobioloških kriterijuma za hranu* (Ministarstvo poljoprivrede, trgovine, šumarstva i vodoprivrede, 2011). U četvrtoj nedelji je došlo do uvećanja ukupnog broja kvasaca i plesni kod pita sa sirom pakovanih u atmosferi vazduha (5L ATM), pri čemu se ukupan broj kvasaca i plesni kretao u granicama od $1,2 \times 10^5 \pm 1 \times 10^5$. Nakon osme nedelje, kod svih preostalih uzoraka pakovanih u sedmoslojnu ambalažu (7L ATM SK, 7L MAP, 7L MAP SK), nije utvrđena prekomerna populacija mikroorganizama tokom ispitivanja. U dvanaestoj nedelji je uočen porast ukupnog broja kvasaca i plesni svih uzoraka pakovanih u MAP-u (7L MAP i 7L MAP SK). Takođe, uzorak pite sa sirom pod oznakom 7L ATM SK 15 je prilikom analize imao 2×10^6 cfu/g, međutim, proverom ambalažnog materijala je utvrđeno da je došlo do fizičkog oštećenja ambalaže tokom skladištenja ili transporta. Preostali uzorci serije 7L ATM SK su imali <100 cfu/g. Nakon šesnaeste nedelje skladištenja, uzorci pakovani u sedmoslojnu ambalažu sa dodatkom sakupljača kiseonika (7L ATM SK) nisu imali više od 100 cfu/g.

Uzorci u kojima je u sve tri probe utvrđen ukupan broj kvasaca i plesni >100 cfu/g nisu ispitivani u narednim ciklusima ispitivanja.

Upotreba MAP atmosfere pakovanja u slučaju pite sa sirom rezultira produženjem roka trajanja od četiri nedelje u slučaju primene sedmoslojne ambalaže (7L MAP i 7L MAP SK) tj. ukupno osam nedelja. Slično navedenom, Guynot i sar. (2003b) su u svojim istraživanjima utvrdili da upotreba MAP atmosfere (30% CO₂, 70% N₂; 100% N₂) prilikom pakovanja torti može biti poboljšana dodatkom sakupljača kiseonika u cilju prevencije razvoja plesni tokom skladištenja. Međutim, najbolji rezultat se postiže pakovanjem pite sa sirom u petoslojni ili sedmoslojni ambalažni materijal u atmosferi vazduha uz dodatak sakupljača kiseonika (5L ATM SK i 7L ATM SK). Dodatak sakupljača kiseonika pitama pakovanim u MAP atmosferi (5L MAP SK i 7L MAP SK) je rezultirao pojavom većeg broja kvasaca i plesni u odnosu na pakovanja koja nisu sadržala sakupljač (5L MAP i 7L MAP), što se može objasniti reakcijom CO₂ i O₂ sa sakupljačem kiseonika, usled čega dolazi do redukcije efekta MAP-a i sakupljača (Siverstvik, 2007).

U skladu sa definicijom Pejdz (Page) i sar. (2003), osim tehničkog roka trajanja, koji je zadovoljen od strane uzoraka 5L ATM, 7L ATM (2 nedelje), 5L MAP, 5L MAP SK, (4 nedelje), 7L MAP,

7L MAP SK (8 nedelja) i 5L ATM SK, 7L ATM SK (16 nedelja), ostvaren je i rok minimalne održivosti za isti period. Proizvod je ostao odgovarajućeg kvaliteta za tržište i nije došlo do promene karakteristika proizvoda koje su definisane prehrambenim tvrdnjama proizvođača.

4.3. STATISTIČKA OBRADA PODATAKA

Hemometrija predstavlja interdisciplinarnu naučnu oblast koja se zasniva na upotrebi višeparametarske statističke analize, informatičkih metoda, matematičkog modelovanja i analitičke hemije. Uz pomoć različitih hemometrijskih metoda, moguće je kreiranje pouzdanih modela radi predviđanja neutvrđenih vrednosti, kao i reprodukcija utvrđenih eksperimentalnih vrednosti (Lončar, 2015).

Za hemometrijsku analizu rezultata praćenja tehnološkog procesa pekarskih proizvoda tokom skladištenja od višeparametarskih matematičkih metoda najčešće se primenjuju: deskriptivna statistika (descriptive statistics), analiza glavnih komponenti (principal components analysis, PCA) i primena metode odzivne promenljive (response surface methodology, RSM). RSM je ovde primenjena radi razvoja matematičkog modela u obliku polinoma drugog reda (second order polynomial, SOP). Na osnovu SOP modela sprovedena ANOVA analiza odzivnih promenljivih je prikazala veoma složene interakcije linearnih i nelinearnih članova u razvijenim matematičkim modelima, koji se nalaze u obliku polinoma drugog reda, a koriste se za predikciju odziva.

Rezultati eksperimentalnih merenja za svaki posmatrani uzorak prikazani su srednjim vrednostima i standardnim devijacijama (SD), korišćenjem deskriptivne statistike.

Analiza glavnih komponentata (Principal Component Analysis, PCA) je primenjena za ispitivanje međusobnog odnosa posmatranih promenljivih, ali i za grupisanje uzoraka prema sličnosti (prema posmatranim parametrima). Za PCA su korišćeni eksperimentalni podaci (atmosfera pakovanja, fizičko-hemijske karakteristike pite, mikrobiološka ispitivanja pite, kvalitet varova i senzorska analiza).

PCA analiza je korišćena u ovom istraživanju da bi se klasifikovali i razdvojili različiti uzorci u faktorskoj ravni (na osnovu merenih vrednosti). Na osnovu eksperimentalnih vrednosti primenjena je tehnika prepoznavanja sličnosti, kako bi se izvršilo odvajanje uzoraka u faktorskoj ravni.

Takođe, za grupisanje i razdvajanje različitih uzoraka u faktorskoj ravni, na osnovu razlika u merenjima, je uspešno primenjena PCA analiza. Izračunavanje PCA analize izvršeno je korišćenjem softverskog paketa Statistica version 10 (StatSoft Inc. 2010, USA)®.

4.3.1. ANALIZA GLAVNIH KOMPONENTI (PRINCIPAL COMPONENT ANALYSES, PCA)

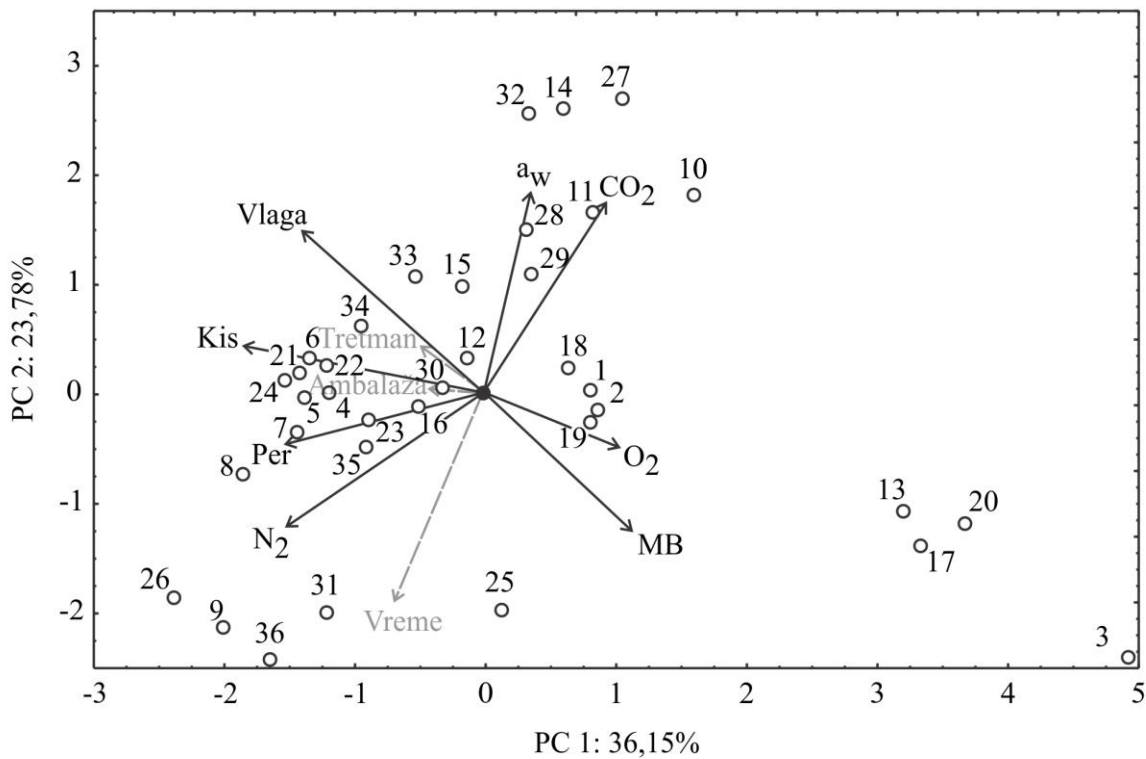
PCA omogućava da se značajno smanji broj promenljivih koje učestvuju u analizi. Pored toga služi i za detektovanje i analizu inherentne, skrivene, strukture između mernih veličina i odzivnih promenljivih koje se ispituju. Svi uzorci su pripremljeni pod striktno zadatim uslovima koji su definisani u eksperimentalnom delu ovoga rada i grafički su prikazani na PCA grafikonima (slike 38, 39 i 40).

Grafički prikazi uzoraka i merenih parametara (deskriptore) predstavljani su na slikama 38 (za atmosferu pakovanja, fizičko-hemijske karakteristike pite, mikrobiološka ispitivanja pite), 39 (za varove) i 40 (za senzorsku analizu), korišćenjem prve dve glavne komponente, koje su dobijene iz PCA analize.

