

# POLIMERNI IZOLACIJSKI MATERIJALI

---

**Horvat, Domagoj**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:069389>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-27**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU  
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Sveučilišni studij**

**POLIMERNI IZOLACIJSKI MATERIJALI**

**Završni rad**

**Domagoj Horvat**

**Osijek, 2019.**

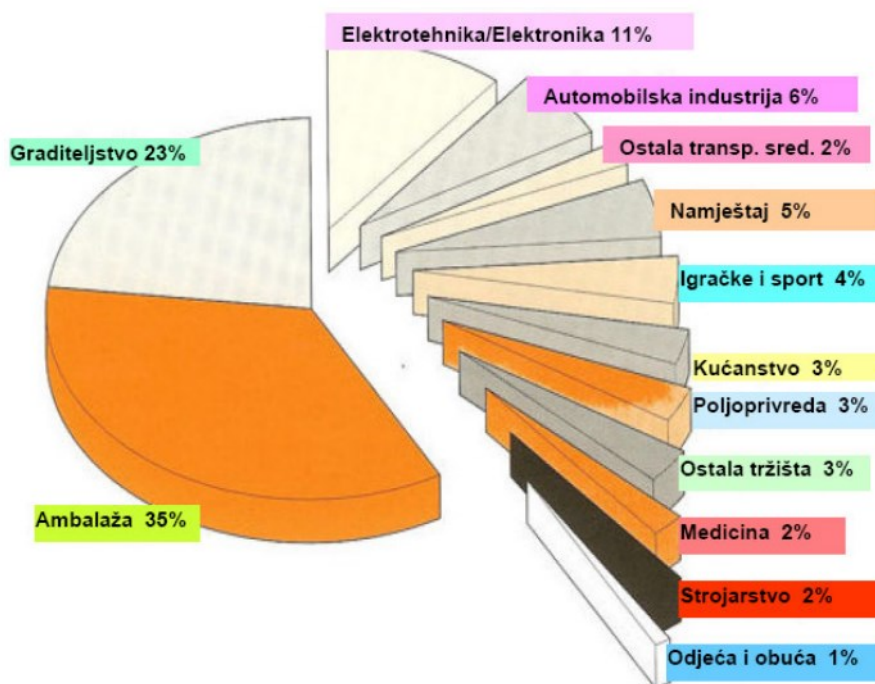
# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1. Zadatak završnog rada.....	2
2. STRUKTURA I SVOJSTVA POLIMERA.....	3
2.1. Molekularna građa.....	3
2.1.1. Proces polimerizacije.....	4
2.1.2. Uređenost strukture.....	6
2.2. Svojstva polimera.....	7
2.2.1. Toplinska svojstva polimera.....	7
2.2.1.1. Plastomeri.....	9
2.2.1.2. Duromeri.....	11
2.2.1.3. Elastomeri.....	12
2.2.2. Mehanička svojstva polimera.....	13
2.2.3. Tribološka svojstva polimera.....	14
2.2.4. Kemijska postojanost polimera.....	15
2.2.5. Električna i ostala svojstva polimera.....	15
3. MEHANIZMI VODLJIVOSTI IZOLATORA.....	17
3.1. Polarizacija i vrste polarizacije polimernih materijala.....	17
4. VRSTE I PRIMJENA POLIMERNIH IZOLACIJSKIH MATERIJALA.....	20
4.1. Polistiren.....	20
4.2. Polipropilen.....	23
4.3. Polietilen.....	25
4.4. Poli(vinil-klorid).....	28
5. ZAKLJUČAK.....	31
LITERATURA.....	32
SAŽETAK.....	34
ABSTRACT.....	35

ŽIVOTOPIS.....	36
----------------	----

## 1. UVOD

Polimerne materijale čovjek upotrebljava još od svojih najranijih početaka, te ih je koristio za izradu oruđa, alata i oružja kako bi si olakšao svakodnevne aktivnosti. To su bili prirodni polimeri, odnosno biopolimeri, kao što su drvo, prirodni kaučuk, smole te neka životinjska i biljna vlakna. Razvoj polimernih materijala je kroz povijest bio znatno ograničen nepoznavanjem njihovog makromolekularnog sastava te je tek od 1920. godine započelo sistematsko proučavanje polimera, koje se nastavlja i danas. Sredinom 20. stoljeća uporaba nafte kao primarne sirovine u odnosu na dotadašnji ugljen, te alkanska frakcija iz koje su se počeli dobivati polietilen, polipropilen i polivinilklorid, dovode do procvata industrije sintetičkih polimernih materijala. U periodu od 1952 do 2004. godine proizvodnja polimera se sa milijun tona godišnje popela na preko 260 milijuna tona, što predstavlja porast kakav nije doživio niti jedan drugi materijal u povijesti. Danas je industrija polimera veća od industrija aluminija, bakra i čelika zajedno, a polimerni materijali primjenu nalaze u svim granama ljudske djelatnosti, osobito u tehničkim znanostima, što je vidljivo prema slici 1.1 [1].



Slika 1.1 Područja primjene polimernih materijala [2]

Jedno od najvećih područja primjene polimernih materijala je u elektrotehnici i elektronici. Unatoč tome što se polimeri najviše odlikuju svojim izolacijskim svojstvima, mogu imati ulogu strukturalnih komponenti, zaštitnih materijala pa čak i vodljivih materijala, zbog čega sve više i više zamjenjuju metale i keramiku. Polimerni materijali se koriste zbog svojih dobrih svojstava u odnosu na neke druge materijale, prikazanih u tablici 1.1.

**Tablica 1.1** Prednosti i nedostaci polimera u odnosu na metale i keramike [3]

<b>Prednosti</b>	<b>Nedostaci</b>
Mala gustoća	Laka zapaljivost
Dobro gušenje vibracija	Podložnost starenju
Dobra kemijska postojanost	Utjecaj prerade na svojstva
Dobra otpornost na trošenje	Ovisnost svojstava o vanjskim utjecajima
Mali faktor trenja	Mali modul elastičnosti
Lako oblikovanje	Neisplativa izrada manjeg broja proizvoda

Njihova električna i toplinska izolacijska svojstva, niska gustoća i visoka čvrstoća, otpornost na trošenje te cjenovna konkurentnost predstavljaju prednosti koje dovode do zamjenjivanja drugih materijala polimernima. U mnogobrojnim primjenama dolazi i do miješanja polimera sa raznim ojačalima, odnosno dodacima, armaturama i punilima čija je svrha poboljšanje nekog od svojstava polimera [4].

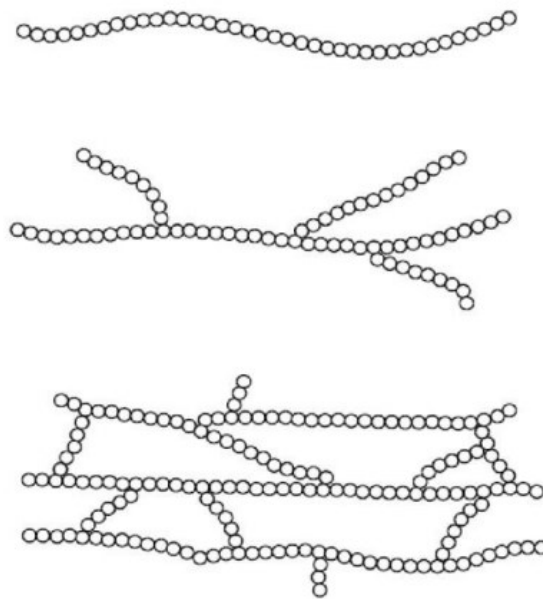
## **1.1 Zadatak završnog rada**

U radu je potrebno prikazati pregled, primjenu i svojstva polimernih izolacijskih materijala koji se koriste u elektrotehnici. Opisati mehanizme vodljivosti izolatora te opisati razvoj polimernih materijala. Na četiri primjera detaljnije opisati primjenu, svojstva i važnost navedenih materijala.

## 2. STRUKTURA I SVOJSTVA POLIMERA

### 2.1. Molekularna građa

Riječ polimer je složenica grčkog podrijetla od riječi poly i meros koja predstavlja „mnogo dijelova“. Polimeri su makromolekule sastavljene od nekoliko stotina do više tisuća strukturnih jedinica koje se nazivaju monomeri. Monomeri, kemijski spojevi male molekularne mase i jednostavne građe, ulaze u proces polimerizacije u kojem se povezuju kovalentnom vezom između zajedničkog elektronskog para i tako stvaraju polimere. Makromolekule koje tvore polimere mogu biti linearnog, razgranatog ili umreženog tipa, prema slici 2.1.



**Slika 2.1** Linearni, granati, i umreženi tip makromolekule [4]

Linearne makromolekule se sastoje od monomera u jednom lancu koji su povezani kovalentnom vezom, dok su lanci međusobno povezani Van der Waalsovima vezama.

Kod granatih molekula dolazi do mjestimičnog bočnog odvajanja lanaca kovalentno povezanih s osnovnim lancem.

Prostorno umrežene polimerne strukture formiraju monomerni lanci s tri vezna ugljikova atoma povezani kovalentnim vezama.

U markomolekuli se može nalaziti više tisuća mera, a s obzirom na broj vrsta monomera koji ih tvore, razlikujemo homopolimere i kopolimere, vidljivo prema slici 2.2 [1].



**Slika 2.2** Podjela s obzirom na vrstu monomera [5]

Homopolimerne markomolekule (1) tvori samo jedna vrsta monomera, dok kopolimeri nastaju povezivanjem dva ili više različitih vrsta monomera. Kopolimeri se razlikuju po načinu slaganja monomera unutar molekule te se dijele na stohastičke (2), naizmjenične (3), blok (4) i cijepljene kopolimere (5).

