



UNIVERZITET U ZENICI
Mašinski fakultet



MEHANIČKE OSOBINE TERMOPLASTIČNIH MASA
- Seminarski rad -

Student:
Aleksandar Jović

Mentor:
V.prof. dr. Nađija Haračić

Zenica, 2007/2008

Sadržaj:

	str.
1. UVOD	3
2. POLIMERI	3
2.1 Terminologija u oblasti polimerstva	3
3. POLIMERNI MATERIJALI	4
4. TERMOPLASTIČNE MASE	5
4.1 POLIETILEN (PE)	6
4.1.1. Svojstva polietilena	6
4.1.2. Vrste polietilena	7
4.1.3 Polietilen niske gustoće (LDPE)	7
4.1.4 Linearni polietilen niske gustoće (LLDPE)	7
4.1.5 Polietilen visoke gustoće (HDPE)	8
4.1.6 Polietilen ultra visoke molekularne mase (UHMWPE)	8
4.1.7 Proizvodnja i primjena polietilena	8
4.2 POLIPROPILEN (PP)	9
4.2.1 Svojstva polipropilena	9
4.2.2 Proizvodnja i upotreba polipropilena	10
4.3 POLISTIREN (PS)	10
4.3.1. Homopolimerni polistiren	10
4.3.2. Polistiren visoke žilavosti (HIPS)	11
4.3.3 Prerada i primjena polistirena	11
4.4 POLI (VINIL-HLORID) (PVC)	12
4.4.1 Vrste poli(vinil-hlorida)	12
4.4.2 Prerada i primjena PVCa	12
5. ZAKLJUČAK	14
Dodatak 1.	
Podjela i nazivi termoplastičnih masa na engleskom jeziku	15

1. UVOD

Polimeri su tvari koje se sastoje od makromolekula pa se nazivaju i makromolekularnim spojevima. Od organskih spojeva u prirodi to su kaučuk i prirodne smole, celuloza, lignin, polisaharidi, škrob, bjelančevine i nukleinske kiseline, tj. tvari koje su glavina suhe tvari životinjskog i biljnog svijeta. U neorganskom svijetu to su oksidi silicija i aluminijuma, dakle osnovne komponente Zemljine kore. Naziv polimer je složenica grčkih riječi *poly* mnogo i *meros* dio, što bi značilo «mnogo dijelova».

Postojanje navedenih prirodnih polimera omogućuje nam da kažemo: “Polimeri su u nama i oko nas”. To znači da je i istorijski razvoj na tom području znatno duži nego što proizilazi iz činjenice da je do stvarnog proširenja upotrebe tih materijala došlo tek u 20. vijeku. To proširenje se podudara sa činjenicom da su prvi sintetički polimeri proizvedeni početkom 20. vijeka. Njihova makromolekularna struktura spoznata je tek u 20. i 30. godinama 20. vijeka. To je omogućilo produbljeno poznavanje svojstava polimera i njihovu ovisnost o strukturi. Istovremeno je to omogućilo da i proizvodnja polimernih tvorevina preraste iz faze vještine u naučno utemeljeno područje ljudske djelatnosti.

2. POLIMERI

Reakcijama polimerizacije, polikondenzacije ili poliadicije molekuli malih molarnih masa se povezuju primarnim hemijskim vezama pri čemu nastaju molekuli velikih molarnih masa - makromolekuli.

Relativna je molekulska masa polimera od 10.000 do više od 1.000.000 g/mol ali makromolekula nije naprosto molekula s mnogo atoma (hiljade atoma vezano je u makromolekuli valentnim vezama) nego je to molekula u kojoj je mnogo atoma organizirano tako da čini makromolekulu kao tvorevinu izgrađenu ponavljanjem karakterističnih strukturnih jedinica, tzv. *méra*. Mera u makromolekuli može biti od nekoliko stotina do nekoliko desetina hiljada ali je tipova mera malo, najčešće samo jedan (homopolimeri) a rijeđe dva ili više (kopolimeri). Meri mogu biti nizani u jednom lancu (linearni polimeri), mogu uz glavni lanac postojati i bočni lanci (granati polimeri) ili mogu biti u trodimenzionalnoj mreži (umreženi polimeri).

Upravo je makromolekula onaj specifični nivo strukturiranja supstanci koja polimere čini posebnom klasom tvari. Kad polimerna tvar odgovara na vanjsku silu nekim drugim nivoom strukturiranja, nižom ili višom od makromolekule, tada se ona po nizu osobina ne razlikuje bitno od drugih tvari kao što su keramika, staklo ili metal. Kad na vanjsku silu odgovara makromolekula, tada polimerna tvar prolazi kroz fizikalna stanja, u prvom redu mehanička deformacijska stanja koja su svojstvena samo polimerima. Dinamika makromolekula i dinamika elemenata nadmolekulnih struktura izvor su specifičnosti polimera kao što su relaksacija naprežanja, puzanje (krip) i elastični postefekt, prisjetljivost, itd.

2.1. TERMINOLOGIJA U OBLASTI POLIMERSTVA

Buran razvoj nauke o polimerima i nezavisan razvoj pojedinih tehnologija proizvodnje i prerade polimernih materijala rezultirali su u nedovoljno uređenoj i nedovoljno dosljednoj terminologiji. Izuzetak je samo nomenklatura polimera kao hemijskih spojeva premda i tu postoji velika konkurencija trivijalnih i komercijalnih naziva. Kad je riječ o polimernim materijalima, nazivi su vrlo šaroliki jer su kriteriji razlikovanja i klasificiranja mnogostruki: vlastita svojstva materijala, preradbeni svojstva materijala, svojstva produkta (koja uključuju i geometriju produkta), ovisnost navedenih svojstava o temperaturi, itd.