4.3.1.1. PCA – Atmosfera pakovanja, fizičko-hemijske karakteristike pite, mikrobiološka ispitivanja pite

Na slici 38 se može videti da je izvršeno uspešno razdvajanje grupa podataka za 36 uzoraka pite. Kvalitativni rezultati za ovu analizu pokazuju da prve dve glavne komponente zajednički prikazuju 59,93% ukupne varijanse, što se može smatrati dovoljnim za prikazivanje celokupnog seta eksperimentalnih podataka. Promenljive, sadržaj O₂ (koji prikazuje 8,4% ukupne varijanse, na osnovu korelacije) i ukupan broj kvasaca i plesni (MB) (9,8%), imale su najznačajniji pozitivni uticaj na računanje prve glavne komponente. Najznačajniji negativni doprinosi su bile koncentracija N₂ (16,8%), kiselinski stepen (25,0%), peroksidni broj (17,5%) i sadržaj vlage (14,7%).

Najznačajniji pozitivni uticaji na izračunavanje druge glavne koordinate ostvareni su uz pomoć koncentracija CO₂ (25,1%), a_w (26,9%) i sadržaja vlage (18,5%), dok su najznačajniji negativni uticaj imale koncentracija N₂ (11,9%) i ukupan broj kvasaca i plesni (MB) (12,3%).



Slika 38. Biplot grafikon sadržaja elemenata atmosfere pakovanje, fizičko-hemijskih karakteristika pite, mikrobioloških ispitivanja pite

Vrednosti posmatranih promenljivih u različitim uzorcima može da se oceni sa slike 38. Na njoj su uzorci pite koji su imali dužu održivost locirani u donjem levom uglu grafikona, a uzorci koji su imali dodatak MAP-a i/ili sakupljača kiseonika (tretman) i višeslojniju ambalažu se nalaze na levoj strani grafikona. Na osnovu ovih rezultata uočava se da prva glavna koordinata opisuje razlike u tretmanima i vrstama ambalaže uzoraka pite, dok druga glavna koordinata opisuje razlike u vremenskom periodu održivosti uzoraka pite.

Uočljivo je da su vektori sadržaja kiseonika i ukupnog broja kvasaca i plesni u bliskoj pozitivnoj korelaciji, pri čemu je porast sadržaja kiseonika unutar pakovanja, tokom vremena skladištenja, uticao na porast ukupnog broja kvasaca i plesni. Uzorci pita 5L ATM u četvrtoj nedelji (3), 7L ATM u četvrtoj nedelji (20), 5L MAP SK u osmoj nedelji (17) i 5L MAP u osmoj nedelji (13), posedovali su izuzetno visok sadržaj kvasaca i plesni, dok je porast kiseonika zabeležen kod uzoraka 5L MAP SK (17) i 5L MAP (13) nakon osme nedelje skladištenja.

Sadržaj CO₂ unutar pakovanja i a_w vrednost pite sa sirom našle su se u bliskoj pozitivnoj korelaciji, a u potpuno negativnoj korelaciji sa periodom skladištenja. Uzorci pakovani u MAP atmosferi 5L MAP (10), 7L MAP (27), 5L MAP SK (14) i 7L MAP SK (32), koji su skladišteni u najkraćem periodu (nulta proba), prikazali su najviše vrednosti a_w i CO₂ i na taj način pozicionirali su se u centralnom gornjem delu biplot grafikona.

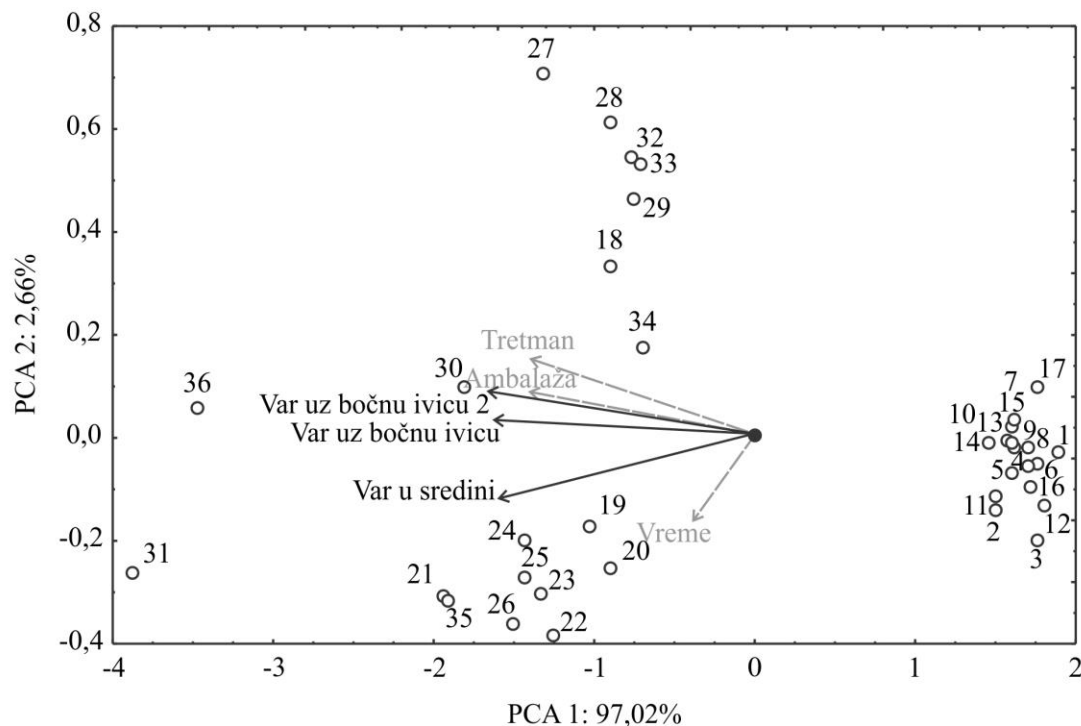
Upotreba MAP-a i sakupljača kiseonika (tretman) kao i upotrebljena ambalaža nalaze se u pozitivnoj korelaciji sa kiselinskim stepenom i vlagom pite sa sirom.

Sadržaj N₂ unutar pakovanja našao se u negativnoj korelaciji sa sadržajem CO₂, tako da su uzorci 5L ATM SK (9) i 7L ATM SK (26), ispitivani nakon šesnaeste nedelje skladištenja, sadržali visoke koncentracije azota i niske koncentracije ugljen-dioksida uz <100 cfu/g ukupnog broja kvasaca i plesni.

U donjem centralnom delu grafikona je primetno prisustvo pojedinačnog uzorka 7L ATM SK (25), ispitivanog nakon dvanaeste nedelje skladištenja. Naknadnom proverom materijala je utvrđeno da je došlo do fizičkog oštećenja ambalaže tokom skladištenja ili transporta.

4.3.1.2. PCA – Zatezna jačina formiranih varova

Na slici 39 se može videti da je izvršeno uspešno razdvajanje 36 uzoraka. Kvalitativni rezultati ove analize pokazuju da prve dve glavne komponente zajednički prikazuju 99,02% od ukupne varijanse, što se može smatrati dovoljnim za prikazivanje celokupnog seta eksperimentalnih podataka. Sve promenljive su prikazale 32,6-34,0% od ukupne varijanse, na osnovu korelacije i negativno su uticale na računanje prve glavne komponente. Najznačajniji pozitivni uticaji na izračunavanje druge glavne koordinate ostvareni su zahvaljujući varu uz bočnu ivicu (28,4%), dok su najznačajniji negativni uticaji proizašli iz vara uz bočnu ivicu 2 (18,1%).



Slika 39. Biplot grafikona sadržaja elemenata zatezne jačine formiranih varova

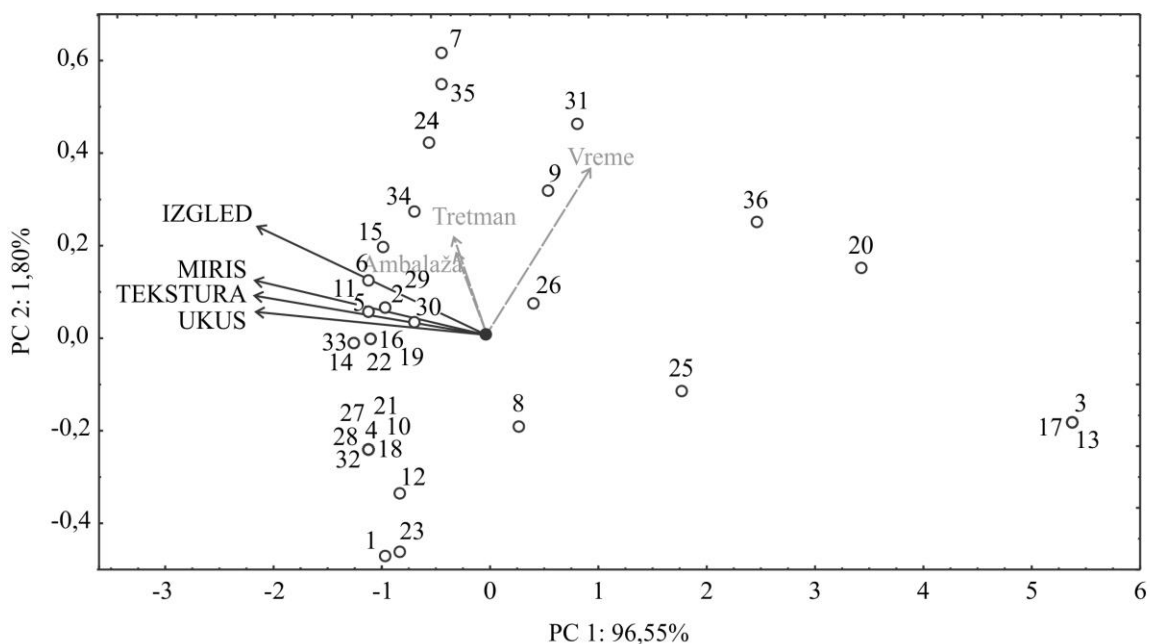
Vrednosti posmatranih promenljivih u različitim uzorcima može da se oceni sa slike 39, na kojoj su uzorci pite koji su imali dužu održivost i locirani su u donjem delu grafikona. Uzorci koji su imali dodatak MAP-a i/ili sakupljača kiseonika (tretman) i višeslojniju ambalažu se nalaze na levoj strani grafikona. Na osnovu ovih rezultata uočava se da prva glavna koordinata opisuje razlike u tretmanima i vrstama ambalaže uzoraka pite, dok druga glavna koordinata opisuje razlike u periodu održivosti uzoraka pite.

