

# Suvremeni materijali u graditeljstvu; polimeri

---

Horvat, Tin

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Polytechnic of Međimurje in Čakovec / Međimursko veleučilište u Čakovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:110:713376>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-22**



Repository / Repozitorij:

[Polytechnic of Međimurje in Čakovec Repository -  
Polytechnic of Međimurje Undergraduate and  
Graduate Theses Repository](#)





MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU  
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ ODRŽIVI RAZVOJ

**Tin Horvat, 0336044368 3**

**Suvremeni materijali u graditeljstvu; polimeri**

Završni rad

Čakovec, srpanj 2024.



MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU  
STRUČNI PRIJEDIPLOMSKI STUDIJ ODRŽIVI RAZVOJ

**Tin Horvat, 0336044368 3**

**Suvremeni materijali u graditeljstvu; polimeri**

**Modern materials in construction; polymers**

Završni rad

Mentorica:

Jasmina Ovčar, mag. ing. arh. i urb., v. pred.

Čakovec, srpanj 2024.



## MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU

### PRIJAVA TEME I OBRANE ZAVRŠNOG/DIPLOMSKOG RADA

Stručni prijediplomski studij:

Računarstvo       Održivi razvoj       Menadžment turizma i sporta

Stručni diplomski studij Menadžment turizma i sporta:

Pristupnik: TIN HORVAT, JMBAG: 0336044368  
- (ime i prezime)

Kolegij: TEHNOLOGIJA GRAĐENJA II  
(na kojem se piše rad)

Mentor: JASMINA OVČAR, mag. ing. arh. i urb., viši predavač  
(ime i prezime, zvanje)

Naslov rada: SUVREMENI MATERIJALI U GRADITELJSTVU; POLIMERI

Naslov rada na engleskom jeziku: MODERN MATERIALS IN CONSTRUCTION; POLYMERS

Članovi povjerenstva: 1. dr. sc. SILVIJA ZEMAN, prof. str. stud., predsjednik  
(ime i prezime, zvanje)  
2. GORAN SABOL, mag. ing. geoinž., v. pred., član  
(ime i prezime, zvanje)  
3. JASMINA OVČAR, mag. ing. arh. i urb., viši predavač, mentor  
(ime i prezime, zvanje)  
4. TOMISLAV HUBLIN, mag. cin., viši predavač, zamjenski član  
(ime i prezime, zvanje)

Broj zadatka: 2023-OG-3

Kratki opis zadatka: Suvremeni materijali, zbog kvalitetno organiziranih tehnoloških procesa često nude dobar odnos kvalitete i cijene, a posebno su zanimljivi s aspekta raznovrsnosti u pogledu boja, oblika, tekstura i dr. kao i lakšeg održavanja te često puta i trajnosti. U tom smislu ovim radom obrađuju se sintetski polimeri koji se sve češće koriste u građiteljstvu, a proizvedeni su iz prirodnih sirovina, najčešće nafte, prirodnog plina, ugljena, kaučuka. Unatoč mnogobrojnim prednostima, potrebno je svakako navesti i nedostatke, od kojih je možda najveći pitanje zagađenja ekosustava i atmosfere prilikom proizvodnje, korištenja te posebno upitno odlaganje i recikliranje. Kakao bi bilo koja vrsta materijala mogla nositi obilježja održivosti, potrebno je da u svim fazama nosi etiketu održivosti.

Datum: 02. srpnja 2024.

Potpis mentora: J. Ovčar

**MEĐIMURSKO VELEUČILIŠTE U ČAKOVCU**

**Bana Josipa Jelačića 22/a, Čakovec**

**IZJAVA O AUTORSTVU**

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, internetskih i drugih izvora) bez pravilnog citiranja. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom i nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, \_\_\_\_\_ **Tin Horvat** \_\_\_\_\_ (ime i

prezime studenta) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću,

izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog rada pod naslovom

Suvremeni materijali u graditeljstvu; polimeri

te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:

*Tin Horvat*

(vlastoručni potpis)

## **Zahvala**

*Ovim putem zahvaljujem se svima na potpori.*

*Svojoj mentorici Jasmini Ovčar, v. pred. zahvaljujem na njezinoj stručnosti i pomoći kod izrade završnoga rada, a posebno na strpljivosti i posvećenosti tijekom godina studiranja te na savjetima koji su mi pomogli kako bih poboljšao svoj studijski rad.*

*Hvala svim nastavnicima i ostalom osoblju Međimurskoga veleučilišta u Čakovcu na suradnji i pomoći tijekom pohađanja studija i pisanja završnoga rada te svojem lektoru na trudu i procesu provjere rada.*

*Najveća hvala mojoj obitelji i prijateljima na potpori i vjeri u mene proteklih nekoliko godina pohađanja studija.*

## Sažetak

*Polimeri, kao jedan od najraširenijih materijala današnjice, pojavljuju se i u građevinske sektoru. Cilj je ovoga završnog rada pobliže upoznati polimere kao građevinske materijale. Važno je također opisati njihov utjecaj na okoliš te proces proizvodnje i korištenje u graditeljstvu. Rad je podijeljen na šest različitih poglavlja u kojima se mogu spoznati zanimljive informacije o polimerima. Glavni su izvori prikupljanja informacija tijekom istraživanja i pisanja teme bili literatura pronađena u knjižnici, internetske stranice te opće znanje iz prakse i posla. U prvome se poglavlju ili Uvodu čitatelj upoznaje s polimerima te njihovom problematikom. U drugome poglavlju pod nazivom „Građevinski materijali nekad i danas“ čitatelju se prezentira razvojni put polimera kroz povijest te se ukazuju razlike između četiriju osnovnih građevinskih materijala i polimera. Trećim poglavljem nazvanim „Svojstva polimernih materijala“ prikazana je osnovna podjela polimernih materijala na tri glavne skupine, struktura polimera, mehanička i ostala svojstva te utjecaji polimera na svojstva.. Zatim, u četvrtome poglavlju naslovljenom „Način proizvodnje i uporabe polimera“ opisuju se načini proizvodnje polimera i načini korištenja polimera u graditeljske sektoru. Pretposljednjim poglavljem „Utjecaj na okoliš“ želi se potaknuti ekološka osviještenost ljudi čime je opisan utjecaj polimera na čovjeka. Ujedno su tim poglavljem prezentirani i noviji oblici polimera koji svojim ekološkim specifikacijama zadovoljavaju potrebe održivosti. Zadnjim poglavljem iznosi se zaključak cjelokupnoga završnog rada, a nakon toga navedeni su izvori koji su služili pri njegovu pisanju te popis slika i tablica.*

**Ključne riječi:** *polimeri, materijali, održivost, svojstva, struktura, proizvodnja*

## **Abstract**

Polymers, as one of the most widespread materials today, also appear in the construction sector. The goal of this final work is to learn more about polymers as construction materials. It is also important to describe the impact of polymers on the environment, as well as the production process and the use of polymers in construction. The work is divided into six different chapters in which interesting information can be learned from each of them. Access to information was achieved through literature from the library, internet sites and general knowledge from practice and work. Going through the parts of the final thesis in the first chapter or in the introduction, the reader gets to know polymers and learns about their problems. In the second chapter, entitled „Construction materials then and now“, the development path of polymers through history is presented to the reader and the differences between the four basic construction materials and polymers are indicated. The third chapter presents the basic division of polymer materials into three main groups, followed by the polymer structure. Mechanical and other properties, as well as the influence of polymers on properties, are also described in the third chapter. Then, in the fourth chapter, the methods of polymer production and the methods of using polymers in the construction sector are described. The penultimate chapter, describing the impact of polymers on the environment, aims to encourage people's environmental awareness, and thus describes the impact of polymers on humans. At the same time, the same chapter presents newer forms of polymers that meet the needs of sustainability with their ecological specifications. The last chapter presents the conclusion of the entire final paper, followed by the sources used in the creation as well as the list of images and tables used in the final paper.

**Key words:** *polymers, materials, sustainability, properties, structure, production*



## Popis korištenih kratica

<b>WPC</b>	drvo-polimerni kompozit
<b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>	natrijev karbonat
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	kalcijev karbonat
<b>SiO<sub>2</sub></b>	silicijev dioksid
<b>PE</b>	polietilen
<b>PP</b>	polipropilen
<b>PS</b>	polistiren
<b>PVC</b>	poli(vinil-klorid)
<b>PTFE</b>	poli(tetrafluoretilen)
<b>POM</b>	polioksimetilen
<b>PMMA</b>	poli(metil-metakrilat)
<b>PUR</b>	linearni poliuretan
<b>PC</b>	polikarbonati
<b>PA</b>	poliamidi
<b>PET</b>	poli(etilen-tereftalat)
<b>PF</b>	fenol-formaldehidne smole
<b>MF</b>	melamin-formaldehidne smole
<b>UF</b>	urea-formaldehidni smole (karbamidne smole)
<b>UP</b>	nezasićene poliesterske smole
<b>EP</b>	epoksidne smole
<b>PUR</b>	poliuretan
<b>PEC</b>	poli(esterkarbonat)
<b>CSM</b>	klorsulfonirani polietilenski kaučuk
<b>PIB</b>	poliizobutilen
<b>ECB</b>	mješavina etilenskog kopolimera i bitumena
<b>CR</b>	polikloroprenski kaučuk
<b>EPDM</b>	etilen/propilen/diensi kaučuk
<b>IIR</b>	butilni kaučuk, poli(izobuten/izopren)

<b>PE-HD</b>	polietilen visoke gustoće
<b>PVC</b>	polivinil-klorid
<b>EP</b>	epoksidne smole
<b>PVC</b>	polivinil-klorid tvrdi
<b>PP</b>	polipropilen
<b>EPS</b>	ekspandirani polistiren
<b>XPS</b>	ekstrudirani polistiren

## Sadržaj

1.	UVOD .....	1
2.	GRAĐEVINSKI MATERIJALI NEKAD I DANAS .....	1
2.1.	Razvojni put kroz povijest.....	3
2.2.	Usporedba materijala .....	5
2.2.1.	Kamen – polimer .....	5
2.2.2.	Drvo – polimer .....	6
2.2.3.	Metal – polimer .....	7
2.2.4.	Staklo – polimer .....	7
3.	SVOJSTVA POLIMERNIH MATERIJALA .....	8
3.1.1.	Elastomeri.....	9
3.1.2.	Plastomeri.....	9
3.1.3.	Duromeri .....	10
3.2.	Struktura polimera.....	11
3.3.	Mehanička svojstva .....	11
3.3.1.	Tvrdoća.....	11
3.3.2.	Čvrstoća.....	12
3.3.3.	Žilavost.....	12
3.4.	Ostala svojstva.....	14
3.4.1.	Gustoća.....	14
3.4.2.	Električna svojstva .....	15
3.4.3.	Toplinska svojstva.....	15
3.4.4.	Starenje.....	16
3.4.5.	Ponašanje kod požara .....	17
3.4.6.	Permeabilnost .....	18
3.4.7.	Toksičnost .....	20
3.5.	Utjecaji na svojstva .....	20
3.5.2.	Temperatura .....	21
3.5.3.	Trenje .....	21
4.	NAČIN PROIZVODNJE I UPOTREBE POLIMERA.....	22
4.1.	Način proizvodnje.....	23
4.1.1.	Polimerizacija.....	24
4.1.2.	Prerada i oblikovanje polimera .....	24
4.1.3.	Trodimenzionalno tiskanje.....	25

4.2.1.	Izolacijski materijali .....	27
4.2.2.	Betoni i mortovi .....	27
4.2.3.	Vodonepropusni sustavi .....	28
4.2.4.	Cijevi i vodovodni sustavi.....	28
4.2.5.	Građevinski kompoziti .....	29
4.2.6.	Površinski premazi i podovi.....	29
4.2.7.	Adhezivi i brtvila.....	30
5.	UTJECAJ NA OKOLIŠ .....	31
5.1.	Biopolimeri .....	31
5.2.	Utjecaj polimera na ljude.....	32
6.	ZAKLJUČAK .....	33
	LITERATURA.....	34
	POPIS ILUSTRACIJA.....	36
	POPIS TABLICA.....	37

## 1. UVOD

Tempo života, ujedno i gradnje, mijenja se iz dana u dan. Na taj način upoznajemo i počinjemo koristiti neke nove materijale. Zahvaljujući raznim otkrićima posljednjih stotinjak godina danas poznajemo oko stotinu tisuća raznih vrsta materijala koji se koriste u našoj svakodnevnici. Polimeri su, naravno, vodeći na listi korištenih materijala, a u posljednjih pedesetak godina njihova potrošnja strjelovito je porasla s nekoliko milijuna tona godišnje na više od tristotinjak milijuna tona godišnje potrošnje. Korištenje polimera sve je popularnije u građevinskome sektoru te u kombinaciji s prirodnim materijalima može stvoriti kvalitetan proizvod.

