

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije

DIPLOMSKI STUDIJ

AMBALAŽNI POLIMERNI MATERIJALI

Izv. prof. dr. sc. Zvonimir Katančić
katancic@fkit.unizg.hr



Polimerni ambalažni materijali

- Zamjena za klasične materijale (staklo, metal)
- „Novi” materijali specifičnih svojstava
- **Podjela polimera**
 - Prema porijeklu
 - **prirodni**: celuloza, škrob, kaučuk, svila, vuna, pamuk, poli-3-hidroksi butirat (PHB), polimljična kiselina (PLA)
 - **sintetski**: polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), poli(vinil klorid) (PVC), poli(etilen tereftalat) (PET)....
 - Sintetski polimeri dijele se na **polioplaste** (plastika) i **elastomere** (guma)
 - Polioplasti se dijele dalje na **plastomere** (termoplaste) i **duromere**



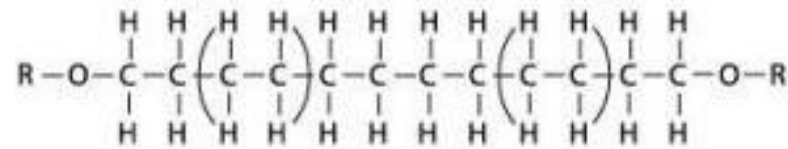
Polimerni ambalažni materijali

- **Duromeri** (smole) su polimeri koji se dobivaju kondenzacijskom polimeriziraju, tijekom prerade, pri tome se oblikuju u kalupu u krajnji proizvod i nepovratno poprimaju konačni oblik, tj. **ne mogu ponovo taliti i oblikovati**
- **Plastomeri** su polimeri koji se dobivaju radikalskom polimeriziraju, a polimeri se prerađuju i oblikuju u krajnji proizvod, ekstrudiranjem/ injektiranjem, mogu **višestruko taliti i oblikovati**, a da pri tome ne gube značajno na kvaliteti
- Plastomeri (plastika):
 - **lako se oblikuju** i poprimaju različite oblike: **boce, zdjele, plitice, filmovi,....**
 - **imaju dobra kemijska, fizička i mehanička svojstva** (niske gustoće, fleksibilni, žilavi, mogu se termozavarivati)
 - **idealni su za primjenu kao ambalažni materijal**



Važniji ambalažni polimeri

- Velika primjena polimernih materijala kao ambalažnih materijala je zahvaljujući **niskoj cijeni**, **jednostavnoj preradi**, te iznimno **dobrim svojstvima** koje nemaju klasični materijali
- Najčešće korišteni polimeri za ambalažu su:
 - **celuloza i derivati**: celulozni acetat, celulozni acetobutirat, celofan
 - **sintetski**: poliolefini (PE,PP), poliester (PET), polistiren (PS), poliamidi (najlon) (PA), poli(vinil-klorid) (PVC)
- Najzastupljeniji u pakiranju hrane su poliolefini i poliesteri - PE, PP, PVC, PS, PC i PET čine 65% ukupne polimerne ambalaže



Važniji ambalažni polimeri

➤ POLIETILEN

➤ LDPE - polietilen niske gustoće

- $\rho = 0,91$ do $0,94 \text{ g/cm}^3$
- mol. mase 150.000- 300.000, **amorfan** (razgranata struktura, kristalnost 40-60 %), proziran
- $T_{\text{mekšanja}} = 85 - 87^\circ \text{C}$
- $T_{\text{taljenja}} = 105 - 115^\circ \text{C}$
- jeftin, istezljiv (tipično preko 500 %), žilav, savitljiv, otporan na vlagu, kemikalije, dobra barijerna svojstva za vodu, **relativno niska barijerna** svojstva (propustljiv na plinove i pare), lako se reciklira
- izrađuju se uglavnom u **filmove i folije**, pogodan za primjenu kao ambalaža, pogodan kada je neophodno termozavarivanje (ima najniže talište)

➤ Upotreba:

- kao transportna, skupna i primarna ambalaža
- za smrznute namirnice, savitljivi poklopci za boce, polietilenske vrećice (za **višestruku** upotrebu)

Važniji ambalažni polimeri

➤ HDPE - polietilen visoke gustoće

- $\rho = 0,94$ do $0,97 \text{ g/cm}^3$
- mol. masa 200.000 - 500.000, **kristalan** (linearna struktura, kristalnost 65-90 %), neproziran
- $T_{\text{mekšanja}} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$,
- $T_{\text{taljenja}} = 125 - 135 \text{ }^\circ\text{C}$
- tvrdi i čvršći od LDPE