Posmatrajući biplot grafikona uočljivo je grupisanje tri kategorije uzoraka. Tako velika grupa uzoraka koja se nalazi na desnoj strani grafikona i uključuje uzorke petoslojnjne ambalažne kese 5L ATM (1, 2, 3), 5L ATM SK (4, 5, 6, 7, 8, 9), 5L MAP (10, 11, 12, 13) i 5L MAP SK (14, 15, 16, 17), poseduje niže vrednosti čvrstoće varova. U središnjem delu se nalaze uzorci koji su imali više vrednosti čvrstoće varova i tu pripadaju uzorci sedmoslojne ambalaže: 7L ATM (18, 19, 20), 7L ATM SK (21, 22, 23, 24, 25, 26), 7L MAP (27, 28, 29, 30) i 7L MAP SK (32, 33, 34, 35). Uzorci 7L MAP (31) i 7L MAP SK (36) nakon dvanaeste nedelje skladištenja prikazali su najviše vrednosti čvrstoće vara.

Upotrebljena vrsta ambalaže i var uz bočnu ivicu 2 pokazali su veoma blisku pozitivnu korelacijsku međuzavisnost.

4.3.1.3. PCA – Senzorska analiza

Na slici 40 se vidi da je uspešno izvršeno razdvajanje 36 uzoraka. Kvalitativni rezultati za ovu analizu pokazuju da prve dve glavne komponente zajednički prikazuju 98,4% od ukupne varijanse. To se može smatrati dovoljnim za prikazivanje celokupnog seta eksperimentalnih podataka. Sve promenljive su prikazale 24,6-25,4% od ukupne varijanse, na osnovu korelacije i negativno su uticale na računanje prve glavne komponente. Najznačajniji pozitivni uticaji na izračunavanje druge glavne koordinate ostvareni su korišćenjem parametara IZGLEDA (66,3%) i UKUSA (27,1%).



Slika 40. Biplot grafikona sadržaja elemenata senzorske analize za pitu

Vrednosti posmatranih promenljivih u različitim uzorcima mogu se pročitati sa slike 40, na kojoj su uzorci pite koji su imali dužu održivost i locirani su u gornjem delu grafikona. Uzorci koji su imali dodatak MAP-a i/ili sakupljača kiseonika (tretman) i višeslojniju ambalažu se nalaze na levoj strani grafikona. Na osnovu ovih rezultata uočava se da prva glavna koordinata opisuje razlike u

tretmanima i vrsti ambalaže uzoraka pite, dok druga glavna koordinata opisuje razlike u periodu održivosti uzoraka pite.

Pogledom na biplot grafikon primetno je grupisanje uzoraka u tri sektora. Na krajnjoj desnoj strani grafikona se nalaze tri uzorka upakovana u petoslojnu ambalažu: 5L ATM nakon četvrte nedelje skladištenja (3), 5L MAP nakon osme nedelje skladištenja (13) i 5L MAP SK nakon osme nedelje skladištenja. Ovi uzorci su prikazali najniže vrednosti senzorske analize. U centralnom delu se nalaze uzorci pakovani u petoslojnu i sedmoslojnu ambalažu: 5L ATM SK (8, 9), 7L ATM (20), 7L ATM SK (25, 26), 7L MAP (31) i 7L MAP SK (36). Pomenuti uzorci nisu prikazivale visoku vrednost senzorske ocene, jer su ispitivani nakon četvrte, osme i dvanaeste nedelje skladištenja. Grupa uzoraka pozicionirana na levoj strani grafikona sastojala se od uzoraka pakovanih u obe vrste ambalaže, sa i bez upotrebe sakupljača kiseonika: 5L ATM (1, 2), 5L ATM SK (4, 5, 6, 7), 5L MAP (10, 11, 12), 5L MAP SK (14, 15, 16), 7L ATM (18, 19), 7L ATM SK (21, 22, 23, 24), 7L MAP (27, 28, 29, 30) i 7L MAP SK (32, 33, 34, 35) prikazala je najviše vrednosti senzorske ocene pite sa sirom.

Vektori mirisa, ukusa i teksture se nalaze u veoma bliskoj pozitivnoj korelaciji, kao i vektor izgleda koji je u pozitivnoj korelaciji sa pomenutim vektorskim veličinama. Vrsta upotrebene ambalaže i upotreba MAP-a i/ili sakupljača kiseonika (tretman) nalaze se u gotovo stoprocentnoj pozitivnoj korelaciji.

4.3.2. METODE ODZIVNE PROMENLJIVE (RSM)

Analizom varijanse (ANOVA) utvrđuje se uticajnost nezavisnih veličina na odzivne promenljive. Takođe, određuje se i uticajnost interakcije nezavisnih veličina na odzive. U ovom radu je uz pomoć programskog paketa StatSoft Statistica, ver. 10 urađena ANOVA analiza. Njome (analizom) bi se pokazali uticaji nezavisnih procesnih parametara na odzive, ali i koji odzivi su statistički značajno uticali na pojedine nezavisne promenljive i/ili kombinacije tih promenljivih (tabela 25, 26, 27). SOP modeli svih odzivnih promenljivih koji su fitovani sa eksperimentalnim podacima su bili statistički značajni.

Najuticajniji članovi u SOP modelu za izračunavanje koncentracija O_2 u uzorku pite bili su nelinearni članovi $A \times t$ i $T \times t$, statistički značajni na nivou $p < 0,01$, kao i nelinearni član proizvoda promenljivih $A \times T$ i kvadratni član T , statistički značajan na nivou $p < 0,05$.

Najuticajniji članovi u SOP modelu za izračunavanje koncentracija CO₂ u uzorku pite bio je linearni član t , statistički značajan na nivou $p < 0,01$, kao i nelinearni članovi proizvoda promenljivih $A \times t$ i $T \times t$, statistički značajni na nivou $p < 0,05$.

Najuticajniji član u SOP modelu za izračunavanje koncentracija N₂ u uzorku pite bio je linearni član t , statistički značajan na nivou $p < 0,10$.

Najuticajniji članovi u SOP modelu za izračunavanje kiselinskog stepena u uzorku pite bio je kvadratni član t , statistički značajan na nivou $p < 0,05$, kao i nelinearni član proizvoda promenljivih $A \times T$ i kvadratni član T , statistički značajan na nivou $p < 0,10$.

Najuticajniji članovi u SOP modelu za izračunavanje peroksidnog broja u uzorku pite bili su linearni i kvadratni članovi t , statistički značajni na nivou $p < 0,01$, kao i nelinearni član proizvoda promenljivih $T \times t$ i kvadratni član T , statistički značajni na nivou $p < 0,05$, dok je nelinearni član proizvoda $A \times T$ bio statistički značajan na nivou $p < 0,10$.

Najuticajniji članovi u SOP modelu za izračunavanje a_w u uzorku pite bili su linearni i nelinearni članovi t , statistički značajni na nivou $p < 0,01$.

Najuticajniji članovi u SOP modelu za izračunavanje koncentracije vlage u uzorku pite bili su kvadratni član T i član proizvoda promenljivih $A \times T$, statistički značajni na nivou $p < 0,05$, kao i nelinearni član proizvoda promenljivih $T \times t$ i kvadratni član t , statistički značajni na nivou $p < 0,10$. Ostatak varijanse je takođe prikazan u tabeli 25, pri čemu greška poklapanja modela i eksperimentalnih podataka predstavlja doprinose viših članova polinoma koji nisu prikazani u modelu. U slučaju da je vrednost ove greške značajno visoka, to pokazuje da regresioni model neuspešno prikazuje eksperimentalne podatke na zadovoljavajući način.

Koeficijent determinacije r^2 , se definiše kao odnos prikazane varijanse i ukupne varijanse. Ovaj koeficijent takođe predstavlja onaj deo varijabilnosti odzivne promenljive koja je opisana regresionom analizom. Visoka vrednost r^2 , ukazuje da je prikazani stepen varijacije veliki i da model na zadovoljavajući način predstavlja eksperimentalne podatke (SOP u ovom slučaju).

Tabela 25. Analiza varijanse atmosfere pakovanja, fizičko-hemijskih karakteristika pite i mikrobioloških ispitivanja pite

	df	O ₂	CO ₂	N ₂	Kis	Per	a _w	Vlaga	MB
Ambalaža (A)	1	0,85	6,17	11,72	0,05	10,22**	9,3·10 ⁻⁵	3,47	1,5·10 ^{11*}
Tretman (T)	1	1,38	7,81	15,82	0,52	25,13*	6,2·10 ⁻⁵	2,22	1,7·10 ^{11*}
Tretman²	1	81,27*	1,32	61,88	1,61**	8,27	5,1·10 ⁻⁶	16,37*	1,1·10 ¹¹
Vreme (t)	1	0,05	271,59 ⁺	266,04**	0,51	44,60 ⁺	8,5·10 ⁻³⁺	13,38**	8,9·10 ⁰⁹
Vreme²	1	9,78	8,74	36,29	2,25*	39,13 ⁺	8,4·10 ⁻⁴⁺	7,35	1,0·10 ¹¹
F × T	1	88,74*	0,61	74,64	2,07**	11,29**	1,9·10 ⁻⁵	19,30*	8,7·10 ¹⁰
F × t	1	149,19 ⁺	168,90*	0,57	0,02	6,57	6,2·10 ⁻⁵	9,49	8,0·10 ¹⁰
T × t	1	196,03 ⁺	204,98*	0,09	0,03	16,33*	6,5·10 ⁻⁵	14,20**	6,1·10 ¹⁰
Greška	27	416,21	753,01	1862,54	14,37	92,17	1,5·10 ⁻³	95,90	1,0·10 ¹²
r²		0,62	0,62	0,29	0,36	0,58	0,86	0,49	0,26

Najuticajni članovi u SOP modelu za izračunavanje vara uz bočnu ivicu u uzorku pite bili su nelinearni član $T \times t$ i linearni članovi T i t statistički značajni na nivou $p < 0,01$, kao i nelinearni član proizvoda promenljivih $A \times t$, statistički značajan na nivou $p < 0,05$, dok su linearni član A , kvadratni član T i nelinearni član proizvoda $A \times T$ bili statistički značajni na nivou $p < 0,10$.