Prije svega, termin polimer ne valja poistovjećivati sa terminom polimerni materijal. Naime, rezultat polimerizacije, tzv. polimerizat, koji jeste sistem makromolekula, sve je rijeđe materijal, jer se radi prerade i primjene svojstva polimerizata mijenjaju raznovrsnim

niskomolekularnim dodatcima poput punila, omekšivača, ojačala, maziva, odnosno hemijskim i fizikalnim postupcima. Najvažnije grupe polimernih materijala jesu konstrukcijski materijali, folije (membrane, filmovi), vlakna, veziva i lijepila. Konstrukcijski materijali mogu biti kompaktni (masivni) i pjenasti (saćasti, ekspandirani).

Po sastavu, polimerni materijali su homogeni i kompozitni (mješavine, smjese, punjeni, ojačani), a po stepenu uređenosti svoje strukture oni su amorfni, kristalasti i kristalni.

Prema fizikalnom stanju pri temperaturama uobičajene primjene ($-30 \dots +100^{\circ}\text{C}$), polimerni materijali su elastomeri (u gumenom stanju) i duromeri (kristalasti ili u staklastom stanju).

Prema fizikalnom i hemijskom stanju u preradbenim uvjetima polimerni su materijali duroplasti (mehnička obrada u staklastom ili kristalastom stanju), reaktoplasti (praoblikovanje uz hemijske promjene u strukturi), termoplasti (prerada u stanju taline) i elasti (mehanička i termička obrada u gumastom stanju). Duroplasti i termoplasti se zbirno nazivaju polioplastima, nasuprot elastima.

Pored toga valja još i dodati raširene komercijalne nazive: guma (za elastomere i kompozite na njihovoj osnovi), kaučuk (za elastomerni sastojak gumene smjese, prirodni polimer i polimerizat), plastika (za duromere, odnosno polioplaste koji dolaze kao konstrukcijski materijali i folije), plastična masa (u istom značenju kao plastika) i sintetika (za sintetske elastomere i duromere u obliku vlakana). Naziv plastična masa potiče zapravo od naziva za polimerni predmaterijal u postupku prerade, nasuprot nazivu smola za oligomerni materijal ili polimerni materijal relativno niske molekulske mase.

Koliko navedena terminologija može zbunjivati vidi se iz sljedećih primjera: elastomeri mogu biti reaktoplasti i termoplasti, reaktoplasti mogu biti duroplasti i elasti. Najčešće se kao sinonimi koriste nazivi plastomer i termoplast, odnosno duromer, duroplast, termodur i termoidurent, iako su ti nazivi nastali po različitim kriterijima i prema tome nisu nužno identični u svim uslovima proizvodnje, prerade i primjene.

Prihvatljivom (jer nije potpuno dosljedna, ali je dovoljno obuhvatna) čini se ova klasifikacija polimernih materijala (tabela 1.): duromeri, elastomeri i plastomeri.




Ponašanje	Glavna struktura	Skica
Plastomeri (Termoplasti)	Fleksibilni linearni lanci	
Duromeri (Duroplasti)	Čvrsta trodimenzionalna mreža	
Elastomeri	Linearni poprečno vezani lanci	

Tabela 1. Klasifikacija polimernih materijala

3. POLIMERNI MATERIJALI

Polimerni materijali su tehnički upotrebljive tvari kojima osnovu čini polimer. Vrlo rijetko se polimerni materijali sastoje isključivo od polimera u izvornom obliku, nego obično sadrže brojne dodatke zbog poboljšanja svojstava. Polimerni materijali se prerađuju različitim metodama u gotove proizvode, vrlo često i u kombinaciji sa drugim polimerima ili drugim vrstama materijala.

Polimerni materijali se ubrajaju u najvažnije tehničke materijale današnjice. Osim što služe kao zamjena za uobičajene materijale poput stakla, metala, drveta ili keramike, njihov nagli razvoj u 20. vijeku ubrzao je i napredak mnogih drugih područja ljudske djelatnosti. Primjena polimernih materijala u oblasti ambalaže, elektroindustrije i elektroničke industrije,

brodogradnji, hemijskoj industriji, transportu, avionskoj industriji, građevinarstvu i oblastima široke potrošnje danas je prijeko potrebna i nezamjenjiva.

Polimerni materijali se mogu svrstati u prirodne, modifikovane prirodne i sintetičke.

Najvažniji prirodni polimerni materijal je celuloza, a vrlo su važni i svila, prirodni kaučuk, prirodne smole, kazein, masna ulja te razni anorganski polimeri, najčešće silikati.

Modifikovani prirodni polimeri su celulozni derivati, derivirani prirodni kaučuk, kazeinski derivati i dr.

Sintetički polimerni materijali proizvode se hemijskim reakcijama (polimerizacija) od monomera dobivenih uglavnom od nafte, zemnog plina ili uglja. S obzirom na svoju primjenu razvrstavaju se u nekoliko grupa:

- a) poliplasti – polimerni materijali koji se tokom prerade nalaze u kapljastom ili u gumastom stanju a primjenjuju se u čvrstom stanju. To su najčešće konstrukcijski polimerni materijali i folije.
- b) elastomeri;
- c) sintetička vlakna;
- d) pomoćni polimerni materijali koji se obično u obliku otopina ili disperzija upotrebljavaju u proizvodnji ljepila, lakova i maziva te sredstva za obradu kože, papira i tekstila;

Vlakna i pomoćni polimerni materijali uglavnom su takođe poliplasti ali se posebnim načinom prerade postižu karakteristična primjenjiva svojstva kojima se ti materijali razlikuju od ostalih poliplasta.

