

# Pregled transparentnih polimera

Izbor odgovarajućeg transparentnog polimera zavisi od toga koja su svojstva ključna za određenu primenu. Dobra optička svojstva se podrazumevaju, ali je pitanje koja su mehanička svojstva zahtevana, kao i radne temperature i cena

**S**pisak primena transparentnih polimera raznovrstan je i uključuje proizvode od optičkih sočiva, boca i ambalaže do građevinskih konstrukcija i letelica. Transparentni (prozirni) polimeri omogućuju dobijanje funkcionalnih i atraktivnih proizvoda s mnogim prednostima u odnosu na tradicionalno staklo. Takvi proizvodi su laki, trajni i otporni na lom. Imaju niske troškove proizvodnje, a mogu biti kompleksne geometrije.

**Polikarbonat – PC.** Ovaj transparentni termoplast amorfan je i poseduje kombinaciju svojstava, kao što su: visoka savojna čvrstoća, dimenzionalna stabilnost i dobra mehanička svojstva. Propušta preko 90% svetlosti i zaustavlja UV-zračenje, tako da obezbeđuje potpunu zaštitu od ovog štetnog zračenja. Transparentne ploče od PC-a i do 200 puta jače su od stakla iste debljine pri testovima na udar. Primene su veoma raznovrsne i nalaze se u elektroindustriji i elektronici (LED svetiljke, mobilni telefoni, TV), automobilskoj industriji (farovi, panoramski prozori), poljoprivredi (plastenici), robi široke potrošnje (nosači, pribor i uređaji), medicini, građevinarstvu (zamena stakla za prozore, krovove, zidove), bezbednosti (viziri za zaštitu, štitovi, neprobojno „staklo“) itd. Gustina PC-a iznosi 1,20–1,24 g/cm<sup>3</sup>. Temperatura prelaska u staklasto stanje (T<sub>g</sub>) je 145°C; radna temperatura 100°C, a kratkotrajno do 135°C. Modul elastičnosti (mera krutosti) iznosi 2.200–2.400 MPa.

**Poli(metil-metakrilat) – PMMA.** Ovaj kruti prozirni termoplast najširu primenu ima kao nelomljiva zamena za staklo. Tehničke prednosti uključuju visoku postojanost na UV-zračenje i atmosferilije. Propustljivost svetlosti iznosi do 92%, a mogućnosti bojenja su gotovo neograničene. Sve ove povoljnosti čine PMMA ploče izuzetno pogod-

nim za primene u arhitekturi i građevinarstvu, izradi nameštaja i elemenata enterijera. Gustina PMMA je 1,15–1,19 g/cm<sup>3</sup>; T<sub>g</sub> je 105–120°C; dugotrajna radna temperatura 65–80°C, a kratkotrajno do 95°C. Modul elastičnosti iznosi 3.100–3.300 MPa. PMMA ima bolju udarnu žilavost i postojanost na UV-zračenje od polistirena.

**Poli(etilen-tereftalat) – PET.** Materijal poseduje odličnu kombinaciju svojstava, kao što su mehanička, toplotna i hemijska, uz dimenzionalnu stabilnost. Zavisno od odnosa kristalaste i amorfne strukture,

može biti proziran ili neproziran. Svojstva PET-a definišu njegovu primenu, a to su boce, vlakna i film. T<sub>g</sub> PET-a je 70–80°C a gustina 1,33–1,40 g/cm<sup>3</sup>. Modul iznosi 2.100–3.100 MPa. Može se koristiti kratkotrajno do 170°C, a duže vreme do 100°C.