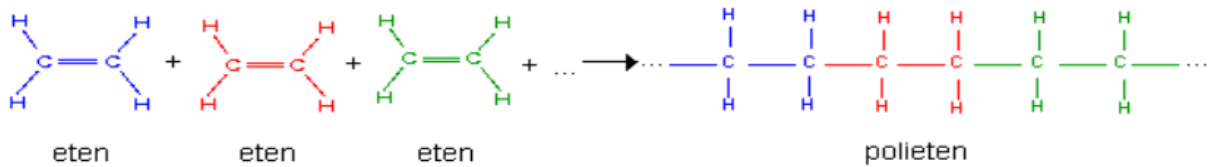
### 2.1.1 Proces polimerizacije

Kemijska reakcija u kojima od monomera nastaju polimeri se prema mehanizmu reakcije može podijeliti na lančanu i stupnjevitu.

Lančane reakcije se sastoje od minimalno tri dijela: inicijacije, propagacije i terminacije. Inicijacijom reakcije u odnosu stupaju monomeri i aktivne čestice. Tokom propagacije dolazi do adicije velikog broja monomera na aktivne centre i stvaranja dugih lanaca, te se uslijed porasta koncentracije aktivnih čestica proces shodno tome terminira, odnosno završava.

Stupnjevite reakcije polimerizacije su u pravilu dugotrajnije, te se odvijaju pri višim temperaturama, najčešće preko 200 °C. Spajanje monomera dovodi do stupnjevitog nastanka dimera, zatim trimera, tetramera itd. odnosno proces traje sve do nastanka makromolekula polimera.





**Slika 2.3** Proces u kojem određeni broj molekula etena stvara makromolekulu polietena [2]

Iz procesa polimerizacije izlazi sustav makromolekula polimerizat, koji predstavlja osnovni dio polimera. Polimerizat se u pravilu sve manje koristi kao samostalan materijal. Primjenom različitih kemijsko-fizikalnih postupaka na taj materijal poboljšavaju se svojstva, odnosno miješaju se sa raznim dodacima kako bi se na kraju procesa dobio tehnički uporabljiv proizvod i uklonili mogući nedostaci. Postoje razni tipovi dodataka, a njihova primjena ovisi o svojstvu koje se želi popraviti ili nedostatcima koje se žele ukloniti, slika 2.4.



**Slika 2.4** Pregled i primjena dodataka polimerima [6]

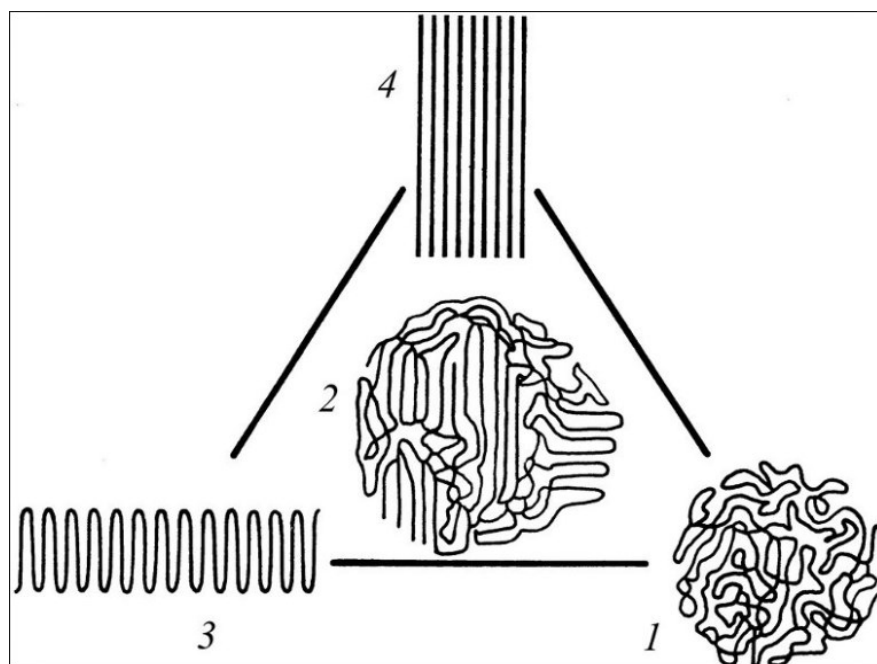
Neke od najčešćih svrha dodataka su:

- Poboljšavanje svojstva preradivosti, za što se najviše koriste maziva, toplinski stabilizatori, punila i odvajala
- Mijenjanje karakteristika površine polimera, za što se dodaju vanjska maziva, dodaci za uklanjanje neravnina, regulatori adhezivnosti i antistatici

- Mijenjanje mehaničkih svojstava pomoću omekšavala, punila, prijanjala te raznih dodataka za ojačavanje i veću žilavost
- Promjena optičkih svojstava, za što se koriste razni pigmenti i bojila
- Očuvanje osnovnih svojstava, uz pomoć antioksidansa, biocida, UV stabilizatora i antistatika
- Ostale primjene, poput parfema, dezodoransa, smanjivanja gorivosti i slično [7].

### 2.1.2 Uredenost strukture

Polimerna makromolekularna struktura može imati različite razine uređenosti. Razlikujemo amorfnu i kristalnu strukturu, vidljivo na slici 2.5. Amorfni polimeri imaju neravnomjerno raspoređene molekule, te unatoč odsutstvu kristalnog trodimenzionalnog uređenja imaju određeni stupanj makromolekulske organizacije na nižim razinama. Kristalnu strukturu imaju polimeri s pravilnim trodimenzionalnim molekulskim rasporedom koji se ponavlja. To je uređeniji sustav od amornih polimera, a preduvjet za njegov nastanak je postojanje konformacija koje odlikuje geometrijska pravilnost. Polimeri s kristalnom strukturom se još zovu i kristalima.



**Slika 2.5** Strukture polimera: 1. amorfna, 2. amorfno-kristalna, 3. savijena kristalna, 4. izdužena kristalna [8]

Omjer kristalne i amorfne faze te njihova struktura određuju glavninu svojstava polimera. Što je veći udio kristalne faze, veća su tvrdoća, čvrstoća i gustoća, a veći udio amorfne strukture dovodi do povećanja elastičnih svojstava i lakše prerade [8].

## 2.2 Svojstva polimera

Svojstva se mogu definirati kao promjene stanja, reakcije ili drugačije pojave u materijalu koje su izazvane djelovanjem raznovrsnih unutarnjih i vanjskih čimbenika. Uz svojstva, bitna stavka je i pojam značajka. To su sva bitna i brojačno mjerljiva svojstva koja se mogu numerički iskazati, a određena su normiranim postupcima ispitivanja. Polimere je moguće opisati sa velikim brojem svojstava i značajki, a najvažnija podjela je s obzirom na funkciju, odnosno uporabna svojstva, u čijem se okviru nalaze sljedeće skupine: mehanička, električna, toplinska, tribološka i svojstva postojanosti, vidljivo prema tablici 2.1.

**Tablica 2.1** Pregled uporabnih značajki polimernih materijala [9]

Funkcijska(uporabna)svojstva	Naziv svojstva
MEHANIČKA	Čvrstoća, istežljivost, modul elastičnosti
TRIBOLOŠKA	Faktor trenja, otpornost na trošenje
TOPLINSKA	Toplinska provodnost, toplinska prodornost, toplinska rastežljivost, temperatura omekšavanja, postojanost oblika
ELEKTRIČNA	Električna vodljivost, el.otpor, dielektrična svojstva
POSTOJANOST	Kemijska postojanost
OSTALA SVOJSTVA	Gustoća, indeks loma, udio dodataka, propusnost svjetla

Mehanička i toplinska svojstva treba posebno izdvojiti zbog njihove važnosti pri opisivanju polimernih materijala [9].

### 2.2.1 Toplinska svojstva polimera

Među toplinskim svojstvima posebno se ističu:

- Toplinska rastežljivost -  $\alpha$ , definirana kao promjena duljine u funkciji temperature pri stalnom tlaku, kao što je vidljivo iz izraza (2-1).

$$\alpha = \frac{1}{l_0} \left( \frac{\Delta l}{\Delta T} \right)_p \quad (2-1)$$

Gdje je  $l_0$  duljina pri temperaturi  $T_0$ .

- Toplinsko širenje-  $\gamma$ , koja se odnosi na mijenjanje specifičnog obujma ( $v$ ) s temperaturom ( $T$ ) kod konstantnog tlaka ( $p$ ).

$$\gamma = \frac{1}{v_0} \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_P \quad (2-2)$$

- Stlačivost polimera-  $\chi$ , odnosno mijenjanje gustoće ( $\rho$ ) i tlaka ( $p$ ) pri stalnoj temperaturi ( $T$ ).

$$\chi = \left( \frac{\partial \rho}{\partial p} \right)_T \quad (2-3)$$

- Specifični toplinski kapacitet-  $C_p$ , odnosno količina topline koja je potrebna za porast temperature od 1 Kelvina za jediničnu masu neke tvari.

$$c_p = \frac{dQ}{m dT} \quad (2-4)$$

Gdje je  $Q$ -količina topline,  $T$ -temperatura a  $m$ -masa.

- Toplinska provodnost - $\lambda$ , mjera količine topline koju se u određenom vremenu može provesti kroz tijelo pri nekoj temperaturi.

$$q = -k \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2-5)$$

gdje je  $q$  – toplinski tok,  $k$ - toplinska provodnost,  $\partial T / \partial x$  – temperaturni gradijent koji ide kroz medij.