➤ Izvrsna otpornost na kemikalije i vlagu, **relativno niska barijerna** svojstva (ali viša od LDPE), jednostavan za obradu i oblikovanje, lako se reciklira

➤ **Koristi se** za izradu **boca**, za mlijeko, sok, šampone, vodu, kutije za žitarice, posudice za margarin, vrećice za kekse te vreće za smeće

➤ Sklon pucanju pod okolišnim naprezanjem (eng. Environmental stress cracking, ESC) - javlja se kada samo naprezanje ili samo okoliš ne uzrokuju pucanje, ali u kombinaciji dolazi do pucanja

➤ Detergenti su sredstva koja potiču pojavu ESC

➤ Može se smanjiti kopolimerizacijom (s butenom ili heksenom) u svrhu postizanja manje kristalnosti - povećava se otpornost na ESC

Važniji ambalažni polimeri

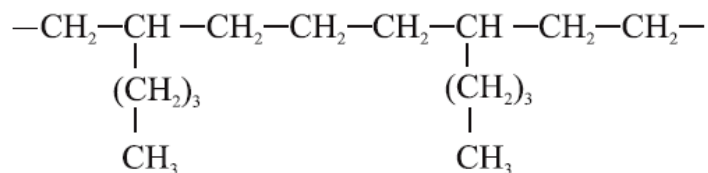
➤ HDPE vs. LDPE

	HDPE	LDPE
Gustoća	0,94 - 0,97 g/cm ³	0,91 - 0,94 g/cm ³
T _m	125 - 135 °C	105 - 115 °C
Rastezna čvrstoća	17,5 - 45 MPa	8 - 31 MPa
Prekidno istezanje	10 - 1200 %	100 - 1000 %
WVTR	4,5 - 6 g/m ² d	13 - 18 g/m ² d
Permeabilnost O ₂	40 - 73 cm ³ /m ² d atm	163 - 213 cm ³ /m ² d atm
Permeabilnost CO ₂	200 - 250 cm ³ /m ² d atm	750 - 1.060 cm ³ /m ² d atm
Upijanje vode	<0,01 %	<0,01 %

Važniji ambalažni polimeri

➤ LLDPE - linearni polietilen niske gustoće

- dobiva se komonomerizacijom etilena s 1-butenom, 1-heksenom i 1-oktenom
- nastaje linearna struktura s kratkim bočnim granama, npr. u slučaju korištenja 1-heksena $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}(\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$



- što je veći udio komonomera manja će biti gustoća
- normalni udio komonomera je 1-10%
- Fizikalna svojstva su ovisna o gustoći ($0,92 - 0,94 \text{ g/cm}^3$) i mol. masi
- zbog povećane kristalnosti i uže raspodjele mol. masa ima **bolja mehanička svojstva od LDPE**, $10-15^\circ\text{C}$ više T_m , veću rastezna čvrstoću, istezljivost, otpornost na pucanje i trganje
- LDPE ima veću prozirnost i sjaj, te se bolje termozavaruje

Važniji ambalažni polimeri

➤ Polietilenske folije

- vrlo meke, gipke, rastezljive-elastične i transparentne
- zadržavaju gipkost i kod niskih temperatura (-50°C) kod namirnica koje se zamrzavaju
- loše primaju tisak, neophodno ih je prethodno obraditi -kloriranjem (oksidacijom - postiže se hrapavost površine)
- termoskupljajuće folije - za pojedinačno i skupno pakiranje različitih roba
- HDPE folije - mliječno bijele, krute i čvrste, postojane do 110°C
- LDPE folije - prozirne, elastične, za izradu ambalažnih filmova
- LLDPE folije - *stretch* folije, vrlo čvrste transportne vreće, često se miješa s LDPE



Važniji ambalažni polimeri

➤ Polietileni - svojstva

Gustoća PE g/cm ³	WVTR g/m ² d	Permeabilnost O ₂ cm ³ /m ² d atm
0,910	8,66	275
0,915	7,79	256
0,920	6,85	225
0,925	5,79	201
0,930	4,65	165
0,935	3,66	137
0,940	2,76	104
0,945	2,44	91
0,950	2,08	76
0,955	1,85	70
0,960	1,45	61

Važniji ambalažni polimeri

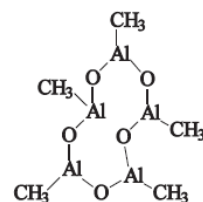
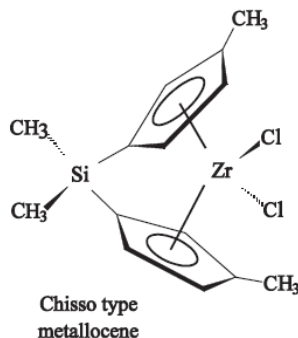
➤ Polietileni - svojstva