**Poli(etilen-tereftalat) modifikovan glikolom – PET-G.** Kod ovog amorfnog kopoliestra kombinovane su odlična prozornost i žilavost s visokom toplotnom i hemijskom postojanošću. Gustina iznosi 1,27 g/cm<sup>3</sup>. Modul elastičnosti je 2.200 MPa. Temperatura prelaska u sta-



Providni podvodni tunel od PMMA izgrađen u kineskom akvaparku

## Optička svojstva transparentnih polimera

Polimer	Propustljivost, %	Indeks prelamanja	Mutnoća, %
Polikarbonat – PC	86–91	1,58–1,59	0,2–2,7
Poli(metil-metakrilat) – PMMA	89–92	1,49	0,1–2,6
Poli(etilen-tereftalat) – PET	87–92,1	1,58	0,2–5,1
PET modifikovan glikolom – PET-G	92	1,55	0,7
Tečni silikonski kaučuk – LSR	94	1,41	< 1
Ciklični olefinski kopolimeri – COC	91	1,53	3
Polietilen niske gustine – PE-LD	4,4–94	1,48	3–12
Jonomeri	93,4	1,49	2,7–4,2
Transparentni polipropilen – PP	90	1,47	3
Stiren/metil-metakrilat – SMMA	89–92,8	1,59	0,3–1,0
Stiren/akrilonitril – SAN	86,2–89,3	1,57	0,4–2,8
Polistiren – PS	88–90	1,60	0,3–1,1
Metil-metakrilat/akrilonitril/butadien-stiren – MABS	86	1,52	3

klasto stanje je 80°C. Usled dobre čvrstoće rastopa pogodan je za izradu filma, ekstruziono duvanih šupljih tela i sl. Koristi se kao zamena za PC, PMMA i blende PC+poliester.

**Tečni silikonski kaučuk – LSR.** Ovaj transparentni elastomer ima odličnu propustljivost svetlosti (do 94%). Temperaturno je postojan u opsegu od -100°C do +200°C i odlično se prerađuje. Ima gustinu 1,05–1,60 g/cm<sup>3</sup>, a tvrdoće su obično u opsegu 3–90 Shore A. Zaostala pritisna deformacija je odlična i iznosi 5–25% (22 h/175°C). Visoko je postojan na zračenje.

**Ciklični olefinski kopolimeri – COC.** Ovi amorfni transparentni termoplasti jesu kopolimeri etilena i norbornena dobijeni uz primenu metalocenskih katalizatora. Poznati su po odličnoj optičkoj prozirnosti. Imaju dobra mehanička svojstva, što uključuje visoku krutost i čvrstoću, kao i odlična barijerna svojstva za vlagu. Optička svojstva čine ih idealnim za izradu diskova, preciznih sočiva, različitih filmova itd. S obzirom na to da su postojani na vlagu, rastvarače i sterilizaciju, imaju primenu u medicini i farmaciji. Vrednost T<sub>g</sub> u opsegu je 65–178°C, a toplotna postojanost oblika HDT kod svih tipova za oko 10°C niža je od T<sub>g</sub>. COC kopolimeri lako se metaliziraju i prerađuju svim tehnikama.

**Polietilen niske gustine – PE-LD.** Materijal je fleksibilan, žilav i ima dobru transparentnost, što uslovljava njegove primene za izradu filmova svih vrsta.

**Jonomeri.** Neutralizacijom kopolimera etilen/akrilne kiseline, npr.

etilen/metakrilne kiseline (EMAA), katjonima kao što su Na<sup>+</sup>, Zn<sup>++</sup>, Li<sup>+</sup> itd. dobijaju se materijali veće transparentnosti i žilavosti od kopolimera koji nisu neutralisani. Odlikuje ih izuzetna prozirnost, žilavost i mala težina. Otporni su na ogrebotine i koriste se u različitim vrstama luksuzne ambalaže i za pakovanje hrane. Pored transparentnosti, ovi materijali u kombinaciji sa PVDC, PE-HD itd. poboljšavaju barijerna svojstva i hemijsku postojanost ambalaže. Najčešće se prerađuju ekstruzionim prevlačenjem. Gustina jonomera iznosi 0,94–0,97 g/cm<sup>3</sup>, tvrdoća 36–68 Shore D, a prekidno izduženje 285–770%.