Najuticajni članovi u SOP modelu za izračunavanje vara u sredini u uzorku pite bili su linearni član t i nelinearni član proizvoda $T \times t$, statistički značajni na nivou $p < 0,01$, kao i linearni članovi A i T , statistički značajni na nivou $p < 0,05$.

Najuticajni članovi u SOP modelu za izračunavanje vara uz bočnu ivicu u uzorku pite bili su nelinearni članovi proizvoda $A \times t$ i $T \times t$ i linearni član T statistički značajni na nivou $p < 0,01$, kao i linearni i kvadratni član t , statistički značajni na nivou $p < 0,05$, dok su kvadratni član T , i nelinearni član proizvoda $A \times T$ bili statistički značajni na nivou $p < 0,10$.

Tabela 26. Analiza varijanse karakterera formiranih varova

	df	Var uz bočnu ivicu	Var u sredini	Var uz bočnu 2
Ambalaža (A)	1	34,68**	74,29*	19,32
Tretman (T)	1	168,04 ⁺	61,24*	241,10 ⁺
Tretman²	1	30,89**	21,47	38,10**
Vreme (t)	1	86,94 ⁺	150,49 ⁺	72,99*
Vreme²	1	27,29	7,98	58,89*
F × T	1	35,71**	13,68	43,27**
F × t	1	76,59*	39,85	105,61 ⁺
T × t	1	139,05 ⁺	135,36 ⁺	175,59 ⁺
Greška	27	283,44	383,33	293,25
r²		0,94	0,90	0,95

Najuticajni član u SOP modelu za izračunavanje izgleda pite bio je linearni član t, statistički značajan na nivou $p < 0,10$.

Najuticajni članovi u SOP modelu za izračunavanje mirisa bili su linearni član t, statistički značajan na nivou $p < 0,05$, kao i kvadratni član T i nelinearni član proizvoda $A \times T$, statistički značajni na nivou $p < 0,10$.

Najuticajni članovi u SOP modelu za izračunavanje ukusa bili su linearni član t, statistički značajan na nivou $p < 0,01$, kao i kvadratni članovi T i t, i nelinearni član proizvoda $A \times T$, statistički značajni na nivou $p < 0,10$.

Najuticajni članovi u SOP modelu za izračunavanje teksture bili su linearni član t, statistički značajan na nivou $p < 0,01$, kao i nelinearni član proizvoda $A \times T$, statistički značajan na nivou $p < 0,10$.

Tabela 27. Analiza varijanse senzorskih karakteristika pite sa sirom

	df	Izgled	Miris	Ukus	Tekstura
Ambalaža (A)	1	0,38	0,39	0,10	0,73
Tretman (T)	1	0,03	0,02	0,00	0,16
Tretman²	1	1,95	3,08**	3,63**	2,95
Vreme (t)	1	4,82**	6,21*	9,26 ⁺	10,68 ⁺
Vreme²	1	1,13	2,84	3,73**	1,51
F × T	1	2,45	3,63**	4,19**	3,20**
F × t	1	1,24	1,30	0,57	1,30
T × t	1	1,03	0,86	0,55	1,02
Greška	27	33,71	27,07	29,01	28,26
r²		0,30	0,44	0,48	0,45

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu postavljenih ciljeva doktorske disertacije, izvršenih ispitivanja, dobijenih i prodiskutovanih rezultata, mogu se izneti sledeći zaključci:

- Proizvedena pita sa sirom je upakovana u kese od višeslojnih polimernih materijala u različitim uslovima.
- Vizuelnim pregledom ambalažnih materijala i ambalaže nisu uočeni vidljivi nedostaci.
- Debljina petoslojnog ambalažnog materijala (5L) je bila u granicama od 0,068 mm do 0,073 mm, a debljina sedmoslojnog ambalažnog materijala (7L) u intervalu od 0,073 mm do 0,076 mm.
- Vrednosti mase po jedinici površine petoslojnog ambalažnog materijala su bile u granicama od 65,22 g/m² do 69,7 g/m², a sedmoslojnog ambalažnog materijala od 76,92 g/m² do 80,1 g/m². Dobijeni rezultati su u skladu sa rezultatima debljine ambalažnih materijala.
- Zatezna jačina petoslojnog ambalažnog materijala u uzdužnom pravcu se kretala od 26,46 MPa do 32,94 MPa, a u poprečnom od 28,31 MPa do 38,24 MPa. Vrednosti zatezne jačine sedmoslojnog ambalažnog materijala za uzdužni pravac su iznosile od 39,17 MPa do 45,84 MPa, a za poprečni pravac od 36,80 MPa do 42,97 MPa.
- Izduženje pri kidanju petoslojnog ambalažnog materijala se kretalo od 448,00% do 553,77%. Minimalna vrednost izduženja pri kidanju sedmoslojnog ambalažnog materijala je bila 53,97%, dok je maksimalna izmerena vrednost bila 76,37%. Konstatovane razlike su posledica prirode primenjenih monomaterijala i tehnologije spajanja.
- Analizom strukturnih svojstava je identifikovano da je unutrašnji sloj oba ambalažna materijala (5L i 7L) polietilen visoke gustine (HDPE). Spoljašnji sloj petoslojnog

ambalažnog materijala je polipropilen (PP), dok je u slučaju sedmoslojnog ambalažnog materijala spoljašnji sloj polietilen teraftelat (PET). Ovim je potvrđena proizvođačka specifikacija oba ambalažna materijala.

- Primenjeni ambalažni materijali imaju dobra, odgovarajuća, fizička, mehanička i strukturna svojstva.
- Oba ispitana ambalažna materijala pokazuju dobre barijerne karakteristike na ispitivane gasove. Propustljivost gasova sedmoslojnog materijala je nešto niža.
- Izračunavanjem ukupne zapremine kiseonika koja može biti propuštena kroz ambalažu tokom skladištenja je utvrđeno da je upotreba sakupljača kiseonika od 100 ml dovoljna da omogući skladištenje pite sa sirom, pakovane u obe vrste ambalaže, u periodu od 122 dana (16 nedelja), bez promene koncentracije kiseonika veće od 1%.
- Propustljivost vodene pare petoslojnog ambalažnog materijala je iznosila $7,235 \pm 2,51$ g/m²h, a propustljivost vodene pare sedmoslojnog ambalažnog materijala $6,387 \pm 1,79$ g/m²h. Oba ispitana ambalažna materijala pokazuju dobre barijerne karakteristike vodene pare.
- Kod petoslojnog ambalažnog materijala maksimalna vrednost transmisije je izmerena na talasnoj dužini od 800 nm i iznosi 83,75%, kao i kod sedmoslojnog, gde na istoj talasnoj dužini iznosi 13,55%. Petoslojni ambalažni materijal pokazuje znatno veće vrednosti propustljivosti svetlosti u odnosu na sedmoslojni ambalažni materijal u vidljivoj i UV oblasti merenja.
- Analizom koncentracije gasova u ambalaži je utvrđeno:
 - opadanje koncentracije kiseonika ispod početne izmerene vrednosti (16-17%), kod uzoraka pakovanih u atmosferi vazduha (5L ATM i 7L ATM), je u skladu sa povećanjem ukupnog broja kvasaca i plesni;

- održavanjem koncentracije kiseonika ispod 1%, upotrebom sakupljača kiseonika, kod uzoraka pakovanih u atmosferi vazduha (5L ATM SK i 7L ATM SK), ne dolazi do povećanja ukupnog broja mikroorganizama;
- upotreba MAP-a utiče na umanjenje kapaciteta sakupljača kiseonika;
- porast koncentracije ugljen-dioksida kod svih uzoraka, tokom skladištenja, je u skladu sa povećanjem ukupnog broja kvasaca i plesni;
- koncentracija ugljen-dioksida sporije opada kod uzoraka pakovanih u MAP-u koji ne poseduju sakupljač kiseonika (5L MAP i 7L MAP).
- snižavanje koncentracije ugljen-dioksida, uz porast koncentracije kiseonika, kod uzoraka pakovanih u MAP-u (5L MAP, 5L MAP SK, 7L MAP, 7L MAP SK) predstavlja povoljne uslove za razvoj kvasaca i plesni.