Polimeri su, dakle, prirodne i sintetičke, organske i anorganske tvari i materijali kod kojih su osnovni sastojak makromolekule. Riječ „polimer“ potječe od grčke riječi *poly* (mnoštvo, puno) i *meros* (dio) te obilježava makromolekulu sastavljenu od velikoga broja strukturnih jedinica. [9]

Do početka 20. stoljeća u primjeni su većinom bili potpuno prirodni polimerni materijali kao što su kaučuk i celuloza. Danas se primjena svodi na sintetičke polimerne materijale, prvenstveno zahvaljujući superiornijim svojstvima u odnosu na prirodne. Upravo zbog svojih svojstava zanimljivi su i kao alternativni konstrukcijski materijali u sve više područja iako prilikom njihove primjene, dakako, treba biti svjestan njihovih ograničenja i razlika u odnosu na klasične konstrukcijske materijale. Osim ograničenja u konstrukcijskome smislu pažnju treba obratiti i na njihov utjecaj na okoliš s obzirom na to da su sirovine za proizvodnju polimernih materijala potencijalni zagađivači. [1]

## 2. GRAĐEVINSKI MATERIJALI NEKAD I DANAS

Godinama unazad poznavanje materijala, prije svega građevinskih materijala, nije bilo kao danas. Ograničena dostupnost i mogućnost biranja na tržištu bila je znatno manja. Materijali koje su ljudi poznavali iz same prirode kao što su drvo, kamen, glina ili cement dominirali su i bili su na prvome mjestu u građevinskome sektoru. Takvi materijali nisu se mogli lako obraditi te su za njih trebali specijalni alati i znanja koja nije posjedovao bilo tko. Rezultat toga bila je skuplja izgradnja i veći troškovi gradnje.

U svemu tome nova tehnologija i njezino napredovanje potaknulo je revoluciju u cjelokupnoj gradnji. Noviji materijali kao što su čelik, armirani beton, staklena vuna te različite vrste polimera počeli su se sve više pojavljivati u raznoraznim građevinskim projektima.

Polimeri su jedni od onih materijala koji su se pokazali kao najbolji zbog lake obradivosti, mogućnosti kombiniranja te velike otpornosti na različite vremenske uvjete i koroziju. Samim su time vrsta materijala koje projektanti i razni inženjeri najviše vole te upravo zahvaljujući velikoj sposobnosti oblikovanja njihovu kreativnom razmišljanju nema kraja, stoga imaju otvorene ruke prilikom dizajniranja raznih građevinskih objekata.. Tradicionalni se materijali prikazuju kao prirodni i mogu se obnavljati, a s druge strane novi moderniji materijali imaju sve veći naglasak na smanjenju ekološkoga utjecaja. Manje energije za proizvodnju zahtijevaju određeni reciklirani materijali te oni postaju prvi izbor građevinarima i arhitektima. Na sve to veže se i digitalna tehnologija koja sve više ulazi u procese dizajniranja i projektiranja te omogućuje preciznije planiranje i izvođenje određenih građevinskih projekata. Poboljšani *softveri*, kao što je primjerice *Allplan* koji se sve više koristi, omogućuju raznim inženjerima, projektantima i ljudima na terenu (graditeljima) da prije početka izgradnje simuliraju i optimiziraju određene građevinske radove. To dovodi do brže i kvalitetnije izgradnje ili veće efikasnosti, a ujedno i smanjuje troškove izgradnje. Unatoč svim takvim promjenama i izmjenama važno je znati da se tradicionalni materijali i tehnike još koriste u graditeljstvu, ali se često pojavljuju u određenim kombinacijama s modernijim pristupima kako bi rezultati rada bili što bolji. U konačnici se razvojem građevinskih materijala održava stalna potreba za inovativnim rješenjima i mogućnošću napredovanja u gradnji kako bi bile zadovoljene različite potrebe, ponajprije potrebe društva i okoliša. Napredovanjem tehnologije razvoj novih materijala ne dovodi samo do promjena u načinu same izgradnje građevina i infrastruktura već i do same njihove estetike i funkcionalnosti. Primjerice uporaba staklenih fasada kao i ostalih naprednih izolacijskih materijala omogućuje nam stvaranje energetski učinkovitijih građevina. Takve građevine svojom vrstom izvedbe smanjuju ventilacijske gubitke energije čime je potrošnja energije za grijanje i hlađenje mnogo manja. Jedan od prvih upečatljivijih modernih građevinskih materijala koji se upotrebljava jest čelik. Koristi se u raznim oblicima zbog velike čvrstoće i mogućnosti oblikovanja. Također se smatra ekološki prihvatljivim materijalom kod velike većine građevinskih projekata. Vrlo je važan aspekt suvremenih građevinskih materijala otpornost na različite vremenske uvjete kao što su požar, potres i jaki vjetrovi. Razvijaju se sve više materijali koji mogu garantirati sigurnost kod određenih prirodnih katastrofa te duži vijek trajanja građevine.

Polimeri se smatraju materijalima koji se u određenim situacijama i različitim vremenskim uvjetima mogu prilagoditi raznim zahtjevima. Njihova vrlo važna sposobnost jest da zadržavaju svoje prvobitne karakteristike. Dobro se nose s ekstremnim temperaturama, a velika otpornost na kemikalije i koroziju čini ih idealnim izborom kod većine građevinskih radova. Tradicionalni

materijali i dalje imaju svoje mjesto u procesu projektiranja i izgradnje te će teško biti u potpunosti izbačeni.. Na primjer drvo, koje se koristi gotovo svugdje, ekološki je prihvatljiv materijal kojim se naglašava prirodna estetika i održivost. Upravo takva održivost sve je popularnija kod projektiranja građevina. Unatoč napretku i dalje postoje izazovi koji se suočavaju s građevinskom industrijom. Najveći je od svih izazova, svakako, potreba za smanjenjem emisija stakleničkih plinova koji nastaju prilikom proizvodnje materijala. Cjelokupno gledano razvoj građevinskih materijala održava vrlo živo međudjelovanje između potreba ljudi, tehnoloških inovacija i sve više ekoloških zahtjeva. Građevinska industrija stalnom evolucijom i prilagodbom pokušava zadovoljiti različite zahtjeve društva, a u istome trenu želi osigurati sigurnost i kvalitetu te očuvanje okoliša.

## **2.1. Razvojni put kroz povijest**

Još od najranijih vremena koriste se visokomolekulski materijali koji su prirodnoga podrijetla, a ljudi ih zovu i prirodnim polimerima. Ljudi su takve materijale najviše koristili da bi izradili nastambe, odjeću, obuću, zapalili vatru, ali i u prehrani. U tome im je pomoglo korištenje prirodnih polimera u obliku drva, kože, pamuka, škroba i različitih vrsta smola.

Zapisano je da je vijest o prirodnome kaučuku u Europu donio Kristofor Kolumbo 1496. godine nakon svojega drugog putovanja kada je opisao igre urođenika Haitija lopticama dobivenim iz soka drveta zvanoga 'drvo koje plače' (*cau-uchu*). Izgled stabla prikazan je na *Slici 1.* [1]



**Slika 1.** Drvo koje plače (*cau-uchu*)

Izvor: *Rubber latex*. [22]

Mnogo godina kasnije, točnije 1736. godine, Charles de la Condamine donio je uzorke prirodnoga kaučuka u Europu. Krajem 18. stoljeća, 1791. godine, Fourcroy je otkrio stabilizaciju soka kaučukovca dodatkom male količine amonijaka. Taj se postupak uporabljava i danas. Primjena prirodnoga kaučuka naglo je porasla posebno u tekstilnoj industriji nakon što je Ch. Macintosh otkrio da se kaučuk dobro otapa u destilacijskim ostacima pri dobivanju rasvjetnoga plina. On je 1823. godine patentirao postupak za izradu nepromočivoga kišnog ogrtača koji se sastojao od slojeva tkanine i kaučuka. Prvo veliko otkriće modificiranja nekog prirodnog polimera čini proces vulkaniziranja koji je otkrio Amerikanac Charles Goodyear 1839. godine kada je zagrijavanjem prirodnoga kaučuka s manjom količinom sumpora dobio gumu, tj. materijal velike elastičnosti. Time je uklonjen veliki nedostatak kaučuka koji nije dopuštao njegovu širu primjenu, a to su relativno velike trajne deformacije i osjetljivost na toplinske promjene. Engleski kemičar Alexander Parkins proveo je 1846. godine proces vulkaniziranja pri sobnoj temperaturi, tzv. hladni postupak uz sumporni klorid. To je i danas osnovni postupak brojnih procesa vulkaniziranja kaučuka. Navedena otkrića omogućila su širu primjenu kaučuka, prije svega za izradu gumenih kotača i proizvodnju pneumatika. Primjenom tih otkrića došlo je do nagloga razvitka transporta te velike potrošnje kaučuka i gume. Prvi sintetski kaučuk, premda lošijih svojstava od prirodnoga, bio je poliizopren proizveden u Njemačkoj tijekom Prvoga svjetskog rata, a drugi polibutadien dobiven polimerizacijom butadiena uz natrij kao inicijator te je prema imenima reaktanata nazvan buna kaučuk. [1]



Prvi polimerni prirodni materijal priredio je njemački kemičar Christian Friedrich Schönbein 1845. godine nitriranjem celuloze, a svojstva nitroceluloze bitno je unaprijedio Englez John Wesley Hyatt 1870. godine uporabivši kamfor kao omekšavalo (plastifikator). Manje zapaljiv proizvod celulozni acetat dobiven je 1927. godine i služio je dugo vremena za proizvodnju fotografskih filmova i sličnih proizvoda. Prvi potpuno sintetski polimer dobio je 1907. godine u SAD-u belgijski kemičar Leo Hendrik Baekeland reakcijom fenola i formaldehida. Kasnije je u svojim 119 patenata opisao njegovo dobivanje, modifikacije i primjene uglavnom kao izolacijskoga materijala u električnima uređajima i kao ljepila za drvo. Taj se materijal i danas naziva bakelit. [1]

U vremenima između dvaju svjetskih ratova sve jače svjetske sile koje su htjele držati korak sa suparnicima morale su ulagati sredstva u znanstvena istraživanja. Takva istraživanja nisu zaobišla područje polimera, već su se sve više istraživale promjene, sinteze te određivale strukture i njihova svojstva. Polimeri se tada počinju koristiti kao sirovina kojoj su dobro objašnjeni niskomolekulski spojevi, a nastali su postupcima prerađivanja nafte, plina, ugljena i drugih bioloških spojeva.

Znanstvenu podlogu, tj. razumijevanje strukture molekula i pojma makromolekule dao je njemački fizičar Staudinger 1920. godine. Njegova definicija makromolekula prihvaćena je 1930. godine. [1]

Završetkom Drugoga svjetskog rata, razvojem petrokemije i zahvaljujući jeftinoj energiji i sirovinama počinje nagli razvoj industrije polimernih materijala. Nakon toga razdoblja industrija polimernih materijala raste iz godine u godinu te potreba i uporaba polimernih materijala postaje sve veća i raširenija. [1]

## **2.2. Usporedba materijala**

Usporedbom materijala dobije se dobar osjećaj za prepoznavanjem pozitivnih i negativnih strana samoga materijala.

### **2.2.1. Kamen – polimer**

Kamen je prirodni materijal i jedan je od najstarijih materijala od kojih su ljudi gradili građevine. Čest je materijal od kojega se grade ograde, stepenice, oblažu se zidovi i fasade, kuhinje i kupaonice, podovi terasa, bazena, staza i slično. Kamen odlikuju dobra mehanička svojstva – čvrstoća i tvrdoća, što doprinosi njihovoj dugotrajnosti i lakoći održavanja. Istovremeno kameni materijali dobro provode toplinu pa ako ih koristimo kao podne obloge, dolaze pod nazivom hladni pod i potrebno je koristiti neku vrstu toplinske izolacije. Pojedine

vrste kamena imaju izrazita estetska svojstva kao npr. mramor čiju površinu poliranjem možemo obraditi do visokoga sjaja. [2]

Za razliku od kamena polimerni materijali su laganiji i fleksibilniji s dobrom otpornošću na udarce. Kamen je poznat po vrlo velikoj otpornosti na kemikalije, dok s druge strane svi polimerni materijali nemaju dobru kemijsku otpornost.