**Transparentni polipropilen – PP.** Zahvaljujući razvoju aditiva za poboljšanje prozirnosti, PP može biti dobijen u transparentnoj formi. Slično se može postići i pogodnim toplotnim tretmanom s brzim hlađenjem i zadržavanjem amorfne strukture. Materijal ima dobar odnos između krutosti i udarne žilavosti, kao i dobra barijerna svojstva za vlagu i vodenu paru.

**Stiren/metil-metakrilat – SMMA.** Ovaj kopolimer ima visoku transparentnost i izuzetan sjaj površine. Takođe, toplotno je postojan i ima bolja mehanička svojstva od drugih stirenskih polimera, a bolju hemijsku postojanost od akrilatnih polimera (npr. PMMA). Uz to, postiže se sličan kvalitet površine uz nižu cenu koštanja. Gustina je 1,08 g/cm<sup>3</sup>, maksimalna radna temperatura 260°C, a savojni modul 3.400 MPa. Prekidno izduženje je 2,5%.

**Stiren/akrilonitril – SAN.** Kod SAN-a su kombinovane transparentnost i krutost PS-a sa čvrstoćom

## Prozirni elastomeri

Pored tečnog silikonskog kaučuka (LSR) još su neki elastomeri transparentni. To su pre svega:

- stiren/etilen-butilen/stiren (SEBS)
- termoplastični poliuretani (TPU)
- termoplastični olefini (TPO).

SEBS ima veoma dobru transparentnost, dok je ovo svojstvo kod TPO nešto lošije, a kod TPU najlošije. Odličnu žilavost poseduje TPU, dok su vrednosti kod ostala dva elastomera dobra. Što se tiče zaostale pritisne deformacije, vrednosti kod SEBS-a i TPU odlične su. Postojanost na UV-zračenje dobra je kod sva tri elastomera. Istovremeno, TPO ima vrlo dobra svojstva postojanosti na lom u medijumu (ESCR), dok je ova postojanost dobra kod druga dva elastomera. Najbolju toplotnu postojanost ima TPU, a najslabiju TPO. Sa aspekta prerađljivosti, najpogodniji su SEBS i TPO.



Prozirne kutije za odlaganje stvari

### Poređenje svojstava krutih transparentnih termoplasta

Polimer	Transparentnost	Krutost	Žilavost	Toplotna postojanost	Prerađljivost	ESCR	Otporn. na ogrebotine	UV-postojanost
PC	Odlična	Dobra	Odlična	Odlična	Slaba	Loša	Slaba	Vrlo dobra
PMMA	Odlična	Odlična	Slaba	Vrlo dobra	Slaba	Slaba	Odlična	Odlična
PET	Vrlo dobra	Dobra	Odlična	Slaba	Loša	Odlična	Dobra	Vrlo dobra
PET-G	Odlična	Dobra	Odlična	Slaba	Loša	Odlična	Dobra	Vrlo dobra
PE-LD	Slaba	Loša	Odlična	Loša	Odlična	Odlična	Slaba	Dobra
PP-R	Slaba	Loša	Dobra	Dobra	Vrlo dobra	Odlična	Slaba	Dobra
PP-H	Loša	Loša	Slaba	Dobra	Vrlo dobra	Vrlo dobra	Slaba	Dobra
SMMA	Odlična	Vrlo dobra	Slaba	Dobra	Odlična	Dobra	Dobra	Slaba
SAN	Odlična	Odlična	Dobra	Vrlo dobra	Vrlo dobra	Vrlo dobra	Dobra	Vrlo dobra
PS	Odlična	Odlična	Loša	Dobra	Odlična	Loša	Dobra	Loša
MABS	Vrlo dobra	Dobra	Vrlo dobra	Dobra	Vrlo dobra	Vrlo dobra	Dobra	Slaba

i hemijskom postojanošću poliakrilonitrila. Ima nešto višu radnu temperaturu od PS-a (85°C), manju sklonost ka pucanju pri naprezanju i bolju trajnost u eksterijeru.