Kako se molekulska masa povečava	
Rastezna čvrstoća	raste
Udarne žilavost	raste
Prozornost	raste
Prekidno istezanje	raste
Otpornost na trganje	pada
Kako se raspodjela molekulskih masa širi	
Prekidno istezanje	pada
Udarne žilavost	pada
Kako se gustoća povečava	
Rastezna čvrstoća	raste
Talište	raste
Prozornost	pada
Permeabilnost	pada
Udarne žilavost	pada

Važniji ambalažni polimeri

➤ Metalocenski katalizatori za dobivanje polietilena

- 1990-ih se razvila nova generacija polietilena baziranih na metalocenima
- **omogućuju ravnomjerniju raspodjelu komonomera** (buten, heksen, okten)
- Metalocenski katalizatori su otkriveni 1950-ih, ali su komercijalizirani za proizvodnju PE 40-ak godina kasnije



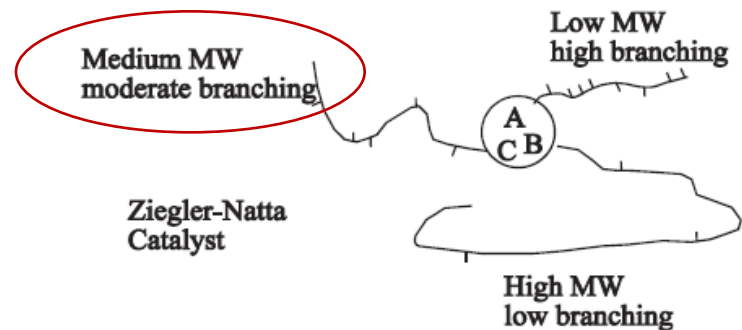
Representative Aluminoxane

Si-Zr metalocenski katalizator i aluminoksanski kokatalizator

Važniji ambalažni polimeri

➤ Metalocenski katalizatori za dobivanje polietilena

- tradicionalni Ziegler-Natta katalizatori (TiCl_3 , TiCl_4 , VCl_4 ,...) imaju 3 aktivna mjesta na površini čestica
- **jedno** mjesto stvara polimere niskih mol. masa s velikim udjelom komonomera, **drugo** stvara polimere visokih mol. masa s vrlo malo komonomera, **treće** stvara željeni produkt srednjih mol. masa sa srednjom količinom komonomera

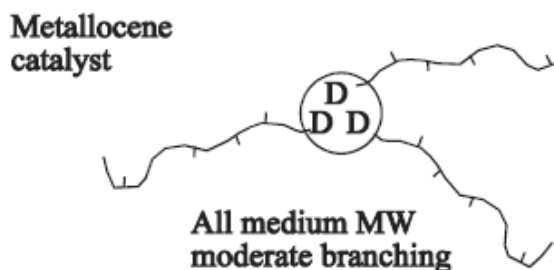


- “Grananje” na slici potječe od komonomera, riječ je o bočnim kratkim grupama, ne o pravim granama - zato se i dalje ovakva struktura vodi kao linearni polimer

Važniji ambalažni polimeri

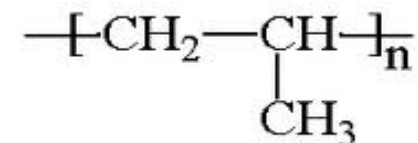
➤ Metalocenski katalizatori za dobivanje polietilena

- metalocenski katalizatori sadrže **samo 1 aktivno mjesto**
- nastaje željeni kopolimer s udjelom komonomera koji je dodan na početku u reaktor
- bolja kontrola raspodjele mol. masa, **bolja mehanička svojstva** (veća rastezna čvrstoća i otpornost na trganje), **veća prozirnost**





Važniji ambalažni polimeri



➤ POLIPROPILEN (PP)

- komercijalni PP je izotaktni, dobiva se uz Ziegler-Natta katalizatore, industrijski procesi su dizajnirani da se minimizira nastajanje ataktnog amornog PP koji se koristi kao adheziv
- $\rho = 0,89 - 0,92 \text{ g/cm}^3$
- čvršći od HDPE i LDPE, više talište (iznad 160°C)
- viša toplinska stabilnost od PE, moguće je posude od PP sterilizirati u autoklavu i koristiti ga u mikrovalnim pakiranjima
- kristalnost od 30 do 60 %
- dobra otpornost na kemikalije, niska propusnost vodene pare
- osjetljiviji na UV razgradnju zbog tercijarnog C atoma
- najšira upotreba - posudice za jogurt, margarin, folije / filmovi za pakiranje tjestenine, bombona