4. TERMOPLASTIČNE MASE

Plastomeri (termoplasti, termoplastične mase) su polimerni materijali sa granatim i linearnim makromolekulama. Oni su topljivi i taljivi. Zagrijavanjem do temperature mekšanja ili taljenja ne mijenjaju svoju hemijsku strukturu pa njihova prerada predstavlja samo reverzibilnu promjenu stanja. To znači da kad su u toplom stanju, omekšaju, postaju plastični, daju se lako obrađivati a kad se ohlade postanu tvrdi i čvrsti i ne mijenjaju hemijsku strukturu. Proces zagrijavanja i hlađenja se može ponavljati bez bitnih promjena osnovnih karakteristika.

Plastomeri mogu biti amorfni ili kristalasti.

Amorfni plastomeri, npr. poliizobuten, tvrdi poli(vinil-hlorid) i polistiren, strukturno su nesređene (amorfne) tvari u staklastom stanju koje izgrađuju makromolekule nepravilne građe (ataktični polimeri, statistički kopolimeri). Od ostalih amornih polimernih materijala (elastomera, duromera) razlikuju se po neumreženoj strukturi linearnih i granatih makromolekula (vidi tabelu 1.). Od elastomera, koji su na sobnoj temperaturi visokoelastični, razlikuju se po visokom staklištu (T_g), koje je više od temperaturnog područja upotrebe (T_u), obično sobne temperature ($T_g > T_u$). Zbog ukrućenosti makromolekula, materijal je na sobnoj temperaturi krut, staklast. U staklastom stanju mogu se pri sobnoj temperaturi naći i neki kristalasti polimeri visokog staklišta, npr. izotaktički polistiren. Naglim hlađenjem taline ($T_m = 220^\circ\text{C}$) na temperaturu nižu od staklišta ($T_g = 100^\circ\text{C}$), izotaktički polistiren prelazi u prostorno nesređeno, staklasto stanje.

Kristalasti plastomeri sadrže, osim amorfne, i kristalastu fazu. S obzirom na staklište amorfne faze oni mogu biti:

- a) kristalasti plastomeri s plastičnom amornom fazom, $T_g < T_u$ u koje spadaju i polietilen, polipropilen i polioksimetilen i
- b) kristalasti plastomeri s staklastom amornom fazom, $T_g > T_u$ u koje spadaju poliamidi i polikarbonati.

Građa makromolekule, omjer kristalne prema amorfnoj fazi, te struktura tih područja određuju mnoga svojstva materijala. Veći udjel kristalne faze povećava im gustoću, tvrdoću, i postojanost prema otapalima, a veći udjel amorfne faze povećava im fleksibilnost i obradivost.

Od danas korištenih polimernih materijala (preko 10 000 komercijalnih), s masenim udjelom od 80 %, dominira grupa s četiri "masovna" plastomera: PE, PP, PS i PVC. U tabeli su obuhvaćeni najčešće korišteni plastomeri (tabela 2). Navedene oznake plastomera izvedene su iz njihovih naziva na engleskom jeziku i međunarodno su prihvaćene.

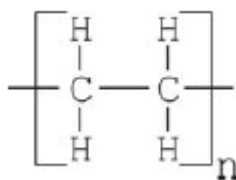
OZNAKA	NAZIV	OZNAKA	NAZIV
ABS	akrilonitril/butadien/stiren	PIB	poliizobutilen
PMMA	poli(metil-metakrilat) (<i>pleksiglas</i>)	CA	celulozni acetat
POM	poli(oksimetilen)	CN	celulozni nitrat (<i>celuloid</i>)
PP	polipropilen	PPO	poli(fenilen oksid)
PA	poliamid (najlon)	PPS	poli(fenil-sulfid)
PBT	poli(butilen-tereftalat)	PS	polistiren (polistirol)
PC	polikarbonat	PSU	polisulfon
PE	polietilen	PTFE	poli(tetrafluor-etilen) (<i>teflon</i>)
PEEK	poli(eter-eter-ke-ton)	PVC	poli(vinil-hlorid)
PET	poli(etilen-tereftalat)	PVDF	poli(viniliden-fluorid)
PI	poliimid	SAN	poli(stiren/akrilonitril)

Tabela 2. Najčešće korištene termoplastične mase sa oznakama

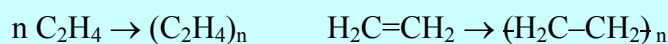
4.1. POLIETILEN (PE)

Polietilen (PE) najjednostavniji je poliugljikovodik, a ujedno i jedan od najpoznatijih i najvažnijih materijala današnjice. Industrijski se proizvodi polimerizacijom etilena, a laboratorijski se može dobiti i od diazometana.

Polietilen se sastoji od mnoštva jedinica $-CH_2-CH_2-$, koje međusobnim povezivanjem tvore lančane makromolekule velikih molekulnih masa opšte formule $-(CH_2-CH_2)-_n$. Jednostavna struktura makromolekula u izduženim planarnim konformacijama omogućuje njihovu laganu kristalizaciju. Polietilen kristalizira u trans-konformaciji i pod uobičajenim uvjetima iz talina stvara pravilno građene lamele presavijenih makromolekula. Iz nukleusa razrastaju vrpčaste lamele, izgrađujući kuglaste tvorevine, sferolite.



Homopolimer polietilena se dobija polimerizacijom monomera etena ("etilena"):



Formirani **PE** je djelomično kristalne strukture (zamućen).

4.1.1 Svojstva polietilena

Svojstva polietilena ovise o njegovoj strukturi i aditivima koji se dodaju tokom proizvodnje. Najvažniji strukturni parametri, koji izravno utiču na svojstva polietilena, jesu stepen kristalnosti, prosječna molekulska masa i razdioba molekulskih masa.