- Najveće promene koncentracije gasova, u slučaju pita sa sirom pakovanih u petoslojnu ambalažu, za najkraći period skladištenja, su prikazali uzorci 5L ATM, pakovani u atmosferi vazduha. Uzorci 5L MAP SK pakovani u modifikovanoj atmosferi, sa dodatkom sakupljača kiseonika su prikazali veće promene koncentracije merenih gasova u odnosu na uzorke 5L MAP, koji su pakovani bez sakupljača kiseonika. Koncentracija merenih gasova u ambalaži se najmanje menjala tokom skladištenja kod uzoraka 5L ATM SK pakovanih u atmosferi vazduha, uz dodatak sakupljača kiseonika.
- Najveće promene koncentracije gasova, u slučaju pita sa sirom pakovanih u sedmoslojnu ambalažu, za najkraći period skladištenja, su prikazali uzorci 7L ATM, pakovani u atmosferi vazduha. Uzorci 7L MAP SK pakovani u modifikovanoj atmosferi sa dodatkom sakupljača kiseonika su prikazali veće promene koncentracije merenih gasova, u odnosu na uzorke 7L MAP, koji su pakovani bez sakupljača kiseonika. Koncentracija merenih gasova u ambalaži se najmanje menjala tokom skladištenja kod uzoraka 7L ATM SK, pakovanih u atmosferi vazduha, uz dodatak sakupljača kiseonika.
- Kada se uporede svi uzorci pita sa sirom, pakovani u petoslojnu i sedmoslojnu ambalažu, najveće promene koncentracije gasova su izmerene kod uzoraka pakovanih u atmosferi vazduha, bez dodatka sakupljača kiseonika. Veće promene koncentracije gasova zabeležene su kod uzoraka pakovanih u petoslojnu ambalažu 5L ATM, u odnosu na uzorke pakovane u sedmoslojnu ambalažu 7L ATM. Zatim, kod uzoraka pakovanih u

modifikovanoj atmosferi sa sakupljačem kiseonika, veće promene koncentracije prikazuju uzorci pite sa sirom pakovani u sedmoslojnu ambalažu 7L MAP SK, u odnosu na pite sa sirom pakovane u petoslojnu ambalažu 5L MAP SK. Sedmoslojna ambalaža pokazuje nešto bolje barijerne karakteristike, odnosno manje promene koncentracije gasova, u slučaju pakovanja u modifikovanoj atmosferi, bez dodatka sakupljača kiseonika 7L MAP, u odnosu na petoslojnu ambalažu 5L MAP. Najmanje oscilacije merenih gasova tokom skladištenja pokazuju uzorci 5L ATM SK, a odmah zatim 7L ATM SK, pakovani u atmosferi vazduha sa dodatkom sakupljača kiseonika.

- Sedmoslojna ambalaža poseduje znatno veće vrednost zatezne jačine vara u odnosu na petoslojnu ambalažu. Svi varovi su dobro formirani i nije konstatovana mikroporoznost vara nijednog uzorka.
- Rezultati kiselinskog stepena pita sa sirom su se kretali u intervalu od 2,18 do 3,27. Nakon šesnaeste nedelje skladištenja kod uzoraka 5L ATM SK i 7L ATM SK, rezultati kiselinskog stepena su iznosili 2,72 i 2,69.
- Vrednosti peroksidnog broja ispitivanih pita sa sirom tokom procesa skladištenja su se kretale od 4,1 do 12,47. Nakon šesnaeste nedelje skladištenja uzorci 5L ATM SK i 7L ATM SK su dostigli vrednosti 7,43 i 7,10.
- Aktivnost vode uzoraka pita sa sirom su se kretale od $0,89 \pm 0,01$ do $0,96 \pm 0,01$. Aktivnost vode uzoraka pita sa sirom je opadala tokom perioda skladištenja.
- Prosečna vrednost sadržaja vlage proizvoda se kretala od 30,23% do 38,5%. Praćenjem pojedinačnih rezultata, sadržaj vlage je opadao tokom perioda skladištenja, naročito kod uzoraka pakovanih u atmosferi vazduha. Rezultati vlažnosti proizvoda uzoraka 5L ATM SK ($35,31 \pm 3\%$) i 7L ATM SK ($37,44 \pm 2,03\%$) nakon šesnaest nedelja skladištenja se nisu statistički značajno promenili.

- Analizom masnokiselinskog sastava utvrđeno je prisustvo masnih kiselina karakterističnih za proizvode sa mlečnim punjenjem. Nakon skladištenja nije došlo do statistički značajne promene u sadržaju masnih kiselina, sa izuzetkom dinezasićene *cis,cis-9,12*-oktadekadienske (linolne) kiseline. Linolna kiselina se delom transformisala u svoj stabilniji *trans*-izomer *cis,trans-9,11*-oktadekadiensku, odnosno konjugovanu linolnu kiselinu, a delom katabolisala u produkte manje molekulske mase, kao što su niži aldehidi, ketoni i alkoholi.
- Period skladištenja utiče na senzorski kvalitet pita sa sirom. Svi uzorci koji nisu sadržali povećan broj mikroorganizama, prema preporukama ocenjivača na osnovu definisanih ocena-nivoa kvaliteta, su prihvatljivi za konzumaciju.
- Mikrobiološkom analizom nisu izolavane *Enterobacteriaceae* i *Bacillus cereus* u količini većoj od dozvoljene vrednosti. Praćenjem ukupnog broja kvasaca i plesni utvrđeno je da pakovanjem pite sa sirom u petoslojni ili sedmoslojni ambalažni materijal, u atmosferi vazduha uz dodatak sakupljača kiseonika, nakon 16 nedelja skladištenja, ne dolazi do porasta ukupnog broja kvasaca i plesni.
- Cilj doktorske disertacije je u potpunosti ispunjen. Odabrani ambalažni materijali i uslovi pakovanja su pokazali uticaj na održivost upakovane pite sa sirom. Pakovanjem pite sa sirom u odabranu ambalažu pod atmosferskim uslovima, uz tehniku aktivnog pakovanja sa sakupljačem kiseonika, moguće ih je skladištiti u periodu od 16 nedelja.
- Ova istraživanja predstavljaju osnovu za dalja istraživanja uticaja ambalaže i pakovanja na druge tradicionalne pekarske proizvode, upotrebom različitih tehnika aktivnog, kao i inteligentnog pakovanja.

6. LITERATURA

1. Abdi H., Williams L.J. (2010). Principal component analysis, Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics 2: 433–459.
2. Afzal A., Shehzad A., Randhawa M.A., Asghar A., Shoaib M., Jahangir M.A (2013). Health Benefits and Importance of Utilizing Wheat and Rye. Pakistan Journal of Food Science 23(4): 212-222.
3. Akkaya A., Koc B. (2017). Past, Present and Tomorrow of Baklava. International Rural Tourism and Development Journal Uluslararası Kırsal Turizm ve Kalkınma Dergisi 1(1): 47-50.
4. Alam T., Goyal G.K. (2011). Effect of MAP on microbiological quality of Mozzarella cheese stored in different packages at 7 ± 1 °C. Journal of Food Science and Technology 48 (1): 120-123.
5. Ali Karrar E. M. (2014). A Review on: Antioxidant and Its Impact during the Bread Making Process. International Journal of Nutrition and Food Sciences 3 (6): 592-596.
6. Amani P., Gadde L. (2015). Shelf life extension and food waste reduction. In: 2015 International European Forum, February 17-21 2014. Innsbruck-Igls, Austria.: 17-21.
7. Amendola J., Rees N. (2002). Understanding baking: the art and science of baking. 3rd edition. Hoboken. New Jersey. Wiley i Sons, Inc.
8. Andrade-Molina T.P.C., Shirai M.A., Grossmann M.V.E., Yamashita F. (2013). Active biodegradable packaging for fresh pasta. Food Science and Technology 54: 25-29.
9. Arvanitoyannis I. (2012). Principles of MAP and Definitions of MAP, CA, and AP. In: Arvanitoyannis I., editor. Modified Atmosphere and Active Packaging Technologies. CRC Press Taylori Francis Group, Boca Raton, FL: 3-9.
10. Arvanitoyannis I., Bouletis A. (2012). Materials (Films), Gases, and Machinery (Techniques) for MAP. In: Arvanitoyannis I., editor. Modified Atmosphere and Active Packaging Technologies. CRC Press Taylori Francis Group, Boca Raton, FL: 10-38.
11. Arvanitoyannis I., Oikonomou G. (2012). Active and Intelligent Packaging. In: Arvanitoyannis I., editor. Modified Atmosphere and Active Packaging Technologies. CRC Press Taylor i Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300: 628-662.

12. Asensio R.C., Moya M.S.A., de la Roja J.M., Gómez M., (2009). Analytical characterization of polymers used in conservation and restoration by ATR-FTIR spectroscopy. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 395 (7): 2081–2096.
13. 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(3): 164-168.
14. Auerman L.J. (1988). Tehnologija pekarske proizvodnje. Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad.
15. Avérous L., Pollet E. (2012). Biodegradable Polymers. In: Avérous, L., Pollet, E., editors. *Environmental Silicate Nano-Biocomposites. Green Energy and Technology*. 1st edition. London, UK: Springer-Verlag: 13-40.
16. Ayub M., Wahab S., Durrani Y. (2003). Effect of water activity (aw), moisture content and total microbial count on the overall quality of bread. *International Journal of Agriculture and Biology* 5: 274-278.
17. Azapagic, A., Emsley, A., Hamerton, I. (2003a). Polymers in everyday use: principles, properties and environmental effects. In: Hamerton, I., editor. *Polymers, the environment and sustainable development*. 1st edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley i Sons, Inc.: 17-47.
18. Azapagic, A., Emsley, A., Hamerton, I. (2003b). The environment and sustainable development: an integrated strategy for polymers. In: Hamerton, I., editor. *Polymers, the environment and sustainable development*. 1st edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley i Sons, Inc.: 1-17.
19. Babu R., O'Connor K., Seeram R. (2013). Current progress on bio-based polymers and their future trends. *Progress in Biomaterials* 2(8):1-16.
20. Bastioli C. (2005). Biodegradability of Polymers – Mechanisms and Evaluation Methods. In: Bastioli C., editor. *Handbook of biodegradable Polymers*. 1st edition. Shrewsbury, Shropshire, UK: Rapra Technology Limited: 1-33.
21. Beaudry R. (2007). MAP as a basis for active packaging. In: Wilson C., editor. *Intelligent and Active Packaging for Fruits and Vegetables*. CRC Press Taylori Francis Group, Boca Raton, FL: 31-57.

