

# Aktivna ambalaža na bazi biopolimera za pakiranje hrane

---

Ivanković, Stjepan

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:149:129600>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-26**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Chemical Engineering and Technology University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE

SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Stjepan Ivanković

Zagreb, rujan 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I  
TEHNOLOGIJEPOVJERENSTVO ZA ZAVRŠNE  
ISPITE

Kandidat Stjepan

Ivanković

Predao je izrađen

završni rad dana: 19. rujna

2023. Povjerenstvo u sastavu:

prof. dr. sc. Zlata Hrnjak Murgić, Sveučilište u Zagrebu  
Fakultetkemijskog inženjerstva i tehnologije

izv. prof. dr. sc. Vanja Kosar, Sveučilište u Zagrebu Fakultet  
kemijskoginženjerstva i tehnologije

prof. dr. sc. Ana Vrsalović Presečki, Sveučilište u Zagrebu  
Fakultetkemijskog inženjerstva i tehnologije

doc. dr. sc. Zvonimir Katančić, Sveučilište u Zagrebu Fakultet  
kemijskog inženjerstva i tehnologije (zamjena)

povoljno je ocijenilo završni rad i odobrilo obranu završnog rada  
predpovjerenstvom u istom sastavu.

Završni ispit održat će se dana: 22. rujna  
2023.

---

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET KEMIJSKOG INŽENJERSTVA I TEHNOLOGIJE

SVEUČILIŠNI PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Stjepan Ivanković

AKTIVNA AMBALAŽA NA BAZI BIOPOLIMERA ZA PAKIRANJE HRANE

Završni rad

Mentor: prof. dr. sc. Zlata Hrnjak-Murčić

Članovi ispitnog povjerenstva: prof. dr. sc. Zlata Hrnjak-Murčić

izv. prof. dr. sc. Vanja Kosar

prof. dr. sc. Ana Vrsalović Presečki

Zagreb, rujan 2023.

## SAŽETAK

Ambalažni materijali za pakiranje hrane imaju velik značaj u očuvanju kvalitete i roka trajanja hrane. Tako, polimerni materijali omogućuju zamrzavanje hrane i time značajno produljuju vijek njezina trajanja uz zadržavanje nutritivnih vrijednosti. Nadalje, to doprinosi kvaliteti prehrambenih navika i hrana nije samo sezonska već ju je moguće konzumirati kroz cijelu godinu. Također, značaj doprinos u smanjenju bacanja hrane i nastajanja biootpada jer usporava proces kvarenja. Stoga, je ambalažna za pakiranje hrane predmet stalnih istraživanja.

Ambalažni materijali za pakiranje hrane predstavljaju veliki problem nakon upotrebe zbog otežanog recikliranja tankih, često višeslojnih plastičnih materijal. Stoga, biopolimeri predstavljaju kvalitetnu zamjenu, kao materijali za pakiranje hrane budući da su biorazgradljivi. Kako bi se podigla kvaliteta ambalažnih materijala za pakiranje hrane s ciljem usporavanja proces kvarenja u bioplimerne filmove dodaju se aktivne tvari, pri čemu nastaje aktivna ambalaža. U ovom radu opisuju se različiti ambalažni materijali kao i njihova svojstva. Upoznaju se najznačajniji sintetski i biopolimeri koji se koriste za proizvodnju ambalaže za pakiranje hrane.

KLJUČNE RIJEČI: ambalaža, pakiranje hrane, polimerni materijali, recikliranje, sintetski polimeri, biopolimeri, biorazgradnja, aktivna ambalaža

# **ACTIVE PACKAGING BASED ON BIOPOLYMERS FOR FOOD PACKAGING**

## **SUMMARY**

Packaging materials for food packaging are of great importance in preserving the quality and shelf life of food. Thus, polymer materials allow food to be frozen and thereby significantly extend its shelf life while retaining its nutritional value. Furthermore, it contributes to the quality of eating habits and food is not only seasonal but can be consumed throughout the year. Also, a significant contribution to the reduction of food waste and the creation of biowaste because it slows down the spoilage process. Therefore, packaging for food packaging is the subject of constant research.

Packaging materials for food packaging represent a big problem after use due to the difficulty of recycling thin, often multi-layered plastic materials. Therefore, biopolymers represent a quality substitute, as materials for food packaging, since they are biodegradable. In order to improve the quality of packaging materials for food packaging with the aim of slowing down the spoilage process, active substances are added to biopolymer films, resulting in active packaging. This paper describes different packaging materials as well as their properties. The most important synthetic and biopolymers used for the production of packaging for food packaging are introduced.

**KEY WORDS:** packaging, food packaging, polymer materials, recycling, synthetic polymers, biopolymers, biodegradation, active packaging

## SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. AMBALAŽNI MATERIJALI ZA PAKIRANJE HRANE.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1. SVOJSTVA AMBALAŽNIH MATERIJALA.....</b>	<b>7</b>
<b>2.2. POLIMERNI AMBALAŽNI MATERIJALI.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3. BIOPOLIMERI ZA PAKIRANJE HRANE.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.1. Izvori i podjela biopolimera.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3.2. Biopolimeri za pakiranje hrane.....</b>	<b>22</b>
<b>2.4. AKTIVNA AMBALAŽA.....</b>	<b>28</b>
<b>3. ZBRINJAVANJE AMBALAŽE.....</b>	<b>32</b>
<b>3.1. ZBRINJAVANJE OTPADA.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2. TEHNOLOGIJE RECIKLIRANJA.....</b>	<b>33</b>
<b>3.3. BIORAZGRADNJA BIOPOLIMERA.....</b>	<b>34</b>
<b>4. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>36</b>
<b>5. LITERATURA.....</b>	<b>37</b>
<b>6. ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>39</b>

## 1. UVOD

U današnje vrijeme velika je potražnja za korištenjem polimera u prehrambenoj industriji za pakiranje hrane. Proizvodnja ambalaže za pakiranje hrane još uvijek većinom koristi sintetske polimere, no razvijanjem daljnih tehnologija dobivaju se ambalaže na bazi biopolimera. Sintetski polimeri imaju dobra mehanička, kemijska i fizikalna svojstva, njihova proizvodnja nije skupa. Posebno važno svojstvo je njihova niska gustoća, tj. polimerni materijali su lagani materijali što je od presudne važnosti prilikom transporta roba. Na taj način doprinosi značajno smanjenju emisija CO<sub>2</sub> budući da tijekom transporta masa ambalaže niska. Korištenjem ambalaže od sintetskih polimera može se uspostaviti dobra zaštitna barijera prilikom pakiranja hrane pri čemu se omogućava dobra zaštita hrane i proizvoda, jer usporava kvarenje i zadržava kvalitetu hrane. Unatoč dobrim svojstvima ambalaža od sintetskih polimera, njihova se upotreba pokušava smanjiti jer predstavljaju veliki problem u ekološkom i zdravstvenom pogledu. Jedna od najvećih mana primjene sintetskih polimera je njihova loša sposobnost biorazgradnje, tj. nisu biorazgradljivi te nakon odlaganja dugo zaostaju u okolišu. U okolišu se plastična ambalaža akumulira, najveći dio završava u vodama i morima te tako negativno utječu na biljni i životinjski svijet. Zbog tih negativnih svojstava korištenje biopolimera u proizvodnji ambalaže je sve češća.

Za razliku od sintetskih polimera, biopolimeri su biorazgradljivi što ih čini ekološki prihvatljivima prilikom upotrebe kao ambalaže za pakiranje hrane. Kako bi ambalaža od biopolimera imala što bolja svojstva za očuvanje kvalitete hrane to se često koriste aditivi za poboljšanje svojstva ambalaže. Takva ambalaža naziva se aktivna ambalaža budući da dodani aditivi imaju aktivno djelovanje tijekom primjene, te tako mogu usporavati proces peremacije kisika, CO<sub>2</sub>, vlage, upijanje mirisa, djeluju antimikrobno, odnosno, pouspješuju održivost hrane.



## 2. AMBALAŽNI MATERIJALI ZA PAKIRANJE HRANE

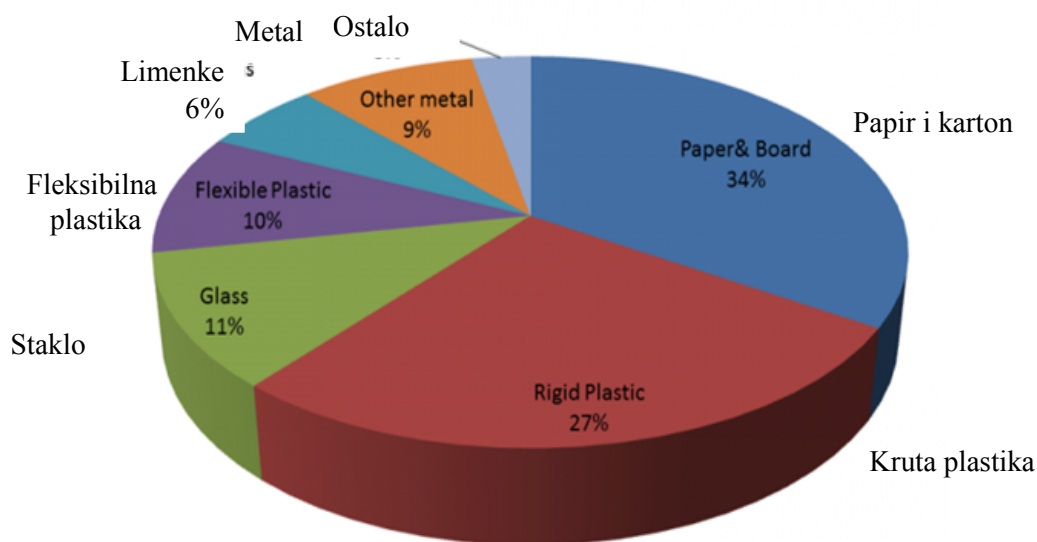
Glavne funkcije ambalaže za pakiranje hrane su zaštita od vanjskih utjecaja i oštećenja, produljuje vijek trajanja hrane, zadržavanje nutritivnih vrijednost hrane, čime se zadržava kvalitetu hrane. ostoje 3 osnovna načina zaštite ambalaže upakirane hrane pri čemu se sprječavaju; kemijski, biološki, mehaničko-fizički procesi. Kemijska zaštita smanjuje utjecaj okoliša na samu hranu i mogućnost njene promjene u strukturi, tj. usporava kvarenje, kada je ona podvrgnuta izlaganju na zraku, vlagi ili svjetlu. Biološka zaštita smanjuje utjecaj mikroorganizama (patogenih ili onih koji uzrokuju kvarenje hrane), insekata, glodavaca, i ujedno time sprječavaju širenje bolesti i propadanja. Osim toga, biološke zaštite održavaju uvjete za kontrolu starenja (kvarenja). Takve zaštitne funkcije temelje se na različitim mehanizama, uključujući sprječavanje pristupa hrani i proizvodu, onemogućavaju prijenos mirisa, zraka, vlage, i održavaju odgovarajuće atmosfere unutar pakiranja. Mehaničko-fizička zaštita služi kao štit hrani prilikom utjecaja neke vanjske mehaničke sile, kod koje bi moglo doći do oštećenja, kidanja hrane. Drugim riječima, ambalaža mora imati zadovoljavajuća mehanička svojstva, kako bi podnosila mehanička naprezanja, opterećenja prilikom skladištenja i transporta. Svaki oblik ambalaže mora omogućiti kvalitetnu zaštitu hrane i proizvoda [1].



Slika 1. Glavne funkcije ambalaže

Kvalitetna ambalaža omogućava zadržavanje kvalitete hrane jer produljuje vijek trajanja, zbog usporava propuštanja kisika, vlage, rast mikroorganizama te tako produljuje vijek trajanja hrane. Na taj način sprječava se uzaludno bacanje hrane, kao i smanjene potrošnje ambalaže, a onda i smanjenja nastajanja otpada i time se pridonosi zaštiti okoliša. Ambalaža za pakiranje hrane se radi od različitih materijala. Dizajn i konstrukcija materijala imaju značajnu ulogu jer pospješuju vijek trajanja hrane, a dobar

odabir materijala može očuvati kvalitetu i svježinu proizvoda. Najčešći materijali koji se koriste prilikom proizvodnje ambalaže su staklo, plastika, metali (aluminij, lim), i papir [1].