- Toplinska prodornost-  $b$  odnosno mjera brzine kojom topline prodire u tijelo.

$$b = \sqrt{\lambda C_p \rho} \quad (2-6)$$

Gdje je  $C_p$ -specifični toplinski kapacitet,  $\lambda$  toplinska provodnost te  $\rho$  gustoća tvari [10].

Jedna od najvažnijih podjela polimera se zasniva na njihovom ponašanju pri visokim temperaturama, odnosno pri toplinskim utjecajima. Shodno tome, polimere možemo podijeliti na 3 velike skupine:

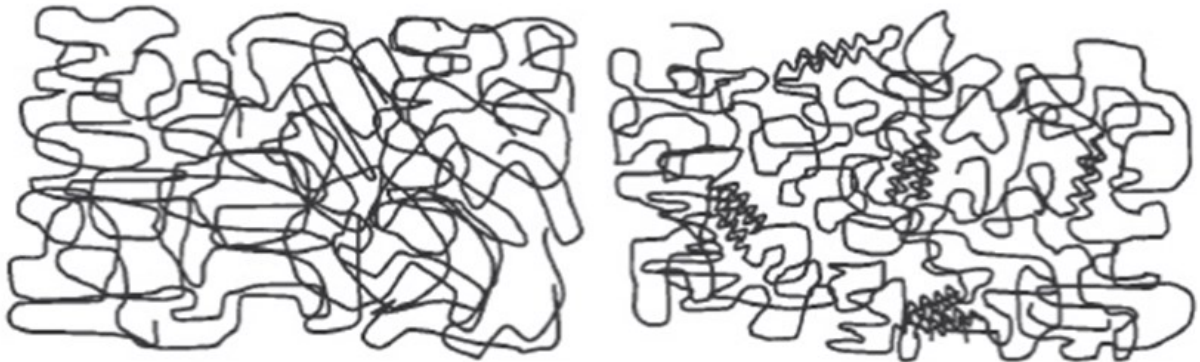
- Plastomere (termoplaste)
- Elastomere i elastoplastomere
- Duromere (duroplaste)

### 2.2.1.1 Plastomeri

Plastomeri, odnosno termoplasti, su grupa polimera na koju otpada preko 90 % od ukupne proizvodnje, što ih čini najzastupljenijom polimernom grupom. Čine ih linearne i granate makromolekule koje se međusobno mogu povezivati isključivo sekundarnim vezama. Pri uobičajenim temperaturama mogu biti plastični, krvi ili elastični.

Specifičnost ove skupine polimera je što zagrijavanjem omekšavaju. Njihovim zagrijavanjem sekundarne veze popuštaju, makromolekule se počinju slobodno gibati a plastomeri s vremenom prelaze u taljevinu. Tada, dovedeni do temperature mekšanja, postaju plastični i na njih se primjenjuju obrade prskanjem u kalup, ekstrudiranjem i zavarivanjem. Ukoliko dođe do hlađenja, odnosno odvođenja topline, nastupa suprotni proces, sekundarne veze nastaju iznova i polimer će se vratiti u čvrsto stanje. Sekundarne veze omogućuju da se ciklusi zagrijavanja i hlađenja, odnosno omekšavanja te očvršćivanja mogu iznova ponavljati, jer ne dolazi do promjene kemijske strukture polimera. To znači da zagrijavanjem i hlađenjem neće doći do značajnih promjena osnovnih svojstava. Zahvaljujući tome su vrlo reciklabilni. Bitno je da temperatura zagrijavanja ne dosegne kritičnu temperaturu, pri kojoj bi došlo do razgradnje plastomera.

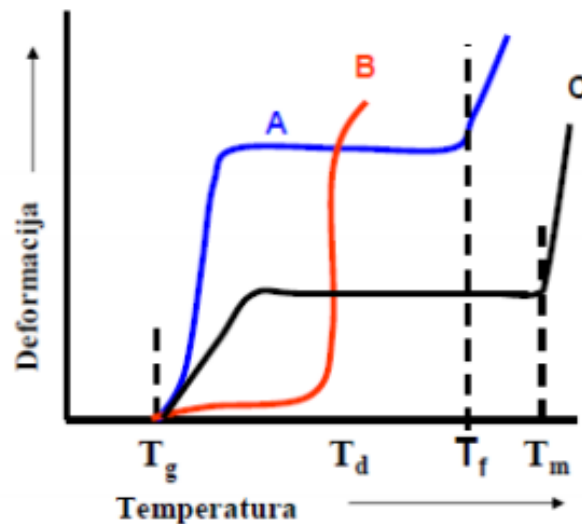
Po stupnju uređenosti strukture plastomere možemo podijeliti na kristalaste i amorfne, slika 2.6



**Slika 2.6** Prikaz amorfne i kristalaste strukture plastomera [11]

Preko 50 % od komercijalno korištenih plastomera se svrstavaju u skupinu amorfnih plastomera. Uglavnom su krhki, prozirni i smanjene kemijske postojanosti. Krhkost i krutost je obrnuto proporcionalna temperaturi, odnosno pada s njezinim porastom. Kristalasti plastomeri uz kristalni dio sadrže i amorfni, a udio kristalne strukture im se izražava korištenjem stupnja kristalnosti. Što je on viši, to su bolja svojstva tvrdoće, krutosti, gustoće i postojanosti prema otapalima. Manji stupanj kristalnosti, odnosno veća zastupljenost amorfne faze poboljšava njihovu obradivost i

fleksibilnost. Kristalasti plastomeri također reagiraju na promjenu temperature te nisu postojani pri utjecaju visokih temperatura. Kod nižih temperatura im se povećava krhost i smanjuje im se otpornost na udarce. Zbog toga je njihova primjena ograničena u područjima ekstremnih temperaturnih uvjeta [4].



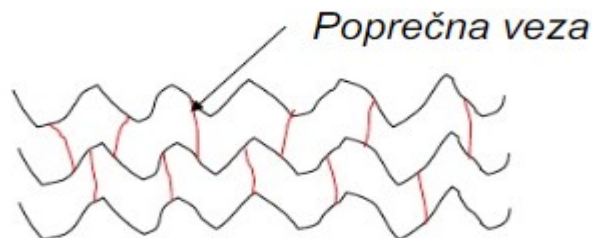
**Slika 2.7** Utjecaj mjere središnosti strukture na termomehaničku krivulju, A-amorfni linearni plastomer, B-umreženi duromer, C-kristalasti plastomer [12]

Slika 2.7 pokazuje koliko središnost makromolekularne strukture može utjecati na izgled termomehaničke krivulje. Dvije specifične temperature povezuju strukturu plastomera sa njegovim svojstvima te određuju ponašanje plastomera u ovisnosti o temperaturi. Kod amorfni plastomera riječ je o temperaturi staklastog prijelaza,  $T_g$ , odnosno temperaturi na kojoj amorfni polimeri iz staklastog stanja prelaze u elastično i savitljivo stanje, uzrokovano brzim rotacijama amorfni segmenata, pri čemu se gube bitna mehanička svojstva, odnosno opadaju tvrdoća i krutost. Zbog toga se kod amorfni plastomera u građivnim ulogama, u kojima su mehanička svojstva od visokog značaja, mora paziti da temperatura ne dosegne temperaturu staklastog prijelaza. Za amorfne plastomere je važna i temperatura tecišta,  $T_f$ , kod koje oni prelaze u visokofluidno stanje, te im deformacija tada postaje nepovratna. Kod kristalasti polimera važna je kritična temperatura tališta,  $T_m$ , koja predstavlja temperaturu pri kojoj dolazi do taljenja kristalne faze plastomera. On prelazi u stanje polimerne taljevine te se makromolekula počinje ponašati poput viskozne tečevine zbog vrlo velike pokretljivosti kinetičkih jedinica. Kod kristalasti polimera u građivnim ulogama, također radno područje ne smije prelaziti temperaturu  $T_m$ , jer će doći do slabljenja njihovih mehaničkih svojstava [1].

Među plastomerima se po opsegu proizvodnje i primjeni najviše ističu polipropilen(PP), polietilen(PE), polivinil-klorid(PVC) te polistiren(PS). Mogućnost lakog plastičnog oblikovanja, otpornost trošenju, reciklabilnost, dobra i postojana osnovna svojstva te niska cijena, među ostalim, su zaslužni što su plastomeri korišteni u svim segmentima ljudske djelatnosti, pa tako i u elektrotehnici i elektronicima.

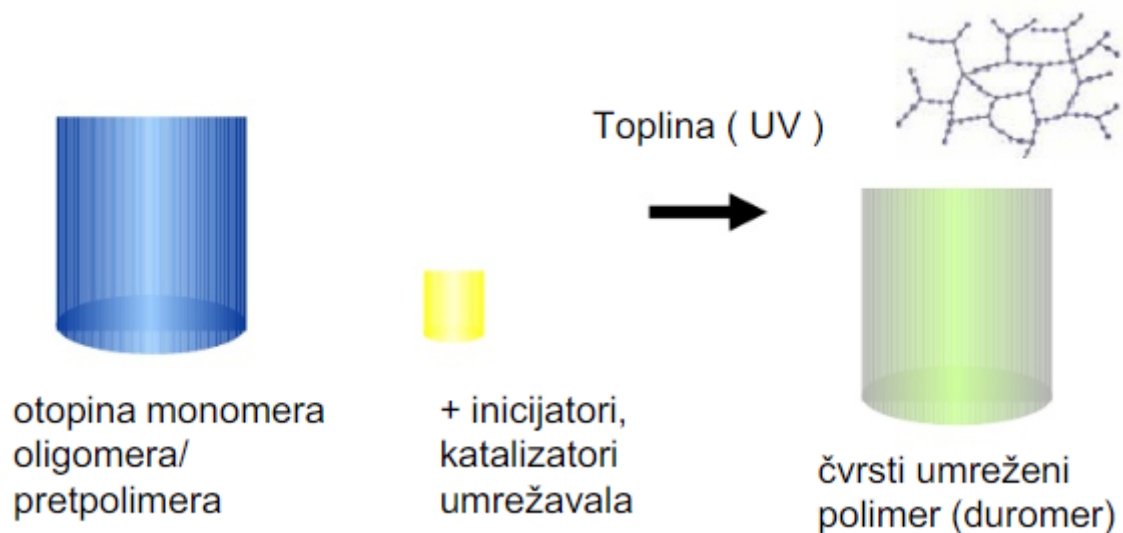
### 2.2.1.2 Duromeri

Duromeri, odnosno duroplasti, imaju prostorno umreženu gustu strukturu, a mogu biti u staklastom ili u kristalastom stanju. Građeni su od makromolekularnih lanaca koji se međusobno povezuju primarnim poprečnim vezama, što je vidljivo iz slike 2.8.