Važniji ambalažni polimeri

➤ POLIPROPILEN (PP)

- komercijalno je dostupan kao **homopolimer i stohastički (random) kopolimer**
 - kopolimerizira se s **1,5 - 7 % etilena**
 - dodatak etilena **snižava kristalnost**, posljedica su **poboljšana prozirnost i fleksibilnost**, sniženo talište, veća žilavost
-
- PP je moguće proizvesti (i homo- i kopolimere) u **neorijentiranom i orijentiranom obliku**
 - **poboljšana prozirnost, sjaj, mehanička i barijerna svojstva orijentiranog PP**
 - koristi se za *shrink* ambalažu (slično kao LLDPE), ambalažni materijal za grickalice i svježe proizvode. Lako se nanose premazi, tiska i laminira za dobivanje traženog izgleda
 - nije ga moguće toplinski zavariti, za to se koristi etilenski kopolimer

Važniji ambalažni polimeri

➤ POLIPROPILEN (PP)

Svojstvo	Neorijentirani PP	Orijentirani PP
Talište	160 - 175 °C	160 - 175 °C
WVTR	1,0 - 3,0 g/m ² d	0,6 - 2,0 g/m ² d
Rastezna čvrstoća	31 - 42 Mpa	50 - 165 MPa
Toplinsko zavarivanje	Da, na 180 - 230 °C	Ne, film se distorzira
Gustoća	0,902 g/cm ³	0,902 g/cm ³
Prozirnost	Vrlo dobra	Izvrсна
Permeabilnost O ₂	146 cm ³ /m ² d atm	50 - 94 cm ³ /m ² d atm
Permeabilnost CO ₂	500 - 670 cm ³ /m ² d atm	200 - 320 cm ³ /m ² d atm
Upijanje vode	0,01 - 0,03 %	0,01 - 0,03 %

Važniji ambalažni polimeri

➤ POLI(VINIL-KLORID) (PVC)

- **amorfan**, vrlo mali udio kristalnost zbog malo sindiotaktične strukture
 - snažne intermolekularne sile zbog velike polarnosti C-Cl veze, **iznimno krut materijal na sobnoj temperaturi**
 - **temperature taljenja i razgradnje su vrlo bliske** (oko 210 °C) zbog čega ga je iznimno teško prerađivati bez modifikacije, ispod 100 °C mekša
 - razgradnjom otpušta korozivnu HCl
 - **dodaju se plastifikatori** (omekšavala) koji mijenjaju svojstva, djeluju kao **lubrikanti** između lanaca, **snižuju staklište, povećavaju fleksibilnost**, omogućuju lakši tok pri nižim temperaturama i **olakšavaju preradu**
- ## ➤ Kruti PVC-U (uPVC) (eng. unplasticized PVC) - sadrži do 10 % omešavala
- proizvodi se kruta ambalaža, najčešće se proizvode **posude** stabilnog oblika iz folija 0,6-0,8 mm (termooblikovanjem)

Važniji ambalažni polimeri

➤ POLI(VINIL-KLORID) (PVC)

➤ Savitljivi PVC-P

- modificira se s **20-50 %** omekšavala, svojstva mu ovise o vrsti i udjelu omekšavala
- lakše se prerađuje
- izmijenjena mehanička svojstva (mekan, fleksibilan)
- **Manja** postojanost prema visokim temp. i atmosferskim utjecajima od PVC-U
- sjajan, dobro prima tisak, **lošija barijerna svojstva od PVC-U** (dobra npr. za zapakirano meso jer zadržava crvenu boju zbog djelomične propusnosti na kisik)
- koristi se za fleksibilnu ambalažu - dobro prianja
- folije debljine 0,1-0,5 mm



Važniji ambalažni polimeri

➤ POLI(VINIL-KLORID) (PVC)