### 2.2.2. Drvo – polimer

Svojim prirodnim i atraktivnim izgledom drvo kao materijal privlači zaljubljenike u arhitekturu i dizajn. Uz sve to prirodni je materijal dobro raspodijeljenoga omjera čvrstoće i težine, ali to veže na sebe i visoku cijenu materijala. Dobru toplinsku i zvučnu izolaciju zasjenjuje to što loše djeluje na vlagu, požar i razne štetnike dok polimeri nemaju problema s vlagom i otpornosti na kemikalije, ali reagiraju na svjetlo i promjene temperature. Prednost je drva što je razgradivo u prirodi i proizvodnja je održiva dok polimeri nisu razgradivi te sama proizvodnja stvara veći ekološki otisak. Drvo se koristi kod vidljivih elemenata, a polimeri kao materijal mnogo su svestraniji. Unatoč razlikama postoji materijal koji je spoj drva i polimera.

Ime je toga materijala drvo-polimerni kompozit (WPC), koji je sve popularniji u novijoj gradnji. Njegov izgled može se vidjeti na *Slici 2*.



**Slika 2.** Drvo-polimerni kompozit (WPC)

Izvor: *iBuilders.hr*. [23]

Proizvođač je minimizirao sve nedostatke drva i umnožio prednosti polimera tijekom stvaranja WPC-a. Kao i svaki drugi materijal drvo-plastika ima prednosti i nedostatke. Prednosti su WPC-a: sigurnost od požara, otpornost na vlagu, ultraljubičasto zračenje, negativni

čimbenici okoliša, jednostavnost ugradnje i obrade, nedostatak poteškoća pri odlasku, široko područje upotrebe i asortimana te mehanička čvrstoća. Ako se želi koristiti tekućim stablom, majstor može imati sljedeće negativne točke: korištenje WPC-a moguće je samo u sobama s ventilacijskim sustavom te je slaba tolerancija na materijal visoke temperature u kombinaciji s visokom vlagom. [3]

### 2.2.3. Metal – polimer

Velika mehanička otpornost, čvrstoća, težina i odlična provodljivost električne energije, glavne su karakteristike metala. S druge strane, što se tiče čvrstoće, težine i provodljivosti električne energije, polimeri su kontra svega. Prednosti su polimera na metale dobra izolacijska i toplinska svojstva te utjecaj korozije prema njima. Oba materijala koriste se u širokome rasponu pa ih ne vežemo samo za jednu granu aplikacija. Ipak, metale i polimere često srećemo zajedno u jednoj kombinaciji. Najpoznatiji su proizvodi tih dvaju materijala razni kablovi. Metali unutar kabla provode električnu energiju, a polimeri koji predstavljaju vanjsku ovojnicu štite od dodira i udara električne energije.

### 2.2.4. Staklo – polimer

Staklo je, uglavnom, amorfni silicijev dioksid. Zbog karakteristika relativne čvrstoće, inertnosti, prozirnosti i biološke neaktivnosti ima vrlo široku upotrebu u današnjemu vremenu. Staklo je materijal koji se ne dobiva u prirodi. Iako je poznato i korišteno od davnina, i danas je nezamjenjiv materijal u svakodnevnome životu. Dobiva se taljenjem osnovnih sirovina: kvarcnoga pijeska, sode i vapnenca. Čisti silicijev dioksid ima talište na 1700 °C te bi bilo jako neekonomično taliti ga na toj temperaturi. Osnovnim sirovinama dodaje se i stakleni krš (oko 30 %) jer ima niže talište od osnovnih sirovina, pa povećava brzinu taljenja. Time se uštedi do 32 % energije. Glavne 3 sirovine za dobivanje natrijeva-kalcijeva-silikatnog stakla ( $\text{Na}_2\text{O} \times \text{CaO} \times 6 \text{SiO}_2$ ) su:

- Soda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; natrijev karbonat),
- Vapnenac ( $\text{CaCO}_3$ ; kalcijev karbonat),
- Kvarcni pijesak ( $\text{SiO}_2$ ; silicijev dioksid). [4]

Dodavanjem sode snižava se talište na oko 1000 °C, no time staklo postaje topljivo u vodi (vodeno staklo), pa se to sprječava dodavanjem vapnenca. [4]

Staklo je idealni materijal za optičke primjene zbog svoje prozirnosti dok se polimeri proizvode u prozirnome i neprozirnome obliku te nisu lomljivi kao staklo. Mogućnost primjene polimera mnogo je veća, a proizvodnja je mnogo jednostavnija i jeftinija od proizvodnje stakla.

Prednost je stakla da se kod reciklaže ne gubi kvaliteta kao kod polimera koji poprimaju drukčija svojstva.

### 3. SVOJSTVA POLIMERNIH MATERIJALA

Polimerni materijali svojom raznolikošću i mogućnošću kombiniranja igraju ključnu ulogu za mnoge industrije zbog svojih izuzetnih svojstava koje omogućuju raznolike uporabe.

Svojstva se definiraju kao reakcije, promjene stanja ili druge pojave u materijalu izazvane djelovanjem raznih (unutarnjih i vanjskih) čimbenika. Uz tu definiciju svojstava prikladno je definirati pojam značajaka (ili karakteristika). Značajke su sva bitna i mjerljiva, tj. brojčano iskaziva svojstva (odlike, obilježja) određena dogovorenim i/ili normiranim metodama ispitivanja. Polimerne materijale moguće je opisati velikim brojem značajki. Pri tome opisu čini se smislenim razlikovanje unutarnjih (intrinzičnih, vlastitih, stvarnih, pravih) svojstava, procesnih svojstava (proizvodnja, transport i skladištenje, obrada i dorada, uporaba te otpadna i reciklična svojstva) i svojstava proizvoda. Navedene kategorije svojstava u čvrstoj su međusobnoj vezi. Dok su unutarnja svojstva i proizvodna svojstva uvijek vezana za tvar, odnosno materijal, svojstva proizvoda vezana su za objekt te ona ovise o veličini i obliku proizvoda. Unutarnja svojstva određuju se točno ponovljivim mjerenjima, a proizvodna svojstva kombinacija su nekih unutarnjih svojstava koja određuju sposobnost i učinak proizvodnje tvorevine (šire područje nego što se to podrazumijeva izrazom prerada). Tijekom proizvodnje tvorevine polaznoj tvari se pridodaju brojna obilježja kao što su oblik, orijentacija i sl. Svojstva su proizvoda kombinacija nekih unutarnjih svojstava i proizvodnjom pridodanih svojstava. Uporabna svojstva polimernih tvorevina odlučujuće su ovisna o proizvodnim postupcima i uvjetima jer pri istome kemijskom sastavu polimernoga materijala tvorevina može pokazivati razlike s obzirom na stupanj i obilježja orijentiranosti i kristalnosti te restrukturiranosti polimernoga lanca na molekulskoj razini. [5]

#### 3.1. Podjela polimera

Polimere dijelimo na tri glavne skupine, a to su elastomeri, plastomeri i duromeri.

**Tablica 1.** Istaknuta obilježja temeljnih skupina polimernih materijala

<i>Naziv</i>	<i>Obilježja obzirom na:</i>			<i>Makromolekule</i>
	<i>taljenje</i>	<i>topljenje</i>	<i>bubrenje</i>	
DUROMERI	netaljivi	netopljivi	ne bubre	gusto prostorno umrežene
PLASTOMERI	taljivi	topljivi	bubre	linearne i razgranate
ELASTOMERI	netaljivi	netopljivi	bubre	rahlo prostorno umrežene

Izvor: Filetin, T.; Kovačićek, F.; Indof, J. 2013. *Svojstva i primjena materijala*. [5]

### 3.1.1. Elastomeri

Elastomeri imaju djelomično umreženu strukturu što znači da su makromolekule međusobno povezane sekundarnim i primarnim vezama. S obzirom na prisutnost sekundarnih veza elastomere se zagrijavanjem može omekšati. Gdje god postoje sekundarne veze, one će uslijed dovođenja topline popuštati što će dovesti do povećanja pokretljivosti segmenata makromolekula, a to je uzrokom mekšanja. No kako sada između makromolekula postoje i primarne veze, elastomere se više ne može rastaliti. O odnosu primarnih i sekundarnih veza ovisit će koliko će neki elastomer moći omekšati. Primarne veze u elastomerima nastaju prilikom njihova oblikovanja jer po reakcijama nastajanja imaju linearnu strukturu, ali njihova svojstva nisu pogodna za praktičnu primjenu. Kako bi se svojstva modificirala i time elastomeri učinili primjenjivima postupkom vulkanizacije, stvaraju se primarne veze. Dakle, u konačnome strukturnom obliku, u kojem dolaze u primjenu, između makromolekula elastomera uvijek postoje i primarne i sekundarne veze. [6]

### 3.1.2. Plastomeri

Plastomeri su oni polimeri kojima su makromolekule međusobno povezane isključivo sekundarnim vezama. Takve strukture obično nazivamo linearnom strukturom. Iako su sekundarne veze dosta slabe s obzirom na njihov veliki broj zbog velikoga stupnja polimerizacije, njihova ukupna energija je dovoljno velika da takvi polimeri pokazuju određena svojstva. Međutim, zagrijavanjem te sekundarne veze postepeno slabe i popuštaju. Zbog njihova velikog broja nije moguće odmah registrirati vanjske posljedice toga popuštavanja. Kako se s porastom temperature popušta sve veći broj sekundarnih veza tako pokretljivost segmenata makromolekula postaje sve izrazitija. Vanjska posljedica povećane pokretljivosti

makromolekula jest mekšanje polimera. Daljnjim povišenjem temperature može doći do potpunoga popuštanja sekundarnih veza. Makromolekule se potpuno slobodno gibaju i polimer prelazi u talinu. Odvođenjem topline (hlađenjem) dolazi do suprotnoga procesa: sekundarne veze se postepeno uspostavljaju i polimer prelazi ponovno u čvrsto stanje. S obzirom na karakter sekundarnih veza takav se ciklus omekšavanja i očvršćivanja teorijski može stalno ponavljati (zato je plastomer moguće reciklirati). Većina plastomera nastaje adicijskom polimerizacijom. [6]

Najpoznatiji plastomeri nastali adicijskom polimerizacijom su:

- polietilen, PE
- polipropilen, PP
- polistiren, PS
- poli (vinil-klorid), PVC
- poli (tetrafluoretilen), PTFE (teflon)
- polioksimetilen, POM
- poli (metil-metakrilat), PMMA
- linearni poliuretan, PUR [6]

Neki plastomeri dobivaju se kondenzacijskom polimerizacijom:

- polikarbonati, PC
- poliamidi, PA
- poli(etilen-tereftalat), PET [6]

### 3.1.3. Duromeri

Duromeri imaju potpuno umreženu strukturu, a to znači da su im makromolekule povezane primarnim vezama. Zbog karaktera primarnih veza duromere se zagrijavanjem ne može ni omekšati ni rastaliti. Svojstvo tečenja i taljenja posjeduju u fazi dobivanja i zato ih u toj fazi treba i oblikovati. Nakon što poprime konačni strukturni oblik, ne može ih se povišenjem temperature mijenjati. [6]

- Najpoznatiji duromeri jesu:
- fenol-formaldehidne smole, PF
- melamin-formaldehidne smole, MF
- urea-formaldehidni smole (karbamidne smole), UF
- nezasićene poliesterske smole, UP

- epoksidne smole, EP
- umreženi poliuretani, PUR [6]

### 3.2. Struktura polimera

Svaki materijal u svijetu ima svoju strukturu. Struktura polimera kombinacija je dugih lanaca jedinica koji se ponavljaju. Polimerni materijali takve strukture nazivaju se monomeri te oni omogućavaju prilagodbu raznim funkcionalnim zahtjevima. Mogućnost modificiranja i dizajniranja polimera može se obavljati na više načina te podržava proizvodnju materijala s drukčijim karakteristikama.

Osnovne strukturne karakteristike polimera po kojima se polimeri razlikuju od drugih materijala, a i međusobno, jesu: veličina makromolekula i neograničena mogućnost strukturnih varijacija. Pod strukturom polimera podrazumijevaju se najčešće dvije razine: struktura pojedinačnih makromolekula ili mikrostruktura i struktura ukupnoga polimera ili nadmolekulna struktura (morfologija). Makromolekule su osnovne strukturne jedinice polimera i tek njihovim međusobnim povezivanjem nastaje polimer. [6]

Struktura ukupnoga polimera ovisit će o:

- vrsti veza između makromolekula (strukturnih jedinica)
- slaganju makromolekula (strukturnih jedinica) [6]

### 3.3. Mehanička svojstva

Kod spominjanja mehaničkih svojstva uglavnom se spominju tri vrste, a to su tvrdoća, čvrstoća i žilavost.