22. Bento L.M., Silva M.C.P.D., Chaves K.D.S., Stefani R. (2015). Development and Evaluation of a Smart Packaging for the Monitoring of Ricotta Cheese Spoilage. *MedCrave Online Journal (MOJ) of Food Processing i Technology* 1(1): 9-11.
23. Bix L., De La Fuente J., Sundar R. P., Lockhart H. (2009). Packaging Design and Development. In: Yam K. editor. *The Wiley Encyclopedia of Food Packaging Tehnology*. 3rd edition. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, NJ: 859-866.
24. Blakistone B.A. (1999). Introduction. In: Blakistone B.A., editor. *Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods*. Second Edition. Aspen Publishers Inc., Gaithersburg, Maryland: 1-13.
25. Brody A. (1999). Markets for MAP foods. In: Blakistone B.A., editor. *Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods*. Second Edition. Aspen Publishers Inc., Gaithersburg, Maryland: 14-38.
26. Brody A. (2007). A chronicle of intelligent packaging. In: Wilson C. editor. *Intelligent and Active Packaging for Fruits and Vegetables*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA: 1-11.
27. Brody A., Strupinsky E., Kline L. (2001). *Active Packaging for Food Applications*. CRC Press LLC, 2000 N W Corporate Blvd, Boca Ranton, Florida.
28. Brydson J.A. (1999). Aliphatic Polyolefins other than Polyethylene, and Diene Rubers. In: Brydson J.A. editor. 7th edition. *Plastics Materials*. Butterworth Heinemann, Oxford: 247-310.
29. Cauvain S.P., Young L.S. (2005). *Baked Products: Science, Technology and Practice*. Blackwell Publishing Ltd, Oxford.
30. Chochkov R., Gercheva G., Dimitrov N. (2018). Effect of storage time on hardness and water activity of pastry biscuits with thyme, oregano and sage. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science* 3(1): 177-179.
31. Chudy S., Pikul J., Rudzińska M. (2015). Effects of storage on lipid oxidation in milk and egg mixed powder. *Journal of Food and Nutrition Research* 54 (1): 31-40.
32. Coles R. (2003). Introduction. In: Coles R., McDowell D., Kirwan M. editors. *Food Packaging Technology*. 1st edition. Blackwell Publishing Ltd, CRC Press LLC, Boca Raton, USA: 1-29.

33. Cruz R.S., Camilloto G.P., dos Santos Pires A.C. (2012). Oxygen scavengers: an approach on food preservation. In: Elisa A.A., editor. *Structure and Function of Food Engineering*. InTech, New York: 21-42. <http://dx.doi.org/10.5772/48453>
(Poslenji put pristupljeno 08. VIII 2019.)
34. Cruz R.S., Soares N.F.F., de Andrade N.J. (2006). Evaluation of oxygen absorber on antimicrobial preservation of lasagna – type fresh pasta under vacuum packed. *Ciência e Agrotecnologia* 30 (6): 1135-1138.
35. Curaković M., Vujković I., Gvozdrenović J., Lazić V. (1992). *Praktikum-kontrola ambalažnih materijala i ambalaže*. Tehnološki fakultet, Novi Sad.
36. Cvetković B. (2014). *Primena tehnoloških postupaka spontane fermentacije i osmotske dehidratacije za unapređenje nutritivnog profila, senzorskih svojstava i održivosti kupusa*, doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
37. Dainelli D., Gontard N., Spyropoulos D., Zondervan-van den Beuken E., Tobback P. (2008). Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. *Trends in Food Science i Technology* 19: 103-112.
38. Dalsgaard T. K., Sørensen J., Bakman M., Vognusen L., Nebel C., Albrechtsen R., Nielsen J. (2010). Light-induced protein and lipid oxidation in cheese: Dependence on fat content and packaging conditions. *Dairy Science i Technology* 90 (5): 565-577.
39. Datamonitor (2010). *Containers i Packaging: Global Industry Guide 2010*. Datamonitor, London.
40. Day B.P.F. (2003). Active packaging. In: Coles R., McDowell D., Kirwan M., editors. *Food Packaging Technologies*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA: 282–302.
41. Del Nobile M.A., Conte A., Incoronato A.L., Panza O. (2009). Modified atmosphere packaging to improve the microbial stability of Ricotta. *African Journal of Microbiology Research* 3 (4): 137-142.
42. Delcour J.A., Hoseney R.C. (2010). *Principles of Cereal Science and Technology*. AACCI International Inc., St. Paul, MN.
43. DIN 53380 (1969). *Prüfung Kunststoffolien, Elastomerfolien, Bestimmung der Gasdurchlässigkeit*.

44. 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.
45. Dixon J. (2011). *Packaging Materials. 9. Multilayer Packaging for Food and Beverages.* ILSI Europe Report Series, Brussels, Belgium: 1-41.
46. Dobre A., Niculiță P. (2012). Preliminary Research to Develop Active Packaging for Bakery Products Using Essential Oils. *Scientific Bulletin, Series F, Biotechnologies* 16: 139-145.
47. Dobrucka R., Cierpiszewski (2014). Active and Intelligent Packaging Food – Research and Development – A Review. *Polish Journal of Food and Nutrition Science* 64 (1): 7-15.
48. ECR Europe (2009). *The European Organisation for Packaging and the Environment, InnsR. Packaging in the Sustainability Agenda: A Guide for Corporate Decisions Makers.* ESC Europe, Brussels, Belgium.
49. El-Khoury A.A. (1999). *Shelf Life Extension Studies on pita Bread [dissertation].* Department of Food Science and Agricultural Chemistry Macdonald Campus McGill University Montreal, Quebec.
50. Emblem A. (2012). *Packaging and society.* In: Emblem A., Emblem H., editors. *Packaging technology: Fundamentals, materials and processes.* First edition. Woodhead Publishing Limited, Sawston, Cambridge: 3-9.
51. Evropska uprava za bezbednost hrane (European Food Safety Authority, EFSA). (2010). *Scientific Opinion on Dietary Reference Values for fats, including saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol.* *EFSA Journal* 8 (3): 1-107.
52. Fernández-Saiz P., Lagaron, J. (2011). *Chitosan for Film and Coating Applications.* In: Plackett, D., editor. *Biopolymers – New Materials for Sustainable Films and Coatings.* 1st edition. Chichester, United Kingdom. John Wiley i Sons: 87-107.
53. Gaikwad K., Singh S., Suk Lee Y. (2018). Oxygen scavenging films in food packaging. *Environmental Chemistry Letters* 16(2): 523-538.
54. Gibis D., Rieblinger K. (2011). Oxygen scavenging films for food application. *Procedia Food Science* 1: 229-234.
55. Go Clean Label (2018). *Your Guide to clean label.* <https://gocleanlabel.com/>
(Poslenji put pristupljeno 08. VIII 2019.)

56. Grayhurst P. (2012). Glass packaging. In: Emblem A., Emblem H., editors. Packaging technology: Fundamentals, materials and processes. First edition. Woodhead Publishing Limited, Sawston, Cambridge: 109-121.
57. Guynot M.E., Marín S., Sanchis V., Ramos A.J. (2003a). Modified Atmosphere Packaging for Prevention of Mold Spoilage of Bakery Products with Different pH and Water Activity Levels. *Journal of Food Protection* 66 (10): 1864-1872.
58. Guynot M.E., Sanchis V., Ramos A.J., Marín S. (2003b). Mold-free Shelf-life Extension of Bakery Products by Active Packaging. *Journal of Food Science* 68(8): 2547-2552.
59. Han J. (2005). New Technologies in Food Packaging: Overview. In: Han J. editor. *Innovations in Food Packaging*. Elsevier Ltd., Oxford, UK: 1-10.
60. Han J., Colin H., Rodrigues E. (2005) Intelligent packaging. In: Han J. editor. *Innovations in Food Packaging*. Elsevier Ltd., Oxford, UK: 138-153.
61. Han J., Ruiz-Garcia L., Qian J., Yang X. (2018). Food Packaging: A Comprehensive Review and Future Trends. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17: 860-877.
62. Hastings M.J. (1993). Packaging machinery. In: Parry R.T., editor. *Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods*. First edition. Springer Science+Business Media, Dordrecht: 41-62.
63. Hatfield E., Horvath L. (2009). Coextrusions for Flexible Packaging. In: Yam K. editor. *The Wiley Encyclopedia of Food Packaging Tehnology*. 3rd edition. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, NJ: 305-309.
64. Hoover, R. (1995). Starch retrogradation. *Food Reviews International* 11: 331–346.
65. Hosseinnejad M. (2014). Active packaging for food applications - A review. *International journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 2 (4): 1174-1180.
66. Hromiš (Krkić) N., Lazić V., Petrović Lj., Gvozdrenović J., Šuput (Pejić) D. (2012). The properties of chitosanlaminated collagen film. *Food Technology and Biotechnology*. ISSN 1330-9862
67. Hui Y.H., Corke H., De Leyn I., Nip W.K., Cross N. (2006). *Bakery Products Science and Technology*. Blackwell Publishing Ltd., Oxford OX4 2DQ, UK
68. ISO 2528:1995. Gravimetrijska metoda određivanja propustljivosti ambalaže na vodenu paru.

69. Jane J. (2009). Structural Features of Starch Granules II. In: BeMiller J., Whistler R., editors. In: *Starch: Chemistry and Technology* (3rd ed.). Amsterdam: Academic Press, The Netherlands: 193-236.
70. Janet, C. (2009). The Usefulness of Pie. In: Smith, A., editor. *Pie A Global History. The edible series*. London. Reaktion Books Ltd.: 35-37.
71. Jariyawaranugoon U. (2013). Combined Effect of Honey and O₂ Absorber Packaging on Storage Quality of Chocolate Sponge Cake. *Advance Journal of Food Science and Technology* 5(3): 236-243.
72. Johansson K. (2013). *Oxygen-reducing enzymes in coatings and films for active packaging [dissertation]*. Faculty of Health, Science and Technology, Department of Engineering and Chemical Sciences, Karlstad University Studies, Karlstad, Sweden.
73. Jovanović, S., Džunuzović, J. (2011). Praveci razvoja ambalaže od polimernih materijala, *Hemijska Industrija* 65 (6): 621-635.
74. Jung M., Horgen D., Orski S., Rodriguez V., Beers K., Balazs G., Jones T., Work T., Brignac K., Royer S.J., Hyrenbach D., Jensen B., Lynch J. (2018). Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms. *Marine Pollution Bulletin* 127: 704-716.
75. Karam L., Jama C., Dhulster P., Chihib N. (2013). Study of surface interactions between peptides, materials and bacteria for setting up antimicrobial surfaces and active food packaging. *Journal of Materials and Environmental Science* 4 (5): 798-821.
76. Kerry J.P. (2014). New packaging technologies, materials and formats for fast-moving consumer products. In: Han J.H. editor. *Innovations in food packaging*. 2nd ed. San Diego, USA, Academic Press: 549-584.
77. Khoshgozaran S., Azizi M.H., Bagheripoor-Fallah N. (2012). Evaluating the effect of modified atmosphere packaging on cheese characteristics: a review. *Dairy Science and Technology* 92: 1-24.
78. Kim Y.T., Min B., Kim K.W. (2014). General Characteristics of Packaging Materials for Food System. In: Han J. editor. 2nd edition. *Innovations in Food Packaging*, Ed. Elsevier Ltd., Oxford, UK: 13-35.

79. Kirwan M.J. (2003). Paper and paperboard packaging. In: Coles R., McDowell D., Kirwan M.J. editors. Food Packaging Technology. 1st edition. Blackwell Publishing Ltd, CRC Press LLC, Boca Raton, USA: 241-282.
80. Kirwan M.J., Plant S., Strawbridge J. (2011). Plastics in Food Packaging. In: Coles R., Kirwan M.J., editors. Food and Beverage Packaging Technology. Second Edition. John Wiley i Sons, Ltd., Publication: 157-212.
81. Kirwan, M.J., Strawbridge, J. (2003). Plastics in food packaging. In: Coles, R., McDowell, D., Kirwan, M.J., editors. Packaging Technology Series. 1st edition. Boca Raton, USA: CRC Press LLC: 174-241.
82. Koprivica G. (2013). Nutritivni profil i senzorski kvalitet voća i povrća osmotski dehidriranog u melasi šećerne repe i rastvorima saharoze, doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet, Novi Sad.
83. Kotsianis I.S., Giannou V., Tzia C. (2002). Production and packaging of bakery products using MAP technology. Trends in Food Science i Technology 13: 319–324.
84. Lazić V., Gvozdrenović J. (2007). Biopolimeri kao ambalažni materijali. Prehrambena industrija 1-2: 19- 22.
85. Lazić V., Gvozdrenović J., Petrović T. (2008). Mogućnosti savremenog pakovanja hrane. Časopis za procesnu tehniku i energetiku u poljoprivredi PTEP 12: 49-52.
86. Lazić V., Krkić N., Petrović Lj., Tasić T., Ikonić P., Savatić S., Šojić B. (2010). Svojstva ambalažnih materijala za pakovanje fermentisanih kobasica pod vakuumom i u modifikovanoj atmosferi. Tehnologija mesa 51: 95-102.
87. Lazić V., Popović S. (2015). Biorazgradivi ambalažni materijali. Tehnološki Fakultet Novi Sad, Novi Sad.
88. Lazić, V., Novaković, D. (2010). Ambalaža i životna sredina, Tehnološki fakultet, Novi Sad
89. Leja K., Lewandowicz G. (2010). Polymer Biodegradation and Biodegradable Polymers – a Review. Polish Journal of Environment Studies 19(2): 255-266.
90. Lončar B. (2015). Hemometrijski pristup analizi osmotske dehidratacije srebrnog karaša (*Carassius gibelio*), doktorska disertacija. Univerzitet u Novom Sadu, Tehnološki fakultet prehrambeno-biotehnološke nauke, Novi Sad.

91. Manso S., Pezo D., Gómez-Lus R., Nerín C. (2014). Diminution of aflatoxin B1 production caused by an active packaging containing cinnamon essential oil. *Food Control* 45: 101-108.
92. Marsh K., Bugusu B. (2007). Food Packaging - Roles, Materials and Environmental Issues, *Journal of Food Science* 72 (3): 39-56.
93. Matthäus B. (2010). Oxidation in Foods and Beverages and Antioxidant Applications. Management in Different Industry Sectors. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition: 183-238.
94. Mattila T., Tawast J., Ahvenainen R. (1990) New possibilities for quality control of aseptic packages: microbiological spoilage and seal defect detection using head-space indicators. *Lebensmittel-Wissenschaft und – Technologie* 23: 246–251.
95. McMillin K. (2008). Where is MAP Going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat. *Meat Science* 80: 43–65.
96. Moate P.J., Chalupa W., Boston R.C., Lean I.J. (2007). Milk Fatty Acids. I. Variation in the Concentration of Individual Fatty Acids in Bovine Milk. *Journal of Dairy Science* 90 (10): 4730-4739.
97. Muizniece-Brasava S., Dukalska L., Murniece I., Dabina-Bicka I., Kozlinskis E., Sarvi S., Santars R., Silvjane A. (2012). Active Packaging Influence on Shelf Life Extension of Sliced Wheat Bread. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 67: 1128-1135.
98. Noda I., Dowrey A.E., Haynes J.L., Marcott C. (2007). Group frequency assignments for major infrared bands observed in common synthetic polymers. In: Mark J.E. editor. *Physical Properties of Polymers Handbook*. Springer Science + Business Media LLC, New York: 395–406.
99. Page B., Edwards M., May N. (2003) Metal cans. In: Coles R., McDowell D., Kirwan M. editors. *Food Packaging Technology*. 1st edition. Blackwell Publishing Ltd, CRC Press LLC, Boca Raton, USA: 120-152.
100. Pajin B. (2000) Tehnološki kvalitet suncokreta za namensku primenu u konditorskim proizvodima. Novi Sad: Tehnološki fakultet, magistarski rad.
101. Pajin B. (2009) Praktikum iz tehnologije konditorskih proizvoda. Novi Sad: Tehnološki fakultet.

102. Parodi P.W. (1999). Conjugated Linoleic Acid and Other Anticarcinogenic Agents of Bovine Milk Fat. *Journal of Dairy Science* 82: 1339-1349.
103. Parry R.T. (1993). Introduction. In: Parry R.T., editor. *Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods*. First edition. Springer Science+Business Media, Dordrecht: 1-17.
104. Patel R., Prajapati JP., Balakrishnan S. (2018). Packaging Trends of Dairy and Food Products. *Research i Reviews: Journal of Food and Dairy Technology* 6 (1): 1-9.
105. Peacock, A. (2000). *Handbook of Polyethylene Structures, Properties, and Applications*, Marcel Dekker Inc., New York
106. Piringer O.G. (2000). Characteristics of Plastic Materials. In: Piringer O.G., Baner A.L. editors. *Plastic Packaging Materials for Food. Barrier Function, Mass Transport, Quality Assurance, and Legislation*. Wiley-VCH, Verlag GmbH, Weinheim, Germany: 9-42.
107. Plackett D. (2011). Introductory Overview. In: Plackett, D., editor. *Biopolymers – New Materials for Sustainable Films and Coatings*. 1st edition. Chichester, United Kingdom: John Wiley i Sons: 3-15.
108. Plavšić D., Psodorov D., Psodorov Đ., Kalenjuk B., Tešanović D., ČabarkapaI., Šarić Lj. (2011). Microbiological safety of strudel filled with poppy seeds and packaged in modified atmosphere. *Food and Feed Research* 2: 43-50.
109. Pop F., Boltea D. (2014). Evaluation of oxidation and hydrolysis in milk fat during freezing storage. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies* 20 (1): 39-45.
110. Prasad P., Kochhar A. (2014). Active Packaging in Food Industry: A Review. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology* 8 (5). 1-7.
111. Pravilnik o deklarisanju, označavanju i reklamiranju hrane (Službeni glasnik RS, 19/2017 i 16/2018)
112. Pravilnik o higijenskoj ispravnosti vode za piće (Službeni glasnik SRJ, 42/98 i 44/99).
113. Pravilnik o kvalitetu i drugim zahtevima za fine pekarske proizvode, žita za doručak i snek proizvode (Službeni glasnik RS, 68/2016)
114. Pravilnik o kvalitetu i drugim zahtevima za mleko, mlečne proizvode, kompozitne mlečne proizvode i starter kulture (Službeni glasnik RS, 33/2010).
115. Pravilnik o kvalitetu i drugim zahtevima za so za ljudsku ishranu i proizvodnju namirnica (Službeni glasnik SCG, 31/2005).

116. Pravilnik o kvalitetu žita, mlinskih i pekarskih proizvoda i testenina (Službeni glasnik RS, 56/2018)
117. Pravilnik o metodama fizičkih i hemijskih analiza za kontrolu kvaliteta žita, mlinskih i pekarskih proizvoda, testenina i brzo smrznutog testa (Službeni list SFRJ, 74/88).
118. 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.
119. Psodorov, Đ., Psodorov, D. (2014). *Tehnologija pekarstva i poslastičarstva*, Mlinpek zavod, Novi Sad ISBN: 978-86-912823-6-3
120. Realini C.E., Marcos B. (2014). Active and intelligent packaging systems for a modern society. *Meat Science* 98: 404–419.
121. Rehm B. (2010). *Bacterial polymers: biosynthesis, modifications and applications*. Macmillan Publishers Limited: 1-15.
122. Restuccia D., Puoci F., Parisi O., Picci N. (2015). Food Applications of Active and Intelligent Packaging: Legal Issues and Safety Concerns. In: Cirillo G., Spizzirri U. G., Iemma F. editors. *Functional Polymers in Food Science*. Scrivener Publishing LLC: 401-429.
123. Riley A. (2012a). Basics of polymer chemistry for packaging materials. In: Emblem A., Emblem H., editors. *Packaging technology: Fundamentals, materials and processes*. First edition. Woodhead Publishing Limited, Sawston, Cambridge: 262-286.
124. Riley A. (2012b). Paper and paperboard packaging. In: Emblem A., Emblem H., editors. *Packaging technology: Fundamentals, materials and processes*. First edition. Woodhead Publishing Limited, Sawston, Cambridge: 178-239.
125. Rinsky G., Halpin Rinsky L. (2009). *The Pastry Chef's Companion. A Comprehensive Resource Guide for the Baking and Pastry Professional*. John Wiley i Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
126. Risch S. (2009). Food Packaging History and Innovations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57: 8089-8092.
127. Ritvanen T., Putkonen T., Peltonen K. (2012). A Comparative Study of the Fatty Acid Composition Dairy Products and Margarines with Reduced or Substituted Fat Content. *Food and Nutrition Sciences* 3: 1189-1196.