Stepen kristalnosti mjera je za omjer kristalne faze prema amorfnoj, a zavisi, među ostalim, o granatosti makromolekule. Naime, polietilinske makromolekule nisu samo ravnolančane, već

neki od vodikovih atoma mogu biti zamjenjeni manjim ili većim (kraćim ili dužim) ugljikovodičnim supstituentima. Oni onemogućuju gusto slaganje lančanih segmenata i potpuniju kristalizaciju, pa se s povećanjem granatosti smanjuje stepen kristalnosti.

Stepenu kristalnosti izravno je proporcionalna gustoća polietilena. Kako se gustoća može jednostavno mjeriti, svojstva polietilena se upravo prema njegovoj gustoći i ocjenjuju. S porastom gustoće povećava se talište i većina mehaničkih svojstava, među njima tvrdoća, vlačna čvrstoća, produljenje pri raskidu, otpor prema puzanju, krutost, a takođe i hemijska postojanost. Osim toga, smanjuje se i propusnost kapljevina i plinova. S druge strane, s porastom gustoće smanjuje se savitljivost, prozirnost, žilavost i otpornost prema nastajanju napuklina od naprezanja.

Prosječna molekulska masa polietilena vrlo je važna, posebno što od nje zavisi sposobnost prerade polietilena. Polietilen s većom molekulskom masom se generalno teže prerađuje. On pokazuje bolja mehanička svojstva, npr. povećanu udarnu žilavost, čvrstoću na paranje i otpornost prema koroziji zbog napuklina od naprezanja, a veća mu je i hemijska postojanost. Međutim, tvrdoća, savitljivost i vlačna čvrstoća ne ovise uopšte o iznosu prosječne molekulske mase.

Razdioba molekulskih masa utječe također na svojstva polietilena i njegovu preradljivost. Generalno vrijedi da tipovi polietilena s uskom razdiobom ispoljavaju veću žilavost, čak i pri nižim temperaturama, ali se teže prerađuju.

4.1.2. Vrste polietilena

Na temelju razlika u gustoći, odnosno prosječnoj molekulskoj masi, polietilen se kao tehnički materijal svrstava u nekoliko tipova:

1. Polietilen niske gustoće (engl. low density polyethylene, LDPE)
2. Linearni polietilen niske gustoće (engl. linear low density polyethylene, LLDPE)
3. Polietilen visoke gustoće (engl. high density polyethylene, HDPE)
4. Polietilen ultra visoke molekulske mase (engl. ultra high molecular weight polyethylene, UHMWPE)

4.1.3 Polietilen niske gustoće (LDPE)

Gustoća polietilena niske gustoće iznosi od 0,915 do 0,935 g/cm³. On omekšava već na temperaturi od 85 do 87 °C, a počinje se taliti na ~110°C. To je žilav materijal visokog modula elastičnosti, voskaste konzistencije i nepotpune prozirnosti. Viskoznost njegove taline je malena, i pri velikim smičnim brzinama, što omogućuje laganu preradu ekstrudiranjem i injekcijskim prešanjem.

4.1.4 Linearni polietilen niske gustoće (LLDPE)

Linearni polietilen niske gustoće (LLDPE) nastaje kopolimerizacijom etilena i dodatkom 5 do 10% nekog od alfa olefina. Najčešće su to 1-buten, 1-heksen i 1-okten. Tako nastaje pretežno linearni makromolekularni polietilen s mnogo manjih bočnih skupina. Iako je gustoća tog tipa polietilena niska (od 0,917 do 0,935 g/cm³), ipak je on zbog linearne strukture sličniji polietilenu visoke gustoće. Njegove makromolekule imaju povećan stepen kristalnosti pa je povišeno i talište, a očituju se i neka dobra svojstva polietilena niske i polietilena visoke gustoće, kao npr. dobra žilavost uz nesmanjenu čvrstoću.

OSObine		POLIETILEN NISKE GUSTOĆE	POLIETILEN VISOKE GUSTOĆE
Gustoća	g/cm ³	0,91...0,935	0,94...0,97
Vlačna čvrstoća	N/mm ²	4,15...14,8	18,7...33
Produljenje pri raskidu	%	90...800	20...130
Tlačna čvrstoća	N/mm ²	-	19...25
Zarezna udarna žilavost (Izod)	J/m	-	25...1000
Modul elastičnosti	N/mm ²	100...265	415...1250
Modul smicanja	N/mm ²	150...350	-
Tvrdoća (Shore)		D 40...51	D 60...70
Index loma		1,51	1,54
Specifični toplinski kapacitet	JK ⁻¹ g ⁻¹	2,3	2,3
Toplinska provodnost	WK ⁻¹ cm ⁻¹	33 · 10 ⁻⁴	(46...50) · 10 ⁻⁴
Koeficijent toplinskog rastezanja	K ⁻¹	(10...22) · 10 ⁻⁵	(11...13) · 10 ⁻⁵
Temperatura stalne upotrebe	°C	80	120
Temperatura mekšanja ili taljenja	°C	110...120	130...140

Tabela 3. Fizikalna i mehanička svojstva polietilena niske i visoke gustoće

4.1.5 Polietilen visoke gustoće (HDPE)

Polietilen visoke gustoće ima makromolekule uglavnom linearne strukture i vrlo male razgranatosti, pa zato ima veliki udjel kristalne faze i veću gustoću. Njegova gustoća iznosi od 0,94 do 0,97 g/cm³ dok omekšava na temperaturi ~127°C. Tvrdoća i čvrstoća uopšte su mu veće od vrijednosti za polietilen niske gustoće. Izrazito mu je povećana i hemijska postojanost.

4.1.6 Polietilen ultra visoke molekulske mase (UHMWPE)

S prosječnom relativnom molekulskom masom od $2 \cdot 10^6$ do $6 \cdot 10^6$ i gustoćom od 0,94 g/cm³, vrlo je cijenjen kao tehnički materijal. Postojan je prema abraziji i umoru materijala, površina mu je glatka, pokazuje veliku udarnu žilavost i manji koeficijent trenja.

4.1.7 Proizvodnja i primjena polietilena

Zahvaljujući svojim dobrim mehaničkim svojstvima, hemijskoj postojanosti, nepropusnosti za vodu i druge neagresivne tekućine i relativno niskoj cijeni, polietilen je danas vrlo cijenjen tehnički materijal velike i raznolike primjene (tabela 4.). U tu se svrhu proizvodi mnogo vrsta komercijalnog polietilena koje se međusobno razlikuju prema strukturi, te prema vrsti i količini dodatka.

Postupci proizvodnje polietilena svrstavaju se u postupke polimerizacije etilena uz visoki ili uz niski tlak. Naime, izborom vrste procesa, tlaka, temperature i katalizatora može se utjecati na molekulsku masu polietilena, njenu razdiob, granatost makromolekule i stepen kristalnosti. Tako se dirgiraju i svojstva polimera, što omogućava proizvodnju mnogih komercijalnih tipova polietilena za različita područja primjene.

Polietilen se može prerađivati svim glavnim postupcima prerade plastomera. Najviše se primjenjuje ekstrudiranje, puhanje, injekcijsko prešanje i rotacijsko lijevanje, a otpresci i poluproizvodi se mogu i mašinski prerađivati.

Temperatura prerade polietilena zavisi od vrijednosti masenog protoka taline a obično je u rasponu od 180 do 280°C.

VRSTA	PRIMJENA
LDPE	<ul style="list-style-type: none"> - filmovi za kaširanje papira, aluminijska i tekstila - folije za ambalažni materijal, za zaštitu i izolaciju materijala i građevina u gradnji - kutije i posude za pakiranje industrijskih proizvoda - ručne vrećice i omotnice - izrada plastenika - u elektrotehnici za izolaciju kablova
LLDPE	<ul style="list-style-type: none"> - postepeno zamjenjuje LDPE, posebno u ambalažiranju - zbog veće čvrstoće omogućuje izradu tanjih filmova a puhani filmovi za proizvodnju trgovačkih vrećica jeftiniji su od natron papira
HDPE	<ul style="list-style-type: none"> - industrijske i kućne posude većeg volumena - košare, posude i boce za ambalažiranje prehrambenih, farmaceutskih i hemijskih proizvoda - ojačan staklenim vlaknima služi za izradu čamaca i sportskih brodova - benzinski rezervoari za automobile
UHMWPE	<ul style="list-style-type: none"> - teško se prerađuje i proizvodi se uglavnom dobijaju tlačnim lijevanjem - najviše služi za izradu predmeta od kojih se zahtjeva veća hemijska postojanost, postojanost prema abraziji i umoru materijala kao što su vreće za hemijske proizvode, dijelovi mašina i uređaja, postolja, vodilice, mjenjači i dijelovi sportske opreme - velike transportne posude za uglj, rude, žito i dr. poljoprivredne proizvode - unutrašnje oblaganje teretnih brodova za prijevoz uglja, rude i nafte

Tabela 4. Primjena i proizvodi od polietilena

4.2 POLIPROPILEN (PP)

Polipropilen (PP) je plastomer linearnih makromolekula opšte formule $[-CH(CH_3)-CH_2-]$. Raspored metilnih skupina u lancu je pravilan tj. one se uvijek nalaze na svakom drugom ugljikovu atomu. Međutim, makromolekule polipropilena mogu se razlikovati s obzirom na steričku orijentaciju metilnih skupina. Ako su sve orijentirane jednako, polipropilen je izotaktičan, ako im je orijentacija statička, radi se o ataktičnom polipropilenu, dok orijentaciju naizmjenično u jednom i u drugom smjeru daje sindiotaktični polipropilen. Poželjno je da polipropilen sadrži što veći udjel izotaktične strukture. Zahvaljujući toj steričkoj pravilnosti lanci makromolekula tvore spiralnu strukturu u obliku zavojnice i takva struktura pogoduje kristalizaciji, što je preduslov dobrim svojstvima polipropilena (tabela 5.). Komercijalni polipropilen sadrži 90% izotaktičnih sekvenci sa stepenom kristalnosti od 60 do 70% što zavisi i o ranijoj toplinskoj obradi.

4.2.1 Osobine polipropilena

Polipropilen je jedan od najlakših polimernih materijala sa gustoćom od 0,90 do 0,91 g/cm³. Visoko talište omogućuje upotrebu polipropilena u relativno širokom temperaturnom području (tabela 5.). Tako je talište čistog izotaktičnog polipropilena 176°C, dok se tehnički polipropilen tali u temperaturnom području između 160 i 170°C. Srednja molekulska masa standardnih tipova polipropilena iznosi od 200 000 do 500 000.