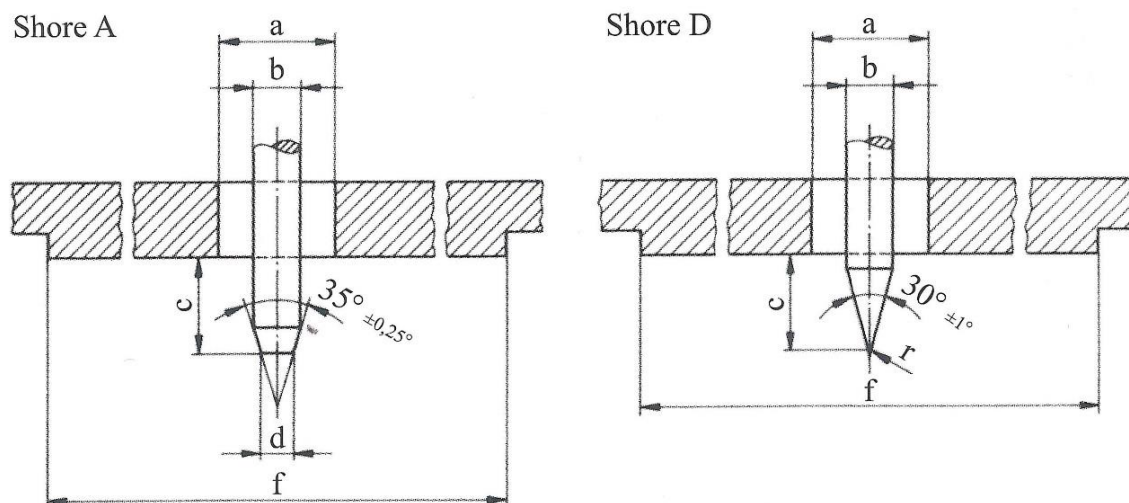
#### 3.3.1. Tvrdoća

Tvrdoća je materijala otpornost materijala na prodiranje u njegovu sredinu. Postupci ispitivanja tvrdoće temelje se na paranju površine ili utiskivanju u površinu, a zajedničko im je da malo oštećuju materijal koji se ispituje te spadaju u ispitivanja bez razaranja. [7]

Tvrdoća polimernih materijala definira se koristeći *Shore* metodu. Tvrdoća se po *Shore* postupku kreće 0 – 100. Područje primjene pri ispitivanju tvrdoće prema *Shore A* postupku je 10 – 90 *Shore A*, dok se za tvrde uzorke primjenjuje ispitivanje prema *Shore D* postupku. Određivanje tvrdoće posebno je značajno svojstvo kod elastomernih materijala. Tvrdoća prema

Shore postupku vrlo je jednostavna metoda ispitivanja te se osim u laboratorijskim uvjetima često koristi i kod ispitivanja kvalitete materijala i pri određivanju svojstava gotovih proizvoda.

[1]



**Slika 3.** Oblik tijela koje se utiskuje i površina pritisnutog dijela

Izvor: Šimunić, Ž. 2006. *Polimeri u graditeljstvu*. [1]

### 3.3.2. Čvrstoća

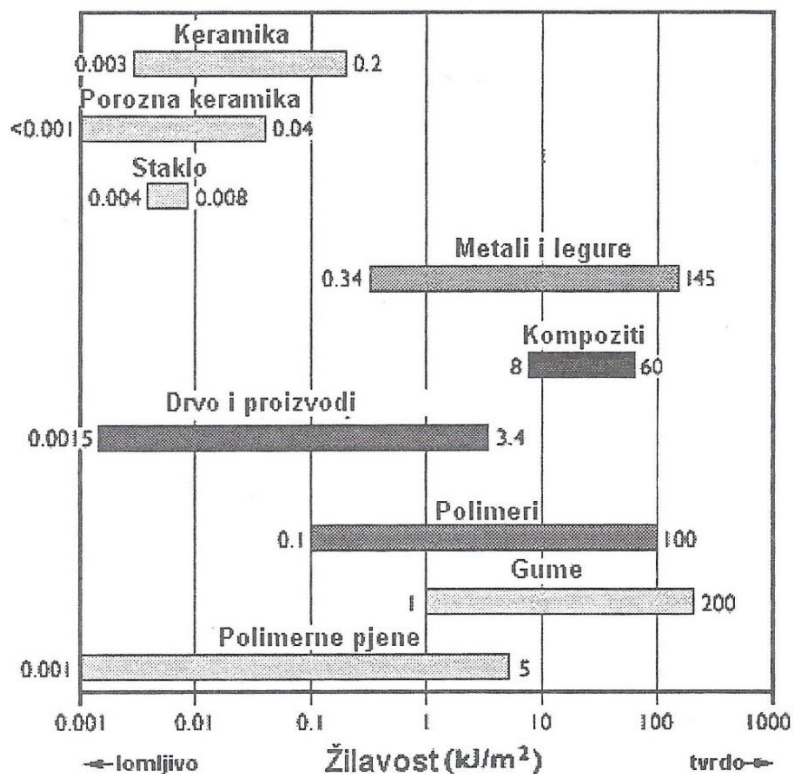
Pod čvrstoćom materijala podrazumijeva se njegova sposobnost odupiranja djelovanju unutarnjih naprezanja koja se javljaju pod utjecajem opterećenja. Čvrstoća se materijala ocjenjuje na temelju najvećega opterećenja pri kojemu nastupa razaranje materijala. Utvrđuje se pokusima ispitivanjem normiranih uzoraka, propisanih dimenzija na propisani način. [7]

Kod analize čvrstoće polimernoga materijala razlikujemo krte i plastične lomove. Krta lom je pojava kod koje dolazi do iznenadnoga loma materijala pri maloj deformaciji. Deformacija linearno raste s povećanjem naprezanja. Produljenje je pri krtom lomu malo, a lom nastaje u blizini maksimalnoga naprezanja. Nasuprot tome plastični je lom okarakteriziran znatnom deformacijom prije loma materijala. Nakon dosezanja maksimalnoga naprezanja uzorak popušta i znatno se produljuje prije nego pukne. Veliko produljenje nastaje zbog restrukturiranja materijala uslijed naprezanja. [1]

### 3.3.3. Žilavost

Žilavost materijala sposobnost je materijala da plastičnom deformacijom razgradi naprezanje i na taj način povisi otpornost materijala na lom. Ispituje se na normiranim ispitnim uzorcima u uvjetima udarnoga opterećenja. Ispitni uzorci mogu biti glatki ili zarezani. [7]



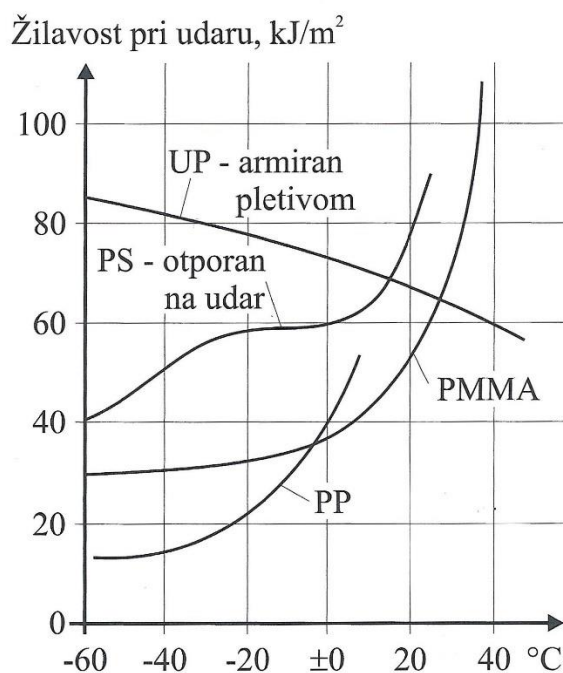


**Slika 4.** Dijagram žilavosti građevnih materijala

Izvor: Mikoč, M. 2006. *Građevni materijali*. [7]

Žilavost ovisi o materijalu te se na *Slici 4.* može vidjeti žilavost nekih vrsta građevinskih materijala.

Za određivanje otpornosti na udar mjerodavna je žilavost koja se može poboljšati određenim tehnološkim zahvatima, odnosno prilagoditi zahtijevanim svojstvima materijala. Tako se prethodnim istezanjem može povećati vlačna čvrstoća nekih termoplastičnih materijala u smjeru istezanja, a biopolimerizacijom s dodatkom elastomera može se poboljšati žilavost. Na *Slici 5.* prikazana je ovisnost žilavosti polimera o promjenama temperature. [1]



**Slika 5.** Žilavost u ovisnosti o temperaturi

Izvor: Šimunić, Ž. 2006. *Polimeri u graditeljstvu*. [1]

U pravilu se s povećanjem temperature povećava i žilavost materijala. No to nije slučaj i kod ojačanoga poliestera (UP) kod kojega s povećanjem temperature dolazi do pada žilavosti. [1]

### 3.4. Ostala svojstva

Pod ostalim svojstvima materijala smatraju se gustoća, električna svojstva, toplinska svojstva, starenje, ponašanje pri požaru, permeabilnost i toksičnost. Svako svojstvo materijala je važno i vrlo je bitno proučiti sva svojstva za traženi materijal.

#### 3.4.1. Gustoća

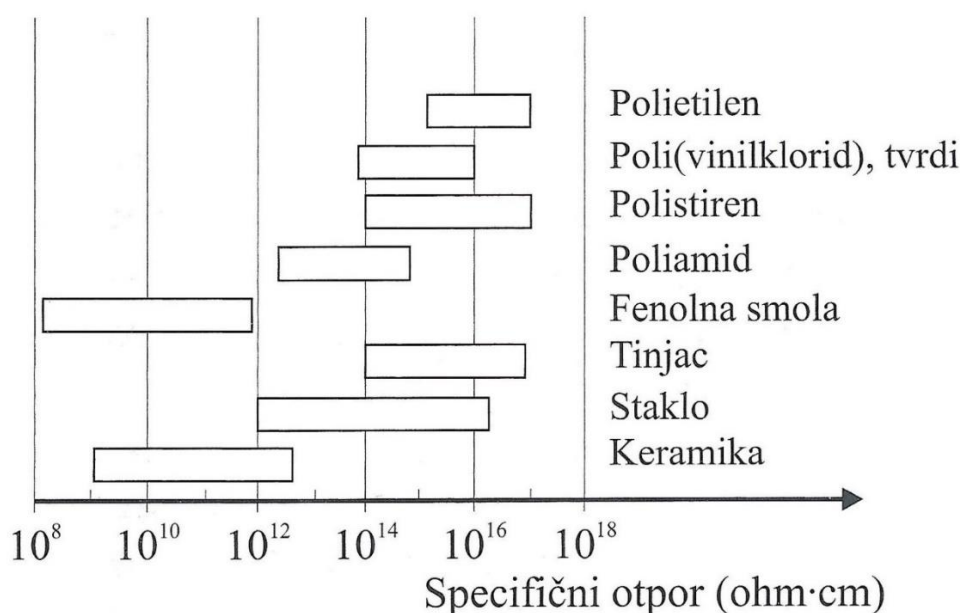
Gustoća polimernih materijala bez dodataka drugih komponenti ili materijala relativno je mala ( $900 - 1000 \text{ kg/m}^3$ ) zbog toga što strukture makromolekule sadrže lakše elemente nego molekule nekih drugih klasičnih materijala, npr. čelika, betona i sl. S obzirom na to da su polimeri zapravo bez pora, njihova je gustoća gotovo jednaka volumnoj masi. Korištenjem punila i materijala za ojačavanje gustoća se može povećati do  $2000 \text{ kg/m}^3$  pa čak i više. [1]

Postoji mogućnost povećanja čvrstoće polimera korištenjem raznih ojačala da bi bila jednaka čvrstoći čelika. Iako se čvrstoća polimera povećava, gustoća im ostaje još relativno niska. Takva niska gustoća daje mnogo mogućnosti kod oblikovanja konstrukcija u odnosu na neke ljudima poznatije i klasične materijale. Upravo zbog manje gustoće polimerni materijali u graditeljstvu

koriste se za dobivanje lakših nosivih i nenosivih konstrukcija te se njima mogu svladati veći rasponi konstrukcija.

### 3.4.2. Električna svojstva

Poznato je da su polimeri poznati kao dobri izolatori. Koriste se prvenstveno zbog svojih dielektričnih svojstava. Unatoč tome, trenjem površina polimernih materijala postoji mogućnost pojavljivanja elektrostatskoga naboja te on u kombinaciji s određenim plinovima, koji se nalaze u neposrednoj blizini, može prouzročiti zapaljenje ili eksploziju. Što je specifični otpor veći, kao na *Slici 6.*, bolja su izolacijska svojstva materijala.

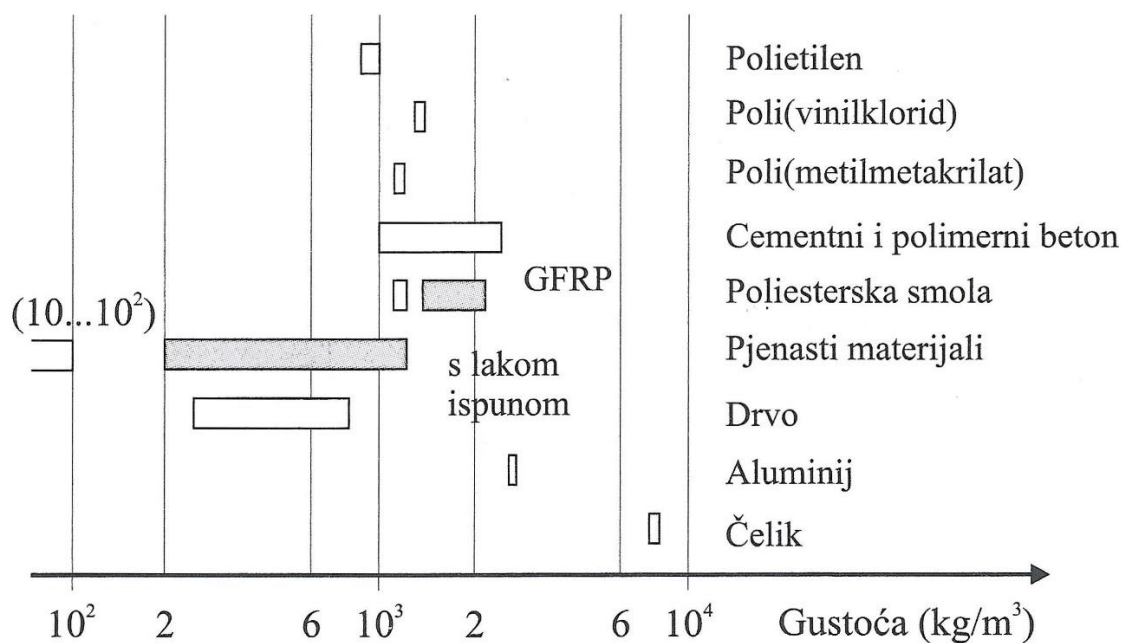


**Slika 6.** Specifični električni otpor nekih polimera i drugih materijala

Izvor: Šimunić, Ž. 2006. *Polimeri u graditeljstvu*. [1]

### 3.4.3. Toplinska svojstva

Toplinski koeficijent deformacije ( $\alpha$ ) polimernih materijala bez dodataka 5 – 20 puta je veći od onoga za čelik i beton. Poznato je da između betona i čelika nema većih razlika u toplinskome koeficijentu deformacije te se uslijed djelovanja promjene temperature ne javljaju drugačija dodatna naprezanja što u pravilu nije slučaj s kombinacijom polimernih i klasičnih materijala. Poznato je da su polimerni materijali u pravilu dobri toplinski izolatori što se iskazuje pomoću toplinske vodljivosti. Iz *Slike 7.* vidljivo je da se polimerni materijali bez ojačala ponašaju slično kao i drvo. [1]



**Slika 7.** Gustoća nekih polimera i klasičnih materijala

Izvor: Šimunić, Ž. 2006. *Polimeri u graditeljstvu*. [1]

Toplinska vodljivost nije znatno ovisna o temperaturi u uporabnome području. [1]

#### 3.4.4. Starenje

Pod pojmom starenja smatraju se sve promjene materijala kroz neki period. Te promjene mogu biti kemijske ili fizikalne. U građevinskom sektoru pod pojmom starenja smatraju se sve promjene koje se kreću prema lošijim svojstvima čvrstoće ili elastičnosti. Također razlike u boji, prozirnosti ili sjaju smatraju se starenjem materijala.

**Tablica 2.** Uzroci koji utječu na starenje materijala

<i>UNUTARNJI UZROCI STARENJA</i>	<i>VANJSKI UZROCI STARENJA</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nepotpuni procesi polimeriziranja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sunčeva svjetlost</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nazličite morfologije koja ovisi vrsti preradbe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• vlaga</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• pojave zaostalih naprezanja nastalih za vrijeme preradbe pri hlađenju</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• promjena temperature</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nisko molekularni dodatci kao što su sredstva za zaštitu od požara, omekšavala i razni inhibitori protiv starenja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• prisutnost radioaktivnog zračenja</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• razna kemijska sredstva</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mehanička opterećenja</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• biološka djelovanja</li> </ul>

Izvor: Šimunić, Ž. 2006. *Polimeri u graditeljstvu*. [1]

### 3.4.5. Ponašanje kod požara

Većina umjetnih organskih polimera sagorijeva na način koji se znatno razlikuje od prirodnih polimera poput drveta i pamuka. Čak i između umjetnih polimera postoje razlike u reakciji na požar. Osnovne su razlike da neki polimeri gore laganije, neki brže i bolje, jedni kod sagorijevanja prouzrokuju više dima, a drugi manje, neki se tope i pretvaraju u tekućinu, dok ostali kod viših temperatura samo pougljene.

Ponašanje polimera pri požaru vrlo je kompleksno. Za ocjenu sigurnosti građevine važne su ove veličine: gorivost, sposobnost za širenje plamena, doprinos u razvoju topline, doprinos u stvaranju dima i razvoj otrovnih gorivih plinova. Zahtjevi s obzirom na gorivost, zapaljivost i trajnost otpornosti na djelovanje požara u visokogradnji ovise o: važnosti elementa (nosivi ili nenosivi), visini zgrade (broj etaža) i položaju elementa (vanjski ili unutarnji dijelovi). Također negorivi materijali nužni su za sljedeće dijelove građevinskih konstrukcija: nosive elemente i elemente koji služe za ukrućivanje konstrukcija, krovne i fasadne elemente, kanale za provjetravanje te obloge i ugrađene elemente u prostorijama važnim za komunikaciju kao što su hodnici i stubišni prostori. [1]

**Tablica 3.** Stupnjevi gorivosti nekih polimernih materijala

<i>POLIMER</i>	<i>GIO</i>	<i>POLIMER</i>	<i>GIO</i>
Poli(oksimetilen)	15	Aromatski poliamidi	28
Poli(metil-metakrilat)	17	Poli(fenilen-oksidi)	29
Poletilen	18	Polisulfoni	30
Polipropilen	18	Fenol-formaldehidni polimeri	35
Polistiren	18,5	Poli(klorbutadien)	40
Poliamid	23	Poli(vinil-klorid)	45
Vuna	25	Poli(viniliden-klorid)	60
Polikarbonati	27	Poli(terafluoretilen)	90

GIO < 21 – jako zapaljiv

GIO 21-35 – mala zapaljivost

GIO > 35 – nema izgaranja na zraku

Izvor: Filetin, T.; Franz, M.; Španiček, Đ.; Ivušić, V. 2012. *Svojstva i karakteristike materijala*. [24]

### 3.4.6. Permeabilnost

Polimerni materijali kod velike većine slučaja primjenjuju se kao premazi, parne barijere, brtvila i toplinski izolatori, pa je njihova propustljivost za plinove i tekućine od ključne važnosti. U velikoj većini polimerni materijali sprječavaju slobodan prolaz plinovima i tekućinama. [8]

Difuzija kroz polimerne materijale moguća je samo kod nekih plinova između lanaca makromolekula. U tome slučaju mogu proklizati male molekule plinova kao što su O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, i H<sub>2</sub>O. U *Tablici 4.* prikazana je difuzija vodene pare različitih polimernih folija, premaza i slojeva. Kod pjenastih polimernih materijala koji služe kao toplinska izolacija mogu se npr. uslijed vlage pore ispuniti vodom. Na taj način pjenasti materijal gubi izolacijska svojstva. [1]

**Tablica 4.** Difuzija vodene pare različitih polimernih folija, premaza i slojeva

<i>Osnovni materijal</i>		<i>H<sub>2</sub>O – difuzijska otpornost (<math>\mu</math>)</i>	<i>Debljina sloja (mm)</i>	<i>Provodljivost (W/mK)</i>
BITUMENSKE TRAKE	Bitumen	15...100*10 <sup>3</sup>	5	75...500
	PEC	50*10 <sup>3</sup>	1,2	60
	PVC	8...20*10 <sup>3</sup>	1,2	10...24
	CSM	50...60*10 <sup>3</sup>	1,2	60...72
	PIB	26*10 <sup>3</sup>	1,2	312
	ECB	50...60*10 <sup>3</sup>	1,2	60...72
	CR	30*10 <sup>3</sup>	1,2	36
	EPDM	60...140*10 <sup>3</sup>	1,2	72...168
	IIR	160...400*10 <sup>3</sup>	1,2	192...480
PREMAZI	Boja s dodatkom ljepila	220	5	0,11
	Silikatna boja	500	5	0,25
	Vezna boja	5200	5	2,6
	PUR lak	13*10 <sup>3</sup>	5	6,5
	Uljna boja	24*10 <sup>3</sup>	5	12
	Kloroprenski kaučuk	10*10 <sup>3</sup>	5	50
PLOČE	GFRP-UP	50*10 <sup>3</sup>	3	150
	GFRP-EP	200*10 <sup>3</sup>	3	600
MORTOVI	Vapneni mort	15...35	20	0,3...0,7
	Smolom modificirana, električna žbuka	100...200	20	2...4
	Polimeri – zaštitna žbuka	30...50	5	0,15...0,25

Izvor: Šimunić, Ž. 2006. *Polimeri u graditeljstvu*. [1]

### 3.4.7. Toksičnost

Brojni monomeri, kemikalije i aditivi korišteni u proizvodnji polimernih materijala mogu imati štetan utjecaj na ljudsko zdravlje i okoliš. Na primjer tijekom proizvodnje polimera nepotpuno očvršćivanje ili polimerizacija materijala s isparavanjem može negativno utjecati na zdravlje radnika. Iako postoje potpuno sigurni monomeri, neki materijali mogu izazvati iritacije kože, alergije i sadrže vrlo toksične sastojke. Takvi toksični materijali sve više nestaju s tržišta zbog strožih ekoloških propisa koje nameću Europa i ostale svjetske organizacije. [8]

## 3.5. Utjecaji na svojstva

Utjecaji na svojstva vrlo su važne stavke i bitno ih je dobro poznavati jer mogu dovesti do loših promjena.

### 3.5.1. Vlaga

Povišeni udio vlage u strukturi polimernih materijala u pravilu uzrokuje sniženje temperature staklastoga prijelaza, a time ujedno i pogoršanje njegovih mehaničkih svojstava. Neki su poznati predstavnici polimera koji su skloni upijanju vlage materijali iz skupine poliamida. U *Tablici 9.* prikazana je ovisnost modula elastičnosti i temperature o masenom udjelu vlage u poliamidu. Podatci su dobiveni uz brzinu deformiranja od 50 mm/min te temperaturu okoline 23 °C. [9]

**Tablica 5.** Ovisnost vrijednosti modula elastičnosti i temperature o masenom udjelu vlage

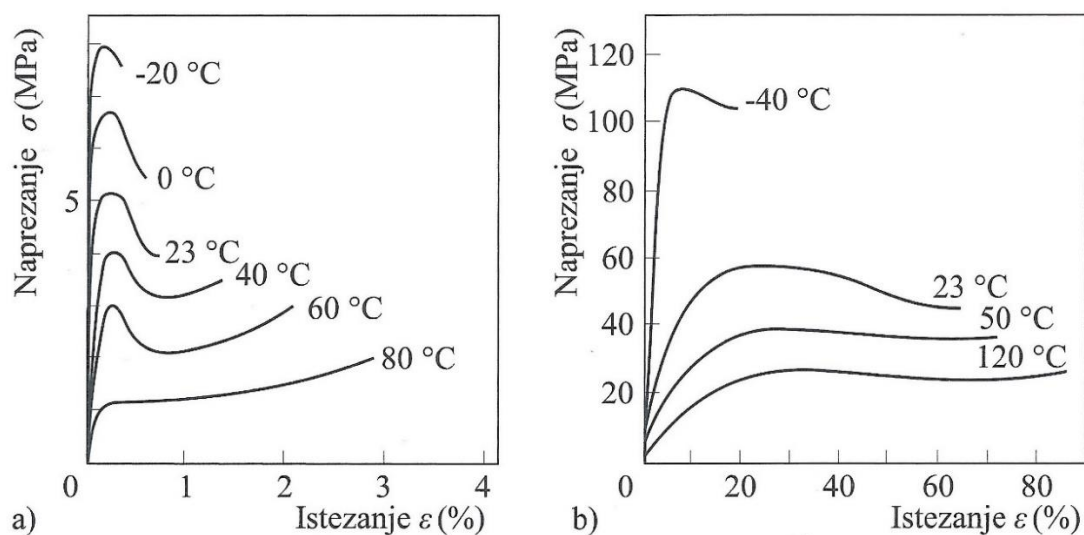
<i>Maseni udio vlage u materijalu poliamida</i>	0,1 %	0,6 %	8 %
<i>Modul elastičnosti E [N/mm<sup>2</sup>]</i>	3350	2150	740
<i>Temperatura [°C]</i>	60	20	-5

Izvor: Križan, B., Basan, R. 2009. *Polimerni konstrukcijski elementi.* [9]



### 3.5.2. Temperatura

Mehanička svojstva polimernih materijala u velikoj mjeri ovise o temperaturi zbog velikoga utjecaja temperature na pokretljivost molekula. Isti polimerni uzorak može se ponašati kao krt, rastezljiv ili elastomernan materijal ovisno o temperaturi određivanja, a ponajviše kad se izvodi pri temperaturi iznad ili ispod staklišta. S porastom temperature uzorka smanjuju se modul elastičnosti, granica razvlačenja i rastezna čvrstoća. Približavanjem temperaturi staklišta modul elastičnosti naglo se i značajno smanjuje kod amorfni polimera, a znatno se manje smanjuje kod kristalnih polimera. Ta svojstva gotovo su neovisna o temperaturi kod umreženih gumenih materijala. Utjecaj temperature na mehanička svojstva polimernih materijala ujedno određuje temperaturno područje njihove uporabe (Slika 8.). [1]



**Slika 8.** Utjecaj temperature na oblik krivulje ovisnosti naprezanja i istežanja PVC-a (a) i PA66 (b)

Izvor: Šimunić, Ž. 2006. *Polimeri u graditeljstvu*. [1]

### 3.5.3. Trenje

Trenje bez podmazivanja (suho trenje) je trenje kod kojega najveći utjecaj imaju materijal članova tarnoga para, površinska hrapavost, dodirni pritisak, temperatura te brzina i put klizanja. Kod kombinacije materijala polimer/metala najpovoljniji uvjeti klizanja postižu se ako metalni član ima tvrdoću veću od 50 HRC-a. Zbog toga je najčešći metalni član kaljeni čelik. Hrapavost elementa od polimernih materijala od sporedne je važnosti jer se ona vrlo brzo nakon početnoga uhodavanja prilagođava hrapavosti čeličnoga člana. Treba imati na umu da s

povećanjem hrapavosti ujedno raste i trošenje. Taj porast najizraženiji je kod materijala PTFE i PE-HD. [10]

S druge strane trenje s podmazivanjem (uljima ili mastima) znatno smanjuje razlike u ponašanju tarnih parova polimer/polimer ili polimer/metal. Neovisno radi li se o hidrodinamičkome ili samo o mješovitome podmazivanju, trenje uglavnom postaje ovisno o sredstvu za podmazivanje, a prestaje biti ovisno o materijalu članova tarnoga para. Prilikom odabira sredstva za podmazivanje potrebno je obratiti pozornost na otpornost polimernih materijala prema tvarima koje se u mazivu mogu naći – npr. kiseline ili lužine. [10]

Na visinu faktora trenja i trošenje materijala nezanemarivo utječu još i dodirni pritisak, temperatura kliznih površina te brzina i put klizanja. Ti su utjecaji suviše različiti, i između skupina polimera i između pojedinih materijala unutar tih skupina. Iz tog razloga teško je dati općeniti opis njihova djelovanja. [1]

#### **4. NAČIN PROIZVODNJE I UPOTREBE POLIMERA**

Način proizvodnje i primjene polimera ima značajnu ulogu u građevinskome sektoru. Dobrim odabirom stvaramo raznolike mogućnosti za održivije i inovativnije građevinske projekte. Proces proizvodnje polimera obuhvaća kompleksne tehnike koje omogućavaju kreiranje materijala s različitim svojstvima koja su prilagođena posebnim zahtjevima građevinskih aplikacija. Ekstruzija, injekcijsko prešanje te termoformiranje jedni su od poznatijih načina oblikovanja proizvoda. Naravno, te vrste oblikovanja koriste se i u građevinskome sektoru. Takvim načinima oblikovanja polimerni materijali pretvaraju se u razne elemente. Neki su od tih građevinskih elemenata cijevi, razni premazi, paneli, folije i ostali proizvodi. Korištenje polimera u građevinskome sektoru osobito je vrijedno zbog mogućnosti prilagođavanja posebnim zahtjevima projekata. Dobar primjer gdje se koriste polimerni su premazi. Oni se koriste kako bi se razne betonske podloge kao što su temelji zaštitili od vode, abrazije i kemikalija. Takvim načinom zaštite produžuje se trajnost konstrukcije i smanjuju se potrebni radovi održavanja. Polimerni materijali sve više se koriste kod izgradnje ekološki održivih zgrada. Svojim sposobnostima polimeri su u mogućnosti smanjiti potrošnju resursa i energije. Termoplastične izolacijske ploče, polimer-betonski kompoziti i reciklirani polimeri daju mogućnost dizajniranja energetski učinkovitijih i ekološki prihvatljivijih građevina. Kod takvih građevina ekološki otisak se minimalizira. Iako polimeri imaju brojne prednosti, svakim danom potrebno je istraživati alternativna rješenja i stvarati novije održivije polimere kojima bi se negativni utjecaj građevinske industrije na okoliš smanjio

na nulu. Cjelokupno gledano polimeri imaju važnu ulogu u građevinskom sektoru omogućavajući inovativna rješenja, održivost i funkcionalnost u raznim građevinskim projektima. Istraživanjem, razvojem i primjenom novih tehnologija, polimerni materijali ostat će ključni čimbenik u stvaranju sigurnijih, učinkovitijih i ekološki prihvatljivijih građevina i infrastrukture koje odgovaraju potrebama modernoga društva.

Konstrukcija i izgradnja jest važna, ali jednako važna su i izolacijska svojstva. Izolacijska svojstva glavni su čimbenici kod energetske učinkovitosti zgrada. Svojim postavljanjem na zgradu znatno smanjuju potrošnju energije za grijanje zimi i hlađenje ljeti. S tim ne samo da se štedi novac nego se i smanjuje emisija stakleničkih plinova te se pokušava oduprijeti borbi s klimatskim promjenama. Mogućnost stvaranja s polimernim materijalima s jednostavnošću oblikovanja daje ljudima kreativnu slobodu kod stvaranja atraktivnih građevina. Najbolje vidljivi primjer takvoga stvaranja jest u suvremenim urbano-urbanskim projektima gdje se materijali koriste za izgradnju građevina, a one nakon toga postaju simbolom grada. Građevinski sektor unaprjeđuje se upravo istraživanjem i razvojem novih polimernih materijala i tehnologija. Nove standarde u sigurnosti, estetici i trajnosti građevina postižu se takvim ulaganjima. Poželjno je da se ulaže u materijale s poboljšanim svojstvima kao što su veća čvrstoća, otpornost na vatru ili poboljšane održivosti. Unatoč mnogobrojnim prednostima koje imaju polimeri, važno je razmotriti i izazove koje oni predstavljaju građevinskom sektoru. Postavlja se pitanje kolika je mogućnost izdržljivosti materijala ili mogućnost recikliranja i utjecaja na okoliš te potreba za pravilnim upravljanjem otpadom polimernih materijala kako bi se smanjio negativni utjecaj na okoliš. Sve u svemu, polimeri su postali nezaobilazan komad materijala za korištenje u građevinskom sektoru. Sve to zahvaljujući svojoj raznolikosti, prilagodljivosti i širokoj primjeni. Inovativnim pristupima u proizvodnji, primjeni i istraživanju polimerni materijali će i dalje biti ključan faktor za napredovanje građevinske industrije i stvaranje održivih i upotrebljivih građevina koje se slažu s potrebama modernoga društva.

#### **4.1. Način proizvodnje**

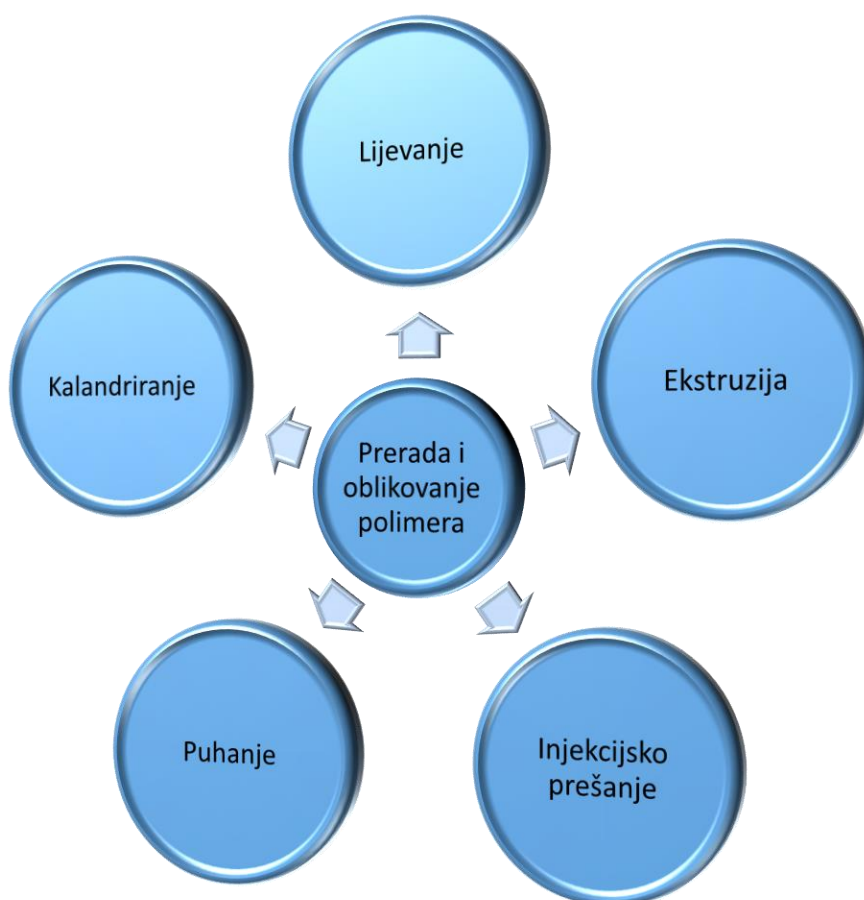
Način proizvodnje ovisi o vrsti proizvoda koji želimo proizvesti. Naravno, nije svaka vrsta proizvodnje pogodna za sve proizvode i materijale od kojih se proizvodi.

#### 4.1.1. Polimerizacija

Kemijska reakcija u kojoj se velik broj monomera povezuje kovalentnim vezama u polimere jest polimerizacija. Reakcija se može provesti u masi, otopini, emulziji, suspenziji, plinskoj fazi, a prema reakcijskom mehanizmu i kinetici može biti stupnjevita i lančana. [11]

#### 4.1.2. Prerada i oblikovanje polimera

Postoji mnogo vrsta prerade i oblikovanja polimera. Pomoću *Slike 9.* nabrojeno je nekoliko vrsta prerade i oblikovanja polimera, a u daljnjemu su tekstu i objašnjeni.



**Slika 9.** Nekoliko vrsta prerade i oblikovanja polimera

Izvor: Vlastita izrada

Lijevanje je metoda poznata od davnina. Nekad se u proizvodnji lijevalo samo željezo, a danas se koristi u velikoj većini materijala. Lijevanje je jednostavna metoda oblikovanja koja se provodi tako da se materijal zagrije u nekoj posudi te se ulijeva u kalupe kako bi nakon hlađenja materijal poprimio željeni oblik.

Ekstruzija je najčešća vrsta prerade polimera. S tom je metodom moguće raditi sa svim vrstama polimera.

Osnovni stroj u preradbi ekstrudiranjem je ekstruder. Najviše se koristi jednopužni ekstruder, ali se rabe i ekstruderi s više pužnih vijaka. Osnovni su elementi ekstrudera s pužnim vijkom: lijevak, cilindar, pužni vijak i glava. U ekstruder se mogu stavljati kapljeviti polimerni materijali dobiveni omekšavanjem ili otapanjem i najčešće tzv. plastificirani polimerni materijali koji u obliku granula praha (plastomeri, duromeri) ili traka (elastomeri) ulaze u ekstruder. Pritom ih rotirajući pužni vijak potiskuje prema glavi ekstrudera te oni zatim alatima poprimaju željeni oblik. [1]

Jedan je od prikladnijih, ako ne i najprikladnijih, načina prerade polimera u serijskoj izvedbi. Uz pravilnu automatizaciju procesa i kvalitetno ljudstvo za rukovođenje stroja velikoserijska proizvodnja kompleksnih proizvoda nije nikakva prepreka.

Najprije se smjesa predgrijava u jedinici za pripremu taljevine i ubrizgavanje. Zatim se ubrizgava u temperiranu kalupnu šupljinu gdje se pod djelovanjem tlaka i topline umrežava u željeni oblik. [1]

Puhanje je postupak prerade polimera koji je namijenjen izradi šupljih tijela. Šuplja tijela mogu biti otvorenoga ili zatvorenoga oblika. Otvoreni su oblici proizvodi kao što su vaze, flaše i slično, a primjer zatvorenoga oblika je lopta. U graditeljstvu su najčešći primjeri proizvoda koji su načinjeni od puhanja polimerni spremnici.

Kalandriranje je složen i u pravilu relativno skup kontinuirani postupak koji se primjenjuje za proizvodnju raznih ploča, traka, folija i sl. Pritom se omekšani polimer propušta između parova valjaka čiji se razmak može podešavati. Najčešće se koristi kod elastomernih materijala, ali se kalandriraju i neki plastomerni materijali. [1]

#### **4.1.3. Trodimenzionalno tiskanje**

Zasniva se na tehnologiji tintnih pisača, no umjesto tinte izbacuje se vezivo ili ljepilo. Po sloju postavljenoga praha glavom pisača raspršuje se kapljevito vezivo u obliku zadana presjeka koje uzrokuje prijanjanje slojeva. Radna se podloga spušta za debljinu idućega sloja i dopušta novomu sloju praha da se nataloži. [12]

Nakon završetka postupka oblikovanja trodimenzionalnoga postupka potrebno je ostaviti gotov proizvod da se ohladi u komori s prahom.

## 4.2. Upotreba polimera

Upotreba polimera proteže se širokim područjem. U graditeljstvu udio polimera kao materijala iznosi više od 25 % ukupnoga građevinskog materijala. Neke od poznatijih i važnijih primjera upotrebe materijala prikazane su u sljedećoj tablici (*Tablici 6.*). [7]

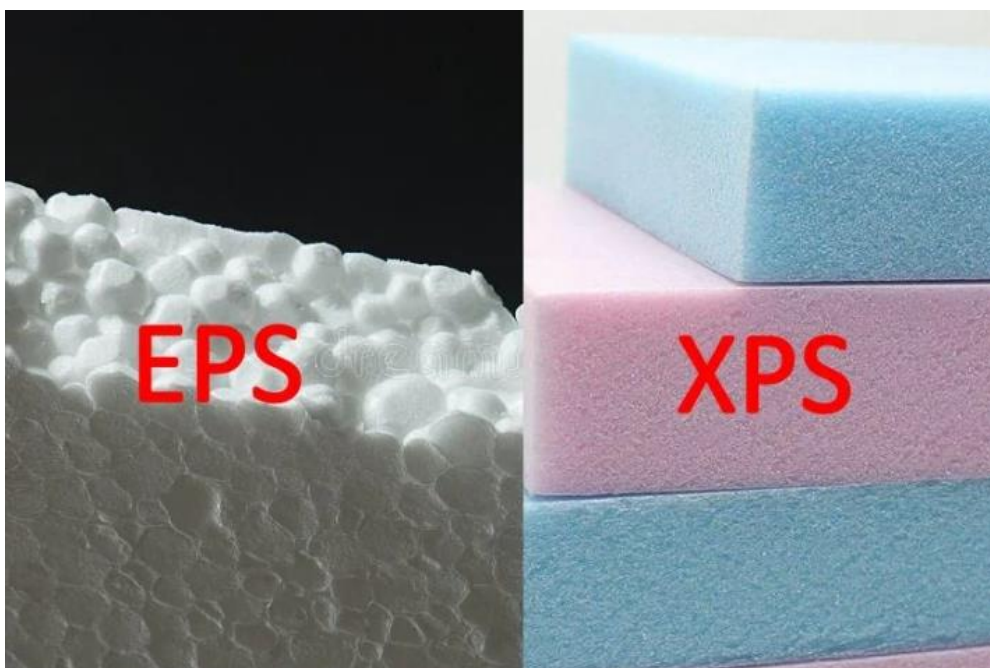
**Tablica 6.** Primjene polimera u graditeljstvu

	<i>Naziv materijala</i>	<i>Primjena u graditeljstvu</i>
ELASTOMERI	PVC-polivinil-klorid meki	folije, podne obloge, izolacije
	PUR-poliuretani	zaštitni premazi, toplinska i zvučna izolacija
	Silikoni	kitovi, zaštitni premazi, mase za brtvljenje
DUROMERI	UP-nezasićena poliesterska smola	polimer-mortovi, polimer-betoni
	EP-epoksidne smole	armirane cijevi, ljepila, boje, kitovi
	PF-fenol-formaldehidne smole	armirane cijevi, ljepila, pjenasti izolacijski elementi
PLASTOMERI	PVC-polivinil-klorid tvrdi	cijevi, fasadne ploče, oplata
	PE-polietilen tvrdi	cijevi, posude
	PE-polietilen meki	folije, izolacije
	PP-polipropilen	cijevi, posude, vlakna
	EPS-ekspandirani polistiren	toplinska, zvučna izolacija

Izvor: Mikoč, M. 2006. *Građevni materijali*. [7]

#### 4.2.1. Izolacijski materijali

Kod spominjanja izolacijskih materijala na temu polimera uvijek prvo na što se pomisli jest toplinska izolacija građevine. Izolacijski polimerni materijali koji se koriste kod toplinske izolacije zidova jesu EPS i XPS (*Slika 10.*). Također se mogu koristiti i kod izolacije podova ili krovova.



**Slika 10.** Izgled EPS i XPS

Izvor: *Reddit.* [19]

Pjena od ekspaniranoga polistirena (EPS) jest izolacija zatvorenih ćelija koja se proizvodi „ekspaniranjem” polistirenskoga polimera; izgled je tipično izolacijski materijal od bijele pjene. Ekstrudirana polistirenska (XPS) pjena jest kruta izolacija koja se također stvara pomoću polistirenskoga polimera, ali proizvodi se postupkom ekstruzije, a često se proizvodi s izrazitom bojom kako bi se identificirala marka proizvoda. [13]

#### 4.2.2. Betoni i mortovi

Polimerni betoni i mortovi također imaju tri osnovna sastojka, a to su voda, agregat i vezivo. U želji da se dobije proizvod boljih svojstava, betonima i mortovima umjesto određenih sastojaka počeli su se dodavati polimerni materijali. Time se postiže veća čvrstoća i ostali željeni rezultati proizvoda.

Portland cementni beton modificiran polimerima jest PC beton (standardni cementni beton) u koji se tijekom miješanja umjesto dijelova vode dodaje u vodi topljivi polimer ili njegova emulzija. Beton impregniran polimerima jest portland cementni beton koji je impregniran

monomerom koji zatim polimerizira. Zadatak monomera jest ući u povezane pore u betonu iz kojih je prethodno uklonjen najveći dio slobodne vode. Nakon toga nastupa polimerizacija do koje dolazi uslijed termičke obradbe impregniranoga betona ili dodavanja katalizatora. Polimerni je beton kompozitni materijal u kojemu je agregat povezan u gustoj matrici polimernoga veziva. Najčešće su korištena polimerna veziva poliesterska smola (UP), epoksidna smola (EP), poliuretanska smola (PUR), metilmetakrilatna smola (PMMA) i polistiren (PS). [1]

Kada se umjesto cementa kao vezivo koristi polimerna smola uz dodatak pijeska i vode, dobiva se polimerni mort. Vezivo može biti i disperzija ili otopina polimerne smole. [1]

#### 4.2.3. Vodonepropusni sustavi

Hidroizolacijske trake također su napravljene od polimernih materijala. Njihova je glavna funkcija da štiti konstrukciju od prodiranja vode i povećava trajnost same konstrukcije.

#### 4.2.4. Cijevi i vodovodni sustavi

Nekadašnje betonske kanalizacijske cijevi danas su zamijenile jednostavne polimerne cijevi (*Slika 11.*). Prednosti takve smjene generacija materijala jest duži vijek trajanja, veća fleksibilnost samih cijevi, lakše rukovanje kod spajanja zbog puno manje težine i mogućnost izvedbe sustava u velikoj dužini. Na isti način stare željezne vodovodne cijevi danas su zamijenile polimerne (*Slika 12.*). Manje su težine i lakše su za baratanje u manjim prostorima jer mogućnost rezanja i varenja postoji unutar nekoliko sekundi.



**Slika 11.** Polimerne kanalizacijske cijevi



Izvor: *Pipelife.hr* [20]



**Slika 12.** Polimerne vodovodne cijevi

Izvor: *Webgradnja.hr* [21]

#### **4.2.5. Građevinski kompoziti**

Građevinski kompoziti manje su poznati polimerni materijali. Pružajući veliku čvrstoću i otpornost na koroziju poznati su kao staklo-plastika i ostali kompozitni materijali.

Staklo-plastika je složeni materijal (kompozit) od staklenih niti međusobno povezanih sintetskom smolom. Zbog dobrih mehaničkih svojstava (čvrstoće i elastičnosti) i otpornosti na kemijske utjecaje uvelike se primjenjuje kao zamjena za druge materijale (drvo, staklo, metal) u mnogim proizvodnim granama. [14]

Staklo-plastika koristi se kod izrade krovnih ploča, panela, prozorskih okvira i vrata dok se kompozitni materijali na bazi polimera najviše koriste kod armature betona. Pojavljuju se kao polimeri ojačani vlaknima i kao armatura povećavaju čvrstoću i otpornost na koroziju te smanjuju težinu konstrukcije.

#### **4.2.6. Površinski premazi i podovi**

Razlikujemo više vrsta polimernih premaza, ali najrašireniji su definitivno epoksidni premazi. Kod polimernih podova postoje vinil podovi koji postaju sve popularniji u općoj upotrebi.

Epoksid premaz samonivelirajući je premaz koji se sastoji od termo postojanoga polimera koji prolazi proces otvrdnjavanja kada se kombinira s katalizatorom. Materijal od kojega je taj

proizvod sastavljen daje mu veliku kemijsku i mehaničku otpornost te prekrasan sjaj i veliku trajnost. [15]

Sa sigurnošću se može reći kako veliki postotak mladih zna za tu vrstu materijala. Epoksidni je materijal sve popularniji materijal unazad nekoliko godina u svijetu dizajna i dekoracije. Najveću popularnost postigao je zahvaljujući društvenim mrežama na kojima se prikazuje kako se od njega rade podovi, namještaj i razne skulpture. Prednost je toga materijala što nema prekid i lako se održava, zato se sve više primjenjuje u bolnicama i prehrambenoj industriji gdje je higijena najvažnija. Također kratko vrijeme izvođenja radova i brzo sušenje materijala veliki su plusevi kod toga polimernoga materijala.

Vinil je vrsta poda koja je izrađena od sintetičkih materijala poput staklo-plastike, PVC vinila i plastifikatora. Posebno je izdržljiv jer je izrađen od više slojeva i ima gustu jezgru da se stekne osjećaj ugodnosti kod hodanja. [16]

Povećanje kvalitete vinil podova unazad nekoliko godina potaknulo je ponovno njegovu popularnost ugrađivanja u obiteljska kućanstva. Veća debljina samih podova i potpuna otpornost na vlagu daje mogućnost postavljanja u razne prostorije kućanstva. Gornjom, vidljivom površinom, tj. izgledom se ne razlikuju od pločica ili laminata te postoji velika mogućnost biranja.

#### **4.2.7. Adhezivi i brtvila**

Standardna silikonska brtvila mogu bez problema podnijeti temperaturne promjene između  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Vodonepropusnost silikonskoga brtvila mnogo je bolja nego vodonepropusnost proizvoda u ostalim skupinama proizvoda. Zbog tih svojstava silikonska brtvila mogu se naširoko koristiti u građevinarstvu. Primjeri su primjene u ostakljivanju, izradi fasade, sanitarnim čvorovima, u industriji rashladnih vitrina, ali i u slučaju kada je nužna vatrootpornost ili otpornost na toplinu kod brtvljenja spojeva. Kao rezultat toga ispravno primijenjeno silikonsko brtvilo može se smatrati najizdržljivijim trajnim brtvilom za mnoge spojeve. [17]

Poliuretansko ljepilo vrsta je ljepila srednje i visoke kvalitete koje ima odličnu fleksibilnost, otpornost na udarce, kemijsku otpornost, otpornost na habanje, a najvažnija je njegova otpornost na niske temperature. Prilagođavanjem sirovine i formule možemo dizajnirati različita poliuretanska ljepila koja su pogodna za spajanje različitih materijala i različite namjene. [18]

## 5. UTJECAJ NA OKOLIŠ

Svojom su raznolikošću, prilagodljivošću i mogućnosti primjene polimeri postali nezamjenjivi dio u građevinskome sektoru, ali imaju karakteran utjecaj na okoliš. Danas su najveći izazovi kako nakon proizvodnje i korištenja zbrinuti polimerne materijale u građevinskoj industriji, a da zadovoljimo zahtjeve o očuvanju i održivosti okoliša. Postupci kojim se vrši proizvodnja polimera vežu na sebe kompleksne tehnike koje svojim načinom rada mogu stvoriti veliku količinu otpada i emisije štetnih plinova. Neke vrste proizvodnje polimera zahtijevaju način koji nije ekološki, a uključuje upotrebu raznih kemikalija i fosilnih goriva u procesu proizvodnje. Takva proizvodnja može dovesti do raznih zagađenja vode, zraka, emisija stakleničkih plinova, a možda i do trovanja ljudi. Isto tako upotrebljavanje polimera kao građevinskoga materijala u građevinske projekte može dugi niz godina biti vrlo štetno za okoliš. Najbolji su primjeri velika većina polimernih premaza i izolacijskih materijala koji u sebi imaju različite tvari koje mogu isparavati tijekom određenoga vremenskog razdoblja te se na taj način zagađuje unutarnji zrak u samim građevinama. Osim toga, postoje polimeri koji se teže recikliraju ili teže razgrađuju u okolišu što dovodi do nepotrebne akumulacije otpada i do onečišćenja te zatrovanosti vode i tla.

Iako važnost polimernih materijala igra bitnu ulogu u građevinskome sektoru zbog svoje praktičnosti i raznolikosti, ključna stvar je prepoznati njihov utjecaj na okoliš i pokušavati pronaći više održivih rješenja za njihovu upotrebu. U koraku s novim materijalima, tehnologijom i praktičnim upravljanjem otpada građevinski sektor može i mora smanjiti zagađenje okoliša i pridonijeti očuvanju okoliša za budućnost i buduće generacije. Time se počela ozbiljnije shvaćati potreba za održivijim praksama u građevinskome sektoru, ali i šire. Mnoge vladine i nevladine neovisne organizacije postavljaju sve veće i strože standarde za upotrebu polimernih materijala. Takvi standardi moraju imati neku dokaznicu kvalitete, a takve dokaznice zovemo certifikati. Certifikati o održivosti i ocjene ekološkoga utjecaja zahtijevaju se kod odabira materijala za građevinske projekte i sve su stroži zakoni s kojima su povezani. Te mjere potiču proizvođače da razvijaju nove materijale kako bi kupcima osigurali proizvod sa što manjim negativnim utjecajem na okoliš.

### 5.1. Biopolimeri

S godinama ljudska savjest o očuvanju prirode potaknula je ljude da nešto pokrenu o tom pitanju. Pozitivan pomak vidi se već tijekom procesa proizvodnje jer se sve više počinju proizvoditi održiviji polimerni materijali. Intenzivno istraživanje doprinijelo je do razvoja

biopolimera. Ta vrsta polimera potpuno je ili djelomično proizvedena od obnovljivih izvora kao što su ulja škroba ili celuloze. Biopolimeri svojim karakteristikama mogu ponuditi zamjenu tradicionalnim polimerima na bazi nafte te time pružiti održiviju i čišću opciju za kompletno graditeljstvo. Primjerice polimeri na bazi lignina, koji je biljni materijal, a nusproizvod je papirne industrije, mogu se koristiti za ekološku proizvodnju prihvatljivih kompozitnih materijala u građevinske svrhe. K tome se usponom tehnologije recikliranja polimernoga otpada ukazuju nove prilike za smanjenje negativnoga utjecaja na okoliš. Noviteti kao što su visokotehnološka postrojenja za sortiranje otpada, kemijskoga ili mehaničkoga recikliranja te evolucija novih polimernih materijala iz prerađenih sirovina predstavljaju vjerovanje za održiviju budućnost. Paralelno usponom tehnologije edukacija ljudi primarna je uloga u podupiranju održivosti u građevinskoj industriji. Potrošači sve više zanemaruju cijenu i kupuju na temelju načina proizvodnje i utjecaja nekoga proizvoda na okoliš. [8]

## **5.2. Utjecaj polimera na ljude**

Najveći su izvor mogućega štetnog djelovanja tvari koje inhalacijom ulaze u čovjekov organizam npr. hlapljive organske kemikalije (e. *volatile organic chemicals*, VOC) u zatvorenim prostorijama te stvaranjem dioksina i ostalih štetnih tvari prilikom gorenja (mogući požari na građevinama). [25]

## 6. ZAKLJUČAK

Potreba za upotrebom polimera raste iz godine u godinu te će i dalje rasti. Kao što je prije spomenuto, polimeri potječu još iz davnina, a čovjek nije ni znao da ih koristi u svakodnevnome životu. Povijest polimera razvučena je godinama, a otkrića novih svakodnevno rastu. Podjelu na prirodne i sintetičke polimere važno je napomenuti. U današnje vrijeme polimere ipak više poznajemo kao sintetičke polimere koji igraju ključnu ulogu u graditeljstvu i drugim industrijama. Prirodni polimeri poput celuloze, kaučuka i proteina dugo su se godina upotrebljavali zbog svojih posebnih svojstava. S druge strane sintetički polimeri razvijeni u posljednjih stotinjak godina promijenili su i unaprijedili način na koji gradimo i koristimo materijale. Polimeri su lagani materijali što olakšava transport i instalaciju, a njihova fleksibilnost omogućava da se lakše njima barata i koristi. Iako većina, kad čuje ime polimera, misli da oni zagađuju okolinu, oni rijetki svojim pametnim postupanjem ustvari pridonose održivosti u graditeljstvu. Dugovječnost polimera smanjuje potrebu za čestom zamjenom i popravkom što dovodi do smanjenja otpada. Mnogi polimeri mogu se reciklirati što dodatno smanjuje negativan utjecaj na okoliš. Razvoj biopolimera i ekološki prihvatljivih polimernih materijala također pridonosi smanjenju ugljičnoga otiska građevinskih projekata. Biopolimeri izrađeni od obnovljivih izvora poput kukuruza i šećerne trske predstavljaju ekološku alternativu tradicionalnim sintetičkim polimerima. Njihova uporaba može značajno smanjiti emisije stakleničkih plinova i doprinijeti održivijemu graditeljstvu. Održivo graditeljstvo cilj je koji se pokušava ostvariti te će se težiti prema njemu. Zaključno, polimeri igraju ključnu ulogu u modernome graditeljstvu omogućujući inovacije i poboljšanja u performansama, održivosti i ekonomičnosti građevinskih projekata. Njihova uporaba će se vjerojatno još više proširiti s napretkom tehnologije i sve većim fokusom na ekološku odgovornost u građevinskoj industriji. Polimeri će nastaviti biti temelj za buduće inovacije i rješenja koja će odgovoriti na izazove modernoga društva.

## LITERATURA

- [1] Šimunić, Ž. 2006. *Polimeri u graditeljstvu*. Zagreb. Građevinski fakultet Zagreb.
- [2] *Konstruktivski materijali, kamen*. <https://arhiva.2021.loomen.carnet.hr/mod/book/tool/print/index.php?id=153005&chapterid=34963> (Datum pristupa: 24. 6. 2024.).
- [3] *Drvo-polimer, WPC*. <https://ibuilders-hr.techinfus.com/doska/chto-takoe-dpk/> (Datum pristupa: 24. 6. 2024.).
- [4] *Staklo*. <https://www.staklarstvo.hr/blog/2021/10/11/staklo-sastav-svojstva-i-dobivanje/> (Datum pristupa: 24. 6. 2024.).
- [5] Filetin, T.; Kovačiček, F.; Indof, J. 2013. *Svojstva i primjena materijala*. Zagreb. Fakultet strojarstva i brodogradnje.
- [6] Ivušić, V.; Franz, M.; Španiček, Đ.; Ćurković, L. 2014.: *Materijali 1*. Zagreb. Fakultet strojarstva i brodogradnje.
- [7] Mikoč, M. 2006.: *Građevni materijali*. Osijek. Sveučilište Josipa Juraja Strossmayera u Osijeku.
- [8] *OpenAI, ChatGPT (GPT-4)*. 2024., <https://www.openai.com/> (Datum pristupa: 20. 5. 2024.).
- [9] Križan, B.; Basan, R. 2009. *Polimerni konstrukcijski elementi*. Rijeka. Tehnički fakultet Sveučilišta u Rijeci.
- [10] Kosor, M. 2020. *Polimeri u građevinarstvu*. Završni rad. Osijek. Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Građevinski i arhitektonski fakultet Osijek.
- [11] *Hrvatska enciklopedija. Polimerizacija*. <https://www.enciklopedija.hr/clanak/polimerizacija> (Datum pristupa: 20. 6. 2024.).
- [12] *Hrvatska enciklopedija. Aditivna proizvodnja*. <https://www.enciklopedija.hr/clanak/aditivna-proizvodnja> (Datum pristupa: 21. 6. 2024.).
- [13] *m-Kvadrat. Izolacija ovojnice objekta*. <https://m-kvadrat.ba/izolacija-ovojnice-objekta-razlika-između-eps-a-i-xps-a/> (Datum pristupa: 25. 6. 2024.).
- [14] *Hrvatska enciklopedija. Stakloplastika*. <https://www.enciklopedija.hr/clanak/stakloplastika> (Datum pristupa: 20. 6. 2024.).
- [15] *Luxury concrete. Podovi od epoksidne smole*. <https://www.luxuryconcrete.eu/hr/pod-zemlja-epoksi-analiziramo-njegove-karakteristike-u-detalje> (Datum pristupa: 24. 6. 2024.).
- [16] *Alpod. Vinil pod*. <https://www.alpod.hr/sto-je-vinilni-pod/> (Datum pristupa: 24. 6. 2024.).
- [17] *Den Braven. Silikonska brtvila*. <https://www.denbraven.com/hr/hr/proizvodi/tehnologije/silikonska-brtvila/> (Datum pristupa: 25. 6. 2024.).
- [18] *Poliuretantska ljepila*. <http://bs.desaiglu.com/news/polyurethane-adhesives-the-future-star-of-adhesives/> (Datum pristupa: 19. 6. 2024.).

- [19] *Reddit*. <https://preview.redd.it/eps-vs-xps-v0-rx2rqylknsb1.jpg?width=800&format=pjpg&auto=webp&s=ebe455ff84e586fc97abc570e59bd3b808464581> (Datum pristupa: 25. 6. 2024.).
- [20] *Pipelife.hr* <https://www.pipelife.hr/niskogradnja/kanalizacija/pragma.html> (Datum pristupa: 23. 6. 2024.).
- [21] *Webgradnja.hr*. <https://webgradnja.hr/katalog/6109/vargoterm-vodovodne-cijevi-i-spojevi-za-unutarnji-razvod-instalacija> (Datum pristupa: 23. 6. 2024.).
- [22] *Rubber latex*. <https://depositphotos.com/photo/rubber-latex-of-rubber-tree-87794922.html> (Datum pristupa: 28. 5. 2024.).
- [23] *iBuilders.hr*. <https://ibuilders-hr.techinfus.com/doska/chto-takoe-dpk/> (Datum pristupa: 28.5.2024.).
- [24] Filetin, T.; Franz, M.; Španiček, Đ.; Ivušić V. 2012. *Svojstva i karakteristike materijala*. Zagreb. Fakultet strojarstva i brodogradnje.
- [25] Jambrak, T. 2009. *Utjecaj polimera na zdravlje čovjeka*. Završni rad. Zagreb. Fakultet strojarstva i brodogradnje.

**POPIS ILUSTRACIJA**

<b>Slika 1.</b> Drvo koje plače (cau-uchu) .....	4
<b>Slika 2.</b> Drvo-polimerni kompozit (WPC).....	6
<b>Slika 3.</b> Oblik tijela koje se utiskuje i površina pritisnutog dijela .....	12
<b>Slika 4.</b> Dijagram žilavosti građevnih materijala.....	13
<b>Slika 5.</b> Žilavost u ovisnosti o temperaturi .....	14
<b>Slika 6.</b> Specifični električni otpor nekih polimera i drugih materijala.....	15
<b>Slika 7.</b> Gustoća nekih polimera i klasičnih materijala .....	16
<b>Slika 8.</b> Utjecaj temperature na oblik krivulje ovisnosti naprezanja i istezanja PVC-a (a) i PA66 (b) .....	21
<b>Slika 9.</b> Nekoliko vrsta prerade i oblikovanja polimera .....	24
<b>Slika 10.</b> Izgled EPS i XPS .....	27
<b>Slika 11.</b> Polimerne kanalizacijske cijevi .....	28
<b>Slika 12.</b> Polimerne vodovodne cijevi .....	29



**POPIS TABLICA**

<b>Tablica 1.</b> Istaknuta obilježja temeljnih skupina polimernih materijala .....	9
<b>Tablica 2.</b> Uzroci koji utječu na starenje materijala .....	17
<b>Tablica 3.</b> Stupnjevi gorivosti nekih polimernih materijala .....	18
<b>Tablica 4.</b> Difuzija vodene pare različitih polimernih folija, premaza i slojeva .....	19
<b>Tablica 5.</b> Ovisnost vrijednosti modula elastičnosti i temperature o masenom udjelu vlage .	20
<b>Tablica 6.</b> Primjene polimera u graditeljstvu .....	26