**Polistiren – PS.** Odlikuju ga visoka krutost, dobra dimenzionalna stabilnost, odlična toplotna postojanost i mala gustina od 1,05 g/cm<sup>3</sup>. Amorfna struktura čini ga transparentnim i relativno lakim za prerađivanje. Primene su veoma raznovrsne i kreću se od kutija za diskove, preko posuda za rashladne uređaje, do medicinskog pribora. Nedostaci su poznati i uključuju krutost i nastajanje pukotina. T<sub>g</sub> PS-a je 90–100°C, a dugotrajna radna temperatura do 80°C. Modul je u opsegu 3.100 do 3.300 MPa.

**Metil-metakrilat/akrilonitril/butadien/stiren – MABS.** Uvođenjem monomera metil-metakrilata dobija se transparentna varijanta terpolimera ABS-a. MABS ima visoku propustljivost svetlosti, malu mutnoću i konzistentnu i stabilnu boju. Tipovi poboljšane tečljivosti mogu biti alternativa za PC. Primene su za robu široke potrošnje, medicinske uređaje, sport itd. Materijal ima odličnu postojanost na atmosferilije i zadržava transparentnost pri visokoj vlažnosti i temperaturi. Gustina je 1,09 g/cm<sup>3</sup>, a prekidno izduženje 11–17%.

*Borko Mijucić*

## Novi PP-R kopolimeri



**F**irma **SABIC** razvila je unapređene kopolimere polipropilena (PP) za industriju ambalaže. Prva dva tipa statističkog (tzv. random) PP kopolimera (PP-R) namenjena su izradi krute ambalaže manje debljine zidova. Laka prerađivost i odlična mehanička svojstva karakteristike su materijala **PP Qrystal QR681K** i **PP 620P**. Druga dva tipa, **PP 621P** i **PP 622L**, koriste se za liveni (ravni) film i fleksibilne višeslojne filmove. Obezbeđuju odlične performanse zavarljivosti (s niskom temperaturom zavarivanja), visoku otpornost na proboj i odličnu prozornost.

### PP-R za krutu ambalažu

Visokotransparentni tip **QR681K** ima dobar balans svojstava udarne žilavosti i krutosti. Kod proizvođača se postižu bolja estetska svojstva,

čak i pri nižim radnim temperaturama, npr. na 200°C, što donosi i energijske uštede. Uz to, moguće je smanjenje debljine zidova ambalaže do 10%, što prerađivačima snižava troškove pri ekstruzionom razduvanju, usled manje težine i kraćeg vremena hlađenja.

### Svojstva PP-R za krutu ambalažu

Svojstvo	Vrednost
<b>SABIC QR681K</b>	
MFR (230°C, 2,16 kg), g/10 min.	2,2
Gustina, g/cm <sup>3</sup>	0,905
HDT (0,45 MPa), °C	76

<b>SABIC PP 620P</b>	
MFR (230°C, 2,16 kg), g/10 min.	1,7
Gustina, g/cm <sup>3</sup>	0,905
Tvrdoća po Rockwellu – R	92
Temp. omekšavanja po Vicatu (10 N), °C	128
Temp. omekšavanja po Vicatu (50 N), °C	63
Udarna žilavost po Izodu, sa urezom, na 23°C, J/m	200

Visoka prozornost i sjaj poboljšavaju kvalitet boca dobijenih od ovog materijala. Sva ova svojstva, u kombinaciji s visokom temperaturom postojanosti oblika obezbeđuju široku primenu, počevši od ambalaže za kućnu hemiju i ličnu negu do ambalaže za hranu gde se zahteva toplotna postojanost. Ovaj se materijal koristi u različitim postupcima razduvanja, kao što su ekstruziono i injekciono razduvanje s razvlačenjem.