**Slika 2.8** Gusto trodimenzionalno umrežena struktura duromera [13]

Proces dobivanja duromera se sastoji od dvije faze: prva faza je nastajanje oligomerne reaktivne viskozne mase ili krutine koja je lako taljiva. U ovoj fazi su duromeri pogodni za prerađivanje, jer imaju mogućnost taljenja i omekšavanja. U toj fazi ih se oblikuje u potrebni oblik kako bi se omogućio nastavak procesa proizvodnje. U obliku taljevina ih se naziva još i umjetnim smolama. Druga faza je proces umrežavanja i polimerizacije, uz pomoć raznih katalizatora i umrežavala, prema slici 2.9. Procesom umrežavanja duromeri poprimaju svoj konačni oblik.



**Slika 2.9** Umrežavanje duromera pomoću dodataka i topline [13]

Zbog svojstava kemijskih veza kojim su im makromolekule povezane, duromere se nakon proizvodnje grijanjem ne može niti rastaliti niti omekšati. Zahvaljujući umreženoj strukturi, imaju veliku čvrstoću, kao i tvrdoću te kemijsku postojanost, a mehanička svojstva im postaju neovisna o promjenama temperature. Zbog toga se duromeri najčešće primjenjuju kao izolatori u građevinarstvu, automobilskoj industriji, brodogradnji i dr. Najpoznatiji primjeri duromera su fenol-formaldehidnih, odnosno fenolna smola(PF), urea-formaldehidnih, odnosno uratna smola(UF), epoksidna smola, poliesterska smola i drugi [13].

### 2.2.1.3 Elastomeri

Elastomerni materijali, često nazivani gume, imaju građu molekula koja je djelomično (rahlo) umrežena, odnosno makromolekule se osim primarnim povezuju i sekundarnim (fizikalnim) vezama, dok im je struktura amorfnu ili slabo sređena. S obzirom da postoje sekundarne veze, elastomeri se mogu omekšavati. Omekšavanje je omogućeno time što dovođenjem topline, odnosno zagrijavanjem, sekundarne veze popuštaju pa se segmentima makromolekula povećava pokretljivost, te time dovodi do mekšanja elastomera. No, zbog prisutnosti primarnih veza, elastomeri se više ne mogu rastaliti.

To su materijali koji se pri sobnoj temperaturi mogu višestruko produžiti, odnosno imaju sposobnost vrlo visokih elastičnih deformacija te će se nakon prestanka naprežavanja vratiti u svoj prvobitni oblik. Takvo ponašanje se temelji na gumastom stanju njihovih molekula koje se svojim rasporedom opiru deformaciji. Tako se onemogućuje njihovo plastično oblikovanje, ali radi toga



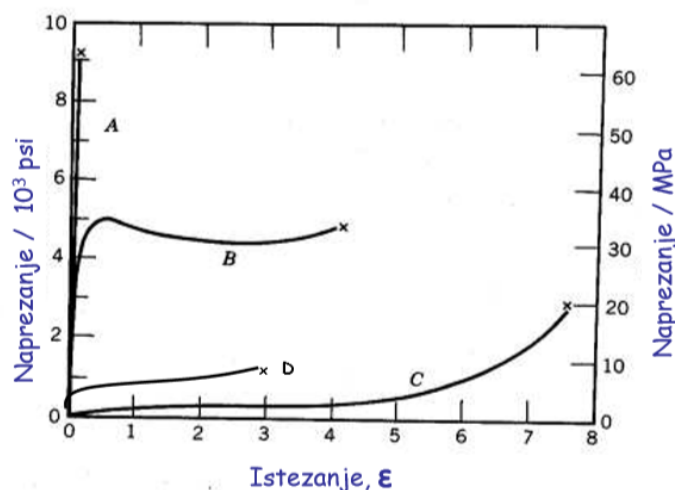
imaju iznimna elastična svojstva. To je svojstvo tipično za elastomere jer niti jedan drugi materijal ne pokazuje takvu elastičnost. Netaljivi su i netopljivi, a procesom vulkanizacije, uz razne dodatke i prikladne sumporne spojeve od njih nastaje guma i gumeni proizvodi. Najpoznatiji primjeri elastomera su prirodni kaučuk(NR) butadienski kaučuk(PBS), poliuretanski kaučuk i dr.

Kao posebna skupina mogu se još izdvojiti elastoplastomeri, koji na sobnim temperaturama posjeduju svojstva poput elastomera, ali se obrađuju postupcima svojstvenim za plastomere [14].

## 2.2.2 Mehanička svojstva polimera

Mehanička svojstva opisuju kako će se materijal ponašati kad se na njega primjeni određena sila, odnosno mehaničko opterećenje. Mehanička svojstva polimera se zbog njihovih visko-elastičnih svojstava uvelike razlikuju od metala i keramike. Kako bi zadržali svoju funkciju, upotrebljivost i oblik polimeri se moraju moći nositi s mehaničkim opterećenjima na prikladan način. Najvažnija mehanička svojstva koja se ispituju kod polimera su:

- Čvrstoća-najčešće se proučava ispitivanjem statičke vlačne čvrstoće. Materijal se ispituje pomoću kidalice te se određuje njegova otpornost da se unutarnjim silama opire djelovanju vanjskog opterećenja. Očekivano, u dijagramu „naprezanje-istezanje“ savitljivi elastomeri pokazuju najveće istežanje za jednaku mjeru naprežanja, dok najveću prekidnu čvrstoću imaju tvrdi i kruti plastomeri, slika 2.10.



**Slika 2.10** Dijagram „naprežanje istežanje“ za različite polimere: A) tvrdi i kruti plastomeri i duromeri, B) tvrdi i žilavi plastomeri, C) savitljivi i žilavi elastomeri D) lomljivi materijali [15]

- Modul elastičnosti-predstavlja krutost materijala, ovisi o vremenu opterećenja te opada s porašću temperature, najveće module elastičnosti imaju ojačani amorfni i kristalasti plastomeri, a najmanje elastomeri, prema tablici 2.2.

**Tablica 2.2** Moduli elastičnosti polimera [6]

Skupina polimernih materijala	Modul elastičnosti, MPa
PLASTOMERI - amorfni	2100 ... 3500
PLASTOMERI - kristalasti	150 ... 3200
ELASTOMERI	50 ... 150
DUROMERI	5000 ... 12000

- Suprotno od krutosti, iduće svojstvo je istezljivost materijala, odnosno sposobnost deformiranja materijala. Najveću istezljivost s obzirom na sliku 2.10 imaju savitljivi i žilavi elastomeri, koji mogu dosegnuti istezanja i do 10 puta veća od svog prvotnog oblika, a najbolji primjeri iz te skupine bi bili poliizobuten te poliizopren.
- Žilavost materijala je sposobnost materijala da razgradi naprezanja pomoću plastične deformacije te na taj način smanji mogućnost krhkog loma. Predstavljena je površinom ispod dijagrama „naprezanje i istezanje“. Najveću žilavost također imaju elastomeri i neki plastomeri.
- Tvrdća, odnosno otpornost materijala prema prodiranju nekog stranog tijela kroz njegovu strukturu, odnosno površinu. Najčešće metode ispitivanja su utiskivanje tvrde kuglice kroz površinu materijala te Shoreova metoda, a najveću tvrdoću uglavnom pokazuju plastomeri i duromeri [16].

### 2.2.3 Tribološka svojstva polimera

Pod pojmom tribološka svojstva podrazumjeva se njihova otpornost na trošenje i mali faktor trenja, a važne su pri primjeni polimera u konstrukcijske svrhe. Prednosti koje polimerni materijali imaju nad drugim konstrukcijskim materijalima su:

- nema mikrozavarivanja spojeva
- neravnine i udubine se popunjavaju produktima trošenja polimera
- strane čestice ne narušavaju konstrukciju [6]

## 2.2.4 Kemijska postojanost polimera

Jedna od glavnih prednosti polimera nad ostalim materijalima je njihova kemijska postojanost, koja proizlazi iz idućih svojstava polimera:

- Nema agresivnog djelovanja medija na polimer zbog malog ili nepostojećeg afiniteta između polimera i medija
- Djelovanje tih agresivnih medija je sporije na polimere nego na druge konstrukcijske materijale
- Određena djelovanja agresivnih medija su povratni procesi, kao npr. bubrenje

Najopasnije kemijsko djelovanje se javlja pri postojanju pukotina kod polimera kada medij ima korozivno djelovanje na polimer koji tada pokazuje veću razinu kemijske nepostojanosti [9].