Sa porastom molekulske mase i sa povećanim udjelom ataktične strukture smanjuje se tvrdoća, vlačna čvrstoća, gustoća, krutost, postojanost izmjera i tečljivost taline polipropilena. Važna je i raspodjela molekulskih masa, pa se tako tečljivost taline povećava s većim udjelom nižih molekulskih masa, ali istodobno opada udarna žilavost materijala. Polipropilen se odlikuje dobrom uravnoteženošću svojih mehaničkih, toplinskih i električnih svojstava. Mnoga svojstva su slična svojstvima polietilenu niske gustoće. Međutim, polipropilen ima veću tvrdoću i vlačnu čvrstoću, elastičniji je, prozirniji i sjajniji uz jednaku propusnost za plinove i pare. Nedostatak propilena je mala udarna žilavost, posebno na temperaturama nižim od sobne. Taj se nedostatak može ublažiti kopolimerizacijom s drugim α -olefinima, najviše s etilenom, koji se dodaju u količini od 5 do 20%. Čisti polipropilen je izvrstan električni izolator zahvaljujući nepolarnom karakteru svojih makromolekula. Međutim, izolacijska sposobnost polipropilena onečišćenog ostacima metalnih katalizatora je puno slabija.

Kao i većina kristalastih poliolefina, polipropilen je vrlo stabilan prema djelovanju vode, organskih otapala, maziva i drugih uobičajenih reagencija, a ni anorganske hemikalije ne mijenjaju mu osobine do 120°C. Međutim, neotporan je prema jakim oksidansima pa je podložan oksidacijskoj degradaciji, posebno na povišenim temperaturama kojim je izložen tokom prerade.

OSOBINA		POLIPROPILEN
Gustoća	g/cm ³	0,90...0,91
Vlačna čvrstoća	N/mm ²	31...41
Produljenje pri raskidu	%	100...600
Tlačna čvrstoća	N/mm ²	38...55
Zarezna udarna žilavost (Izvod)	J/m	21...53
Modul elastičnosti	N/mm ²	1100...1500
Modul smicanja	N/mm ²	800
Tvrdoća (Rockwell)		R 80...100
Index loma		1,49
Specifični toplinski kapacitet	JK ⁻¹ g ⁻¹	2
Toplinska provodnost	WK ⁻¹ cm ⁻¹	12 · 10 ⁻⁴
Koeficijent toplinskog rastezanja	K ⁻¹	(8,1...10) · 10 ⁻⁵
Temperatura stalne upotrebe	°C	120...160
Temperatura meksanja ili taljenja	°C	160...170

Tabela 5. Fizikalna i mehanička svojstva polipropilena

4.2.2 Proizvodnja i upotreba polipropilena

U praksi se primjenjuje skoro 100 vrsta polipropilena koji se međusobno razlikuju prema molekularnoj masi, vrsti i količini komonomera, dodataka i punila, sposobnosti bojenja, metalizacije i dr.

Injekcijskim se prešanjem dobija mnogo vrsta proizvoda, od vrlo malih i preciznih pa do onih velikih poput trupa nekog čamca. Tako se izrađuje i čitav niz poluproizvoda i gotovih proizvoda koji se upotrebljavaju u automobilskoj, avio, tekstilnoj i elektroindustriji, u proizvodnji namještaja, kućišta za televizore, medicinskog pribora i predmeta za svakodnevnu upotrebu u domaćinstvu.

Ekstrudiranjem se polipropilen najčešće prerađuje u tehnički materijal različitog oblika poput ploča, folija, vrpce, umjetnih vlakana i cijevi. Folije su prozirne i fiziološki sigurne pa služe kao odlična ambalaža u mnoge svrhe, pa i za pakiranje hrane.

4.3 POLISTIREN (PS)

Polistiren je plastomer linearnih makromolekula opšte formule $[-CH(C_6H_5)-CH_2-]$. Polistiren je vrlo važan polimer zbog svojih dobrih svojstava i niske cijene. On se lako prerađuje i pokazuje mnoga dobra svojstva važna za praktičnu primjenu.

Polistiren nastaje polimerizacijom čistog stirena kao homopolimer kojem se prema potrebi dodaju antistatici, svjetlosni stabilizatori, bojila i pigmenti, sredstva protiv gorenja i sl. Modificiranjem polistirena kaučukom stvara se dvofazni sistem pa se tako proizvodi polistiren posebnih svojstava, u prvom redu visoke udarne žilavosti. Stiren lako stvara kopolimere s mnogim monomerima među kojima je najvažniji stiren-akrilonitrin (SAN) koji se takođe može modificirati kaučukom i dati vrlo upotrebljiv terpolimer akrilonitril-butadienstiren (ABS). SAN je hemijski otporniji od polistirena i pokazuje neka bolja mehanička svojstva dok ABS posjeduje veću krutost, tvrdoću i lakšu preradljivost.

4.3.1. Homopolimerni polistiren

Homopolimerni polistiren je plastomerni materijal vrlo dobrih mehaničkih (tabela 6.), toplinskih i izolacijskih svojstava. Gustoća mu je od 1.05 do 1.06 g/cm³, brojčani prosjek relativne molekulske mase iznosi od 60 000 do 180 000 dok maseni prosjek iznosi od 200 000 do 400 000. Tvrd je i krhak, sličan staklu (staklast) i proziran, male udarne žilavosti, velikog indeksa loma i velike svjetlosne propusnosti. Staklište mu je na temperaturi između 80 i 100°C pa se može primjenjivati samo do temperature do 70°C. Polistiren je izvrstan električni izolator.

4.3.2. Polistiren visoke žilavosti (HIPS)

Polistiren visoke žilavosti, nazivan i modificiranim polistirenom ili polistirenom otpornim na udar, dvofazni je sistem fino dispergiranih čestica elastomera u polistirenu. Komercijalne vrste polistirena visoke žilavosti sadrže od 3 do 12% polibutadiena s veličinom elastomernih čestica od 1 do 5 nm. Za razliku od običnog polistirena koji je tvrd i krhak materijal pa puca već pri produženju do 1%, modificirani je polistiren vrlo žilav i može se prije loma istegnuti i do 60% svoje početne dužine. Tom kombiniranom polimernom materijalu polistiren daje umjerenu krutost i dobra preradbena svojstva a elastomer mu povećava elastičnost i udarnu žilavost.

OSOIBINE		PS	HIPS	SAN	ABS
Gustoća	g/cm ³	1,05...1,06	1,05...1,07	1,08	1,03...1,06
Vlačna čvrstoća	N/mm ²	35...55	22...34	50	41...56
Produljenje pri raskidu	%	1...2	13...60	-	5...25
Tlačna čvrstoća	N/mm ²	80...110	28...62	-	75...85
Zarezna udarna žilavost (Izod)	J/m	13...20	25...600	18	160...320
Modul elastičnosti	N/mm ²	2400...3300	1800...3200	3600...3800	2000...2800
Tvdoća (Rockwell)		M 65...80	M 20...80	-	R 107...115
Index loma		1,59	-	-	-
Specifični toplinski kapacitet	JK ⁻¹ g ⁻¹	1,3	1,3	-	1,3...1,7
Toplinska provodnost	WK ⁻¹ cm ⁻¹	(10...14) · 10 ⁻⁴	(4...13) · 10 ⁻⁴	32 · 10 ⁻⁴	(19...33) · 10 ⁻⁴
Koeficijent toplinskog rastezanja	K ⁻¹	(6...8) · 10 ⁻⁵	(8...10) · 10 ⁻⁵	(6...8) · 10 ⁻⁵	(8...10) · 10 ⁻⁵
Temperatura stalne upotrebe	°C	70	65	85	75...90
Temperatura mekšanja ili taljenja	°C	100...105	85...90	110	90...100

Tabela 6. Fizikalna i mehanička svojstva polistirena

4.3.3 Prerada i primjena polistirena

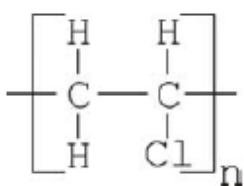
Polistiren se odlikuje laganom preradljivošću. Njegova je talina male viskoznosti u velikom temperaturnom području, pa zato vrlo dobro ispunjava kalupe. Prerađuje se svim postupcima prerade plastomera u temperaturnom području od 180 do 250°C, posebno injekcijskim prešanjem, ekstrudiranjem u ploče i filmove te puhanjem u predmete različitih oblika.

Polistiren i modificirani polistiren najviše se upotrebljava kao ambalaža za pakiranje prehrambenih, farmaceutskih i hemijskih proizvoda, za izradu djelova različitih aparata i uređaja, proizvoda električke i elektroničke industrije, zatim za izradu kućanskih potrepština i igraćaka. Za pakiranje najviše služe proizvodi od modificiranog polistirena tankih stijenci kao što su posude i čaše za voće i povrće, sladoled, kiselo mlijeko, svježi sir, čokolade, jaja i sl. Od prozirnog polistirena izrađuju se kutije i odmjerne posude za brašno, šećer, slatkiše, lijekove, kreme, ukrasne i dekorativne vaze, vješalice, okviri za slike i ogledala, štipaljke,

četke i dr. Od modificiranog polistirena izrađuju se djelovi za vrata, pretinci i pregrade frižidera, kućišta za radio aparate i televizore, djelovi usisivača, pisacih mašina, telefona i drugih uređaja. Od polistirena se proizvode mnoge igračke, od kocki za slaganje do različitih modela vozila.

POLI (VINIL-HLORID) (PVC)

PVC je naziv za grupu plastomera koji sadrže makromolekule sa poznavajućim jedinicama $-\text{CH}_2-\text{CHCl}-$. Svojstva osnovnog polimera mogu se lako mijenjati procesima modifikacije, tako da je poznato preko stotinu vrsta polimernih materijala na osnovi vinil-hlorida. Oni se razlikuju po procesima proizvodnje, vrsti i količini prisutnog plastifikatora ili udjela komonomera, pa se njegova fizikalna svojstva mijenjaju od mekanog i elastomernog do tvrdog i žilavog materijala. Zahvaljujući dobroj kompatibilnosti sa plastifikatorima i drugim dodatcima, laganom preradljivosti i niskoj cijeni, PVC se jako puno upotrebljava i ima široko područje primjene.



PVC je najsvestraniji i volumno najviše korišteni plastični materijal. Vinilklorid je plin koji pri $8\text{ }^\circ\text{C}$ prelazi u tekućinu. Polimerizator je jedan bijeli prah, koji je proziran i tvrd (tvrdi PVC) pri obradi. S dodavanjem omekšivača plastika postaje meka i elastična (meki PVC).

4.4.1 Vrste poli (vinil-hlorida)

Po izgledu je PVC bijela do bijelo-žuta tvar bez mirisa i okusa. Teško je upaljiv, ne upija vodu a pokazuje dobra električna i druga svojstva. Proizvod polimerizacije je prah od kojeg se daljom preradom proizvode dvije osnovne vrste:

- tvrdi (kruti) PVC i
- meki (fleksibilni) PVC.

Tvrdi PVC nastaje izravnom preradom polimernog praha bez posebnih dodataka. To je proziran, tvrd, žilav i teško preradiv materijal, ali vrlo stabilan na utjecaje atmosferilija, vlage i hemikalija.

Meki PVC dobija se preradom uz dodatak plastifikatora kojim postupkom se dobije gusta pasta koja se zagrijavanjem gelira u homogenu masu. Svojstva mekog PVC zavise u udjelu plastifikatora. Slabijih je mehaničkih svojstava, manje otporan prema djelovanju topline, atmosferilija i hemikalija, ali je savitljiv, rastezljiv i lagano se prerađuje.

OSOBI NE		TVRDI PVC	MEKANI PVC
Gustoća	g/cm^3	1,38...1,55	1,16...1,35
Vlačna čvrstoća	N/mm^2	40...60	10...25
Produljenje pri raskidu	%	30...70	250...450
Tlačna čvrstoća	N/mm^2	55...90	6...12
Zarezna udarna žilavost (Izod)	J/m	-	25...1000
Modul elastičnosti	N/mm^2	20...1000	-
Tvdoća (Shore)		D 65...85	A 40...100
Index loma		1,52...1,55	-
Specifični toplinski kapacitet	$\text{JK}^{-1} \text{g}^{-1}$	0,8...1,1	1,3...2
Toplinska provodnost	$\text{WK}^{-1} \text{cm}^{-1}$	$(15...20) \cdot 10^{-4}$	$(13...17) \cdot 10^{-4}$
Koeficijet toplinskog rastezanja	K^{-1}	$(5...10) \cdot 10^{-5}$	$(7...25) \cdot 10^{-5}$
Temperatura stalne upotrebe	$^\circ\text{C}$	65...85	50...70

Tabela 7. Fizikalna i mehanička svojstva tvrdog i mekog poli (vinil-hlorida)

4.4.2 Prerada i primjena PVCa

PVC se lako prerađuje svim uobičajenim postupcima prerade plastomera, a najviše se primjenjuje ekstrudiranje i kalandiranje, zatim injekcijsko prešanje, puhanje i vakuumsko formiranje. Zaštitne prevlake nanose se iz otopina ili izravno sinteriranjem praha. Temperatura prerade iznosi od 140 do 190°C a polimer se mora prvo sušiti.

Osnovna područja primjene PVCa jesu u građevinarstvu, zatim u proizvodnji cijevi i ambalaže, u električnoj izolaciji i zaštitnim prevlakama. Neplastificirani, tvrdi PVC poboljšane je otpornosti na uticaj atmosferilija i smanjene je gorivosti, što omogućuje njegovu primjenu kao konstrukcijskog materijala za vanjske građevinske elemente poput prozora, roletni, oplata, krovova, oluka i žlijebova.

Primjena PVCa za ambalažiranje je mnogostrana. Izrađuju se folije, prevlake za limene posude i papir, termoformirani spremnici, posude, kutije, boce dobivene ekstruzijskim puhanjem, itd. Mala propusnost za vlagu i plinove omogućuje nadasve široku primjenu filmova od PVCa za pakiranje živežnih namirnica.

PVC se lako prevodi u pjenasti materijal koji se pretežno upotrebljava kao umjetna koža – skaj. Proizvodi se tako da se praškastom PVCu primješa 1 do 2% nekog prikladnog hemijskog spoja (pjenila) koji na povišenoj temperaturi od 180 do 220°C svojim raspšadanjem stvara veliku količinu internog plina, obično dušika ili ugljen-dioksida, kojim se materijal ekspandira. Takav pjenasti PVC služi kao presvlaka za namještaj i vozila te u izradi odjeće i obuće, putnih i školskih torbi, uredskog i školskog pribora i sl.

5. ZAKLJUČAK

Termoplastične mase, sa svojim kako mehaničkim tako i ostalim osobinama su postale nezamjenjive u svakodnevnom životu ljudi. Njihova mehanička čvrstoća, otpornost na trošenje, dekorativnost i funkcionalnost čine ih dobrom zamjenom za metale a sa 110 miliona tona proizvedenih termoplasta u 1997, normalno je zaključiti da njihova primjena na globalnom planu ne jenjava. Ipak, zbog teške razgradivosti, istraživači ulažu velike napore u razvoj biorazgradivih (prirodno uništivih) termoplasta, koji će, jednom stvoreni, vjerovatno imati veliku ulogu u cjelokupnom razvoju čovječanstva u 21. vijeku.

LITERATURA:

- [1.] Prof. Dr. Čatić Igor: Uvod u proizvodnju polimernih tvorevina
- [2.] Tehnička enciklopedija, JLZ „M. Krleža“
- [3.] Dr. Haračić Nađija: Inžinjerski metalni i nemetalni metali
- [4.] IM Priručnik: Mašinski materijali
- [5.] Internet

Dodatak 1.

PODJELA I NAZIVI TERMOPLASTIČNIH MASA NA ENGLLESKOM JEZIKU

- Thermoplastic polymers
 - Hydrocarbon polymers
 - Polyethylene (PE)
 - HDPE
 - LDPE
 - Polypropylene (PP)
 - Atactic
 - Isotactic
 - Polybutadiene
 - Syndiotactic
 - Isotactic
 - Polystyrene (PS)
 - Atactic
 - Isotactic
 - Non-hydrocarbon carbon chain polymers
 - Polyvinyl chloride (PVC)
 - Polyvinyl fluoride (PVF)
 - Polytetrafluoroethylene (PTFE)
 - Polyacrylonitrile (PAN)
 - Polyvinyl alcohol (PVA)
 - Polymethyl methacrylate (PMMA)
 - Acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS)
 - Heterochain thermoplastics
 - Polyethylene oxide (PEO)
 - Polyoximethylene (acetal) (POM)
 - Polyamide (PA)
 - Nylon 6
 - Nylon 6/6
 - Polyethylene terephthalate (PET)
 - Polybutylene terephthalate (PBT)
 - Polycarbonate (PC)
 - High temperature thermoplastics
 - Polyether ether ketone (PEEK)
 - Polyphenylene sulphide (PPS)
 - Polyamide-imide (PAI)
 - Polyether sulphone (PES)
 - Polyether-imide (PEI)
 - Polysulphone (PSU)
 - Polyamide (thermoplastic) (PI)