Tip PP-R **PP 620P** opšte je namene i primarno se koristi kod ekstrudiranja. Mehanička svojstva odgovarajuća su za jednostavno ekstrudiranje i preporučuje se kod

### Najvažnija optička svojstva

Najvažnija optička svojstva jesu: propustljivost svetlosti, indeks prelamanja (refrakcije), mutnoća, indeks žućenja i sjaj i posebno su važna kod transparentnih polimera.

**Propustljivost svetlosti.** Najveći broj polimera strukturno propušta elektromagnetno zračenje u opsegu talasnih dužina koje odgovaraju vidljivoj svetlosti (390–800 nm). Amorfni polimeri propuštaju više svetlosti od kristalastih, te se nazivaju transparentnim. Kristalni regioni znatno smanjuju propustljivost svetlosti. Prisustvo aditiva, posebno boja i punila, može da smanji propustljivost svetlosti kod bilo kog polimera. Propustljivost se definiše kao odnos količine svetlosti koja je propuštena kroz materijal i količine upadne svetlosti. Veća vrednost označava veću transparentnost.

**Indeks prelamanja.** To je odnos brzine svetlosti u vakuumu i u ispitivanom materijalu. Niža vrednost znači da je u pitanju manje prelamanje svetlosti kada prolazi kroz materijal.

**Mutnoća.** Definiše se kao mera (%) propuštene svetlosti koja, kada prolazi kroz uzorak, skreće u odnosu na upadni zrak putem rasipanja. Ako je mutnoća velika, smanjena je oštrina, a objekat koji se gleda izgleda zamagljeno ili mutno.

**Indeks žućenja (YI).** Predstavlja meru koliko je materijal žući u poređenju sa čistom bojom („clear water-white“ standard). Manja vrednost YI znači da je materijal prozračniji. Za polikarbonat YI je 0,5–2, a kod većine ostalih transparentnih polimera indeks žućenja je 1–3.



ekstruzionog razduvavanja, ekstrudiranja tankih ploča i u drugim sličnim tehnikama.

### PP-R za fleksibilnu ambalažu

Za ovu namenu razvijeni su tipovi **PP 621P** i **622L**. Koriste se za dobijanje ravnog filma koji je namenjen za ambalažu za hranu (peciva, testenine itd.), kao i za ostalu ambalažu, film za laminiranje, film za pakovanje tekstila, cveća i sredstava za ličnu higijenu. **PP 621P** poseduje odličnu otpornost na proboj i kidanje, odlična optička svojstva i toplotnu postojanost pri punjenju na toplo, kao i dobru zavarljivost. Takođe, usklađen je sa svim evropskim propisima o bezbednosti i kontaktu s hranom. Materijal ima usku raspodelu molekularnih masa.

#### Svojstva PP-R za liveni film

Svojstvo	Vrednost
<b>SABIC PP 621P</b>	
MFR (230°C, 2,16 kg), g/10 min.	8,0
Gustina, g/cm <sup>3</sup>	0,905
Temp. omekšavanja po Vicatu (10 N), °C	128
Temp. omekšavanja po Vicatu (50 N), °C	63
Modul rastezanja, MPa	800
<b>SABIC PP 622L</b>	
MFR (230°C, 2,16 kg), g/10 min.	8,0
Gustina, g/cm <sup>3</sup>	0,905
Mutnoća, %	< 2
Temp. omekšavanja po Vicatu (10 N), °C	128
Temp. omekšavanja po Vicatu (50 N), °C	63
Izduženje na granici razvlačenja, %	14

Ovaj tip PP-R ne sadrži klizna i antiblokna sredstva. Može se kombinovati s PE-LLD-om za izradu stezljivog filma visoke sile držanja. Time se postiže visoka stabilnost držanja na paleti kod omotavanja teških proizvoda, kao što su građevinski materijali. Koristi se i kod brzih FFS linija za prehrambenu i neprehrambenu industriju jer ima nizak faktor trenja. Tip **622L** sadrži klizna sredstva i aditive protiv blokiranja, visoko je proziran, dobro se zavaruje i otporan je na proboj.