**Slika 2.** Udjeli upotrebe pojedinih ambalažnih materijala  
(Izvor: Rexam Consumer Packaging Report 2011/2012.) [2]

## STAKLO

Staklo koristi se kao ambalažni materijali već u dalekoj prošlosti. Staklena ambalaža često je površinski obložena kako bi se osiguralo podmazivanje u proizvodnoj liniji i eliminiralo grebanje ili površinska abrazija. Pomoću staklenih premaza se također povećava i čuva čvrstoća boce kako bi se smanjilo lomljenje. Povećanjem otpornosti stakla na lomljenje omogućava se korištenje tanjeg stakla, što smanjuje masu i bolje je za odlaganje i transport. Staklena ambalaža se može višestruko reciklirati pri čemu se značajno smanjuje negativan utjecaj na okoliš [1].



**Slika 3.** Staklene ambalaže

## METALI

Metali kao ambalažni materijali nude izvrsnu čvrstoću, fizičku zaštitu i kao zaštitna barijera imaju dobra svojstva, mogućnost oblikovanja i mogućnost recikliranja. Aluminij kao materijal ima odlična svojstva: otporan je na koroziju, toplinski je stabilan, i lagan je. Aluminiju se često dodaju elementi kao što su mangan i magnezij kako bi se poboljšala njegova čvrstoća. Na samoj površini aluminija stvara se tanki zaštitni sloj aluminijevog oksida, koji štiti sam metal od korozije i utjecaja temperature i kemijskih utjecaja. Osim što pruža dobra svojstva kao ambalaža i zaštitna barijera, aluminij ima dobru fleksibilnost, površinsku otpornost i savitljivost. Idealan je metal za recikliranje jer ga se može lako povratiti i preraditi u nove proizvode. Aluminij se najčešće koristi za proizvodnju limenki za piće i aluminijske folije. Glavni nedostaci aluminija su njegova visoka cijena u usporedbi s drugim materijalima i nemogućnost zavarivanja. Aluminijska folija je jedna od najčešćih oblika aluminijske ambalaže kojeg se može naći u svakom kućanstvu. Kao i sva aluminijska ambalaža, folija predstavlja izvrsnu barijeru za vlagu, zrak, kisik, mirise, svjetlost, i mikroorganizme. Također, inertan je na kiselu hranu i ne treba dodatne prevlake ili neku drugu zaštitu [1].



**Slika 4.** Primjer aluminijske ambalaže

## PAPIR I KARTON

Papir i karton dobivaju se od celuloze dobiven iz drveća. Papir i karton međusobno se razlikuju po kvaliteti celuloznih vlakna budući da sa svakim postupkom recikliranja kvaliteta se smanjuje. Tako, karton se dobiva od reciklirane celuloze dok bijeli papir je uglavnom od ne reciklirane celuloze. Obični papir se ne može koristiti za proizvodnju ambalaže jer nema mogućnost dugotrajnog zaštitivanja hrane. Ukoliko se koristi kao ambalaža (to jest, u kontaktu s hranom), papir je uvijek premazan, tretiran ili impregniran materijalima kao što su voskovi, smole ili lakovi kako bi se poboljšala funkcionalna i zaštitna svojstva. Karton je deblji od papira s većom masom po jedinici površine i često se izrađuje u više slojeva. Obično se koristi za izradu spremnika za transport—kao što su kutije, kartoni i pladnjevi—a rijetko se koristi za izravan kontakt s hranom [1].



**Slika 5.** Primjer papirnate ambalaže

## PLASTIKA

Plastika se dobiva kondenzacijskom polimerizacijom (polikondenzacijom) ili adicijskom polimerizacijom (poliadicijom) monomernih jedinica. U reakcijama polikondenzacije dolazi do stvaranja polimera (velikih molekula) iz monomera (malih molekula) reakcijama kondenzacije. Nastaju nusprodukti nižih molekulskih masa kao što su voda, ugljikov dioksid, HCl, dušik, i metanol. Polikondenzacija uključuje monomerne jedinice s najmanje 2 funkcionalne skupine kao što su alkoholne, aminske ili karboksilne [2]. Kod reakcija poliadicije polimerni lanci rastu reakcijama adicije. Dvije ili više molekula se spajaju u jednu veliku polimernu molekulu, ali za razliku kod polikondenzacije, kod poliadicija ne dolazi do stvaranja nusprodukata u obliku malih molekula (voda, CO<sub>2</sub>, HCl, dušik i metanol). Poliadicija uključuje nezasićene monomere: dvostruke i trostruke veze se prekidaju kako bi se povezali monomerni lanci [1].

Plastika ima puno prednosti i dobra svojstva koji ju čine dobrim ambalažnim materijalom. Zbog svoje fleksibilnosti dizajna može se oblikovati u razne oblike. Otporna je većinu kemikalija, jeftina, lagana, i ima široki raspon mehaničkih, kemijskih, fizikalnih i optičkih svojstava. Vrsta plastike koja se koristi za dobivanje ambalaže može se toplinski zavariti (npr. aluminij se ne može podvrgnuti toplinskom zavarivanju) i može se integrirati u proizvodne procese gdje se ambalaža oblikuje, puni i zatvara u istoj proizvodnoj liniji. Glavni nedostaci plastike su niska barijerna svojstava, tj. propusnost svjetlosti, plinova, pare, niskomolekularnih tvari, i dug vijek razgradnje u okolišu [1].



**Slika 6.** Specifična svojstva pojedinih polimera iz koji se proizvodi ambalažna

Polimerni materijali prema mehaničkim svojstvima se dijele u dvije kategorije: termoplaste i elastomere. [3] Termoplasti se još dijele na duromere i plastomere. Duromeri imaju umreženu strukturu nastalu kovalentnim povezivanjem polimernih lanaca, tj. povezivanjem funkcionalnih skupina dvaju odvojenih lanaca i zagrijavanjem ne omekšavaju. [3]

Duromeri se dobivaju kondenzacijskom polimerizacijom. Pri tom procesu se oblikuju u kalupe i ne mijenjaju svoj oblik. [13] Duromeri su jaki i izdrživi materijali i koriste se u građevinskoj i automobilskoj industriji, a ne toliko u industriji za pakiranje hrane. [3]

Plastomeri se grijanjem omekšavaju pri čemu mijenjaju oblik, a hlađenjem prelaze u čvrsto stanje. Ciklus zagrijavanja i hlađenja se može ponavljati neograničen broj puta ukoliko pri zagrijavanju ne dođe do kemijskih reakcija koje bi izazvale djelomičnu promjenu strukture. Plastomerni materijali imaju dovoljno veliku čvrstoću, dimenzijsku stabilnost ili općenito mehanička svojstva pogodna za različite primjene. [3] Dobivaju se radikalskom polimerizacijom, a polimeri se prerađuju i oblikuju u krajnji proizvod [13]. Za ambalažu za pakiranje hrane gotovo se isključivo koriste plastomeri. Jedna od prednosti plastomera leži u tome da se mogu reciklirati (taliti i ponovno koristiti kao sirovine za proizvodnju novih proizvoda), iako odvajanje predstavlja neka praktična ograničenja za određene proizvode. [3]

Elastomeri (prirodni i sintetski kaučuci, silikoni, poliuretani) se pri sobnoj temperaturi mogu istežati do najmanje dvostruke izvorne duljine i nakon prestanka djelovanja vanjske sile se trenutno vraćaju u izvorno stanje. Elastomernim materijalima se naknadno ugrađuju fizičke i kemijske veze kako bi imali zadovoljavajuća svojstva (npr. vulkanizacija). [3]

## 2.1. SVOJSTVA AMBALAŽNIH MATERIJALA

Svojstva ambalažnih materijala dijele su u slijedeće glavne kategorije: mehanička svojstva, biološka svojstva, toplinska svojstva, kemijska svojstva, fizikalna svojstva, tehnološka svojstva i troškovi proizvodnje ambalaže.

Mehanička svojstva podrazumijevaju otpornost ambalaže na deformacije i oštećenja kada je na ambalažu narinuta mehanička sila. Čvrstoća, tvrdoća, elastičnost, otpornost habanju i žilavost su glavna mehanička ambalažna svojstva. Kruti polimerni ambalažni materijali imaju veliku čvrstoću, tvrdoću, otpornost habanju i žilavost, ali imaju malu elastičnost pa se lako lome pri udarcima. Fleksibilni polimerni materijali su elastični, ali imaju malu čvrstoću pa se lako kidaju pri naprezanjima.

Biološka svojstva podrazumijevaju da ambalaža ima postojanost prema djelovanju raznih mikroorganizama.

Pod fizikalna svojstva spadaju gustoća i optička svojstva. Gustoća je bitno svojstvo ambalažnih polimernih materijala jer oni imaju malu gustoću što omogućava manju masu ambalaže prilikom transporta hrane. Optička svojstva ovise o vrsti hrane koju je potrebno zapakirati. Dobra optička svojstva ambalaže omogućavaju prolaz svjetla što je u slučaju stakla. Loša optička svojstva ambalaže se primjenjuju kod robe koja je osjetljiva na svjetlo.

Toplinska svojstva podrazumijevaju postojanost ambalažnih materijala da prilikom povećanja temperature ne dolazi do reagiranja ambalaže i robe. Toplinska vodljivost ambalažnih materijala može biti dobra ili loša, ovisno o vrsti robe koju je potrebno zapakirati. Dobra toplinska vodljivost ambalažnih materijala se primjenjuje kod robe koju je potrebno sterilizirati i toplinski obraditi. Loša toplinska vodljivost ambalažnih materijala se primjenjuje za robe kod kojih dolazi do oštećenja robe prilikom izmjene topline s okolinom.

Kemijska svojstva podrazumijevaju postojanost materijala prema toplini, svjetlu, vlazi i zraku pri čemu ne dolazi do promjene kvalitete. Glavna kemijska svojstva ambalažnih materijala su: postojanost (starenje), topljivost, barijerna svojstva, fiziološka svojstva i funkcionalna svojstva.

Postojanost ili starenje je posljedica promjene mehaničkih i fizikalnih svojstava uslijed djelovanja vanjskih uvjeta. Najčešće dolazi do starenja ambalažnih materijala zbog djelovanja kisika ili ugljikovog dioksida. Također, starenje može ubrzati i djelovanje kiselina ili lužina, stoga ambalažni materijali moraju biti otporni na njihovo djelovanje.

Barijerna svojstva definiraju koncentraciju tvari koja je prošla kroz ambalažu (polimerni film). Dva su ključna procesa koja se istražuju i razmatraju kod ambalažnih materijala: permeacija-difuzija jednostavnih plinova (vodik, kisik, ugljikov dioksid itd.) i permeacija-difuzija organskih plinova ili kapljevinu. Permeabilnost ili propusnost značajno utječe na vijek trajanja proizvoda. Tako u slučaju suhe

hrane može doći do gubitka vode i ugljičnog dioksida ili do upijanja vlage što znatno mijenja vijek trajanja hrane. Druge posljedice propusnosti su prijelaz tvari koji se prenose zrakom (kontaminacija) ili sastojaci koji utječu na proizvod, što može uzrokovati gubitak okusa ili mirisa.

Fiziološka svojstva ambalaže podrazumijeva zdravstvenu ispravnost ambalaže. Polimerni ambalažni materijali su fiziološki neškodljivi zbog njihove inertnosti, odnosno, ne dolazi do reakcije između ambalaže i hrane. Toksična djelovanja ambalaže potječu najviše od aditiva kao što su: bojila, omekšivači, zaostali monomeri, katalizatora i aromatskih amina.

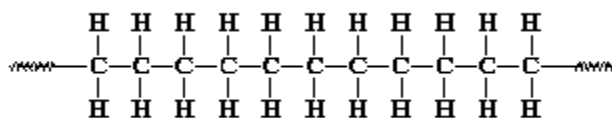
Funkcionalna svojstva ambalažnih materijala se mogu modificirati s aktivnim tvarima, najčešće polimernim nanokompozitima. Dodatkom aktivne tvari unaprijeđuje se jedno funkcijsko svojstvo, a ostala svojstva ostaju ista.