## 2.2.5 Električna i ostala svojstva polimera

S obzirom da su polimeri loši vodiči električne struje, najčešće su promatrani u svojstvu izolacijskih materijala. Najvažnije električno svojstvo polimera je dielektrična konstanta. Polimeri imaju pretežno niske vrijednosti dielektrične konstante, što ih čini dobrim izolatorima. Njezine vrijednosti su najviše određene kemijskom strukturom polimera. Osim strukture, važni faktori kod električnih svojstava polimera su temperatura, nečistoće, vlaga, mehaničko opterećenje i dr. Međutim, zbog onečišćenja i vlage površina polimernih materijala može biti dobar vodič. Zato se kao mjerodavna veličina za ocjenu električnih svojstava koristi površinski otpor, koji se treba kretati oko  $10^{10} \Omega$  ili više. Prikaz električnih otpora polimera je vidljiv u tablici 2.3.

**Tablica 2.3** Vrijednosti električnih otpora nekih polimera [4]

	Specifični otpor		Površinski otpor	
	Suh	Vlažan	Suh	Vlažan
	$\Omega\text{cm}$		$\Omega$	
PE- polietilen	$10^{17}$	$>10^{17}$	$10^{13}-10^{14}$	$10^{13}$
PMMA- polimetil- metakrilat	$>10^{17}$	$>10^{15}$	$>10^{15}$	$>10^{15}$
PP- polipropilen	$10^{17}$	$10^{17}$	$10^{13}$	$10^{13}$
Tvrđi PVC - polivinil-klorid	$10^{16}$	$>10^{16}$	$10^{13}$	$10^{13}$
Meki PVC- polivinil-klorid	$10^{12}-10^{15}$	n.b.	$10^{11}-10^1$	n.b.
UP- nezasićena poliesterna smola	$10^{10}-10^{16}$	n.b.	$10^{10}-10^{14}$	$10^{10}$
GFR- UP -	$10^{14}-10^{16}$	n.b.	$10^{13}$	-

Važno svojstvo su i dielektrični gubici, odnosno gubici energije koja se u materijalu pretvara u toplinu. Zahvaljujući svojim dielektričnim i izolacijskim svojstvima, polimeri igraju neizostavnu ulogu u elektrotehničkoj i elektroničkoj industriji [17].

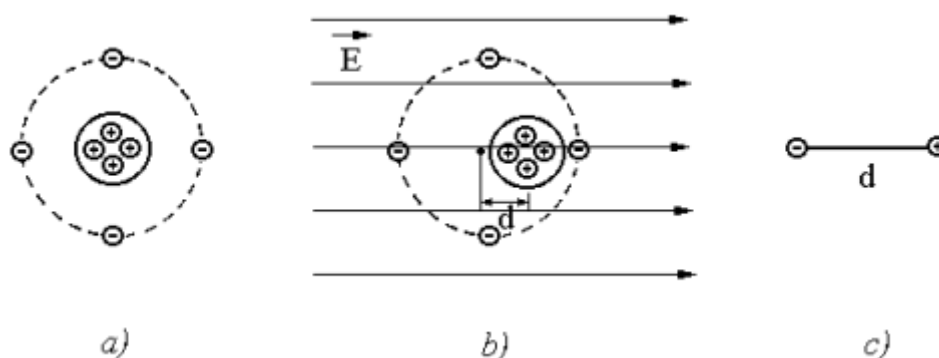
Od ostalih svojstava može se spomenuti udio dodataka, indeks loma te gustoća polimernih materijala, koji također predstavljaju bitnu stavku pri odabiru odgovarajućeg materijala za određenu namjenu [9].

### 3.MEHANIZMI VODLJIVOSTI IZOLATORA

Funkcija izolatora, odnosno izolacijskih materijala je zaštita čovjeka od visokog napona te razdvajanje elemenata između kojih postoji razlika potencijala. Izolacija mora biti pouzdana te dugotrajna i odolijevati raznim toplinskim, mehaničkim i električnim naprezanjima, kao i raznim utjecajima okoliša poput vlage, kemikalija, temperature i sl. Glavni izvor opterećenja u električnom proizvodu je upravo električno polje, čije djelovanje materijal za izolaciju mora izdržati, a to djelovanje se očituje u prolasku struje, gubitcima, izbijanjima, probojima te naravno u polarizaciji. Polimeri u pravilu imaju vrlo dobra dielektrična svojstva te ih se smatra dielektričnim materijalima. Dok su kod vodljivih materijala nositelji naboja slobodni elektroni koji električnu struju stvaraju pod utjecajem vanjskog električnog polja, kod dielektrika električnu struju tvore slobodni elektroni i šupljine te slobodne skupine molekula koje imaju naboj i slobodni ioni [18].

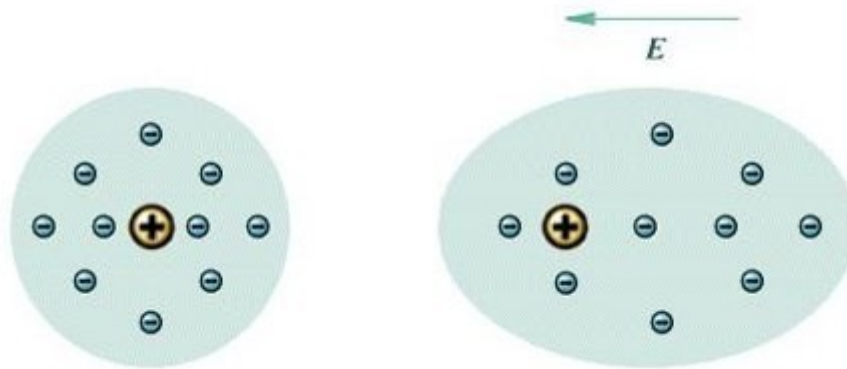
#### 3.1 Polarizacija i vrste polarizacije polimernih materijala

Dielektrična svojstva ovise o strukturi i o kemijskom sastavu polimera. Ipak, činjenica je li neki polimer dobar ili loš izolator ovisi o polarnosti i nepolarnosti polimernih makromolekula. Na izolator koji se nalazi u konstantnom električnom polju će djelovati sile suprotnih smjerova koje će odmaknuti jezgru iz njezina središnjeg položaja, tako da se težišta negativnog i pozitivnog naboja više neće poklapati. Taj pomak čestica u dielektriku nazivamo polarizacijom. Tada kažemo da je atom izolatora polariziran, a mjera polarizacije je određena razmakom između središta naboja i veličinom naboja te se iskazuje relativnom dielektričnom konstantom ( $\epsilon_r$ ). Cjelina koja se sastoji od povezana dva suprotna naboja na nekom razmaku naziva se električni dipol. (slika 3.1)

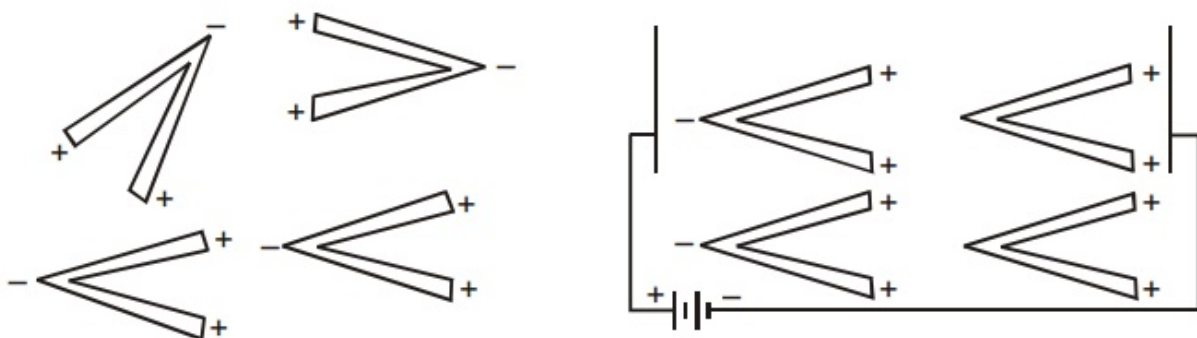


**Slika 3.1** Polarizacija atoma a) pozitivna jezgra i negativni elektronski omotač b) pomak jezgre iz središnjeg položaja c)električni dipol [19]

Dva najvažnija tipa polarizacije dielektričnih polimera u električnom polju su polarizacija pomaka i orijentacijska polarizacija. Polarizacija pomaka, odnosno elektronska polarizacija, nastaje tako što će naboji tj. elektroni pod utjecajem električnog polja deformirati smjer polja i pri tome preuzeti smjer atomske jezgre. (slika 3.2). Takva vrsta polarizacije neće izazvati gubitke jer se odvija unutar atoma, odnosno nema dodira s ostalim atomima. Elektroni zbog male mase i male tromosti mogu efektivno pratiti promjene vanjskog polja. Do orijentacijske(dipolne) polarizacije dolazi kada molekule koje zbog svoje građe posjeduju dipolni moment u prostoru gdje nema električnog polja uđu u električno polje te se orijentiraju prema snazi polja (slika 3.3). Orijetacijska polarizacija će izazvati gubitke zbog trenja između molekula koje se orijentiraju i tako zagrijavaju materijal. Ta pojava se naziva dielektrična relaksacija [18, 19].



Slika 3.2 elektronska polarizacija [20]



Slika 3.3 orijentacijska(dipolna) polarizacija [21]

Polarni polimeri su u većini slučajeva samo donekle dobri izolatori. Oni su slabo otporni prema faktorima okoline kao što su temperatura i vlaga. Porast temperature dovodi do većeg gibanja

molekula odnosno veće polarizacije te veće permitivnosti polimera, dok vlaga snižava električnu otpornost površine. Kod nepolarnih polimera temperatura ne utječe na polarizaciju a vlagu ne apsorbiraju što dovodi do boljih izolacijskih svojstava. Nepolarni polimeri se ističu svojom visokom električnom otpornošću i niskom permitivnošću. Od nepolarnih polimera najistaknutiji predstavnici su polietilen(PE), polipropilen(PP) i polistiren(PS) a od polarnih poli(metilmetakrilat)(PMMA) te poli(vinil-klorid)(PVC) [18].