[www.sabic.com](http://www.sabic.com)

## Novamont diže kapacitete

I talijanska firma **Novamont** početkom ove godine udvostručuje kapacitet za dobijanje poliestra iz biološke osnove **Origo-Bi**. U postrojenju na lokaciji Patrica koje trenutno ima kapacitet od 50.000 tona godišnje otvara se i druga linija, čime se ukupni godišnji kapacitet diže na 100.000 tona. Tada će i sadržaj iz biološke osnove u polimeru biti veći. **Origo-Bi** se dobija iz monomera poreklom iz biljnih ulja i koristi se za poboljšanje tehničkih, ekonomskih i ekoloških svojstava kompostabilne bioplastike **Mater-Bi**. Firma **Novamont** navodi da će do kraja 2018. svi tipovi bioplastike **Mater-Bi** sadržati najmanje 40% sirovina iz biosnove, dok će neki tipovi biti u potpunosti iz biosnove. Na ovaj korak **Novamont** se ubrzano odlučio nakon što su Italija i Francuska postavile cilj od minimalno 40% biološkog sadržaja za kese korišćene u određenim primenama, kao što su pakovanje voća i povrća.

[www.novamont.com](http://www.novamont.com)

## Filament za luksuznu modu

Tržište vrhunske mode dobija prvi održivi filament celuloze koji proizvodi firma **Lenzing**. Predivo pod nazivom **Tencel Luxe** dobija se novim postupkom u zatvorenoj petlji i prvi put je prikazano na ekskluzivnoj promociji u Parizu. Uz stalno rastuću populaciju i važnost održivosti, industrija mode sve više traži tkanine iz tzv. održivih izvora. Ovi filamenti predstavljaju vrhunac tekstilnih materijala na bazi celuloze. S njima se postižu superiorna estetska svojstva, performanse i komfor kakav nude najfinija vlakna kao što su svila, kašmir i vuna. Glatka površina filameta daje tkanini svilenkast osećaj na dodir i idealno klizanje kod osetljivih silueta. Takođe, tkanina prirodno propušta vazduh usled svog porekla na bazi drveta. Inače, materijal se izrađuje iz drvene pulpe od različitih vrsta drveta (eukalip-tus, bor, jela, breza itd.).



Vlakno za proizvode visoke mode

Revolucionarni postupak u zatvorenoj petlji obezbeđuje minimalni ekološki uticaj na okolinu zbog niske potrošnje vode i energije, kao i sirovina i hemikalija.

[www.tencel-luxe.com](http://www.tencel-luxe.com)

## Kopolimer PC-a

Novi serija kopolimera polikarbonata (PC) **Lexan CXT** namenjena je injekcionom presovanju i odlikuje se visokom prozirnošću i postojanošću na toplotu. Ovi materijali firme **SABIC** imaju izbalansiran odnos između visoke tečljivosti i postojanosti pri visokim temperaturama koje se primenjuju u preradi. PC kopolimeri su namenjeni za optičke primene u elektronici i zdravstvu. Trend minijaturizacije i integracije više funkcija u manjem prostoru uslovljava visoke radne temperature. PC **CXT** ima temperaturu po Vicatu (metoda B120) od 190°C i  $T_g$  195°C. Izdržava postupak zavarivanja na štampana kola i dugotrajne visoke temperature. Indeks prelamanja svetlosti iznosi 1,6 a propustljivost svetlosti je 89%. Dobra toplotna postojanost sprečava nastajanje deformacija ili promenu boje. Mogu se postići kompleksna geometrija, tanji zidovi i bolja tekstura otpresaka.

[www.sabic.com](http://www.sabic.com)