128. Robertson G.L. (2006). Active and Intelligent Packaging. In: Robertson G.L. editor. Food Packaging Principles and Practice. 2nd edition. CRC Press, Boca Raton, FL, USA: 399-429.
129. Robertson G.L. (2009). Packaging of Food. In: Yam K. editor. The Wiley Encyclopedia of Food Packaging Tehnology. 3rd edition. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, NJ: 891-898.
130. Rodinson M., Arberry A. J. (2001). Medieval Arab cookery. Prospect Books. Devon, England.
131. Rodríguez A., Nerín C., Batlle R. (2008). New Cinnamon-Based Active Paper Packaging against *Rhizopusstolonifer* Food Spoilage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56: 6364-6369.
132. Romeo F.V., De Luca S., Piscopo A., Santisi V., Poiana M. (2010). Shelf-life of Almond Pastry Cookies with Different Types of Packaging and Levels of Temperature. *Food Science and Technology International* 16 (3): 233-240.
133. Rooney M. (1995). Active Packaging in Polymer Films. In: Rooney M., editor. Active Food Packaging. Blackie Academic i Professional, an imprint of Chapman i Hall, Wester Cleddens Road, Bishopbriggs, Glasgow: 74-111.
134. Rooney M. (2007). History of active packaging. In: Wilson C. editor. Intelligent and Active Packaging for Fruits and Vegetables. CRC Press, Boca Raton, FL, USA: 11-31.
135. Sackey S., Vowotor M., Owusu A., Mensah-Amoah P., Tatchie E., Sefa-Ntiri B., Hood C., Atiemo S. (2015). Spectoroscopic Study of UV Transparency of Some Materials. *Environment and Pollution* 4(4): 1-17.
136. Salaman R. (1986). Food in Motion. The Migration of Foodstuffs and Cookery Techniques. In: Jaine T. edditor. Proceedings: Oxford Symposium 1983, Tom 2. Prospect Books Ltd, 45 Lamont Road, London SW10 HU: 184-187.
137. Sanguinetti A.M., Secchi N., Del Caro A., Catzeddu P., Roggio T., Stara G., Madrau M.A., Piga A. (2009). Effectiveness of active and modified atmosphere packaging on the shelf-life extension of a cheese tart. *Italian Journal of Food Science (Special Issue)*: 118-121.
138. Schöfer A. (2010). EU Legislation. In: Rijk R., Veraart R., editors. Global Legislation for Food Packaging Materials. Wiley-VCH Verlag GmbH i Co. KgaA, Weinheim, Germany: 1-25.

139. Schünemann C., Treu G. (1988). *Baking: The Art and Science. A Practical Handbook for the Baking Industry*. Alberta, Canada: Baker Tech.
140. Sedej I., Sakač M., Mandić A., Mišan A., Pestorić M., Šimurina O., Čanadanović-Brunet J. (2011) Quality assessment of gluten-free crackers based on buckwheat flour. *LWT – Food Science and Technology* 44: 694-699.
141. Seiler D.A.L. (1999). Bakery products. In: Blakistone B.A., editor. *Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods*. Second Edition. Aspen Publishers Inc., Gaithersburg, Maryland: 135-156.
142. Sen C., Das M. (2016). Trends in Food Packaging Technology. In: Goyal M., Meghwal M., *Food Process Engineering, Emerging Trends in Research and Their Applications*. Apple Academic Press: 3-23.
143. Singh K., Singh N. (2005). Quality of packaged foods. In: Han J. editor. *Innovations in Food Packaging*. Elsevier Ltd., Oxford, UK: 24-45.
144. Singh P., Wani A.A., Saengerlaub S. (2011). Active packaging of food products: recent trends. *Nutrition i Food Science* 41 (4): 249-261.
145. Siverstvik M. (2007). Lessons from other commodities: fish and meat. In: Wilson C., editor. *Intelligent and Active Packaging for Fruits and Vegetables*. CRC Press Taylori Francis Group, Boca Raton, FL: 151-161.
146. Smith J.P. (1993). Bakery products. In: Parry R.T., editor. *Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods*. First edition. Springer Science+Business Media, Dordrecht: 134-166.
147. Smithers P. (2016). *Global Packaging Market Could Top \$1 Trillion in 2020: SmithersPira*. *Converting Quarterly, Web Processing i Finishing Technologies* <http://www.convertingquarterly.com/industry-news1/global-packaging-market-could-top-1-trillion-in-2020-smitherspira> (Poslenji put pristupljeno 08. VIII 2019.)
148. Smolader M. (2008) *Freshness Indicators for Food Packaging*. In: Kerry J., Butler P. editors. *Smart Packaging Technologies for fast moving consumer goods*. John Wiley and Sons, Ltd., The Atrium, Southem Gate, Chichester, England: 111-129.
149. Södergård A., Inkinen S. (2011). Production, Chemistry and Properties of Polylactides. In: Plackett, D., editor. *Biopolymers – New Materials for Sustainable Films and Coatings*. 1st edition. Chichester, United Kingdom. John Wiley i Sons: 43-65.

150. SRPS EN ISO 7932:2009. Određivanje ukupnog broja bakterija iz roda *Bacillus Cereus*.
151. SRPS G.E4.111. tačka 3.2.2.-povučen. Merenje čvrstoće vara.
152. SRPS G.S2.702. Određivanje mase ambalaže po jedinici površine.
153. SRPS G.S2.733:1972. tačka 4, metoda A – povučen. Merenje debljine ambalažnog materijala.
154. SRPS G.S2.737:2011. Određivanje zatezne čvrstoće ambalaže pri kidanju.
155. SRPS ISO 21527-2:2011. Određivanje ukupnog broja kvasaca i plesni.
156. SRPS ISO 21528-2:2017. Određivanje ukupnog broja bakterija iz roda *Enterobacteriaceae*.
157. Stoiljković D. (1997). Polimerni materijali i njihov značaj za ambalažu. Hrana i ishrana 3-4: 5-8.
158. Stojanović T., Psodorov Đ. (2007). Savremena tehnologija žita, brašna i hleba. Visoka poljoprivredno prehrambena škola, Prokuplje.
159. Strong B. (2006). *Plastics Materials and Processing*, Pearson Education Inc, Upper Saddle River, New Jersey
160. Sudesh K., Doi Y. (2005). Polyhydroxyalkanoates. In: Bastioli, C., editor. *Handbook of biodegradable Polymers*. 1st edition. Shrewsbury, Shropshire, UK. Rapra Technology Limited: 219-257.
161. Sudesh K., Iwata, T. (2008). Sustainability of Biobased and Biodegradable Plastics. *Clean Journal* 36(5-6): 433-442.
162. Sun T., Tanumihardjo S.A. (2007). An integrated approach to evaluate food antioxidant capacity. *Journal of Food Science* 72: 159–165.
163. Suppakul P., Miltz J., Sonneveld K., Bigger S.W. (2003). Active Packaging Technologies with an Emphasis on Antimicrobial Packaging and its Applications. *Concise Reviews and Hypotheses in Food Science. Journal of Food Science* 68 (2): 408-421.
164. Tako M., Tamaki Y., Teruya T., Takeda Y. (2014). The Principles of Starch Gelatinization and Retrogradation. *Food and Nutrition Sciences* 5: 280-291.
165. The Framework Regulation (EC) No. 1935/2004.
166. 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.
167. Treuille E., Ferrigno U. (2004). *Ultimate Bread*. DK Publishing Inc., New York.

168. Vodič za primenu mikrobioloških kriterijuma za hranu (2011). Ministarstvo poljoprivrede, trgovine, šumarstva i vodoprivrede. Republika Srbija.
169. Voidarou C., Rozos G., Alexopoulos A., Plessas S., Stavropoulou E., Demertzis P., Akrida-Demertzi K., Bezirtzoglou E. (2012). Modified Atmosphere Packaging Failure and Its Effect on the Microbiological Quality of the Product. *Journal of Food Science and Engineering* 2: 336-340.
170. Vujković I. (1997). Polimerna i kombinovana ambalaža, Poli, Novi Sad.
171. Wagner J., Marks S. (2010). Introduction. In: Wagner J., editor. *Multilayer Flexible Packaging: Technology and Applications for the Food, Personal Care and Over-The-Counter Pharmaceutical Industries*. First edition. Elsevier Inc., The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford: 3-11.
172. Wheeler D.H. (1932). *Oil and Soap* 9:89.
173. Yam K. (2009). Packaging Functions and Environments. In: Yam K., editor. *The Wiley Encyclopedia of Food Packaging Tehnology*. 3rd edition. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, NJ: 869-871.
174. Yildirim S., Röcker B., Pettersen M.K., Nilsen-Nygaard J., Ayhan Z., Rutkaite R., Radusin T., Suminska P., Marcos B., Coma V. (2018). Active Packaging Applications for Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17: 165-199.
175. Yuan Lee S., Jae Lee S., Soo Choi D., Jin Hur S. (2015). Current topics in active and intelligent food packaging for preservation of fresh foods – A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture* doi: 10.1002/jsfa.7218.
176. Zakon o ambalaži i ambalažnom otpadu (Službeni glasnik RS, 36/2009).