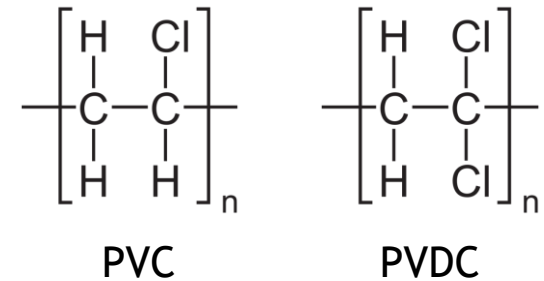
➤ Omekšavala

- Nisu kovalentno vezani za polimernu matricu, visoko podložni ispiranju (*leaching*)
- Nisko molekularni ftalati se izbacuju iz upotrebe, visoko molekularni se generalno smatraju sigurnijim
- Alternativa su adipati, esteri, citrati
- **PVC koji se koriste za pakiranje hrane mora imati istaknuti natpis da sadrži omekšavalo koje je zdravstveno ispravno i odobren od strane HZJZ, ne sadrži ftalate**

➤ Vinil-klorid monomer

- **VCM je karcinogen**, tehnologija za uklanjanje VCM iz proizvoda postala je strogo i visoko regulirana, **dozvoljeno je ispod 10 ppm VCM u polimeru**
- negativan ekološki stav prema PVC-u, sve manje se koristi za ambalažu i zamjenjuju ga PET i drugi polimeri

Važniji ambalažni polimeri

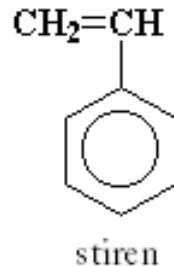


➤ POLI(VINILIDEN-KLORID) (PVDC)

- za razliku od PVC visoko kristalan (do 75%)
- PVDC homopolimer ima talište i temperaturu razgradnje vrlo blisku (oko 200 °C), oslobađa se HCl što čini preradu u taljevini nemogućom
- dodatkom komonomera talište se smanjuje na 140-175 °C što omogućava preradu
- komonomeri vinil-klorid, metil-akrilat ili metil-metakrilat (dodaju se u udjelu 10-30 %), smanjuju kristalnost
- sav komercijalni PVDC je kopolimer
- dodaje se i plastifikator, manje nego kod PVC (do 10 %)
- **iznimno visoka barijerna svojstva** za vodenu paru i plinove, pogodan za termozavarivanje i tisak
- za pakiranje hrane, farmaceutskih i kozmetičkih proizvoda, koekstruzija s poliolefinima za pakiranje svježeg mesa, sira i ostale hrane osjetljive na plinove i vlagu
- PVDC premazi se koriste na papiru, celofanu i krutim spremnicima za poboljšanu otpornost na masti, kisik, vlagu i mirise



Važniji ambalažni polimeri



➤ POLISTIREN (PS)

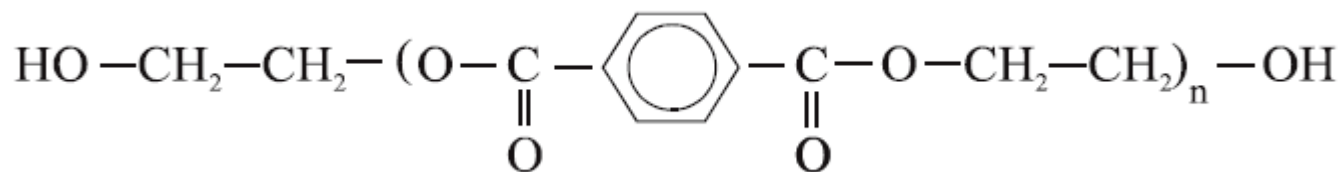
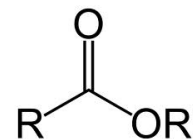
- komercijalni PS je ataktičan pa ne može kristalizirati - **amorfan polimer**
- **tvrd i krt** - lako lomljiv, proziran zbog amorfne strukture, ne tali se ali **mekša iznad 100 °C** i počinje teći
- relativno **niskih barijernih svojstava** prema vodi i plinovima
- komercijalni PS postoji kao čisti “**kristalni**” (**amorfni**) PS, kao **butadienom modificirani HIPS** (eng. high impact) ili kao pjenasti, **ekspandirani PS** (pentan ili CO₂ pjeneći agensi)
- “kristalni” PS se koristi za bočice za tablete i kapsule, HIPS za mliječne proizvode
- **pjenasti** PS je neproziran, krut i lagan s iznimno dobrim termoizolacionim svojstvima, koristi se za izradu posudica - plitica za prehrambene proizvode (svježeg mesa i ribe, voće..) i kao zaštitna transportna ambalaža (stiropor, za robu osjetljivu na udar)



Važniji ambalažni polimeri

➤ POLIESTERI

- grupa polimera s **esterskom skupinom**
- kondenzacijski polimeri koji **moгу biti termoplasti ili termoseti**, ovisno o kemijskom sastavu
- **poli(etilen-tereftalat) (PET)** je najvažniji poliestер, osim u ambalaži koristi se za izradu vlakana



PET

Važniji ambalažni polimeri

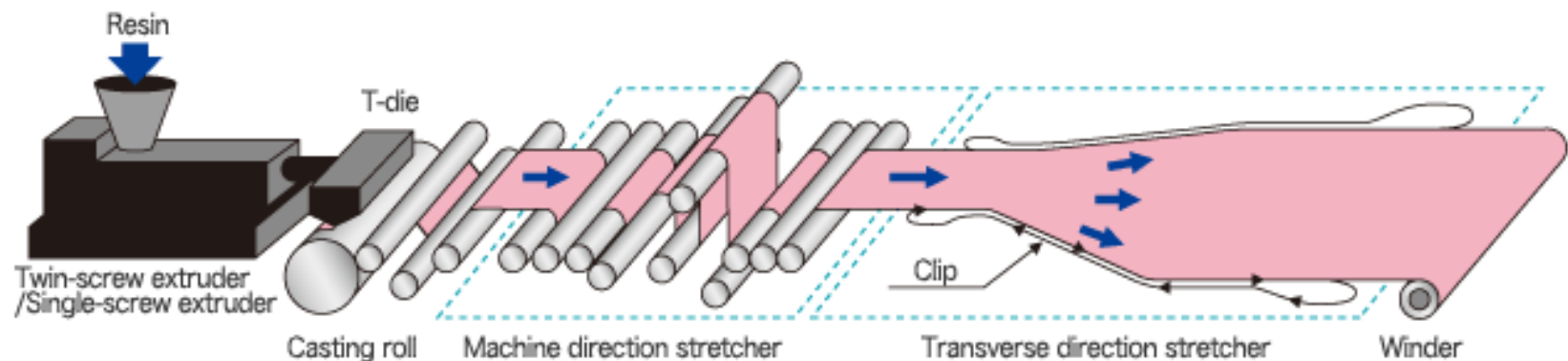
➤ POLI(ETILEN-TEREFTALAT)

- nastaje polimerizacijom **etilen-glikola (EG)** i **tereftalne kiseline (TPA)** ili **dimetil-tereftalata (DMT)**
- **dobra barijerna svojstva** (za O_2 , CO_2 , arome i masti), glatke je površine i otporan na habanje, otporan na mineralna ulja
- **odlična mehanička i kemijska svojstva**, dobra toplinska
- visoko talište u usporedbi s poliolefinским polimerima (245-265 °C), više temperature prerade
- kristalnost ovisi uvjetima prerade, **uobičajeno ima nisku kristalnost i visoku prozirnost**
- glavna upotreba amorfnog PET-a (APET) u **ambalaži za gazirana i negazirana pića**, za pakiranje prehrambenih, farmaceutskih i kozmetičkih proizvoda
- kristalni PET (CPET) je glavni materijal za izradu ambalaže za mikrovalna pakiranja
- PET je higroskopan, **podložen hidrolizi na povišenim temperaturama** pa je **potrebno sušenje** prije toplinske prerade (manje od 0,005 %)

Važniji ambalažni polimeri

➤ POLI(ETILEN-TEREFTALAT)

- PET filmovi se neposredno nakon ekstruzije, a iznad staklišta ($\sim 76^{\circ}\text{C}$) **biaksijalno orijentiraju** kako bi im se povećala **kristalnost inducirana naprežanjem**
- ovim postupkom se **poboljšavaju mehanička i barijerna svojstva**, smanjuje se krtost materijala
- polimer „pamti” prijašnje stanje zbog zadržanog naprežanja, ponovnim **zagrijavanjem** iznad staklišta dolazi do skupljanja



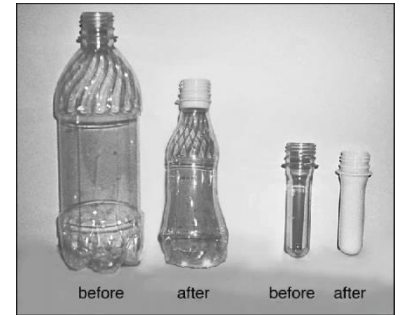
Važniji ambalažni polimeri

➤ POLI(ETILEN-TEREFTALAT)

- skupljanje nakon ponovnog zagrijavanja je **problem kod punjenja PET boca toplim/vrućim tekućinama**
- zbog toga se provodi naknadna kristalizacija, tj. nakon puhanja boce (orijentacija lanaca) provodi se dodatno zagrijavanje kako bi se uklonilo naprezanje