## 4.VRSTE I PRIMJENA POLIMERNIH IZOLACIJSKIH MATERIJALA

Izolacijski materijali imaju nezamjenjivu ulogu u tehničkim industrijama, a poglavito u elektroindustriji. Neki od najvažnijih zahtjeva koje polimerni izolacijski materijali ispunjavaju su:

- Velika dielektrična čvrstoća zbog naponskih naprezanja u sustavima gdje vladaju visoki naponi
- Velika vlačna čvrstoća
- Mala težina i velika fleksibilnost, otpornost na trošenje
- Bolja izvedba u ekološki onečišćenim područjima te kemijska postojanost
- Visok površinski otpor

### 4.1 Polistiren

Polistiren(PS) je plastomer izgrađen od monomera stirena, te nastaje procesom lančane polimerizacije, zbog čega ima linearnu makromolekulsku strukturu. U procesu proizvodnje mu se dodaju razni antistatici, bojila, stabilizatori i pigmenti, ovisno o potrebi.

Poznat je po svojoj primjeni u svim industrijama te se prerađuje pomoću svih procesa svojstvenih za preradu plastomera. Proizvodi od polistirena se mogu naknadno mehanički i toplinski obrađivati. Ima dobra električna i mehanička svojstva, dobru kemijsku postojanost, što ga čini pogodnim za primjenu u mnogim industrijama. U elektrotehnici i elektroničkoj industriji koristi se u proizvodnji kućišta i aparata, nosača svitaka, izolatora instrumenata, podnožja elektronskih cijevi i kao podloga za tiskane krugove.

Razlikujemo 5 glavnih podjela polistirena:

- Homopolimerni polistiren ima vrlo dobra mehanička, izolacijska i toplinska svojstva. Tvrd je i krhak, staklast, te ima velik indeks loma. Ima nisko staklište, a na visokim temperaturama se razgrađuje. Dobiva se polimerizacijom u masi ili suspenziji, a najviše se koristi u proizvodnji ambalaže za pakiranje hrane, dijelova raznih aparata, čaša, zdjela, te igračaka.
- Modificirani polistiren visoke žilavosti(HIPS)-naziva se i modificiranim polistirenom, a nastaje dispergiranjem čestica elastomera u polistirenu. Puno je boljih svojstava jer su mu poboljšana elastičnost i istežljivost u odnosu na homopolimerni polistiren. Služi za izradu dijelova vrata, hladnjaka, telefona te raznih igračaka.



- Stiren/akrilonitril(SAN) je kopolimerni materijal koji nastaje povezivanjem monomera stirena i akrilonitrila u smjesi ili emulziji. Pokazuje bolju kemijsku otpornost i neka mehanička svojstva od čistog polistirena. Najviše se prerađuje puhanjem, ekstrudiranjem i prešanjem. Koristi se za izradu kućišta i pokrovnih dijelova raznih instrumenata, gramofona, proizvodnju kućišta baterija i akumulatora, školskog , medicinskog i kućanskog pribora te sanitarnih predmeta.
- Terpolimer akrilonitril/butadien/stiren(ABS) sastoji se od dvije faze: kopolimera stirena i akrilonitrila te dispergiranih čestica butadiena, a proizvodi se u vodenoj emulziji. Butadien kao elastomer pridonosi žilavosti i elastičnosti, a kopolimer SAN tvrdoći i krutoći. S toga svojstva ovog terpolimera ovise o faktorima poput sastava, raspodjeli i masi makromolekula, veličini, umreženosti i dr. ABS se odlikuje svojim električnim, mehaničkim i toplinskim svojstvima. Posebne su mu odlike dobra žilavost, lagana preradljivost, postojanost izmjera, mogućnost modifikacije ovisno o namjeni i povoljna cijena. Negativna strana mu je loša otpornost prema kemikalijama. Služi za izradu kućišta za televizore, usisavače, pisaače, fotoaparate, medicinsku opremu i dr. Od njega se proizvode i cjevovodi za vodu, kovčezi, unutrašnje obloge za vozila te sportska oprema.
- Pjenasti (celularni) polistiren(EPS) se proizvodi impregniranjem polistirena tekućinama koje su lako hlapljive te se zagrijavanjem šire. Tako se postiže mala gustoća te ćelijasta struktura ovog polimera. Ima odlična toplinska i zvučna izolacijska svojstva. Zbog toga se koristi za izolaciju u hladnjačama, skladištima te rezervoarima, zvučnu i toplinsku izolaciju zidova, izolaciju podova, stropova, za izradu zaštitne ambalaže, kutija i drugih proizvoda [22].

Svojstva polistirenske grupe su vidljiva prema tablici 4.1

**Tablica 4.1** Svojstva jedne grupe polistirena [22]

Svojstvo	PS	HIPS	SAN	ABS
Gustoća, g/cm <sup>3</sup>	1,05...1,06	1,05...1,07	1,08	1,03...1,06
Vlačna čvrstoća, N/mm <sup>2</sup>	33...55	22...34	50	41...56
Tlačna čvrstoća, N/mm <sup>2</sup>	80...110	28...62	—	75...85
Produljenje pri raskidu, %	1...2	13...60	—	5...25
Modul elastičnosti, N/mm <sup>2</sup>	2400...3300	1800...3200	3600...3800	2000...2800
Tvrdoća (Rockwell)	M 65...90	M 20...80	—	R 107...115
Specifični toplinski kapacitet, J K <sup>-1</sup> g <sup>-1</sup>	1,3	1,3	—	1,3...1,7
Indeks loma	1,59	—	—	—
Temperatura stalne upotrebe, °C	70	65	85	75...90
Temperatura mekšanja ili taljenja, °C	100...105	85...90	110	90...100

U elektroindustriji podtipovi polistirena nalaze mnoge primjene, a jedna od najpoznatijih je svakako primjena u kućištu utičnica, koje su najčešće izrađene od ABS-a, slika 4.1.



**Slika 4.1** Kućište utičnice izrađeno od polimera ABS-a [23]

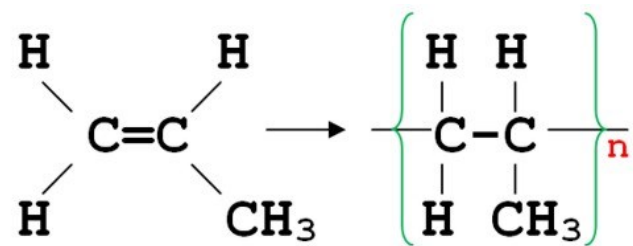
SAN primjenu nalazi u izradi kućišta računala te kućišta baterija i akumulatora što ga također čini važnim u elektroindustriji, slika 4.2.



Slika 4.2 Kućište baterije izrađeno od polimera SAN-a [24]

## 4.2 Polipropilen

Polipropilen(PP) je plastomer građen od molekula propilena povezanih u linearne makromolekularne lance, slika 4.3



Slika 4.3 Polimerizacija propilena [25]

S obzirom na orijentiranost metilnih skupina u makromolekuli, razlikujemo izotaktičan polipropilen, kod kojeg se orijentiraju na jednak način, te ataktičan polipropilen, kod kojeg je orijentacija nasumična. Ako je orijentacija naizmjenično u suprotnim smjerovima, radi se o sindiotaktičnom polipropilenu. Najbolja svojstva imaju izotaktične strukture jer ona pogoduje kristalizaciji, a komercijalni polipropilen sadrži preko 90% izotaktičnosti.

Danas se polipropilen proizvodi postupkom koordinativne polimerizacije, te propilen koji ulazi u proces mora biti oslobođen svih nečistoća i vode. Može se prerađivati korištenjem raznih metoda za preradu plastomera, a u praksi se obično koriste injekcijsko prešanje i ekstrudiranje. U komercijalnom obliku obično je granulati ili praškasti, što je vidljivo sa slike 4.4.



**Slika 4.4** Granulasti polipropilen [26]

Polipropilen je jedan od lakših polimernih materijala, ima malu gustoću, te visoko talište koje omogućuje primjenu u širokom temperaturnom području. S porastom molekularne mase te povećanjem ataktičnosti mu opadaju vlačna čvrstoća, tvrdoća i krutost. S obzirom na nepolarni karakter njegovih molekula, čisti polipropilen ima odlična izolacijska svojstva, pod uvjetom da nije onečišćen. Stabilan je prema utjecajima maziva, vode i organskih otapala.

U elektroindustriji se PP zahvaljujući svojim mehaničkim svojstvima koristi za izradu vanjskog zaštitnog plašta električnih vodova koji ih štiti od vanjskih utjecaja, slika 4.5.