Tehnološka svojstva ambalažnih materijala određuju: izbor postupka proizvodnje ambalaže, dimenzije ambalaže, brzinu proizvodnje ambalaže, izbor oblika ambalaže, izbor postupka grafičkog oblikovanja i kvalitetu obrade. Polimerni ambalažni materijali imaju dobra tehnološka svojstva jer se lako oblikuju, nije ih potrebno dodatno površinski zaštititi niti dodatno površinski obraditi, lako se boje i moguće ih je proizvesti u različitim oblicima. [30]

## 2.2. POLIMERNI AMBALAŽNI MATERIJALI

### POLIETILEN (PE)

Polietilen (PE) je jedan od polimernih materijala koji ima veliku primjenu kao ambalaža za hranu. Polietilen ima jednostavnu strukturu uz određenu količinu bočnih lanaca. Polietilen je materijal male tvrdoće, čvrstoće i krutosti, ali ima visoku otpornost na udar kao i nisko trenje i na dodir je poput voska. Polietilen se sastoji od nepolarnih, zasićenih ugljikovodika visokih molekulskih masa i po kemijskom ponašanju je sličan parafinu. Polietilen ima odličnu kemijsku otpornost na kiseline i baze, kao i na blaga oksidacijska i redukcijska sredstva. Polipropilen ne upija vodu, a propusnost polarnih plinovitih molekula je niža nego za većinu plastike. Nepolarne molekule, kao što su ugljikov dioksid ili kisik, mogu lako proći kroz polietilen. [4]

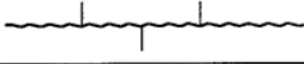
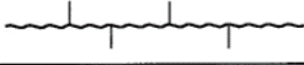
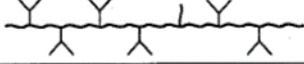
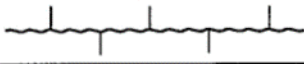
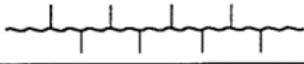


Slika 7. Struktura polietilena

Polietilen se dobiva polimerizacijom monomera etilena (ili etena). PE lanci se proizvode adicijom ili radikalnom polimerizacijom. Moguće metode sinteze su Ziegler-Natta polimerizacija ili metalocenska kataliza. [5] Polietilen se može s obzirom na gustoću i svojstva podijeliti u 5 tipa: polietilen visoke gustoće (PE-HD), polietilen srednje gustoće (PE-MD), polietilen niske gustoće (PE-LD), linearni polietilen niske gustoće (PE-LLD), i polietilen vrlo niske gustoće (PE-VLD) [6]. Polietilen visoke gustoće i polietilen niske gustoće se koriste za proizvodnju ambalaže za pakiranje hrane.



**Tablica 1.** Vrste polietilena s obzirom na njihovu gustoću i njihovu strukturu

Naziv	Kratica	Struktura	Gustoća/(gcm <sup>-3</sup> )
Polietilen visoke gustoće	PE-HD		0,941...0,960
Polietilen srednje gustoće	PE-MD		0,926...0,940
Polietilen niske gustoće	PE-LD		0,910...0,925
Linearni polietilen niske gustoće	PE-LLD		0,925...0,940
Polietilen vrlo niske gustoće	PE-VLD		< 0,910

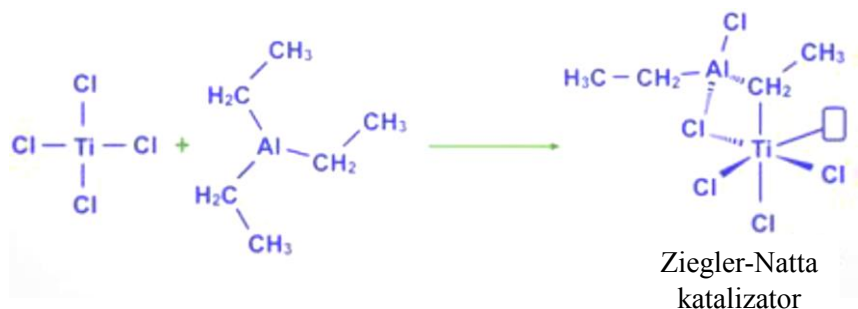
### POLIETILEN VISOKE GUSTOĆE

Polietilen visoke gustoće (PE-HD) je lagani, čvrsti i neproziran materijal. Zbog male količine grananja ima visoku gustoću od 940 kg/m<sup>3</sup>. Savitljiv je materijal kojeg se može više puta oblikovati, što ga čini plastomerom. Otporan je na električnu energiju i kemikalije, uključujući razna otapala. [4][5]

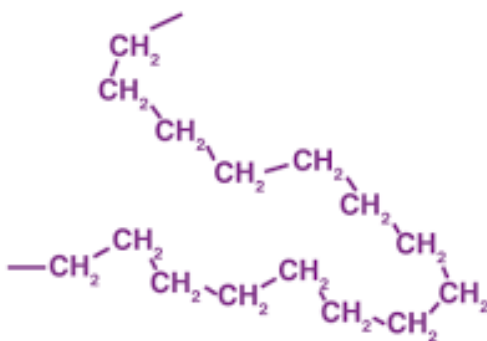
Polietilen visoke gustoće se dobiva polimerizacijom etilena uz metal-organske koordinativne katalizatore pri relativno niskim tlakovima (20 MPa). Jedna od takvih polimerizacija je Ziegler-Natta polimerizacija. Katalizatori koji se koriste prilikom Ziegler-Natta polimerizacije preferiraju stvaranje slobodnih radikala na krajevima rastućih molekula polietilena. Oni uzrokuju dodavanje novih monomera etilena na krajeve molekula, umjesto na sredinu, uzrokujući rast linearnog lanca. Time je onemogućeno pretjerano grananje molekula polietilena i nastaje polietilen visoke gustoće. Al/Ti katalizator se primjenjuje u ovakvom tipu polimerizacije. [4] Kao ambalažni materijal, PE-HD se koristi za izradu boca za mlijeko, sokova i vode, i posuda za margarin i maslac. [8]



**Slika 8.** Nastajanje PE-HD uz Ziegler-Natta katalizator



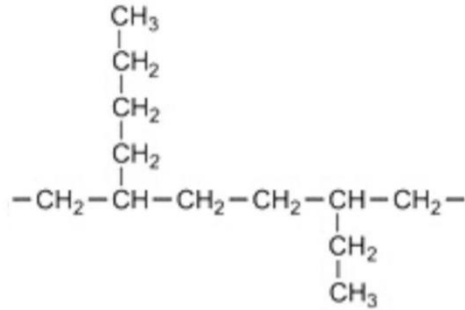
**Slika 9.** Ziegler-Natta katalizator



**Slika 10.** Struktura molekule PE-HD

### **POLIETILEN NISKE GUSTOĆE**

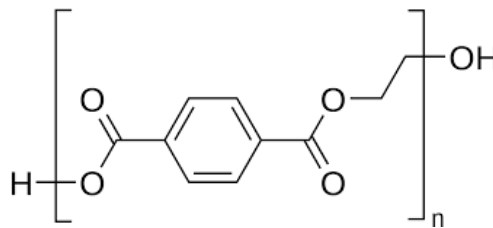
Polietilen niske gustoće (PE-LD) je visoko proziran i kemijski inertan polimer. Gustoća PE-LD ovisi o stupnju grananja. Dovoljno je savitljiv i elastičan, sposoban podnijeti značajno istezanje prije loma. Ima veliku propusnost na vlagu, a malu propusnost na kisik. [8] [9] Polietilen niske gustoće nastaje lančanom polimerizacijom etilena radikalskim mehanizmom što rezultira velikom granatošću makromolekule posljedica čega je nemogućnost gustog slaganja lančanih segmenata i mala gustoća samog materijala. Sam proces polimerizacije se odvija pri visokom tlaku, odnosno od 100 do 300 MPa i temperature između 150 i 300 °C. Kao ambalažni materijal, PE-LD se upotrebljava za boce za hranu koje se mogu stisnuti, pakiranja kruha i smrznute hrane te fleksibilne poklopce. [8]



Slika 11. Struktura PE-LD

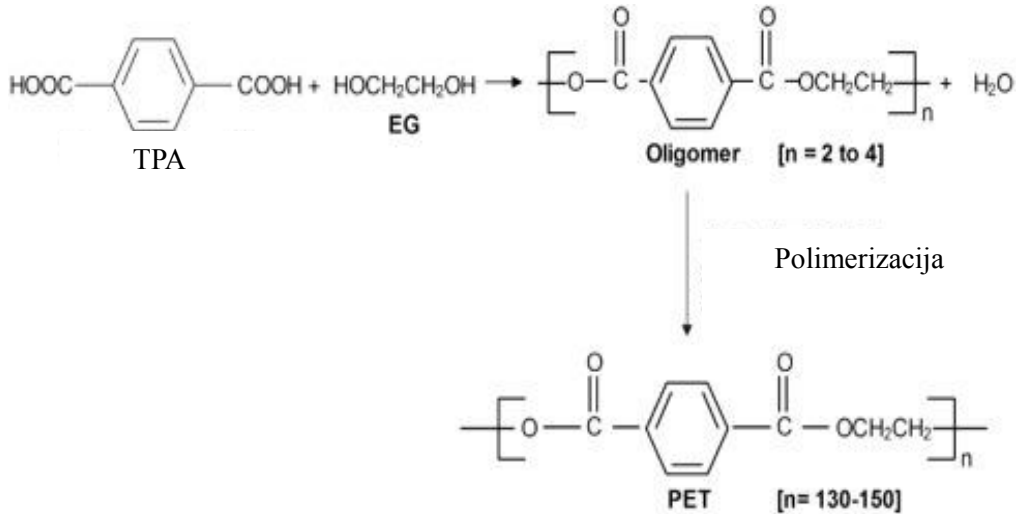
### POLIETILEN TEREFTALAT (PET)

Polietilen tereftalat (PET) je dugolančani polimer koji pripada generičkoj obitelji poliestera. PET se dobiva od tereftalne kiseline i etilen glikola, koji oba potječu iz naftnih sirovina. PET je u svom najčišćem obliku amorfni materijal nalik staklu. Pod utjecajem izravnih modificirajući aditive razvija kristalnost. Također, kristalnost se može razviti toplinom obrada taline polimera. [11]



Slika 12. Polietilen tereftalat

Poliesteri nastaju reakcijom bifunkcionalnih kiselina i alkohola, u prisutnost metalnog katalizatora. Ključni korak polimerizacije je reakcija kondenzacije u kojoj molekule reagiraju i otpuštaju vodu. Poslije reakcije kondenzacije slijedi druga reakcija polimerizacije, koja se odvija u čvrstoj fazi. Tereftalna kiselina i etilen glikol dobivaju se iz sirove nafte, a kada se zajedno zagriju dobiva se monomer bis-hidroksietil-tereftalat koji je pomiješan s oligomerima. Smjesa zatim dalje reagira, destilira se višak etilen glikola i formira PET. Potrebni PET visoke molekularne težine proizvodi se drugom fazom polimerizacije koja provodi se u čvrstom stanju na nižim temperaturama. Ovim procesom se učinkovito uklanja sve hlapljive nečistoće, poput acetaldehida, slobodnih glikola i vode. Visoka molekularna težina PET-a neophodna je za dobra mehanička svojstva koja istovremeno osiguravaju krutost, žilavost i otpornost na puzanje, dajući dovoljnu fleksibilnost da se odupre pucanju i lomljenju pod pritiskom. [11]

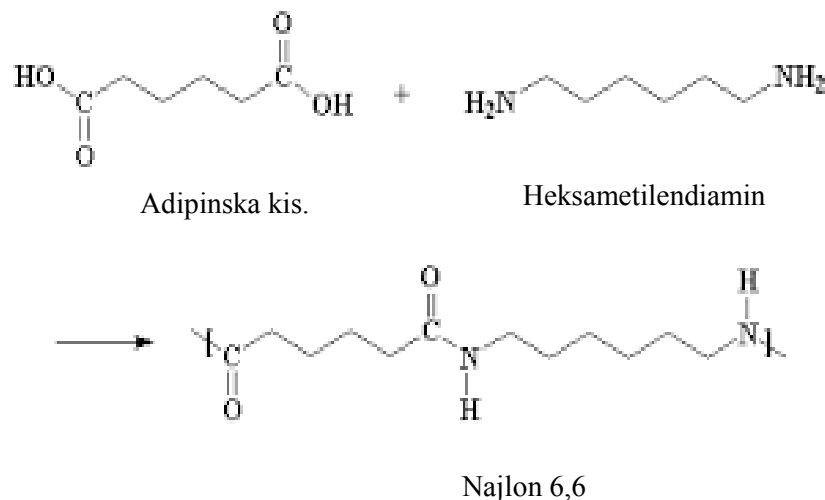


**Slika 13.** Mehanizam dobivanja PET-a

PET je klasificiran kao polukristalinični polimeri i kada se zagrije iznad 72°C mijenja se iz krutog staklenog stanja u gumasti elastični obliku gdje se molekularni lanci polimera mogu razvući i poravnati u jednom smjeru tako da se formiraju vlakna ili u dva smjera da se formiraju filmovi i boce. [11] PET se kao ambalaža najčešće koristi za proizvodnju boca (sokovi, mineralna pića, ulje), filmova, posuda i pladnjeva. [11]