➤ PET modificiran glikolom (PET-G)

- dodaje se **dodatni glikol** (cikloheksan dimetanol) kao komonomer tijekom polimerizacije
- **smanjena kristalnost, olakšana prerada**, povećana tvrdoća i žilavost i pri nižim temperaturama
- koristi se za izradu boca i pakiranje hrane kao i **blister pakiranje lijekova**

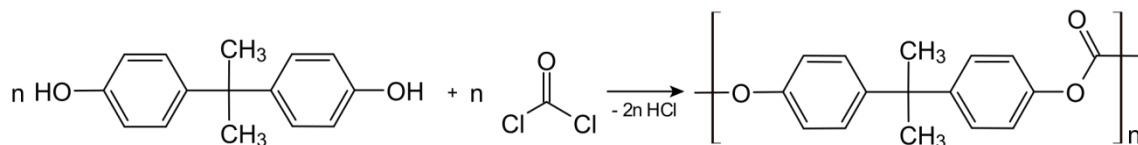


Prije i nakon 5 min na 150°C

Važniji ambalažni polimeri

➤ POLIKARBONAT (PC)

- dobiva se polimerizacijom **bisfenola A (BPA)** i fosgena



- amorfni polimer, **visoko proziran** (propušta do 90 % svjetla)
- vrlo čvrst i krut, **izvrsna udarna žilavost** u širokom rasponu temperatura (-20 do 140 °C), visoka toplinska i kemijska stabilnost
- relativno niska barijerna svojstva za vodu i plinove
- zbog velike prozirnosti i visoke žilavost koristi se za **velike boce za vodu** za višekratnu upotrebu i **male boce koje se mogu sterilizirati** (dječje bočice), $T_g = 147 \text{ °C}$, $T_{\text{mekšanja}} = 155 \text{ °C}$
- higroskopan, potrebno sušenje prije toplinske prerade



Važniji ambalažni polimeri

➤ POLIKARBONAT (PC)

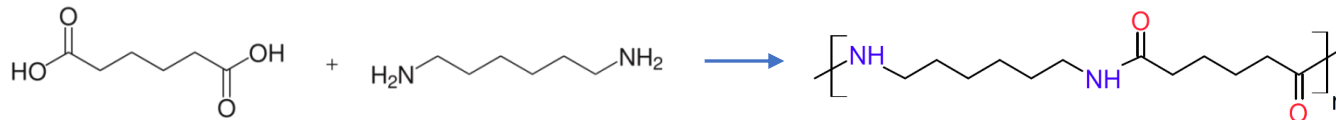
- ima **FDA** (US Food and Drug Administration) **odobrenje za korištenje u proizvodima za kontakt s hranom** (pakiranje za pećnice, mikrovalne, spremnici hrane)
- potencijalni problem s **migracijama bisfenola A**
- **BPA je endokrini disruptor**, negativno utječe na ravnotežu hormonalnog sustava
- BPA je povezan s većom mogućnošću obolijevanja od dijabetesa, pretilosti, bolesti štitnjače, nepoželjnih imunoloških, neuroloških i hormonalnih promjena, smatra se kako može uzrokovati promjenu u funkciji reproduktivnog sustava
- migracije su niske, ali problem je dugotrajna akumulacija, razvijaju se polikarbonati bez BPA (BPA free)



Važniji ambalažni polimeri

➤ POLIAMIDI (PA)

- dobivaju se kondenzacijom dikiseline i diamina, ponavljajuće jedinice povezane amidnim vezama



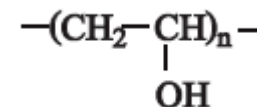
- kao ambalažni materijal najvažniji poliamid je najlon 6,6
- **iznimno dobra mehanička svojstva**, velika žilavost, velika otpornost habanje
- zbog **visoke cijene** manje se koristi za ambalažu - samo u specifičnim slučajevima
- koristi se za izradu **laminatnih folija** pa takve folije imaju **malu propusnost O₂**, dobro primaju tisak, velika čvrstoće šava kod zavarivanja
- PA ima visoko **izražena barijerna svojstva** na plinove i arome, barijerne osobine prema vodi su prosječne

Važniji ambalažni polimeri

➤ POLIAMIDI (PA)

- temp. taljenja mu varira između 175 i 255 °C (ovisno o udjelu kristalnosti)
- pogodan za upotrebu na niskim temp. do -50, a ponekad i do -70 °C
- djelomično kristalan od 30 do 50 %
- otporan na slabe kis. i baze, u **jakim kiselinama se raspada**
- često se koristi kao **laminat** u kombinaciji **PA/PE** za pakiranje smrznutih riba
- **PA osigurava otpornost prema masnoćama i barijeru prema O₂, a PE dobro zavarivanje**