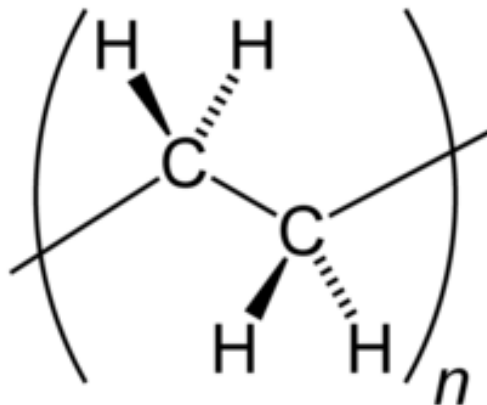


**Slika 4.5** Zaštitni plašt vodiča izrađen od polipropilena [27]

PP prerađivan prešanjem se najčešće koristi u tekstilnoj, automobilskoj industriji, proizvodnji namještaja, kućišta medicinskog pribora i dr. Ekstrudiranjem se PP prerađuje u razne oblike tehničkih materijala, kao što su folije, ploče, cijevi i dr. Služi kao ambalaža obzirom da su folije prozirne i netoksične, a kao ploče se kombinira u slojeve pa služi kao konstrukcijski element u raznim postrojenjima, Koristi se u obliku vodova i cijevi za transport vode, ulja i korozivnih tekućina te za dijelove električnih aparata. Pošto je otporan na visoke temperature, svoju primjenu nalazi u bocama i spremnicima korištenim u medicini i farmaciji [22].

### 4.3 Polietilen

Polietilen(PE) je najjednostavniji poliugljikovodik koji se u industriji dobija polimerizacijom etilena(slika 4.6), a industrijski od diazometana. Predstavlja jedan od najkorištenijih i najpoznatijih polimernih materijala današnjice. Monomeri etilena se povezuju u lančaste makromolekule velikih molekularnih masa, a pošto je struktura jednostavna makromolekule polietilena vrlo lako kristaliziraju.

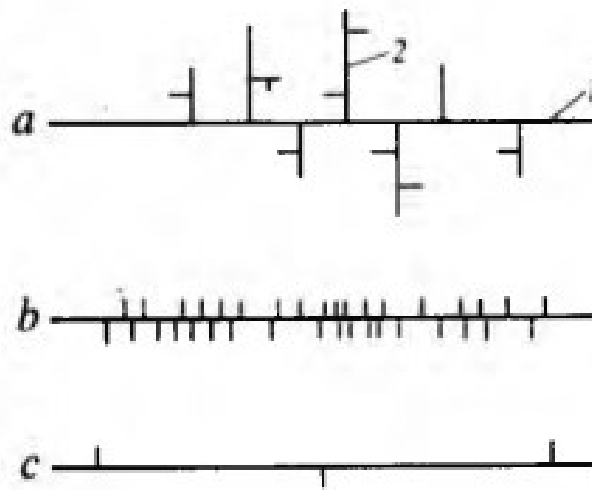


Slika 4.6 Monomer polietilena, etilen [28]

Najvažniji parametri koji utječu na svojstva su molekularna masa i njezina razdioba te stupanj kristalnosti. Stupanj kristalnosti se smanjuje povećanjem granatosti makromolekule, do koje dolazi kada se vodikovi atomi zamjenjuju određenim supstinentima. Njegovim smanjenjem opadaju gustoća, a time i mehanička svojstva te kemijska postojanost polietilena.

O molekularnoj masi ovisi sposobnost prerade polietilena. Što je ona veća, bolja su mu mehanička svojstva i kemijska postojanost, ali se teže prerađuje. Glavne vrste polietilena na temelju molekularne mase i razlike u gustoći su:

- Polietilen niske gustoće (LDPE)-visoka granatost osnovnog makromolekularnog lanca zbog ugljikovodičnih supstituenata te kraći bočni lanci. Ima nisku gustoću, visok modul elastičnosti, te se prerađuje ekstrudiranjem i injekcijskim prešanjem.
- Linearni polietilen niske gustoće (LLDPE)-kopolimer etilena i alfa-olefina, ima linearne makromolekule s mnogo bočnih skupina, nisku gustoću ali zbog linearne strukture ipak velik stupanj kristalnosti, te dobru žilavost i čvrstoću.
- Polietilen visoke gustoće (HDPE)-linearne makromolekule vrlo male razgranatosti, zbog čega ima veći udio kristalne faze a time i veću gustoću. Bolja mehanička svojstva u odnosu na prethodna dva polietilena te visoka kemijska postojanost.



**Slika 4.7** Razgranatost polietilena a) niske gustoće, b) linearnog niske gustoće i c) polietilena visoke gustoće [22]

- polietilen s ultravisokom molekularnom masom (UHMWPE) je vrlo cijenjen u tehnici i tehničkoj industriji zbog svoje visoke postojanosti, malog faktora trenja, udarne žilavosti i glatke površine.

Svojstva polietilena najčešće ovise o vrsti polimerizacije, uz visoki ili niski tlak, te se prilagođavanjem tlaka, temperature i katalizatora podešava makromolekularna struktura i stupanj kristalnosti. Polietilen ima vrlo raznovrsnu primjenu s obzirom da se odlikuje svojim mehaničkim svojstvima i kemijskom postojanošću te nepropusnošću za vodu i agresivne medije.

U elektrotehnici se koristi kao vanjska izolacija jednožilnih visokonaponskih kabela, slika 4.8.



**Slika 4.8** Jednožilni visokonaponski kabel sa vanjskom PE izolacijom [29]

U telekomunikacijama se koristi kao zaštitna izolacija koaksijalnih i svjetlovodnih kabela, slika 4.9.



**Slika 4.9** Optički kabel s izolacijom od PE [30]

Prerađuje se svim postupcima kojima se prerađuju termoplasti, a cjenovno je ekonomičan i prihvatljiv.

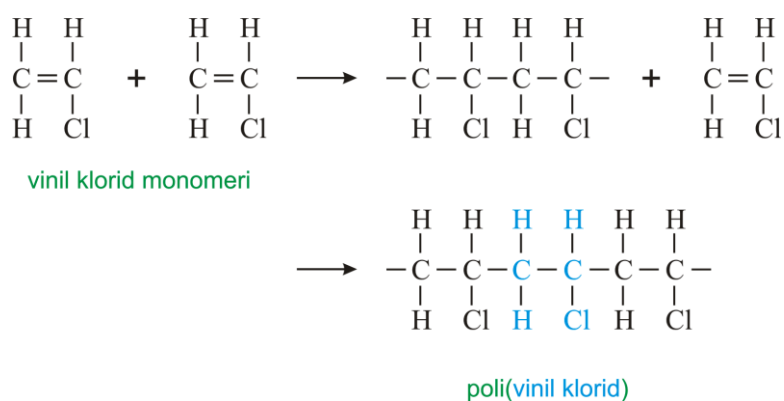
Prema tablici 4.2 vidljiva je primjena svakog od 4 navedene podgrupe polietilena [22].

**Tablica 4.2** Primjena različitih podgrupa polietilena [31]

VRSTA	PRIMJENA
<b>LDPE</b>	Filmovi za papir, aluminij i tekstil, folije za ambalažni materijal, za zaštitu i izolaciju u građevini, kutije i posude za pakiranje, ručne vrećice i omotnice, u elektrotehnici za izradu kablova
<b>LLDPE</b>	Proizvodnja trgovačkih vrećica, ambalažiranje
<b>HDPE</b>	Industrijske i kućne posude, košare, benzinski rezervoari, ambalažiranje prehrambenih farmaceutskih i kemijskih proizvoda
<b>UHMWPE</b>	Izrada predmeta velike kemijske postojanosti, dijelova mašina, uređaja, vodilica, sportske opreme, transportnih posuda za uglj, rude, naftu i dr.

#### 4.4 Poli(vinil-klorid)

Poli(vinil-klorid)(PVC) je skupina plastomera koja nastaje polimerizacijom molekula vinil-klorida, kao što je vidljivo na slici 4.10. Poznato je preko stotinu modifikacija ovog polimera, pa njegova fizikalna svojstva mogu varirati od mekanog i elastičnog do tvrdog i žilavog. Po potrošnji je drugi najzastupljeniji plastomer iza poliolefina.



**Slika 4.10** Monomer i makromolekula PVC-a [32]

Makromolekule su mu lančane, a mogu imati kratku ili dugu razgranatost. Njihova struktura te stupanj kristalnosti ovise o uvjetima u kojima se proizvodi, a time i svojstva poput staklišta, gustoće i dr. Temperatura pri kojoj se provodi polimerizacija je značajna jer što je ona manja veći



su stupanj kristalizacije i molekularna masa, što određuje njegova svojstva ali i svojstva njegovih taljevina, suspenzija i otopina. U većini slučajeva se proizvodi polimerizacijom u suspenziji, emulziji ili masi.

Izgledom je PVC bijele ili žute boje, bez mirisa i okusa. Pokazuje dobra električna svojstva, otporan je na vodu i teško se pali. Nakon polimerizacije je postojan u obliku praha, od kojeg se proizvode dvije osnovne vrste PVC-a:

- Meki, odnosno fleksibilni PVC koji se dobiva preradom praha uz dodavanje plastifikatora, o čijem udjelu ovise i njegova svojstva. Ima lošija mehanička svojstva ali je savitljiv te se lakše obrađuje.
- Tvrdi, odnosno kruti PVC. On nastaje preradom praha nastalog polimerizacijom bez posebnih dodataka, tvrd je, žilav i proziran te teško preradiv ali ima odličnu kemijsku i atmosfersku stabilnost.

S obzirom na to da je PVC slabe postojanosti u odnosu na druge plastomere te je podložan svjetlosnoj, toplinskoj i mehaničkoj degradaciji, dodaju mu se razna sredstva za povećanje stabilnosti, plastifikatori, maziva i drugi modifikatori među kojima su i drugi polimeri. Kao stabilizatori se najviše koriste olovne soli, kao plastifikatori esteri ftalne kiseline, a od polimera se često koristi ABS terpolimer polistirena. Poli(vinil-klorid) se lako prerađuje ekstrudiranjem i kalandriranjem te ostalim metodama preradbe plastomera.