### **POLIAMID (PA)**

Poliamid (PA) je polimer koji sadrži amidnu vezu {CONH- ili CONR-(R, zamjenska skupina)} i koji općenito pokazuje visoke termomehaničke performanse kao što su visoka temperatura omekšavanja, visoka temperatura toplinske degradacije, visoki mehanički modul, visoka čvrstoća, i nisko puzanje. Najpoznatiji i najkomercijalniji poliamid je najlon. [12] Najlon je poliamid velikie mehaničke čvrstoće, velike žilavost, velike otpornosti na trenje (habanje). Koristi se za izradu laminatnih folija pa takve folije imaju; malu propusnost O<sub>2</sub>, dobro primaju tisak, velika čvrstoće šava kod zavarivanja. [13] Komercijalni alifatski poliamidi su općenito proizveden jednostavnom izravnom polikondenzacijom dikiseline i diamina. Izravna polikondenzacija ekvimolarne količine dvaju monomera može proizvesti polimer visoke molekularne težine. Dobar primjer je najlon-6,6 proizveden polikondenzacijom adipinske kiseline i heksametilendiamina [12,13]. [11]

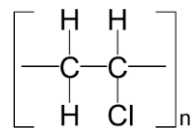


Slika 14. Dobivanje najlona

Najlon se kao ambalaža za pakiranje hrane najčešće koristi u kombinaciji sa polietilenom za pakiranje smrznutih riba. [12]

### POLI(VINIL-KLORID) (PVC)

Poli(vinil-klorid) (PVC) je fleksibilan, lagan, ekonomičan, proziran, čvrst i siguran. Ima izvrsna organoleptička svojstva (ne utječe na okus zapakirane hrane), te zahtijeva manje goriva za proizvodnju i transport u usporedbi s drugim materijalima za pakiranje poput metala ili stakla. Također štiti od kontaminacije pomažući u sprječavanju širenja klica tijekom proizvodnje, distribucije i izlaganja, osobito u obliku prozirne folije. Ovo, u kombinaciji s izvrsnim svojstvima PVC-a za zaštitu od kisika i vode, sprječava nepotrebno rasipanje jer osigurava dulju trajnost hrane. [14]



Slika 15. Struktura poli(vinil-klorida) (PVC)

PVC se dobiva polimerizacijom VC-a. Tradicionalno, VC se dobiva iz etilena dvostupanjskim procesom. Prvi stupanj, sinteza etilen-diklorida, može se ostvariti izravnim kloriranjem etilena klorom ili

oksi-kloriranjem etilena kloridnom kiselinom. Drugi je stupanj kreiranja etilen-diklorida do vinil-klorida. [15]

Polimerizacija vinil-klorida odvija se slobodno-radikalnim procesima u suspenziji, emulziji ili u masi. Slobodno radikalna polimerizacija VC-a strogo je određena prijenosom rasta lanca na monomer. Zbog toga je molekularna masa polimera neovisna o koncentraciji inicijatora, a kontrolirana je uglavnom temperaturom procesa [15]. Najveća proizvodnja PVC-a se dobiva suspenzijskom polimerizacijom. Suspenzijska polimerizacija započinje kada se vinil-klorid, koji je pod tlakom i ukapljen, dovodi u reaktor koji sadrži vodu i druga sredstva za suspendiranje. Inicijator se dovodi do reaktora, a PVC se dobiva u temperaturnom rasponu od 40 – 60 °C. PVC se formira u obliku sitnih čestica koje se vremenom rastu. Kada čestice PVC-a dosegnu željenu veličinu, reakcija se zaustavlja, a presotani vinil-klorid se destilira i može se ponovno koristiti za dobivanje PVC-a. PVC se na kraju procesa odvaja i suši kako bi se dobio bijeli prah (PVC-smola). Voda kod suspenzijske metode polimerizacije koristi za odvajanje i kontrolu topline koja se oslobađa tokom procesa [16].

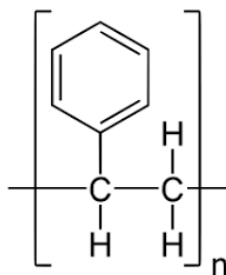
U prehrambenoj industriji se koristi za proizvodnju boca i folija za hranu (najčešće mesa), a najveću primjenu ima u građevinskoj industriji (PVC-stolarija) [1]. Koristi se u obliku puhanih boca za biljna ulja i voćne napitke. Propustljivost pare vlage je relativno visoka, ali dostatna za pakiranje mineralne vode, voćnih sokova i voćnih napitaka u boce. [17]



**Slika 16.** Primjer PVC-a kao ambalaže za pakiranje hrane

### **POLISTIREN (PS)**

Polistiren (PS) se smatra jednim od najtrajnijih termoplastičnih materijala. Zbog vrlo dobrih i svestranih svojstva nalazi široku primjenu za proizvodnju određenih proizvoda. Polistiren je kruti i fleksibilan materijal s visokom otpornošću na biorazgradnju. Ima dobra kemijska, optička i zaštitna svojstva, amorfne je strukture te se lako sintetizira.

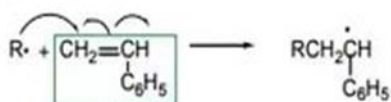


**Slika 17.** Struktura polistirena

Polistiren za komercijalnu upotrebu proizvodi se pomoću slobodno radikalne polimerizacije stirena upotrebom raznih inicijatora kao što su benzoil peroksid i azo spojevi. Stiren se miješa s inicijatorom slobodnih radikala (npr. benzoil peroksid) i zagrijava na temperaturu od 120 °C. Nekoliko faza polimerizacije rezultira polimerom otopljenim u monomeru ili otopini razrjeđivača. Nereagirani monomer i razrjeđivač se ispare pod vakuumom ostavljajući polistiren visoke molekularne težine. [18]

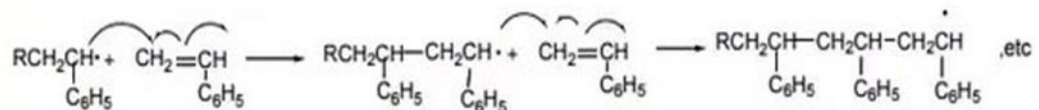
### Polimerizacija stirena

#### Inicijacija

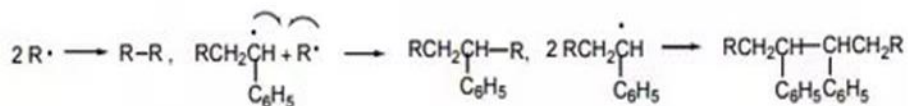


Stiren

#### Propagacija

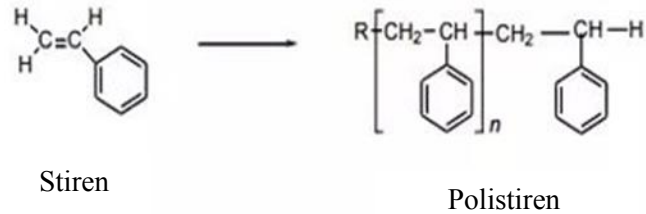


#### Terminacija



Stiren

Polistiren



**Slika 18.** Mehanizam polimerizacije polistirena

Jedan od najpoznatijih oblika polistirena je ekspanzirani polistiren (EPs) ili još poznat kao stiropor. Stiropor je kemijski inertan i netoksičan materijal. Vodootporan je i ima dugotrajnu stabilnost [19]. Dobiva se radikalnom polimerizacijom u suspenziji. [20]

Ekspanzirani polistiren ili stiropor se proizvodi u 3 faze procesa. Prvi je proces predekspanzija, u kojem dolazi do kontakta polisternskih kuglica i pare pri čemu dolazi do ekspanzije volumena. U drugom procesu, koji se naziva kondicioniranje, kuglice prolaze kroz razdoblje sazrijevanja kako bi se postigla ravnotežna temperatura i tlak. U zadnjem procesu, kalupljenje, kuglice se stavljaju u kalup i ponovno zagrijavaju na pari. Prethodno zapjenjene kuglice se dalje šire, potpuno ispunjavaju šupljinu kalupa i stapaju se zajedno. Kuglice se oblikuju u blokove ili prilagođene proizvode. [21]



**Slika 19.** Ekspanzirani polistiren

Polistiren se kao ambalaža najviše koristi za pakiranje jaja, kao ladice za meso, povrće, voće i perad. Koristi se za zaštitu hrane i izbjegavanje oštećenja tijekom različitih faza proizvodnje i transporta hrane. Primjenjuje se u ribljor industriji za pakiranje i transport ribljih proizvoda.

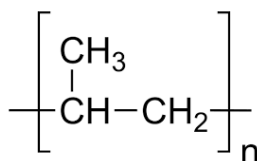




**Slika 20.** Primjer PS ambalaže

### **POLIPROPILEN (PP)**

Polipropilen (PP) je jedan najsvestranijih polimera za primjenu [8]. Polipropilen je polukrti i tvrdi materijal pa se koristi kao ambalažni materijal jer pod utjecajem mehaničke sile ne dolazi do pucanja polipropilena. Također, polipropilen ima dobru električnu, kemijsku i toplinsku provodnost.



**Slika 21.** Struktura polipropilena

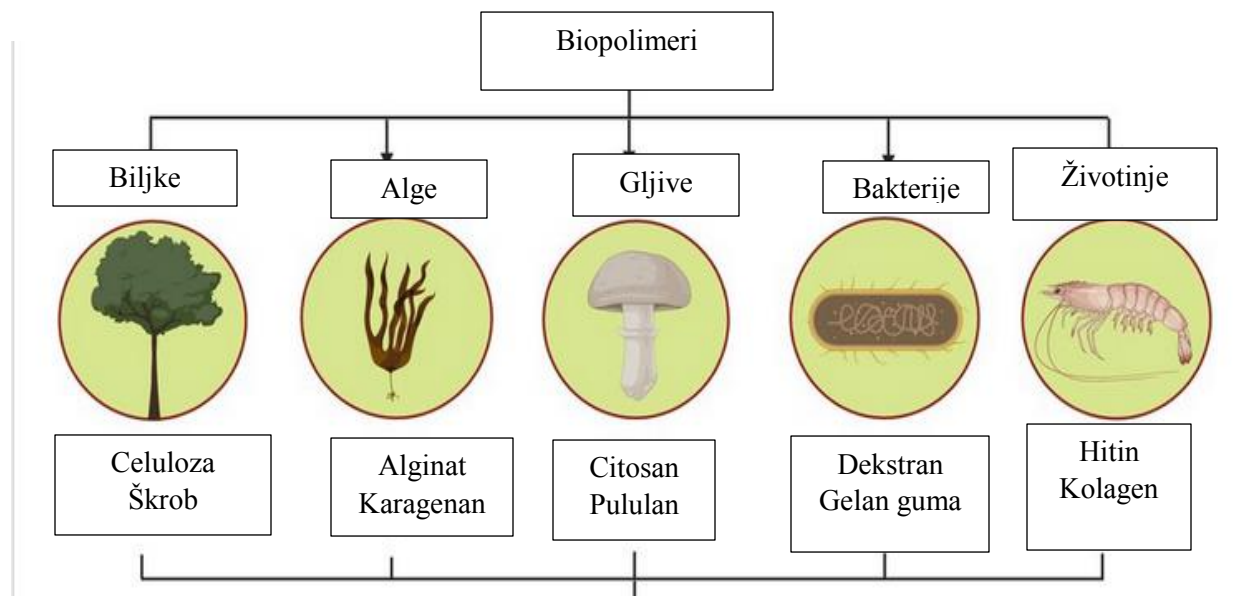
Polipropilen se industrijski dobiva polimerizacijom propilena uz prisutnost katalizatora od kojih su najčešći Ziegler-Natta ili metalocenski katalizatori. Uvjeti reakcije polimerizacije, kao što su temperatura, tlak i koncentracija reaktanta određuju se na temelju vrste polimera koji se želi proizvesti [22]. Danas se polipropilen proizvodi mehanizmom koordinativne polimerizacije. Takva je polimerizacija prilično stereospecifična, pa proizvod sadrži veliki udjel izotaktične kristalne faze. propilen je obično granulat, ali može biti i praškast. Polimerizacija propilena može se provesti u suspenziji, u tekućem propilenu (u masi), u plinskoj fazi i u otopini. Najviše se primjenjuje polimerizacija u suspenziji. [10] Polipropilen kao ambalaža koristi se kao posude za jogurt, svježi sir/kiselo vrhnje, gotova jela i VSP posude. Polipropilen je stekao popularnost za posude za mikrovalnu pećnicu zahvaljujući visokom talištu. [8]

## 2.3. BIOPOLIMERI ZA PAKIRANJE HRANE

### 2.3.1 Izvori i podjela biopolimera

Pojam biopolimer se odnosi na polimer koji je nastao tijekom ciklusa rasta i razvoja živoga organizma pa se zbog toga nazivaju još i prirodnim polimerima. Također, biopolimeri su oni polimeri čiji je izvor određeni biomonomer, npr. PLA. Sinteza biopolimera se odvija reakcijom polimerizacije rasta lanca aktiviranih monomera uz enzime kao biokatalizatore.

Biopolimeri ili prirodni polimeri se dobivaju iz raznih bioloških izvora, kao što su biljke, životinje, alge i mikroorganizmi. Također, mogu se kemijski dobiti iz monomera kao što su šećeri, ulja i aminokiseline, iz biljnih izvora kao što su riža, kukuruz, krumpir, pšenica, pamuk i ječam. Životinjski izvori biopolimera su najčešće stoka, a pod morske izvore se ubrajaju koralji, spužve, rakovi (škampi i jastozi) i ribe. Mikroorganizmi koji služe kao izvori mikroorganizama su alge, gljivice i kvasci. Izvori koji se temelje na biomasi su bogati ugljikohidratima i sadrže poljoprivredne ostatke, papirne ostatke, drvene ostatke, zeleni otpad i usjeve. Biljna ulja, kao što su suncokretova ulja ili ulja od soje, su odlični izvori za sintezu biopolimera [23].



Slika 22. Izvori pojedinih biopolimera, tj. prirodnih polimera

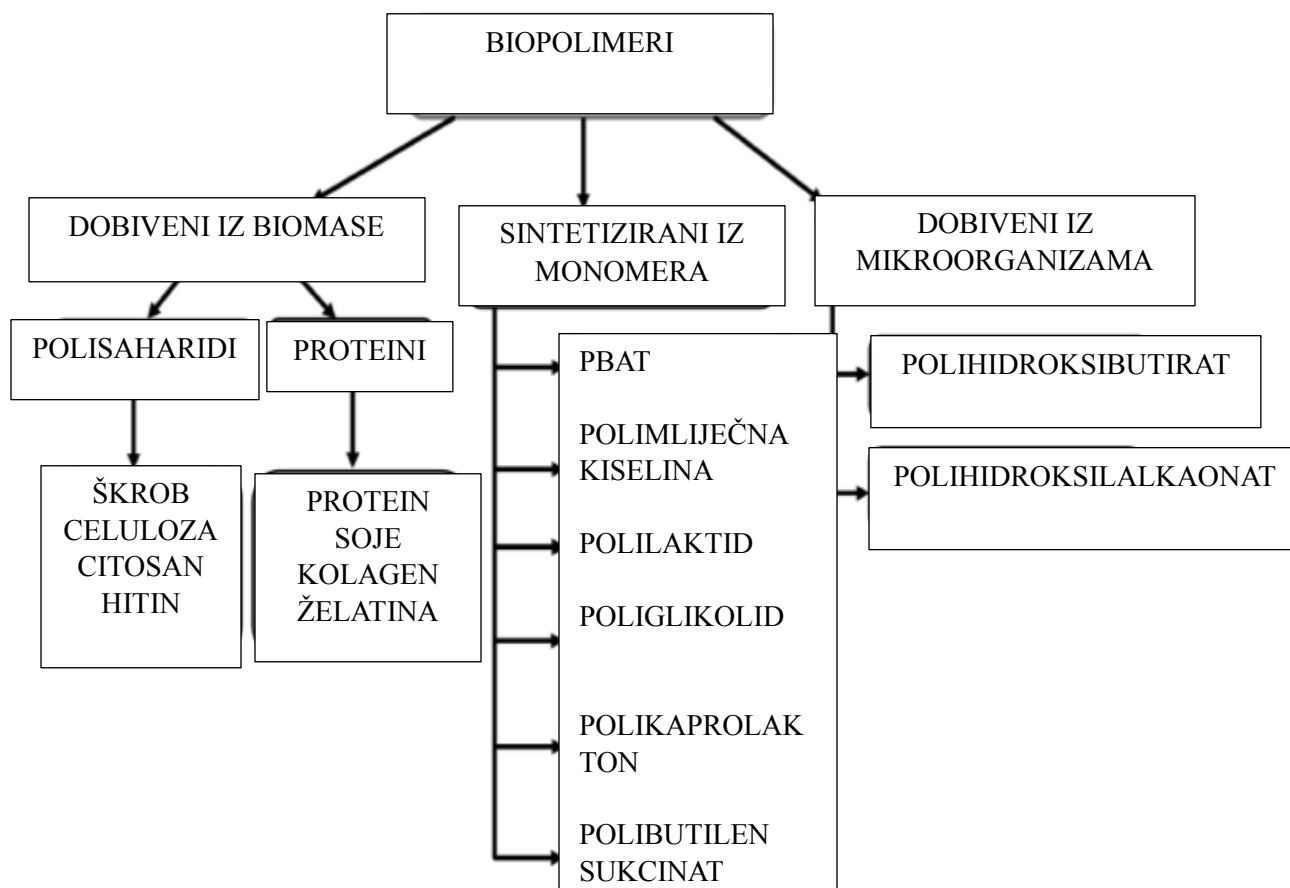
**Tablica 2.** Različiti biopolimeri i njihovi izvori

BIOPOLIMERI	IZVORI BIOPOLIMER
ALGINAT	Smeđe morske alge <i>Laminaria digitata</i> , <i>Laminaria japonica</i> , <i>Laminaria hyperborea</i> , <i>Macrocystis pyrifera</i> i <i>Ascophyllum nodosum</i>
CELULOZA	Poljoprivredni otpad poput bagase šećerne trske i rižine ljuske. Alge. Biljni izvori kao što su drvo, bambus, šećerna repa, banana rachis, krumpir gomolji, pamuk, agava, juta, kenaf, lan, konoplja, vinova loza, kokos, trava, pšenica, riža i ječam
HITIN	Vodene vrste poput koralja, potkovastih crva, školjki svjetiljki, spužvi, lignje, sipe i školjke. Gljive, kvasci, alge poput koralina i zelenih algi, baršun crvi, bubamara, voštana glista, svilena buba, protozoe, leptir, insekti, pauzi, bube, medonosne pčele, škorpioni, skakavci, stonoge, stonoge, škampi, jastog, kril, kozice, rakovi, jednakonošci i rakovi.
CITOSAN	Insekti, alge, gljive, mekušci i rakovi.
KOLAGEN	Morska spužva, meduze, ribe, duhan, ječam, kukuruz, svinje, goveda, glodavaca, mekušaca, lignji, somova, insekata i rekombinantnih sustava.
CIKLODEKSTRIN	Izvori škroba poput krumpira, kukuruza, pšenice, riže i tapioke.
ŽELATINA	Svinjska koža, goveđa koža, svinjske i goveđe kosti, riba, losos, som, lignja, velikooki hvatač, sipa, gušter, škarpina, dinja
ŠKROB	Kukuruz, kasava, banana, riža, krumpir, sirak, pšenica, slatki krumpir.

Podjela biopolimera nije univerzalna te postoje razne podjele biopolimera s obzirom na izvor materijala od kojih se proizvodi biopolimer, podjela na razgradive i ne razgradive biopolimere, podjela s obzirom na metodu dobivanja i podjela na temelju termalnih svojstva [23].

S obzirom na izvor materijala, biopolimeri se dijeli na biopolimere dobivenih iz biomase, biopolimere dobivenih sintezom monomera i biopolimere mikorbnog podrijetla (slika 19.). Biopolimeri

dobiveni iz biomase se dijele na polisaharide (celuloza, hitin, škrob, kitozan) i proteine (pšenični gluten, proteini soje, kolagen, želatina). Pod biopolimere dobivenih sintezom monomernih jedinica spadaju polimljična kiselina, polikaprolakton, polilaktid, PBAT, poliglikolid i polibutilensukciant. Biopolimeri dobiveni iz mikroorganizama su polihidroksilakanoat i polihidroksibutirat [24]. Kao i sintetski polimeri, biopolimeri s obzirom na termička svojstva se dijele na elastomere, duromere i plastomere. S obzirom na sastav, biopolimeri se dijele na kompozite, laminare i mješavine [23]. Podjela biopolimera s obzirom na izvor materijala za proizvodnju biopolimera je najčešća podjela.

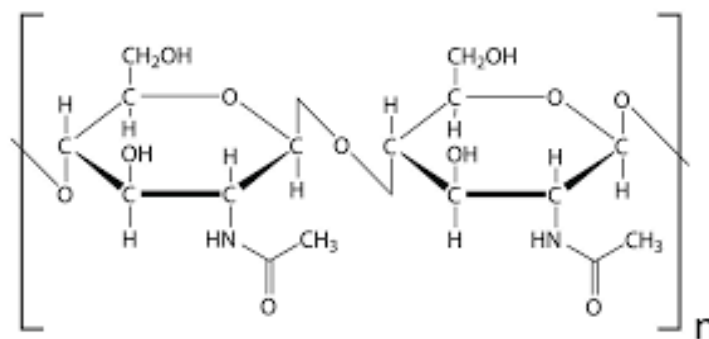


**Slika 23.** Podjela biopolimera s obzirom na izvor materijala

### 2.3.2. Biopolimeri za pakiranje hrane

#### HITIN

Hitin je linearni biopolimer s  $\beta$ -1,4 vezom između N-acetilglukozamina i N-glukozamina. Monomerne jedinice hitina su nasumično raspoređene kroz polimer ovisno o načinu obrade. Hitin je uglavnom prisutan u ljušturama insekata, rakova i račića. Alternativni izvor hitina je iz uzgoja gljiva gdje se sadržaj proteina kreće od 10% do 15%. Topivost hitina je vrlo niska, pa ga obično se miješa za primjenu u pakiranju [24].

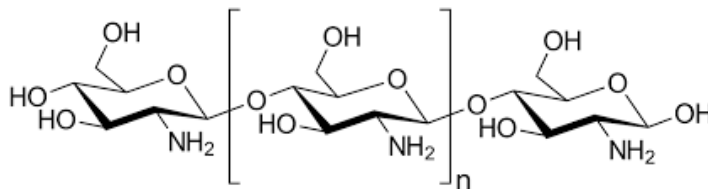


Slika 24. Struktura hitina

Hitin se dobiva industrijski i laboratorijski pomoću dvije metode: kemijskim procesom i biotehničkim procesom. Kemijski proces je najčešći proces dobivanja hitina i sastoji se od deprotonizacije i demineralizacije. Deproteinizacija je eliminacija proteinskog sadržaja prisutnog u sirovini. Za to se koriste alkalne otopine, na primjer NaOH i KOH. Najviše korištena i usvojena za industrijsku proizvodnju je otopina NaOH. Demineralizacija uključuje uklanjanje anorganskog punila (kalcijev karbonat i kalcijev fosfat) iz sirovine. Za to se koriste anorganske kiseline, kao što su HCl, HNO<sub>3</sub> i H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, i jake organske kiseline, na primjer: HCOOH i CH<sub>3</sub>COOH. Najčešće korištena kiselina u proizvodnji komercijalnog hitina je HCl, zbog svoje visoke učinkovitosti u uklanjanju prisutnih minerala [25].

## HITOZAN

Hitozan nastaje djelomičnom N-deacetilacijom hitina. Hitozan je netopljiv u vodi i topiv u vrlo malo kiselih otopina i ima kompaktnu kristalnu strukturu i jaku vodikovu vezu. Netopivost hitina i hitozana ograničava njihovu upotrebu. [24]



Slika 25. Struktura hitozana

Hitin i hitozan se primjenjuju za proizvodnju biorazgraivih folija za pakiranje hrane, a najviše se koriste kao jestivi premazi koji služe za produljenje roka trajanja voća i povrća. Hitin i hitozan ima dobra antimikrobna svojstva na razne gljivice, kvasce, i bakterije koje se nalaze u hrani. [24]

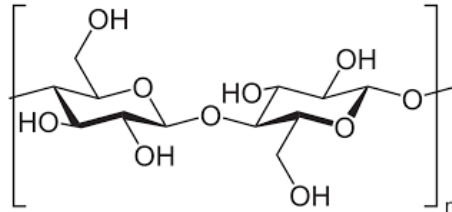


Slika 26. Ambalaža od hitina

Filmovi dobiveni od biopolimera od hitozana su čvrsti, što omogućuje njihovo teško pucanje. Također, fleksibilni su s mehaničkim svojstvima sličnim onima kod tradicionalnih komercijalnih polimera proizvedenih od derivata na bazi nafte. Osjetljivi su na vlagu i imaju malu propusnost na vlagu, što ograničava njihovu primjenu za pakiranje hrane. Zbog takvih nedostataka, kao i kod drugih biopolimera na bazi polisaharida, treba uvijek obratiti pozornost na vlažnu okolinu. Kako bi se manjila propusnost na vlagu hitozanskih premaza, ugrađuju se u hitozan razni drugi biopolimeri (lipidi, polisaharidi) kako bi se poboljšala njihova svojstva. Biopolimerni filmovi na bazi hitozana mogu se koristiti za proizvodnju vrećica i ambalaže za pakiranje hrane. [26]

## CELULOZA

Celuloza je linearni polimer formiran od ponavljajućih jedinica celobioze. Kristalan je i netopljiv u organskim otapalima. Zbog svoje netopljivosti i niske tečnosti, transformira se u različite oblike za njihovu primjenu. Ta se transformacija postiže različitim stupnjevima supstitucije. [24]

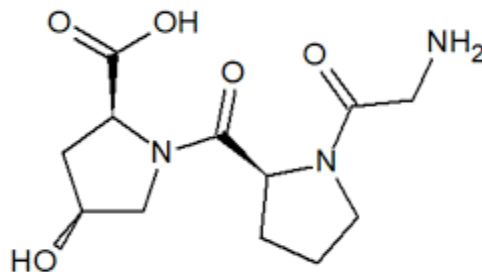


Slika 27. Struktura celuloze

Kao ambalažni materijal, celuloza se koristi za proizvodnju jestivih filmova. Jestivi filmovi od celuloze služe kao dobra barijera prema kisiku i ugljikovom dioksidu, ali su loše barijere prema vlazi. [27] Najčešći derivati koji se proizvode iz celuloze su: metilceluloza (MC), karboksimetil celuloza (CMC), etil celuloza (EC), hidroksil propil celuloza (HPC), hidroksietil celuloza (HEC) i celulozni acetat (CA). Od navedenih derivata, samo celulozni acetat (CA) se primjenjuje za dobivanje ambalaže za pakiranje hrane. Celuloza acetat ima slabu otpornost na vlagu i plinove. Uzrok tome je njegova kristalna struktura koja se u potpunosti mijenja tijekom procesa plastifikacije. [26]

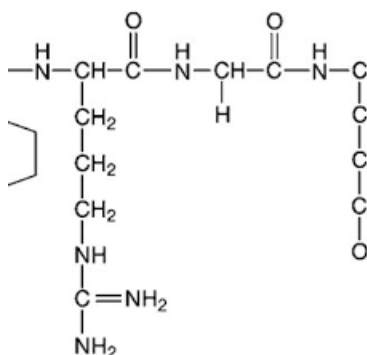
## KOLAGEN

Kolagen je protein vezivnog tkiva sastavljen od različitih polipeptida, koji uključuje hidroksiprolin, prolin, glicin i lizin. Sadržaj glicina odgovoran je za fleksibilnost kolagena [24]. Kolagen se u ambalaži često kombinira s drugim biopolimerima aplikacije. Film agar–alginat–kolagen s nanočesticama srebra, na primjer, ima izvanredna antibakterijska, mehanička i vodootporna svojstva [24].



Slika 28. Struktura kolagena

Toplinska ili kemijska disocijacija polipeptidnih lanaca kolagena stvaraju proizvode poznate kao želatina. Netopljivi kolagen se pretvara u topivu želatinu kiselim ili alkalno/vapnenom (blagom i sporom) obradom. Želatina je hidrofilni polimer na bazi proteina koji se dobiva iz kolagena prisutnog u životinjskoj koži (poput ribe, svinjetine, goveda) i kosti.

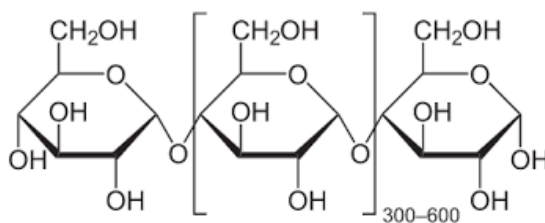


Slika 29. Struktura želatine

Kolagen i želatina se kao ambalažni materijali koriste za proizvodnju jestivih filmova. Ti jestivi filmovi služe za zaštitu kod povrća, voća, mesa i morskih proizvoda. [25]

## ŠKROB

Škrob je najzastupljeniji i najčešće korišten od obnovljivih sirovih materijala. Škrob se sastoji od preispitanih jedinica glukoze i uključene amiloze i amilopektin. Škrob se dobiva iz sjemena, mahunarki, žitarica, krumpira, voća, žira i kestena. Polimeri na temelju škroba su osjetljivi na vlagu, imaju visoku propusnost na paru. Zbog lošijih mehaničkih svojstava ograničena im je primjena u pakiranju.



Slika 30. Struktura škroba

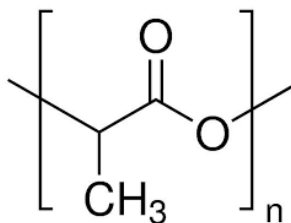
Karakterističan oblik škroba je kristalna molekularna struktura, koja nije plastični materijal. Taj kristalni oblik se u potpunosti promijeni tijekom procesa platifikacije. Tijekom tog procesa molekularna struktura gubi svoju kristalni oblik i dobije se amorfni materijal. Najkorišteniji derivat škroba koji se primjenjuje za



pakiranje hrane je termoplastični škrob (TPS), budući da je najviše pogodan za dobivanje raznih materijala. Na fizička, kemijska i toplinska svojstva termoplastičnog škroba bitno utječu vrsta i količina plastifikatora koji se koriste u procesima plastifikacije TPS-a. Glavna primjena termoplastičnog škroba je dobivanje čvrste i fleksibilne ambalaže. [26] Polimerni filmovi dobiveni od škroba su biorazgradivi i služe kao dobra barijera za kisik. Škrob se može pomiješati i sa PP i PE u količini od 5%, prilikom čega dolazi do poboljšavanja fizičkih, mehaničkih i toplinskih svojstava škroba. Ovakav oblik ojačanog škroba se već primjenjuje za pakiranje kruha, mesa, voća i povrća. [26]

### **POLIMLIJEČNA KISELINA (PLA)**

Polimljična kiselina (PLA) je biorazgradivi, termoplastični biopolimer s visokim stupnjem biorazgradnje. Dobiva se polimerizacijom mliječne kiseline. Mliječna kiselina (LA), kao osnovni monomer, dobiva se bakterijskom fermentacijom polisaharida ili putem kemijske sinteze. PLA ima veliki potencijal za proizvodnju ambalaže za prehrambenu i higijensku industriju. Polimer koji se najčešće koristi za pakiranje hrane može biti 90% L-laktida i 10% racemičnog D,L-laktida.



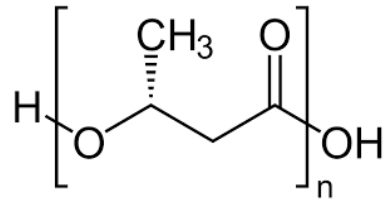
**Slika 31.** Struktura polimljične kiseline

PLA kompoziti dobiveni modifikacijom polimera s 2-metakriloiloksietil izocijanatom (MOI) značajno je poboljšao fizikalno-mehaničke i toplinska svojstva konačnog biopolimera. MOI-PLA kompozit imao je 20 puta veći postotak istezanja od čistog PLA. Kopolimerizirani PLA s drugim bio-poliesterima značajno je poboljšao fizička svojstva. [26] PLA filmovi omogućuju siguran izravan kontakt s hranom pa se zbog toga koriste kao ambalažni materijali za pakiranje različitih vrsta namirnica. [26]

### **POLIHIDROKSIALKANOAT (PHA)**

Polihidroksialkanoat (PHA) je vrlo prikladan za pakiranje hrane jer služi kao dobra barijera za vlagu u usporedbi s drugim materijalima za pakiranje. PHA su biopoliesteri alkanskih kiselina, koji sadrže hidroksilnu skupinu i najmanje jednu funkcionalnu skupinu vezana na karboksilnu skupinu. PHA polimeri

mogu biti različiti u svojim svojstvima prema kemijskom sastavu (homo ili kopolimer, sadržavaju hidroksilne masne kiseline itd.). PHA je netopiv u vodi i ne propušta UV zrake i ni kisik.



**Slika 32.** Struktura polihidroksialkanoata

PHA se najčešće danas koristi za proizvodnju fleksibilne ambalaže za pakiranje hrane koja sadrži veći udio masti, kao i za pakiranje smrznute hrane. [26]

## 2.4. AKTIVNA AMBALAŽA

Aktivna ambalaža za pakiranje ambalaže je vrsta ambalaže napravljena s ciljem produljenja hrane i povećanja vremenskog razdoblja u kojem je hrana visoke kvalitete. Aktivne tehnologije pakiranja uključuju neke fizičko, kemijsko ili biološko djelovanje koje mijenja interakcije između paketa, proizvoda ili prostora paketa kako bi se dobio željeni ishod. Najčešći aktivni sustavi uklanjaju kisik iz pakiranja ili proizvoda i mogu se čak aktivirati izvana izvora kao što je UV svjetlo. Aktivno pakiranje obično se nalazi u dvije vrste sustava: vrećice i jastučići koji se nalaze unutar pakiranja te aktivni sastojci koji su ugrađeni izravno u materijale za pakiranje. [31, 32]

Aktivna ambalaža stupa u interakciju s hranom i unutarnjim okolišem pakiranja kako bi se održala ili poboljšala kvaliteta i njihova sigurnost, ili za produljenje vremena trajanja hrane. Aktivna ambalaža omogućava smanjenje konzervansa i aditiva, produžuje životni vijek, povećava sigurnost i očuvanje izvorne kvalitete hrane. Aktivna ambalaža uključuje u svom djelovanju mehanizme kao što su adsorpcija ili vezivanje sredstava za otvrdnjavanje, dijeljenje ili postupno otpuštanje ili razdvajanje sredstva za sazrijevanje i održavanje (radi smanjenja kvarenja). [33]



**Slika 33.** Primjer aktivne ambalaže

**Tablica 3.** Različite primjene aktivne ambalaže

Aktivna ambalaža	Primjena za pakiranje hrane
Sakupljanje kisika	Produžuje rok trajanja sirnog namaza, produžuje rok trajanja kolača, poboljšanje kvalitete i produljenje roka trajanja tamne čokolade, inhibicija askorbinske kiseline u pićima
Antimikrobno djelovanje	Antimikrobno djelovanje protiv <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Listeria innocua</i> i <i>Escherichia coli</i> u sirovoj ribi, antimikrobno djelovanje protiv filamentoznih gljiva i kvasaca u maslacu, poboljšanje kvalitete kriški jabuka, povećava rok trajanja svježeg govedine, povećava rok trajanja svinjetine, antimikrobna aktivnost protiv <i>Rhizopusstolonifer</i> u rezanom kruhu
Sakupljanje etilena	Smanjenje brzine omekšavanja rajčica
Antioksidans	Poboljšanje kvalitete mlijeka u prahu
Otpuštač mirisa	Poboljšanje kvalitete i antimikrobno djelovanje pečene govedine

Hrana koja je zapakirana sadržava određene količine plinova u svom prostoru koji mogu značajno naštetiti hrani. Prodiranje kisika u plastične posude također je zabrinjavajuće. Molekularni kisik (O<sub>2</sub>) može se reducirati u razne međuvrste dodavanjem između jednog i četiri elektrona čime se stvaraju superoksid, hidroksi radikal, vodikov peroksid i voda. Oni stvaraju problem jer su veoma reaktivni. Prisutnost kisika, ako nije poželjna, može biti posljedica neadekvatne ili nedovoljne evakuacije tijekom procesa pakiranja, prisutnosti u samoj hrani ili materijalu za pakiranje i ispuštanja u prostor iznad glave, prodiranja kroz ambalažu, ulaska zraka zbog lošeg brtvljenja, ili mikroperforacije u materijalu za pakiranje. Visoka razina kisika smanjuje nutritivnu vrijednost hrane i smanjuje joj rok trajanja. Kisik reagira s osjetljivom hranom u pakiranju pri čemu smanjuje rok trajanja hrane, degradaciju vitamina i užeglost ulja, orašastih plodova i potiče rast mikroorganizama. Kisik se može ukloniti vakuumskim zatvaranjem ili atmosferom inertnog plina u pakiranju (N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>), ili oboje. Ovim metodama mogu ukloniti oko 90-95% kisika prisutnog u zraku iz pakirane hrane prije ili tijekom pakiranja. Takvi se sustavi koriste u pakiranju soka od naranče i u

industriji piva, te u pakiranju prehrambenih proizvoda u modificiranoj atmosferi. Korištenjem materijala koji apsorbiraju kisik smanjuje se njegova količina u prostoru za pakiranje i na taj način se smanjuje brzina kvarenja. Aktivna ambalaža koja sakuplja ili čisti kisik iz pakiranja aktivno kontroliraju preostale razine kisika unutar pakiranja, u nekim slučajevima na <0,01% kisika, što je nemoguće s drugim sustavima pakiranja. [34]

Ugljični dioksid potiskuje aktivnost mikroba. Relativno visoke razine CO<sub>2</sub> (60 do 80%) inhibiraju rast mikroba na površinama i zauzvrat produljuju rok trajanja zapakirane hrane. Stoga se za uklanjanje kisika primjenjuju sustavi s generacijom CO<sub>2</sub>. Propusnost CO<sub>2</sub> je 5 puta veća od kisika, CO<sub>2</sub> se u pakiranju mora kontinuirano proizvoditi kako bi se postigla željena koncentracija unutar pakiranja. Visoke razine CO<sub>2</sub> uzrokuju promjene u okusu proizvoda tako da je generator CO<sub>2</sub> koristan samo u određenim primjenama kao što je pakiranje svježeg mesa, peradi, ribe i sira. [34]

Kontrola etilena u skladištenim uvjetima igra ključnu ulogu u produljenju vijeka trajanja mnogih vrsta svježih proizvoda nakon žetve. Etilen se u većini voća i povrća oslobađa nakon berbe. Etilen je fitohormon koji pokreće i ubrzava sazrijevanje, uzrokuje omekšavanje i razgrađuje klorofil i dovodi do kvarenja svježeg ili minimalno prerađenog voća i povrća. Čistači i sakupljači etilena korisni su za očuvanje voća i povrća osjetljivog na etilen kao što su jabuke, banane, mango, rajčice, luk, mrkva. [34]

Dodavanjem aditiva i mirisa može se povećati poželjnost hrane kod potrošača, poboljšati aromu samog svježeg proizvoda ili poboljšati okus hrane kada se pakiranje otvori. Ovi se okusi i mirisi oslobađaju polagano i ravnomjerno u zapakiranom proizvodu tijekom njegovog roka trajanja ili se otpuštanje može kontrolirati tijekom otvaranja pakiranja ili pripreme hrane. Postupno oslobađanje mirisa može nadoknaditi prirodni gubitak okusa ili mirisa proizvoda s dugim rokom trajanja. [34]

Mikrobiološka kontaminacija uzrokovana patogenim bakterijama ili bakterijama kvarenja može se pojaviti tijekom neadekvatne obrade ili kada je cjelovitost pakiranja ugrožena zbog puknuća brtve, uboda, udubljenja ili nepotpunih završnih slojeva stakla. Antimikrobno pakiranje uključuje sustave kao što je dodavanje vrećice u pakiranje, raspršivanje bioaktivnih agenasa u pakiranju, oblaganje bioaktivnih agenasa na površini materijala za pakiranje ili korištenje antimikrobnih makromolekula sa svojstvima stvaranja filma ili jestivih matrica. Velik broj sredstava s antimikrobnim svojstvima (etanol, ugljični dioksid) koristi se u svrhu inhibicije rasta mikroorganizama koji mogu dovesti do kvarenja prehrambenih proizvoda. Sustavi pakiranja koji ispuštaju hlapljive antimikrobne tvari uključuju klor dioksid, biljne ekstrakte, sumporov dioksid, eterična ulja, ugljični dioksid i alilizotiocijanat. Prednost hlapljivih antimikrobnih sredstava leži u tome to što mogu podrijeti u većinu matrice hrane i polimera, pri čemu ne moraju biti u izravnom kontaktu s hranom. Ova vrsta aktivnog pakiranja prikladna je za primjene u kojima ne dolazi do kontakta između dijelova hrane i pakiranja, kao u slučaju mljevene govedine. [34]

Oksidacija masti jedan je od najvažnijih mehanizama koji dovode do kvarenja hrane, odmah iza rasta mikroorganizama. Oksidacija masti uzrokuje smanjenje roka trajanja zbog promjene okusa i mirisa, pogoršanja teksture i funkcionalnosti mišićne hrane i smanjenja nutritivne kvalitete. Oksidacija hrane može se izbjeći korištenjem hvatača kisika i antioksidansa u pakiranju. Takvo pakiranje ima za cilj spriječiti ili usporiti oksidacijske reakcije. Osko, hidroski, i superoksid radikali su inicijatori oksidacije i oni se moraju ukloniti kako bi se izbjegla oksidacija. Lak s prirodnim antioksidansom ekstraktom ružmarina, koji djeluje kao hvatač radikala bilo u fazi pare ili izravnim kontaktom, može eliminirati ili odgoditi oksidaciju hrane unutar pakiranja hrane. Time se eliminira potreba za dodavanjem antioksidansa pakiranju ili hrani. Antioksidansi se mogu koristiti za ulje, orašaste plodove, maslac, svježe meso, mesne preradevine, pekarske proizvode, voće i povrće. [34]

### 3. ZBRINJAVANJE AMBALAŽE

#### 3.1. ZBRINJAVANJE OTPADA

Porastom industrije, kao i porast stanovništva, povećao se broj proizvodnje, potražnje i iskorištavanja različitih materijala, kao što su ambalaža. Veliki broj proizvoda dospjeva u okoliš što čini veliki problem u današnjem svijetu.

Otpad koji nastaje zbog potrošnje dijeli se u dvije kategorije prema svojstvima: opasni i inertni otpad. Opasni otpad sadrži štetne tvari koje mogu biti eksplozivne, podražljive ili mogu optuštati toksične tvari prilikom njihove razgradnje. Inertni otpad sadrži u maloj količini ili uopće ne sadrži tvari koje mogu podlijeći fizikalnoj, kemijskoj ili biološkoj razgradnji i ne ugrožavaju okoliš i ljude. [32]

Također, otpad prema obliku može biti tekući, plinoviti ili kruti otpad. Tekući otpad najčešće nastaje u kućanstvima i u industriji. Plinoviti otpad se sastoji najčešće od plinova kao što su  $\text{CO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  i ugljikovodika (CH) (npr.  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ). Plinoviti otpad može nastati uslijed transporta ljudi i robe, iskorištavanjem energenata u industriji, iz industrijskih procesa, iz odlagališta otpada i spaljivanjem otpada. Kao i plinoviti i tekući otpad, kruti otpad nastaje u kućanstvima i u industriji. Prije zbrinjavanja, kruti otpad se mora razdvojiti po vrstama materijala, zbiti i smanjiti mu volumen. [32]



**Slika 34.** Vrste otpada

Zbrinjavanje otpada ima bitnu ulogu u zaštiti okoliša. Glavni ciljevi zbrinjavanja otpada su: zaštita ljudskog zdravlja, zaštita okoliša i raznolikosti u prirodi, briga o društvu i smanjenje troškova proizvodnje. Zbrinjavanje otpada uključuje skupljanje, uskladištenje, obrađivanje otpada prije odlaganja, recikliranje, uvoz-izvoz te prijevoz otpada, zatvaranje i saniranje odlagališta. [32]

### 3.2. TEHNOLOGIJE RECIKLIRANJA

Glavni ciljevi recikliranja polimernog otpada kao načina zbrinjavanja su: smanjivanje upotrebe prirodnih resursa, smanjivanje količine otpada i u konačnici zaštita okoliša. U slučaju polimernog otpada, recikliranje označava ponovnu uporabu plastičnog otpada, što podrazumijeva iskorištavanje energije koja se dobije spaljivanjem otpada, depolimerizaciju uz proizvodnju monomera, vraćanje ponovo u proizvodni ciklus, te uključivanje plastičnog i gumenog otpada u biološki ciklus ugljika u prirodi. [35] Tehnologije recikliranja su: materijalno recikliranje, kemijsko recikliranje, energijsko recikliranje i otopinsko recikliranje. Materijalno, kemijsko i energijsko recikliranje su najčešći oblici recikliranja otpada.

Materijalno ili mehaničko recikliranje se odnosi na recikliranje gdje se termičkom preradom otpada dobivaju drugi materijali za upotrebu. Materijalno recikliranje omogućava smanjenje upotrebe prirodnih resursa i smanjenje nastajanja otpada i zaštite okoliša. Materijalno recikliranje se može podijeliti na primarno i sekundarno recikliranje. Primarno recikliranje upotrebljava čisti (primarni) otpad, a sekundarno recikliranje reciklira homogeni i heterogeni otpad. [35]

Kemijsko recikliranje omogućava da se otpad može ponovno pretvoriti u polaznu sirovinu. Kemijskim recikliranjem se mogu oporaviti elastomeri, plastomeri i duromeri. Za kemijsko recikliranje potrebno je primjeniti sterilizaciju otpada tako da se može bez opasnosti na ljude i okoliš sigurno skladištiti ili preraditi. [35]

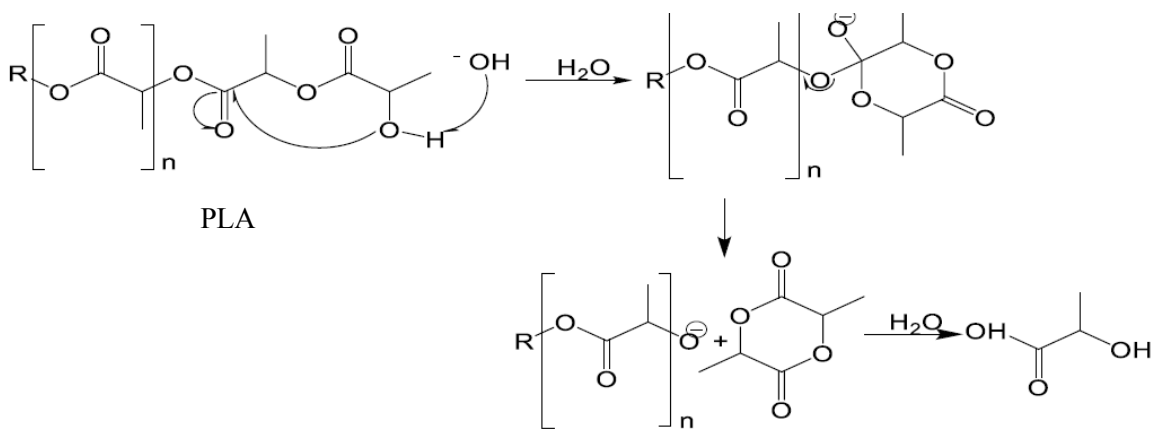
Energijsko recikliranje se primjenjuje kod plastičnih materijala zato što plastični materijali imaju visoku ogrjevnu vrijednost. Najpoznatiji načini energijskog oporavka su spaljivanje na roštilju i u vrtložnom sloju, oporavak u cementnim pećima i toplinska uporaba uz dodatak mulja. [35]



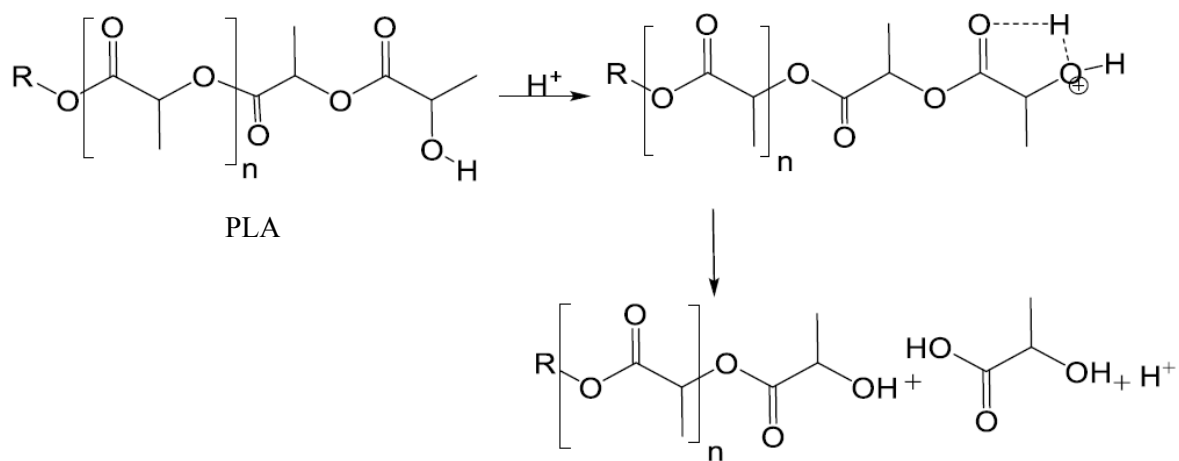
### 3.3. BIORAZGRADNJA BIOPOLIMERA

Biorazgradnja je razgradnja i asimilacija plastičnih materijala životnim putem mikroorganizama (gljivice, alge, bakterije) prilikom čega nastaju manje molekule kao što su ugljikov dioksid, voda, metan i monomer. [36] Tijekom biorazgradnje, biopolimer se prvo pretvara u svoj monomer i onda se ti monomeri mineraliziraju. Biorazgradnju biopolimera kontroliraju različiti čimbenici kao što su svojstva polimera, molekulska masa polimera i vrsta organizma. Također, na biorazgradnju utječu i vanjski čimbenici kao što su temperatura, vlaga, kisik, metali, soli, pH, svjetlo, stabilnost samog polimera itd. [37]

Mehanizam biorazgradnje biopolimera značajno ovisi o vanjskim uvjetima. Tako polimljična kiselina (PLA) pokazuje viši stupanj biorazgradnje pri višim temperaturama. Također, razina pH bitno utječe na biorazgradnju polimljične kiseline. Razgradnja PLA se može odvijati u kiselom ili lužnatom mediju, stoga postoje 2 različita mehanizma biorazgradnje PLA, odnosno depolimerizacije, koji vode do stvaranja monomera. Glavna reakcija koja se događa u mehanizmu biorazgradnje PLA u kiselom i lužnatom mediju je hidroliza PLA. Hidroliza u ta 2 medija nastaje površinskom erozijom. U kiselom mediju dolazi do cijepanja PLA u mliječnu kiselinu protoniranjem hidroksilne skupine. Zbog hidrofilnog kraja lanca PLA i hidrofobnog polimernog lanca PLA, biorazgradnja PLA je neovisna o duljini lanca. U bazičnom mediju dolazi do kidanja lanca i depolimerizacije PLA u laktid. Taj mehanizam je popraćen reakcijom hidrolize. Hidroksidni kataliziraju cijepanje PLA u bazičnom mediju. Pri višem pH, koncentracija hidroksidnih iona je viši i stoga pospješuje razgradnju. [38]



Slika 35. Mehanizam razgradnje PLA u lužnatom mediju



**Slika 36.** Mehanizam razgradnje PLA u lužnatom mediju

#### 4. ZAKLJUČAK

- Na osnovi pretraživanja literature vidljivo je da u prehrambenoj industriji, u tehnologiji pakiranja hrane, napravljen je veliki iskorak gdje je vidljiv razvoj velikog broj novih, modificiranih polimernih ambalažnih materijala. Tako, uz filmove dobivene iz osnovnih sintetskih polimernih materijala kao što su: polietilen (PE), polipropilen (PP) poli(etilen tereftalat) (PET), polistiren (PS), poli(vinil klorid) (PVC), poliamid (PA) te etilen-vinil-alkohol (EVOH) razvijeni su višeslojni filmovi, aktivna ambalaža, te najnovije razvija se ambalaža na osnovi biopolimera. Svi ovi materijali uvelike su povećali vijek trajanja hrane i samu kvalitetu zapakirane hrane (npr. mesa, voće, povrća, i dr.).
- Velika važnost razvoja ambalaže za pakiranje hrane na osnovi biopolimera je u tome što su oni biorazgradljivi, a sintetski polimer to nisu. Naime, najveći dio sintetskih polimernih materijala, i do 50%, koristi se za pakiranje hrane što čini veliki pritisak na okoliš.
- Unatoč značajnim prednostima biopolimernih materijala i aktivne ambalaže, trenutno nisu u mogućnosti u potpunosti zamijeniti sintetske polimere u proizvodnji ambalaže.
- Kako bi se smanjio negativni pritisak ambalaže dobivane iz sintetskih polimera na okoliš potrebno je istraživati i razvijati nove biorazgradljive ambalažne materijale za pakiranje hrane.

## 5. LITERATURA

- [1] Kenneth Marsh, Betty Bugusu, Food Packaging—Roles, Materials, and Environmental Issues, IFT, 2007., str. 39-44
- [2] <https://www.foodpackagingforum.org/food-packaging-health/food-packaging-materials> (pristup 31.8.2023)
- [3] Tonka Kovačić, Struktura i svojstva polimera, Sveučilište Split, Split, 2010., str. 3-7
- [4] Abdulhadi Al Yassen, Introduction To Polyethylene, Alexandria University, Abu Dhabi, 2018.
- [5] <https://www.xometry.com/resources/materials/polyethylene/> (pristup 31.8.2023.)
- [6] <https://www.aakash.ac.in/important-concepts/chemistry/high-density-polyethylene>
- [7] Ante Jukić, Kemija prirodnih i sintetskih polimera, predavanja, Sveučilište u Zagrebu: Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb, 2012.
- [8] <https://www.p5pkg.com/blog/types-of-plastic-food-packaging/> (pristup 31.8.2023.)
- [9] <https://www.toppr.com/guides/chemistry/organic-chemistry/ldpe-low-density-polyethelene-properties-and-uses/> (pristup (31.8.2023.)
- [10] Zvonimir Janović: Polimerizacija i polimeri, HDKI – Kemija u industriji, Zagreb, 1997., str. 587-591
- [11] V. Matthews, Polyethylene terephthalate (PET) for food packaging applications, ILSI, 2000., str. 3-8
- [12] Mohammad Asif Ali, Tatsuo Kaneko, Polyamide Syntheses, Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials, Springer, 2017., str. 1-4
- [13] Zlata Hrnjak - Murgić, Ambalažni polimerni materijali, predavanja, Sveučilište u Zagrebu: Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb (2010.)
- [14] <https://pvc.org/pvc-applications/pvc-in-packaging/> (pristup 31.8.2023.)
- [15] Tonka Kovačić, Branka Andričić, Suspenzijski poli(vinil-klorid) i rizici njegove proizvodnje, Sveučilište u Splitu, Kemijsko-tehnološki fakultet, Split, 2006., str. 129-130
- [16] <https://www.valcogroup-valves.com/faq-2/pvc-polyvinyl-chloride-manufacturing-process-of-polyvinyl-chloride-pvc/> (pristup 31.8.2023.)
- [17] <https://ebooks.inflibnet.ac.in/ftp08/chapter/structure-and-properties-of-plastic-polymers/> (pristup 1.4.2023.)
- [18] <https://www.sciencedirect.com/topics/chemical-engineering/polystyrene> (pristup 1.4.2023.)
- [19] [https://www.foamex.com.au/news/properties-of-expanded-polystyrene\\_\(pristup](https://www.foamex.com.au/news/properties-of-expanded-polystyrene_(pristup) 1.4.2023.)
- [20] <https://polymerdatabase.com/polymer%20chemistry/Polystyrene.html> (1.4.2023.)
- [21] <https://epsa.org.au/about-eps/what-is-eps/how-is-eps-made/> (pristup 1.4.2023.)
- [22] <https://www.valcogroup-valves.com/faq-2/pp-polypropylene-manufacturing-process-of-pp-polypropylene/> (pristup 1.4.2023.)

- [23] Gowthama Prabu Udayakumar, Subbulakshmi Muthusamy, Bharathi Selvaganesh, N. Sivarajasekar, Krishnamoorthy Rambabu, Selvaraju Sivamani, Nallusamy Sivakumar, J. Prakash Maran e, Ahmad Hosseini-Bandegharaei, Ecofriendly biopolymers and composites: Preparation and their applications in water-treatment, *Biotechnol. Adv.*, 2021., str. 2-5
- [24] Salman Shaikh , Mudasir Yaqoob , Poonam Aggarwal, An overview of biodegradable packaging in food industry, *CRFS*, 2021., str. 506-509
- [25] <https://biomedgrid.com/fulltext/volume3/methods-of-chitin-production-a-shortreview.000682.php> (pristup 1.4.2023.)
- [26] Radoslav Grujić, Dragan Vujadinović, Danica Savanović, *Biopolymers as Food Packaging Materials, Advances in Applications of Industrial Biomaterials*, Springer, 2017., str. 141-152
- [27] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8838392/> (pristup 5.9.2023.)
- [28] Vatsla Gupta, Deblina Biswas and Swarup Roy, A Comprehensive Review of Biodegradable Polymer Based Films and Coatings and Their Food Packaging Applications, *MDPI*, 2022., str. 9
- [29] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8838392/> (pristup 5.9.2023.)
- [30] Zlata Hrnjak - Murgić, *Ambalažni polimerni materijali, predavanja, Sveučilište u Zagrebu: Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb (2010.)*
- [31] Gander, P. The smart money is on intelligent design. *Food Manufacture* Feb, 2007.
- [32] Yam, K. L., Takhistov, P. T., and Miltz, J. Intelligent packaging: concepts and applications. *Journal of Food Science*, **70** (2005) 1-10
- [33] Sofia Agriopoulou, *Active Packaging for Food Applications*, *EC Nutrition*, 6.2, 2016., str. 86-87
- [34] Priyanka Prasad, Anita Kochhar, *Active Packaging in Food Industry: A Review*, *Journal of Environmental Science, Food Chem. Toxicol.*, **8** (2014), 1-5.
- [35] Zlata Hrnjak – Murgić, *Prirodni i sintetski polimeri, interna skripta, Sveučilište u Zagrebu: Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb (2004.)*, str. 154-160
- [36] Rajeeb Gautam, *investigation of microbial and enzymatic degradation of polyester urethane*, The University of Western Ontario, Faculty of Graduate Studies, 2007., str. 15
- [37] S. Mangaraj, Ajay Yadav, Lalit M. Bal, S. K. Dash, Naveen K. Mahanti, *Application of Biodegradable Polymers in Food Packaging Industry: A Comprehensive Review*, *J Package Technol Res, Journal of Packaging Technology and Research*, **3**, (2019) 77–96.
- [38] Wajid Ali, Hazrat Ali, Sayed Gillani, Philippe Zinck, Sami Souissi, *Polylactic acid synthesis, biodegradability, conversion to microplastics and toxicity: a review*, *Environ. Chem. Lett.*, **21**, (2023) 1761–1786.

## 6. ŽIVOTOPIS

### OSOBNI PODACI:

- Ime i prezime: Stjepan Ivanković

■ [REDACTED]  
■ [REDACTED]  
■ [REDACTED]  
■ [REDACTED]

### OBRAZOVANJE:

- 2013. – 2017. – Srednja škola Tina Ujevića, Kutina
- 2021. - Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

### RADNO ISKUSTVO:

- 2022. – Rad u skladištu preko student servisa u trgovini Kaufland
- 2023. – Stručna praksa u Petrokemiji d.d.
- 2023. – Rad u skladištu preko student servisa u Narodnim Novinama

### STRANI JEZICI:

- Engleski jezik – osnovno razumijevanje i govor
- Njemački jezik – osnovno razumijevanje i govor

### RAČUNALNE VJEŠTINE:

- Rad u Microsoft Office-u

### OSTALNE VJEŠTINE:

- Član rukometne ekipe Fakulteta kemijskog inženjerstva i tehnologije, položen vozački ispit za B kategoriju vozila