Važniji ambalažni polimeri

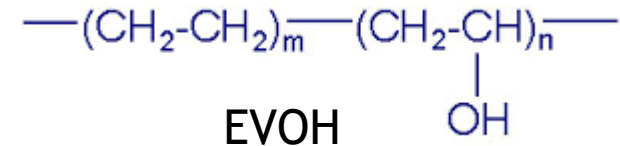


➤ POLI(VINIL-ALKOHOL) (PVOH)

- nije ga moguće proizvesti iz vinil-alkohol monomera jer je nestabilan, **dobiva se hidrolizom poli(vinil-acetata) (PVA/PVAc)**
- **topljiv je u vodi**, ovisno o stupnju hidrolize
- što je stupanj hidrolize veći, veća će biti topljivost
- **izvrsna barijerna svojstva za kisik i ostale plinove**
- koristi se kao **biorazgradljiva i vodotopljiva ambalaža**
- kapsule za lijekove, pakiranje točnih doza pesticida, fitness industrija za doziranje proteina i ostalih suplemenata, vreće za zaprljanu bolničku posteljinu, doze deterdženata za perilice rublja i posuđa



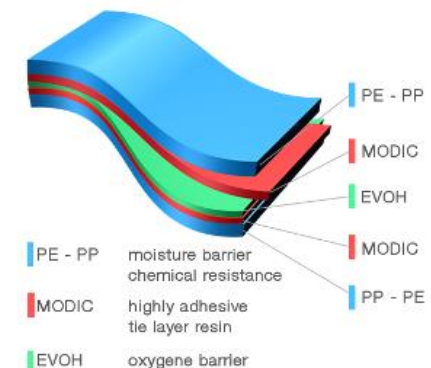
Važniji ambalažni polimeri



➤ ETILEN-VINIL ALKOHOL (EVOH)

- polimerizacijom **etilena** i **vinil acetata** nastaje **etilen-vinil acetat (EVA)** kopolimer koji **hidrolizom** prelazi u **EVOH**
- svojstva kopolimera su određena prema udjelu etilena
- **niski sadržaj - viša barijerna svojstva**, veća osjetljivost na vlagu i težina prerade
- uobičajeno sadrži između 27 i 48 mol% etilena
- ima **izvrsna barijerna svojstva** za O_2 , CO_2 i arome dok nema utjecaja vlage
- zbog -OH skupina polimer je **hidrofilan**, **prisutnost vode smanjuje barijerna svojstva**
- zbog toga se često koristi u **višeslojnim filmovima** kao **središnji sloj**, zaštićen od vlage s vanjskim slojevima koji imaju dobru barijeru protiv vlage
- potreban je **adhezivni sloj između polarnog EVOH-a i nepolarnih poliolefina**

TYPICAL BUILD-UP MULTILAYER BARRIER FILM



Važniji ambalažni polimeri

➤ ETILEN-VINIL ALKOHOL (EVOH)

- koekstrudira se i laminira s PE, PP, PET i PA
- fleksibilna i kruta ambalaža
- boce kečapa i drugih umaka, majoneze, pakiranje mesa,...



Svojstvo	EVOH 32 % etilena	EVOH 44 % etilena
Gustoća (g/cm ³)	1,19	1,14
Rastezna čvrstoća (MPa)	88	68
Talište (°C)	181	164
Permeabilnost kisika (cm ³ /m ² d atm)		
0 % RH	4	2,4
65 % RH	13	45
WVTR (g/m ² d)	2.500	800

	O ₂	WVTR
HDPE	40-73	200-250
PP	146	500-760

Važniji ambalažni polimeri

	HDPE	LDPE	PC	PET	PP	PS	PVC
Rastezna čvrstoća (MPa)	22-31	19-44	66	48-72	31-38	45-83	41-69
Istezanje (%)	10-1200	600	110	50-300	100-600	1-4	5-135
Savojni modul (MPa)	1000-1600	280-410	2350	2420-3100	1170-1730	2620-3380	2600-3600
Prozirnost	niska	maglovit	proziran	proziran	niska	proziran	proziran
Udarna žilavost	dobra	vrlo dobra	izvrsna	niska	dobra	niska	dobra
Barijera za kisik	niska	niska	niska	dobra	niska	niska	dobra
Barijera za vodu	izvrsna	dobra	niska	dobra	izvrsna	niska	dobra