U elektroindustriji se PVC koristi u mnogobrojnim primjenama, od električne izolacije vodiča, za izradu trake za izolaciju, kao izolacijski materijal za razvodne kutije(slika 4.11), razvodne ormare (slika 4.12), pa sve do izolacije različitih kućanskih aparata.



**Slika 4.11** Razvodna kutija od PVC-a [33]



**Slika 4.12** Razvodni ormar od PVC-a [34]

Ostala područja primjene PVC-a su u građevini, zaštitnim prevlakama, proizvodnji ambalaža, cijevi i dr. Jedna od najčešćih primjena mu je i za ambalažiranje te pakiranje namirnica. Kruti PVC se koristi kao konstrukcijski materijal za prozore, krovove, oluke, rolete i žljebove. PVC u obliku pjenastog materijala služi u izradi torbi, obuće i odjeće, uredskog materijala te kao presvlaka za namještaj [22].

## 5. ZAKLJUČAK

Polimerni materijali su od sredine 20. stoljeća do danas doživjeli porast veći od bilo koje industrije materijala u povijesti. Zbog svoje ekonomičnosti, dobrih toplinskih, mehaničkih i dielektričnih svojstava te kemijske otpornosti su danas najzastupljeniji u obliku izolacijskih materijala. Izolacijski polimeri se moraju odlikovati visokom vlačnom i dielektričnom čvrstoćom, visokim električnim otporom, malom težinom, velikom fleksibilnošću i dobrom kemijskom postojanošću. Nastaju procesom polimerizacije strukturnih jedinica koje se nazivaju monomeri a proces proizvodnje te različiti dodaci mogu uvelike utjecati na njihova svojstva i uređenost strukture. Razlikujemo amorfne te kristalne i kristalaste polimere. Veći udio kristalne faze poboljšava njihova mehanička svojstva, dok amorfnost poboljšava preradljivost. Ipak, izolacijska svojstva polimera najviše ovise o polarnosti njihovih makromolekula, a u pravilu najbolja izolacijska svojstva imaju oni s nepolariziranim molekulama. Postoji raznolik broj vrsta polimernih materijala, a među najvažnijima su polietilen(PE), polistiren(PS), polipropilen(PP) te poli(vinil-klorid)(PVC) koji u različitim podvrstama svoju primjenu nalaze kako u elektrotehničkoj i elektroničkoj industriji, tako i mnogim drugim industrijama te u svakodnevnom životu. Proizvodnja te unaprjeđivanje polimernih materijala je proces koji se nastavlja i danas, a njihova primjena i potrošnja postaju sve ekonomičnije i efikasnije.

## LITERATURA:

- [1] M.Šerčer, B.Križan, R.Basan, Konstruiranje polimernih proizvoda, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Tehnički fakultet, Sveučilište u Rijeci, 2009.
- [2] I.Kladarić, Materijali 1: Podjela polimera, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, dostupno na:  
<http://brod.sfsb.hr/~ikladar/Materijali%20I/Podjela%20polimeria.pdf> [13.6.2019.]
- [3] I. Čatić, Polimeri – od prapočetaka do plastike i elastomera, Polimeri,2010.str. 59-70
- [4] Velimir Ukrainczyk: Poznavanje gradiva. Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, 2001.
- [5] Google, copolymers, dostupno na: <https://en.wikipedia.org/wiki/Copolymer> [13.6.2019.]
- [6] I.Kladarić, Materijali 1: Svojstva polimera, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, dostupno na:  
<http://brod.sfsb.hr/~ikladar/Materijali%20I/Svojstva%20polimeria.pdf> [13.6.2019.]
- [7] Tehnicka enciklopedija: Polimerni materijali, dostupno na:  
[http://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/polimerni\\_materijali\\_sve.pdf](http://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/polimerni_materijali_sve.pdf) [19.6.2019.]
- [8] Enciklopedija: Polimeri, Leksikografski zavod Miroslav Krleža, dostupno na:  
<http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=49180> [14.6.2019.]
- [9] T. Filetin.: Pregled razvoja i primjene suvremenih materijala, Hrvatsko društvo za materijale i tribologiju, Zagreb, 2000.
- [10] E.Bajsić: Prerada polimera, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2017., dostupno na:  
[https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/Prerada\\_polimera.pdf](https://www.fkit.unizg.hr/download/repository/Prerada_polimera.pdf)
- [11] Google, thermoplast structure, dostupno na:  
<https://pdfs.semanticscholar.org/0f49/5483dfa9dba1287739b2e1d0a565ac1941dd.pdf> [9.9.2019.]
- [12] E.Govorčin Bajsić, Polimerni inženjerski materijali, interna skripta, FKIT, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2015.
- [13] Google, duromeri, dostupno na: <https://www.scribd.com/presentation/11599426/duromeri> [15.6.2019.]
- [14] A. Rogić, I. Čatić, D. Godec: Polimeri i polimerne tvorevine, Zagreb, 2008.
- [15] B. Andričić: Polimerni materijali, Zavod za organsku tehnologiju, Sveučilište u Splitu, Split, 2009.
- [16] Google: svojstva polimernih materijala, dostupno na: <https://slideplayer.gr/slide/15664591/> [16.6.2019.]

- [17] M. Mlikota, *Električna svojstva polimera.*, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2014.
- [18] T. Filetin, F. Kovačiček, J. Indof : Svojstva i primjena materijala, 2002. godina
- [19] A. Pintarić, Materijali u elektrotehnici-Izolacijski materijali, prezentacija s predavanja [20.6.2019.]
- [20] Google, electronic polarisation, dostupno na: <http://www.tikp.co.uk/knowledge/material-functionality/conductive/dielectric-constant/> [19.6.2019.]
- [21] Google, dielectric polarisation, dostupno na: <http://www.engineeringenotes.com/electrical-engineering/dielectrics/dielectrics-classification-polarization-and-loss-electrical-engineering/33349> [19.6.2019.]
- [22] Tehnicka enciklopedija: Polimerni materijali, dostupno na: [http://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/polimerni\\_materijali\\_sve.pdf](http://tehnika.lzmk.hr/tehnickaenciklopedija/polimerni_materijali_sve.pdf) [19.6.2019.]
- [23] Google, utičnica, dostupno na: <https://www.bauhaus.hr/uticnica-sa-zastitom-za-djecu-visage-bijela.html> [9.9.2019.]
- [24] Google, SAN battery, dostupno na: <http://www.aajaccumulators.in/opzs-battery-cells-in-san-transparent-containers.php> [9.9.2019.]
- [25] Google: polipropilen polimerizacija,, dostupno na: <https://pipeinfo.ru/bs/polymerization-reactions-polyethylene-propylene-polystyrene-polyvinyl-chloride.html> [17.6.2019.]
- [26] Google, polipropilen, dostupno na: <http://www.osmanligranul.com/polipropilen-pp/> [17.6.2019.]
- [27] Google, polypropylene cable, dostupno na: <https://www.ebay.co.uk> [9.9.2019.]
- [28] Google, polietilen, dostupno na: <https://bs.wikipedia.org/wiki/Polietilen> [17.6.2019.]
- [29] Google, high voltage cable, dostupno na: <https://www.indiamart.com/proddetail/high-voltage-underground-cable-14887616797.html> [9.9.2019.]
- [30] Google, optical fibre cable, dostupno na: <https://www.indiamart.com/proddetail/optical-fiber-cable-18226952248.html> [9.9.2019.]
- [31] A. Jović, Mehaničke osobine termoplastičnih masa, Mašinski fakultet, Univerzitet u Zenici, Zenica [17.6.2019]
- [32] Google, vinil-klorid, dostupno na: <https://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=polivinil+klorid> [18.6.2019]
- [33] Google, razvodna kutija PVC, dostupno na: <https://osvetljenje.com/proizvod/razvodna-kutija-sa-6otv-pvc-ip55-80x80-aling-conel-og/> [9.9.2019.]
- [34] Google, razvodni ormar PVC, dostupno na: <https://www.arb.co.za/general-electrical/distribution-boards> [9.9.2019.]

## SAŽETAK

Polimerni materijali ispunjavaju svijet oko nas. Od sredine 20. stoljeća neizostavan su dio čovjekova života i djelatnosti. U ovom se radu daje uvid u povijesni razvoj polimera te u njihova svojstva i prednosti nad drugim materijalima. Opisana je molekularna struktura polimera te njihovi mehanizmi vodljivosti. Navedene su i raščlanjene glavne polimerne grupe sa naglaskom na njihovu primjenu u elektroindustriji. Na nekoliko primjera je detaljnije opisano korištenje polimera u elektrotehničkim uređajima te zadaća koju u njima obnašaju.

Ključne riječi: polimerni materijali, izolacijski materijali, elektrotehnika, svojstva polimera, vrste polimernih materijala

## **ABSTRACT**

Polymeric materials make up the world around us. From the middle of the 20<sup>th</sup> century polymeric materials have been a constituent part of humanity's everyday life and business. This paper explains the historical development of polymeric materials as well as their advantages compared to other materials. It explains the molecular structure of polymers and their mechanisms of conductivity. Polymeric groups have been given and analyzed, with emphasis on their application in the electric industry. Usage of polymers in electrical engineering devices and the function which they serve have been thoroughly explained on a couple of examples.

Keywords: polymeric materials, insulating materials, electrical engineering, properties of polymers, types of polymer materials.

## **ŽIVOTOPIS**

Domagoj Horvat rođen je 1.8.1997.godine u Osijeku. Osnovnu školu Frana Krste Frankopana pohađa od 2004. do 2012. godine. Srednjoškolsko obrazovanje započinje 2012. godine upisom u III. gimnaziju Osijek, koju završava 2016. godine s odličnim uspjehom. Nakon polaganja državne mature ostvaruje pravo na upis na preddiplomski studij na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku.