

# Primjena polimernih materijala u proizvodnji sportske opreme

---

Črep, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:665999>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-20**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**PRIMJENA POLIMERNIH MATERIJALA U PROIZVODNJI  
SPORTSKE OPREME**

Rijeka, srpanj 2023.

Josip Črep

0069083512

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**PRIMJENA POLIMERNIH MATERIJALA U PROIZVODNJI  
SPORTSKE OPREME**

Mentorica: Izv. prof. dr. sc. Sunčana Smokvina Hanza.

Rijeka, srpanj 2023.

Josip Črep

0069083512

Rijeka, 13. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za materijale**  
Predmet: **Materijali I**  
Grana: **2.11.03 proizvodno strojarstvo**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

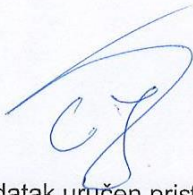
Pristupnik: **Josip Črep (0069083512)**  
Studij: Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Zadatak: **Primjena polimernih materijala u proizvodnji sportske opreme / Application of Polymer Materials in the Production of Sports Equipment**

### Opis zadatka:

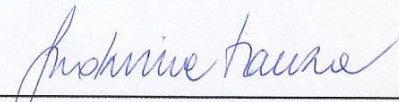
Definirati polimerne materijale, prikazati njihovu strukturu i svojstva. Prikazati povijesni razvoj materijala u proizvodnji sportske opreme, sa naglaskom na prednosti i nedostatke materijala. Analizirati zahtjeve koje polimeri moraju ispunjavati za određenu primjenu. Prikazati trendove razvoja polimernih materijala i njihovu primjenu u proizvodnji sportske opreme. Dati odgovarajuće zaključke.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.




Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:

  
Izv. prof. dr. sc. Sunčana Smokvina Hanza

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

  
Izv. prof. dr. sc. Samir Žic

## IZJAVA

Izjavljujem da sam završni rad pod nazivom „Primjena polimernih materijala u proizvodnji sportske opreme“ izradio samostalno u skladu s „Pravilnikom o završnom radu, završnom ispitu i završetku preddiplomskih sveučilišnih studija“ te sukladno „Uputama za izradu i samoarhiviranje završnog/diplomskog rada“ Tehničkog fakulteta u Rijeci služeći se stečenim znanjem tijekom studija i navedenom literaturom te uz vodstvo mentorice izv. prof. dr. sc. Sunčane Smokvina Hanza

## ZAHVALA

Ovim putem se zahvaljujem svojoj mentorici izv. prof. dr. sc. Sunčani Smokvina Hanza na strpljenju, stručnim savjetima te uloženom vremenu pri izradi završnog rada. Također se zahvaljujem Maji Cmrečnjak na lektorskoj podršci i savjetima. Isto tako se zahvaljujem svojim prijateljima s fakulteta i svojoj djevojci Petri na pomoći i moralnoj podršci tijekom studija. Za kraj, najveću zahvalu upućujem svojim roditeljima Tatjani i Antoniju koji su mi bili najveća podrška tijekom studiranja uz stalnu moralnu i financijsku pomoć i bez kojih sve što sam dosad postigao ne bi bilo moguće.

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. POLIMERNI MATERIJALI</b> .....	<b>2</b>
2.1. Definicija polimera .....	2
2.2. Struktura polimera .....	4
2.3. Plastomeri .....	5
2.4. Duromeri.....	8
2.5. Elastomeri .....	11
<b>3. MATERIJALI U PROIZVODNJI SPORTSKE OPREME TIJEKOM POVIJESTI.</b> <b>13</b>	
3.1. Materijali sportske opreme u prošlosti .....	13
3.2. Polimerni materijali u povijesti sportske opreme .....	15
3.3. Proizvodnja polimernih materijala kod sportske opreme u moderno doba .....	16
3.3.1. Injekcijsko prešanje.....	16
3.3.2. Termooblikovanje .....	18
3.3.3. 3D printanje.....	19
3.3.4. Vakuumsko oblikovanje.....	22
<b>4. POLIMERNI MATERIJALI U SPORTOVIMA</b> .....	<b>24</b>
4.1. Zahtjevi koje polimeri moraju zadovoljavati.....	24
4.2. Zaštitne kacige u sportu .....	25
4.2.2. Svojstva i proizvodnja polikarbonata (PC) .....	26
4.2.3. Svojstva i proizvodnja akrilnitril/butadien/stirena (ABS).....	26
4.2.4. Svojstva i proizvodnja poliolefinskih materijala.....	27
4.2.5. Polimerne pjene unutar kaciga .....	28
4.3. Polimeri kod zimskih sportova .....	29
4.4. Polimeri kod sportova na vodi.....	30
4.5. Polimeri kod atletskih sportova .....	32
4.6. Polimeri kod sportova s loptom i kuglom .....	32
<b>5. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>34</b>

<b>LITERATURA .....</b>	<b>35</b>
<b>POPIS SLIKA.....</b>	<b>40</b>
<b>SAŽETAK: .....</b>	<b>42</b>
<b>ABSTRACT:.....</b>	<b>43</b>



## 1. UVOD

Sportska oprema je neizostavni dio sportskih aktivnosti i igara diljem svijeta. Kako se sportovi razvijaju i postaju sve zahtjevniji, tako se i sportska oprema mora prilagođavati kako bi omogućila sportašima optimalne performanse i zaštitu tijekom njihovih aktivnosti. U tom kontekstu polimerni materijali igraju ključnu ulogu u proizvodnji sportske opreme, pružajući inovativna rješenja i napredne karakteristike koje zadovoljavaju sve veće zahtjeve sportaša.

Polimerni materijali su tvari nastale međusobnim povezivanjem malih molekula u makromolekule. U odnosu na druge konstrukcijske materijale prednosti su im mala gustoća, dobra kemijska postojanost, dobra otpornost na trošenje, dobro prigušivanje vibracija, dobra toplinska i elektroizolacijska svojstva, mali faktor trenja, mogućnost oblikovanja pri povišenim temperaturama i ekonomična izrada dijelova. U kombinaciji s drugim materijalima ili samostalno, polimeri imaju izuzetno široku primjenu u proizvodnji sportske opreme.

Ovaj završni rad ima za cilj opisati polimere, njihovu strukturu i svojstva, prikazati povijesni razvoj materijala pri proizvodnji sportske opreme, s naglaskom na njihove karakteristike i prednosti u odnosu na tradicionalne materijale. U radu se analiziraju različiti zahtjevi koje je potrebno zadovoljiti za primjenu polimera u različitim vrstama sportske opreme, uključujući odjeću, obuću, zaštitnu opremu, sportske rekvizite i slično.

Završni rad još obuhvaća i primjenu modernih tehnologija u proizvodnji sportske opreme s polimernim materijalima, kao što su 3D printanje, prešanje i drugi inovativni postupci. Takve tehnologije omogućuju izrade sportske opreme s visokom preciznošću, prilagođenu potrebama sportaša.

Na kraju rada prikazana je upotreba polimera u specifičnim sportovima. Analiziran je doprinos polimernih materijala kod unapređenja sportske opreme i zašto su prikladni za određene sportove poput nogometa, plivanja, skijanja, baseballa i drugih.

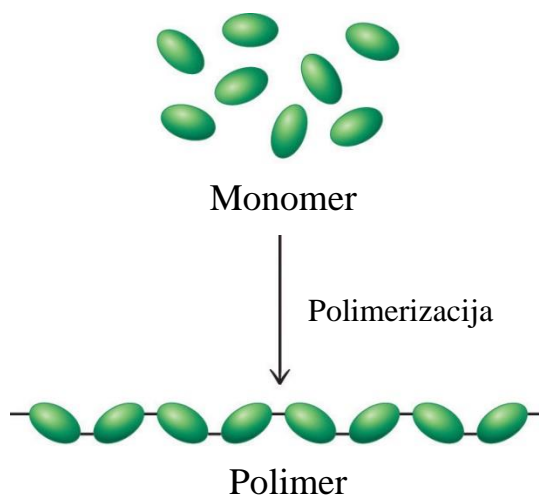
## 2. POLIMERNI MATERIJALI

### 2.1. Definicija polimera

Polimer je tvar građena od velikih molekula, takozvanih makromolekula koje su sastavljene od mnogo malih molekulskih jedinki imenom monomeri. Riječ polimer dolazi od spajanja grčkih riječi za mnogo (grč. poly) i dio (grč. meros).

U odnosu na druge konstrukcijske materijale polimeri imaju prednost niske gustoće, otpornost na trošenje i nizak koeficijent trenja, dobra toplinska i električna izolacijska svojstva, sposobnost prigušivanja vibracija, otpornost na kemikalije, jednostavno oblikovanje deformacijom pri povišenim temperaturama i samim time i ekonomičnost pri izradi dijelova. S druge strane, svojstva im ovise o raznim čimbenicima, imaju nizak modul elastičnosti, nisku tvrdoću, osjetljivost na starenje, slabu toplinsku provodljivost te nisu ekonomično isplativi kod malih količina [1].

Polimeri nastaju kemijskim procesom povezivanja monomera kovalentnim vezama u mrežu ili lanac. Takav kemijski proces naziva se polimerizacija, koja je prikazana pojednostavljeno na slici 2.1. Struktura i svojstva polimera mogu značajno varirati s obzirom na to kakva vrsta monomera se koristi i kakvo je uređenje polimernog lanca [2].

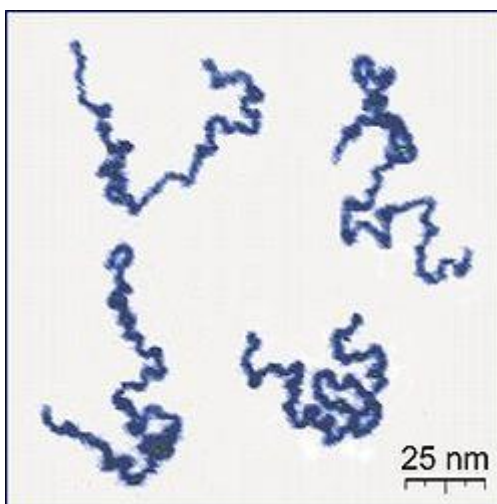


*Slika 2.1. Pojednostavljen primjer polimerizacije [3]*

Proces polimerizacije može se podijeliti na dva glavna tipa: adicijska polimerizacija i polikondenzacija [1].

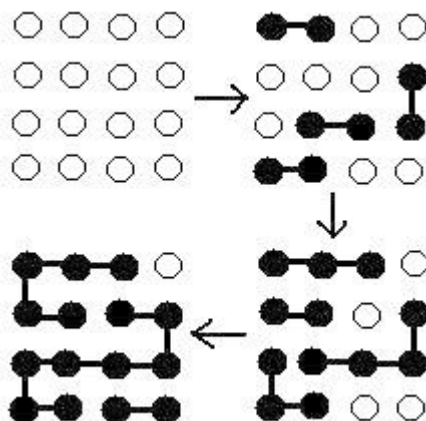
Adicijska polimerizacija predstavlja lančani način odvijanja polimerizacije. Kod ove polimerizacije reakcija se odvija uzastopnom adicijom monomera što rezultira lančanim oblikom polimera. Takvi lanci prikazani su na slici 2.2. Ovakvom polimerizacijom mogu se dobiti polietilen, polipropen i polivinil klorid (PVC) koji su jedni od najčešće proizvedenih sintetskih polimera

[2, 4].



Slika 2.2. Primjer polimernih lanaca nastalih adicijskom polimerizacijom [3]

Polikondenzacija predstavlja stupnjevit način polimerizacije koja se događa reakcijom dvije vrste monomera koje sadrže dvije funkcionalne skupine ili reakcijom jedne vrste monomera koja sadrži dvije različite funkcionalne skupine koje omogućuju kemijsku reakciju. Slika 2.3. prikazuje generički prikaz stupnjevite polimerizacije, na kojem bijele točke predstavljaju monomere, a crne polimere. Također osim polimera nastaju i niskomolekularni spojevi u obliku vode, alkohola i dr. Ovakvom polimerizacijom mogu se dobiti poliesteri, poliamidi (najlon), poliuretani i slično [2, 4].



Slika 2.3. Primjer stupnjevite polimerizacije [4]

S obzirom na porijeklo polimeri se dijele na prirodne, polusintetske i sintetske [1].

Prirodni polimeri prisutni su u prirodi i dobivaju se iz biljaka, životinja ili drugih prirodnih izvora. Primjeri prirodnih polimera uključuju celulozu (iz drva ili biljaka), prirodni lateks (iz kaučukovog drveta) i proteine poput svile i vune.

Polusintetski polimeri nastaju kombiniranjem prirodnih polimera s kemijskim reakcijama i modifikacijama. Primjerice, celuloza se može kemijski modificirati kako bi se dobili polusintetski polimeri poput acetatne svile ili celulozida.

Organski i anorganski sintetski polimeri su umjetno proizvedeni polimeri koji se dobivaju iz petrokemijskih sirovina poput nafte ili prirodnog plina procesom polimerizacije.

## **2.2. Struktura polimera**

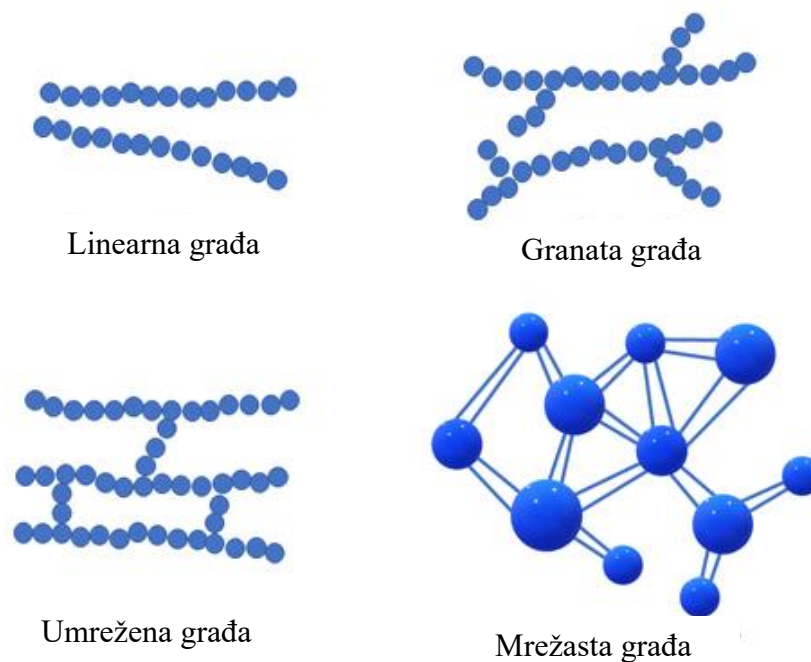
Struktura polimera odnosi se na raspored vezanja monomernih jedinica unutar polimernog lanca. Fizikalna i kemijska svojstva različitih polimera u velikom dijelu ovise o strukturi polimera. Prema strukturi polimeri se dijele na sljedeće četiri vrste, linearni polimeri, granati polimeri, umreženi polimeri i mrežasti polimeri. Sve strukture zajedno su prikazane na slici 2.4.

Kod linearnih polimera, monomeri su povezani u linearni lanac bez ikakvih grana ili sporednih lanaca. To rezultira dugom, ravnom i fleksibilnom strukturom. Linearni polimeri dalje se dijele na dva podtipa. Homopolimeri nastaju kada se jedna vrsta monomera polimerizira što daje lanac koji se sastoji od identičnih ponavljajućih jedinica. Kopolimeri nastaju kada se dvije ili više različitih vrsta monomera polimeriziraju, rezultirajući lancem s nasumično raspoređenim jedinicama monomera.

Kod granatih polimera makromolekule glavnog lanca imaju sporedne, bočne lance. Granati polimeri imaju manju gustoću i različita svojstva u usporedbi s linearnim polimerima.

Kod umreženih polimera, lanci su povezani kovalentnim vezama. Uz kovalentne veze postoje i sekundarne, poprečno povezane veze između lanaca. Poprečno povezivanje rezultira čvrstim, krutim i tvrdim materijalom s visokom čvrstoćom i termičkom stabilnošću. Umreženi polimeri formiraju se tijekom sinteze ili kemijskim reakcijama na povišenim temperaturama.

Mrežasti polimeri imaju prostorno umreženu strukturu. Mreže nastaju tijekom polimerizacije ili se uvode kemijskim modifikacijama [1, 2].



*Slika 2.4. Podjela polimera s obzirom na građu makromolekula [5]*

Ovisno o ponašanju polimernih materijala na povišenoj temperaturi, polimeri se dijele na plastomere (termoplasti), duromere te elastomere [1].

### **2.3. Plastomeri**

Plastomeri su polimerni materijali koji su sastavljeni od linearnih ili granatih makromolekula međusobno povezani slabim van der Waalsovima silama. Bitna karakteristika plastomera je njihova sposobnost jednostavnog oblikovanja u gotove proizvode. Naime, plastomeri postaju vrlo viskozna tekućina porastom temperature, što omogućuje njihovo oblikovanje. Kada se ohlade na sobnu temperaturu, zadržavaju svoj oblik i ponovnim zagrijavanjem mogu se ponovno oblikovati u nove proizvode. Svojstva plastomera ovise o stupnju kristalichnosti. Povećanjem kristalichnosti, gustoća i tvrdoća plastomera također rastu, dok rastezljivost i otpornost na toplinu opadaju. Pri temperaturama ispod temperature staklišta, plastomeri postaju krhki. Povećanjem temperature vlačna čvrstoća i modul elastičnosti plastomera padaju, dok udarna žilavost raste. Ostala svojstva plastomera uključuju kemijsku otpornost te električnu izolaciju. Također se mogu otopiti u različitim otapalima stvarajući ljepilo koje, nakon što otapalo ishlapi, lijepi stvari zajedno [1].

Neki od najčešćih plastomera danas su polivinilklorid, polietilen i polipropen.

Polivinilklorid (PVC) ima veliku čvrstoću i visoku elastičnost. Također je dobar električni izolator. Često mu se dodaju aditivi kako bi mu se promijenila svojstva, na primjer kako bi mu se snizila krhkost i čvrstoća. Koristi se za proizvodnju cijevi, prozora, vrata, cijevnih spojnica i drugih građevinskih materijala. Na slici 2.6. redom su prikazani proizvodi od PVC-a, gramofonska ploča, PVC cijevi i PVC prozori [6].



*Slika 2.5. PVC proizvodi [7, 8, 9]*

Polietilen tereftalat (PET) je najčešće proizvedeni plastomer. To je polimer dobiven od monomera etilen glikola i tereftalne kiseline. PET ima široku primjenu zbog svojih izvrsnih svojstva kao što su visoka čvrstoća, transparentnost, žilavost, otpornost na kemikalije, transparentnost na mikrovalove itd. Koristi se za proizvodnju boca za piće, u tekstilnoj industriji za sportsku i radnu odjeću, kod pakiranja hrane i pića, u medicinskoj industriji za implantate, u strojarstvu pri proizvodnji mehaničkih dijelova i sl. Na slici 2.7. prikazane su boce za piće izrađene od PET-a [10].



*Slika 2.6. Proizvodi od PET-a [11]*

Polipropen (PP) je sintetski polimer koji se dobiva od monomera propilena. Veće je čvrstoće, ali slabije elastičnosti, može se izložiti visokoj temperaturi i postojan je na vlagu i kemikalije. Ima široku primjenu u industriji gdje se koristi za ambalažu (vrećice, folije), dijelove automobila (branici, krovni nosači, brave), medicinske proizvode (šprice, cjevčice, kateteri, spremnici za lijekove), u tekstilnoj, elektroničkoj i dr. Na slici 2.8. prikazani su proizvodi od PP-a, to su redom stolica, čepovi za boce, kutije, unutarnji dio automobilskih vrata, kante, spremnici i cijevi [12].



*Slika 2.7. Proizvodi od polipropilena [13]*

Polistiren (PS) je lagan, čvrst i jeftin polimer. U prirodnom je obliku transparentan, no najčešće je obojen. Najviše se koristi kod pakiranja i skladištenja krhkih i lomljivih stvari i u građevinarstvu kao izolacija za zidove, krovove i podove zbog odličnih toplinskih izolacijskih svojstva, otpornosti na vlagu i male mase. Na slici 2.9. redom su prikazani proizvodi od PS-a, to su kuglice polistirena, spremnici od polistirena i ploče stiropora [14].



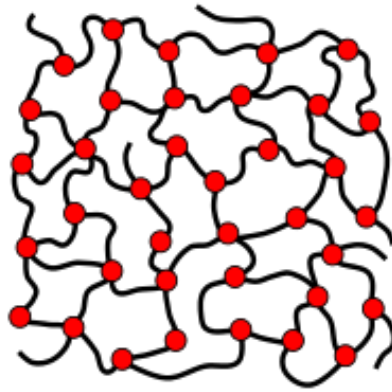


*Slika 2.8. Proizvodi od polistirena [15, 16, 17]*

## **2.4. Duromeri**

Duromeri su mrežasti polimerni materijali s prostorno umreženim granatim makromolekulama koje su povezane u sve tri dimenzije. Kovalentne veze se formiraju na velikom broju mjesta. Slika 2.10. prikazuje strukturu duromera u kojoj crvene točke predstavljaju poprečne veze. Zbog mrežaste strukture makromolekula, duromeri imaju veću tvrdoću, čvrstoću, krhkost i dimenzionalnu stabilnost u odnosu na plastomere. Posebnost duromera u kontekstu ponašanja pri povišenim temperaturama je ta da ih nije moguće otopiti i plastično oblikovati kao plastomere. Naime kod povećanja temperature, duromeri se počinju umrežavati i polako dolazi do termodegradacije (kidanje kovalentnih veza između makromolekula). Zbog toga se duromeri moraju oblikovati iz neumreženih polimera kojima se dodaju niskomolekularni spojevi. Duromeri su dobri konstrukcijski materijali jer imaju dobra mehanička svojstva, visoku temperaturnu stabilnost, dimenzionalnu stabilnost, kemijsku postojanost, te dobra toplinska i električna izolacijska svojstva. Najveće mane duromera javljaju se kod vrlo visokih temperatura jer im se svojstva pogoršavaju te se mogu zapaliti. Također nije ih moguće reciklirati kao plastomere [1, 18].





*Slika 2.9. Prikaz strukture duromera [18]*

Neki od najčešćih duromera su poliester, poliuretan, epoksidne smole itd.

Poliester se najčešće koristi kao matrica kompozita ojačanih staklenim vlaknima kako bi se dobila tzv. Stakloplastika (eng. fiberglass) koja se koristi u proizvodnji brodova, automobila, elektronike, te u sportskoj industriji pretežno kod proizvodnje skija, *snowboardi*, vesla, jedriličarskih brodova i sl. Slika 2.11. prikazuje redom pletena staklena vlakna, skije i čamce što je sve načinjeno od stakloplastike [1, 19].



*Slika 2.10. Proizvodi od stakloplastike [20, 21, 22]*

Poliuretan (PUR) je primjer kopolimera koji je odgovoran za približno 6% ukupne svjetske proizvodnje polimera. Imaju širok spektar svojstva, uključujući otpornost na habanje, dobru otpornost na kemikalije, elastičnost, no najviše se koriste u obliku pjene zbog odličnih izolacijskih svojstva i mekoće. Najčešće se može vidjeti u kućanstvu u obliku kuhinjske spužve za čišćenje koja je proizvedena od poliuretanske pjene. Koristi se i kod proizvodnje namještaja, na primjer jastuka i madraca zbog svoje mekoće, isto tako kod obuće i u automobilskoj industriji za sjedala i presvlake te dijelove zračnih jastuka [23]. Zanimljivost poliuretana je u tome što bijela pjena može reagirati na UV svjetlost pri čemu polako gubi boju iz bijele u žutu pa zatim u crveno-smeđu. Na slici 2.12. redom su prikazani poliuretanski proizvodi - madrac od poliuretanske pjene, kuhinjska spužva i poliuretanska pjena koja je počela mijenjati boju zbog utjecaja svjetlosti [24].



*Slika 2.11. Proizvodi od poliuretana [25, 26]*

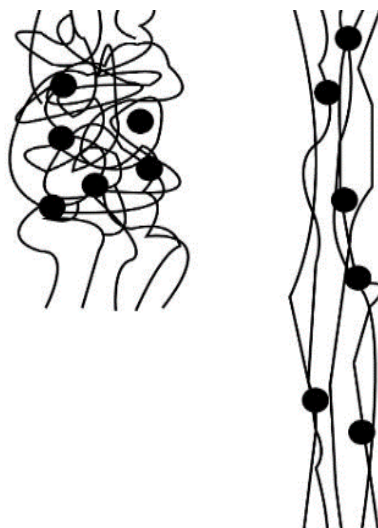
Epoksidne smole (EP) se koriste, zbog svojih istaknutih ljepljivih svojstva, za lijepljenje dijelova i oblaganje površina. Nastale obloge su vrlo žilave i otporne na kemikalije [1]. Zastupljene su u svim mogućim industrijama, najčešće u građevinarstvu, elektrotehnici, zrakoplovstvu i svemirskoj industriji te mnogim drugima. Na slici 2.13. prikazan je stol popunjen epoksidnom smolom obojanom u plavu boju [27].



*Slika 2.12. Stol punjen epoksidnom smolom [28]*

## 2.5. Elastomeri

Elastomeri su posebna vrsta polimernih materijala koji imaju amorfnu građu i nisku temperaturu prijelaza iz staklastog u gumasto stanje. To znači da su pri sobnoj temperaturi izuzetno rastezljivi i mogu se produljiti više puta u odnosu na svoju početnu duljinu. Bitna karakteristika elastomera je da se odmah nakon prestanka istežanja vraćaju u svoj prvobitni oblik bez trajnog oštećenja. Slično kao kod duromera, makromolekule elastomera su povezane kovalentnim vezama, ali ta veza je prisutna na manjem broju mjesta, što rezultira svojstvima specifičnim elastomerima. Pod utjecajem vanjskih sila, nesređeni i sklupčani lanci makromolekula se ispravljaju, a pri rasterećenju se odmah vraćaju u svoje izvorno nesređeno stanje što se može vidjeti na slici 2.14. Ovakva elastičnost se događa kod šireg temperaturnog raspona u usporedbi s drugim materijalima [1, 29].



*Slika 2.13. Shematski prikaz istežanja gume [29]*

Svojstva prirodnog kaučuka se prilagođavaju potrebama pomoću vulkanizacije. Vulkanizacija gume je kemijski postupak umrežavanja prirodnog kaučuka dodavanjem sumpora. Kada sumpor reagira s lancima makromolekula na mjestima dvostrukih kovalentnih veza, nastaju poprečne veze između lanaca. Nakon što se elastomer poprečno umreži, gubi svoju sposobnost ponovnog oblikovanja. Tvrdoća i elastičnost ovise o količini dodanog sumpora. Meka guma je na primjer slabije vulkanizirana od tvrde gume. U prirodi, kaučuk se nalazi u soku stabla kaučukovca, poznatom kao lateks, koji sadrži 30 do 40 % prirodnog kaučuka [1].



*Slika 2.14. Stablo kaučukovca i cijedenje lateksa [30]*

Elastomeri se koriste za električnu izolaciju, zaštitu od vibracija i udaraca, zaštitu od korozije i abrazije te za površine visokog koeficijenta trenja. Primjena je široka i obuhvaća različite industrije poput automobilske, elektroničke, medicinske i sportske. Elastomeri se koriste za izradu brtvi, gumica, crijeva, medicinskih implantata, medicinskih rukavica, tipkovnica, električne izolacije, elastičnih traka, sportskih lopti, potplata sportske obuće i dr. Na slici 2.16. redom su prikazani neki proizvodi od elastomera, to su automobilske gume, medicinske rukavice, baloni, gumice za brisanje i dječje bočice [31].



*Slika 2.15. Proizvodi od elastomera [32]*



### 3. MATERIJALI U PROIZVODNJI SPORTSKE OPREME TIJEKOM POVIJESTI

#### 3.1. Materijali sportske opreme u prošlosti

Sportska oprema je kroz povijest doživjela mnoge promjene i napretke kako bi zadovoljila potrebe sportaša i poboljšala njihovu izvedbu. Razvoj materijala sportske opreme igrao je pri tom ključnu ulogu. Na primjer, uporaba nogometne lopte dolazi iz drevne Kine, između 225. godine pr. Kr. i 220. godine poslije Kr. Nogomet je danas najpopularniji sport, a tijekom povijesti puno se mijenjao pa se tako i materijal lopte potpuno promijenio tijekom stoljeća, od životinjske kože do obloga s višeslojnim poliesterom. Kako se industrija sportske opreme poboljšava, tako se poboljšavaju i performanse sportaša. Oprema je danas učinkovitija, lakša i čvršća te tvori bio – mehanički sustav sa sportašem. Na slici 3.1. prikazan je razvoj nogometne lopte koja se koristila na svjetskim prvenstvima od 1930. godine pa do 2018. godine [33].



Slika 3.1. Lopte korištene na svjetskim prvenstvima u nogometu kroz povijest [34]

U ranim fazama povijesti, sportska oprema izrađivala se od prirodnih materijala poput drva, kože, pamuka i vune. Na primjer, drvene palice su se koristile za hokej i tenis, koža za izradu lopti i odjeće, a vuna za toplu odjeću za zimske sportove. No ovi materijali imaju očite nedostatke pa ih je svakako trebalo zamjeniti, no tadašnja tehnologija nije mogla pružiti bolju opremu. Primjerice kod drva, česti nedostaci su bili u tome što je drvo podložno lomovima i oštećenjima prilikom izlaganja vlazi i udarcima. Isto tako, drvena oprema može biti teža u odnosu na moderne materijale, što utječe na performansu sportaša. Koža je nekoć bila popularan materijal, međutim, nedostaci korištenja kože uključuju ograničenu trajnost i osjetljivost na vremenske uvjete. Koža može postati tvrda i neudobna pri izlaganju vodi ili vlažnim uvjetima i zahtijeva posebnu njegu kako bi se održala u dobrom stanju. Nedostaci vune uključuju upijanje vlage, što može dovesti do veće mase tijekom sportske aktivnosti izazivajući nelagodu kod sportaša. To su samo neki od primjera nedostatka prvih materijala koji su se koristili za sportsku opremu. Slika 3.2. prikazuje staru sportsku opremu načinjenu od drva i kože, prikazani redom su skije, teniski reketi, lopta iz stare Kine i “kaciga” za ragbi [35].



*Slika 3.2. Sportska oprema u povijesti [33, 36, 37, 38]*

### 3.2. Polimerni materijali u povijesti sportske opreme

Tijekom industrijske revolucije u 18. i 19. stoljeću počeli su se razvijati novi materijali poput gume koji su utjecali i na proizvodnju sportske opreme. Guma je donijela veću elastičnost i izdržljivost, zbog čega je postala popularan materijal za lopte, sportske cipele, umjetne površine, biciklističke gume i dr.

U 20. stoljeću, razvoj sintetskih materijala donio je veliki napredak u proizvodnji sportske opreme. Materijali poput poliestera, najlona, spandexa i drugih polimera postali su sve prisutni. Ti su materijali donijeli poboljšanu izdržljivost, elastičnost, lakoću, otpornost na vlagu što je sve utjecalo na performanse sportaša [34].

Polimeri se koriste u veoma širokom spektru sportova kod odjeće i obuće za koje se koriste materijali poput poliestera, najlona, poliamida i elastomera zbog svoje male mase, prozračnosti i mogućnosti slobode kretanja. Također se koriste i polimerni premazi za poboljšanje vodootpornosti, otpornosti na vjetar ili zaštitu od UV zraka.

Koriste se i za sportske lopte; nogometne, teniske, košarkaške itd. Gumeni materijali, lateks ili plastomeri koriste se za vanjski omotač lopte pružajući elastičnost i čvrstoću.

Polimerni materijali se koriste za izradu sportskih podloga poput tartan traka, umjetne trave, parketa za košarku i drugih površina. Pritom pružaju otpornost na habanje, lako se održavaju i pružaju amortizaciju udaraca čime smanjuju ozljede sportaša.

Polimeri igraju važnu ulogu i kod zaštite sportaša. Zaštitna oprema izrađena od polimera poput štitnika za koljena, laktove, kacige za biciklizam i motosportove, zaštitne rukavice itd. ključna je za zaštitu sportaša i uz to pruža udobnost i fleksibilnost.

Ovo su samo neki primjeri upotrebe polimera u sportu. Polimerni materijali su zbog svoje prilagodljivosti, male mase i izdržljivosti jako popularni i svestrani pa se zbog toga mogu naći u nekom obliku u gotovo svim sportovima danas.

Na slici 3.3. redom je prikazana sportska oprema od polimera: loptice za badminton, kaciga za biciklizam, spandex hlačice, podloga za rukomet, nogometna lopta.





*Slika 3.3. Sportska oprema od polimera [39, 40, 41, 42, 43]*

### **3.3. Proizvodnja polimernih materijala kod sportske opreme u moderno doba**

Danas sportska oprema koristi širok spektar naprednih materijala koji su dizajnirani kako bi se poboljšale performanse sportaša te im se pružila bolja udobnost i zaštita. Moderne metode proizvodnje sportske opreme koriste napredne polimerne materijale i tehnologije. Slijedi nekoliko primjera modernih metoda proizvodnje sportske opreme s polimerima.

#### **3.3.1. Injekcijsko prešanje**

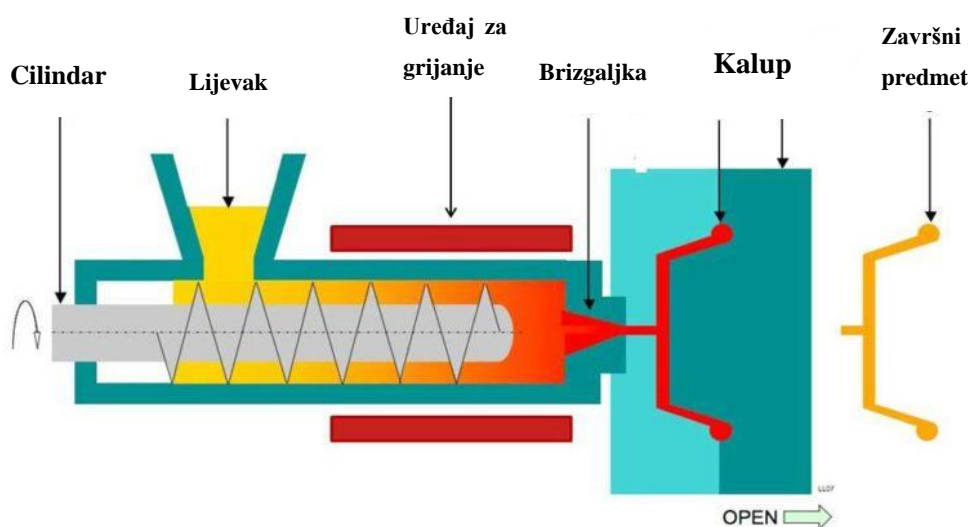
Injekcijsko prešanje je česta metoda proizvodnje sportske opreme poput lopta za nogomet, košarku, tenis, golf i dr. Injekcijskim prešanjem izrađuje se zaštitna oprema poput kaciga i štitnika za zube, oprema za sportove na vodu poput maska za ronjenje, peraja, cijevi za ronjenje i još mnoge druge vrste opreme. Prešanje omogućuje precizno oblikovanje i ponovljivost procesa [44].



Proces injekcijskog prešanja, ujedno prikazan i na slici 3.4., je sljedeći [44].

1. Priprema sirovine: Polimerni materijal, obično u obliku granula ili sitnih čestica, mora biti pripremljen prije ubrizgavanja u kalup. Sirovina se često ugrijava kako bi postala tekuća masa koja je pogodna za ubrizgavanje.
2. Ubrižgavanje sirovine: Ubrižgavanje sirovine provodi se pomoću injekcijske preše. Ubrižgava se topla polimerna masa u obliku tekućine u poseban kalup željenog oblika.
3. Hlađenje i stvrđnjavanje: Nakon ubrizgavanja, kalup se hladi kako bi se masa stvrdnula i zadržala oblik. Brzina hlađenja može biti kontrolirana.
4. Izvlačenje dijela: Kada se dijelovi dovoljno stvrdnu, kalup se otvara i dijelovi se izvlače iz kalupa. Ovisno o složenosti dijela, može biti potrebna dodatna obrada kako bi se postigla željena kvaliteta.

Na slici 3.5. su prikazani štitnik za zube i golf lopticu koji su načinjeni injekcijskim prešanjem.



Slika 3.4. Pojednostaljen prikaz stroja za injekcijsko prešanje [45]



Slika 3.5. Golf loptica i štitnik za zube [46, 47]

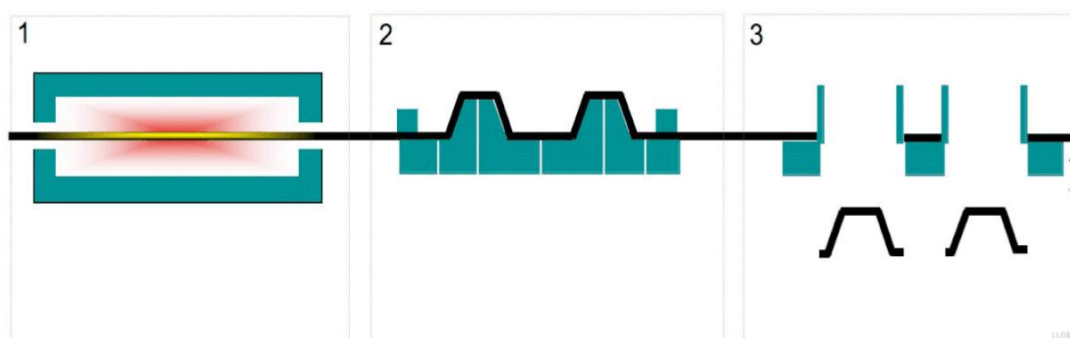
### 3.3.2. Termooblikovanje

Termooblikovanje je tehnika oblikovanja plastike koja uključuje zagrijavanje plastičnog materijala, oblikovanje prema kalupu i hlađenje kako bi se postigao željeni oblik. Često se koristi za proizvodnju štitnika za koljena i laktove, sportskih maski i naočala, obloga za pancericice te dijelova *snowboardova* i skija.

Opći postupak termoformiranja, ujedno prikazan i na slici 3.6., je sljedeći [48].

1. Priprema materijala: Plastični list ili folija odabranog materijala priprema se za postupak termooblikovanja. Materijal može biti polietilen, polipropilen, polivinilklorid ili drugi plastomer. Plastični materijal se zagrijava na određenu temperaturu kako bi postao fleksibilan i oblikovao se prema kalupu. Zagrijavanje se može obaviti pomoću različitih metoda poput grijanih ploča, grijanih kalupa ili toplinske peći.
2. Oblikovanje: Zagrijani plastični materijal se oblikuje pomoću kalupa.
3. Hlađenje: Nakon oblikovanja materijal se hladi kako bi zadržao svoj oblik.
4. Izvlačenje: Nakon hlađenja, oblikovani plastični predmet se izdvaja iz kalupa. To se može postići mehaničkim izdvajanjem ili pomoću vakuumske sustava.

Prednosti termooblikovanja uključuju fleksibilnost u dizajnu, brzu proizvodnju, relativno niske troškove alata i sposobnost proizvodnje velikih količina proizvoda. Na slici 3.7. prikazani su štitnici za koljena i biciklističke naočale koji su načinjeni procesom termooblikovanja.



Slika 3.6. Pojednostavljen prikaz procesa termooblikovanja [49]



*Slika 3. 7. Sportska oprema načinjena procesom termooblikovanja [50, 51]*

### 3.3.3. 3D printanje

3D printanje je proces stvaranja trodimenzionalnih fizičkih objekata pomoću posebne tehnologije poznate kao aditivna proizvodnja. Ova tehnologija omogućuje izradu slojevitih struktura i kompleksnih geometrija. Proces 3D printanja započinje stvaranjem digitalnog modela objekta. Taj model može se stvoriti pomoću CAD softvera ili se može preuzeti s interneta iz dostupnih baza modela. Nakon izbora digitalnog modela, sljedeći korak je slanje tog modela na 3D printer.

3D printer radi tako da postupno nanosi slojeve materijala jedan na drugi sve dok se cjelokupni predmet ne izgradi. Svaki sloj materijala se stvrdnjava ili spaja s prethodnim slojem kako bi se postigao željeni oblik. Postoje različite tehnologije 3D printanja, najčešće korištene metode s polimerima su modeliranje taljenjem i polaganjem, selektivno lasersko sintranje i stereolitografija [52].

Metoda selektivno lasersko sintranje (SLS) koristi snažan laserski snop koji selektivno zagrijava i sinterira (spaja) fini prah materijala.

Postupak započinje računalnim modelom objekta izrade nakon kojeg se sloj finog praha materijala ravnomjerno nanosi na radnu površinu. Laserski snop precizno prolazi preko površine praha i selektivno zagrijava određena područja prema podacima iz digitalnog modela. Kada se prah zagrije dovoljno, čestice se međusobno povezuju. Nakon što je jedan sloj završen, platforma na kojoj se nalazi objekt spušta se za debljinu jednog sloja, zatim se nanosi novi sloj praha i tako dok se ne izgradi cijeli objekt sloj po sloj. Nakon završetka 3D printanja, objekt se uklanja iz praha i može se dalje obrađivati po potrebi [53].

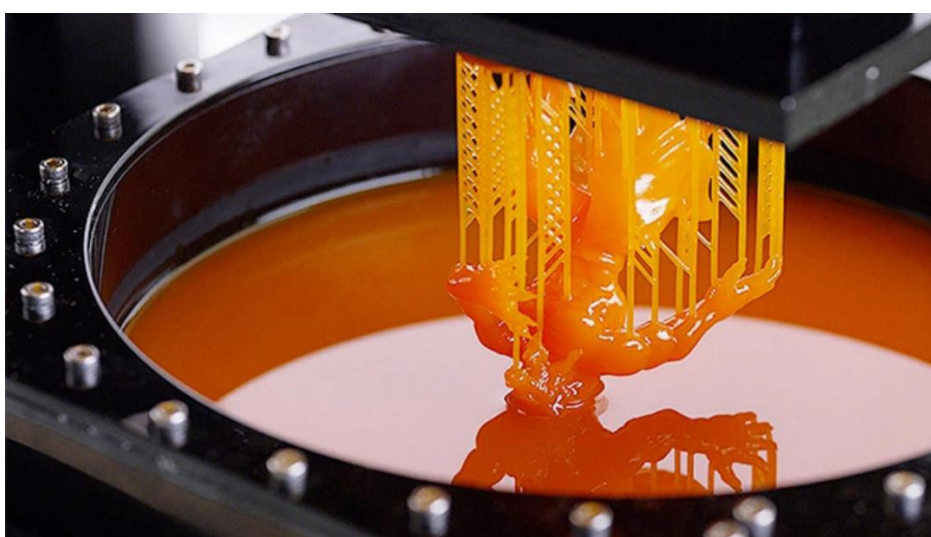
Tvrtka Wilson je napravila ovom metodom prototip takozvane „Airless“ (hrv. bezzračne) košarkaške lopte za NBA koja se može vidjeti na slici 3.8. Ideja je bila da se napravi lopta kojoj nije potreban zrak jer se pritisak zraka tijekom utakmica mijenja u lopti što otežava savršenu kontrolu lopte kojoj teže igrači, a da ima istu elastičnost kao i dosadašnja lopta [54].



*Slika 3. 8. Wilson “Airless” prototip načinjen SLS tehnologijom [54]*

Stereolitografija (SLA) je u osnovi veoma slična SLS-u, no kod ove metode koristi se UV svjetlost umjesto lasera i koriste se tekući smolasti materijali za izgradnju željenog predmeta. Proces započinje stvaranjem digitalnog modela objekta koji se tada pretvara u slojevit oblik, a svaki sloj se razdvaja i priprema za printanje [55].

U postupku printanja spremnik s tekućim smolastim materijalom smješten je unutar 3D pisača. Na početku procesa tanki sloj smole ravnomjerno se nanosi na radnu površinu, zatim se upotrebljava snop UV svjetla koji precizno skenira površinu smole i ujedno ju stvrdnjava prema podacima digitalnog modela. Nakon završetka printanja, predmet se izvlači iz spremnika s neizrađenom smolom i često se izlaže dodatnoj svjetlosti kako bi se osigurala potpuna polimerizacija materijala. Kod stereolitografije koristi se takozvana fotopolimerska smola koja se stvrdnjava prilikom izlaganja UV svjetlu. Na slici 3.9. nalazi se proizvod dobiven SLA metodom [55].



*Slika 3.9. Predmet načinjen stereolitografijom [55]*

Modeliranje taljenjem i polaganjem (FDM) (eng. Fused Deposition Modeling) je metoda koja koristi polimer koji se jednostavno zagrijava, topi i potom precizno nanosi sloj po sloj kako bi se izradio željeni predmet.

Proces započinje stvaranjem računalnog modela te se taj model, isto kao i kod ostalih metoda, pretvara u slojevit oblik i priprema za printanje. Unutar 3D printera, materijal u obliku tankog vlakna smješten je u spremnik ili rolu. Vlakno prolazi kroz grijani ekstruder koji topi materijal i pretvara ga u viskoznu tekućinu. Zatim se tekući materijal precizno nanosi na radnu površinu sloj po sloj. Ekstruder ima točno kontroliranu temperaturu kako bi materijal bio u tekućem stanju prilikom nanošenja nakon kojeg se odmah hladi i stvrdnjava kako bi zadržao oblik i omogućio nanošenje sljedećeg sloja. Nakon što se predmet izradi moguće je ukloniti potporne strukture koje su možda bile dodane kako bi se podržao predmet tijekom printanja, isto tako mogu se izvesti postupci naknadne obrade poput brušenja ili bojanja. Na slici 3.10. prikazano je sjedalo za bicikl i Nikeovi štitnici načinjeni FDM metodom 3D printanja [56].

FDM je popularna metoda zbog svoje jednostavnosti, velike dostupnosti i relativno niske cijene. Materijali koji se koriste u FDM-u uključuju različite vrste polimera kao što su ABS, PET i najlon. FDM se koristi često pri proizvodnji štitnika u nogometu, hokeju ili rukometu, za dijelove bicikla i kaciga, te manjih dijelova sportske opreme poput kopči, nosača, držača i sl.



*Slika 3.10. 3D isprintana sportska oprema FDM tehnologijom [57, 58]*

### 3.3.4. Vakuumsko oblikovanje

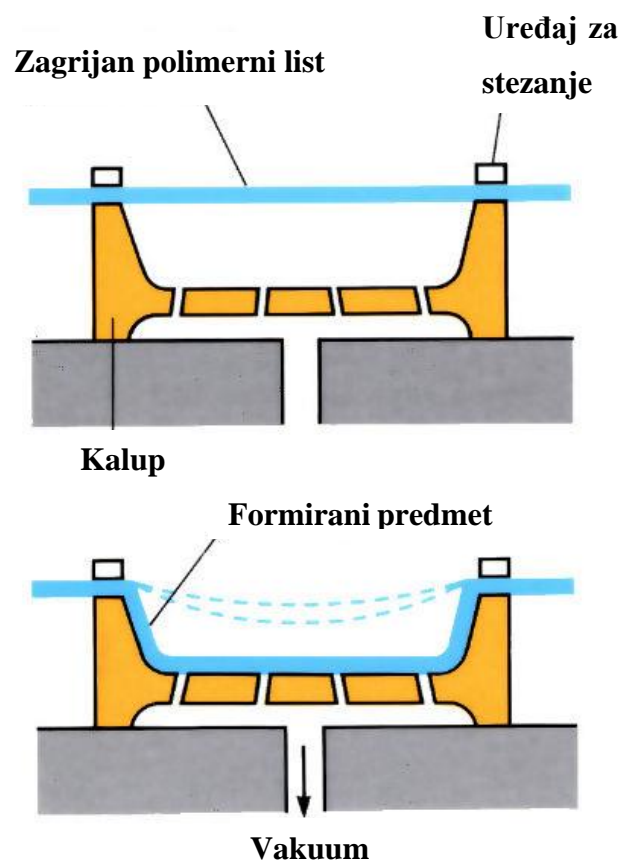
Proces vakuumskog oblikovanja sličan je procesu termooblikovanja polimernih materijala u kojem se zagrijani polimerni list postavlja preko kalupa, ali pri ovoj metodi se zatim primjenjuje vakuum kako bi se materijal oblikovao prema obliku kalupa. Proces koji je dijelom prikazan na slici 3.11. odvija se u više koraka [59].

1. Priprema kalupa: Kalup se izrađuje od tvrdog materijala npr. drvo ili aluminij u željenom obliku. Kalup može biti pozitivan (oblik koji želimo dobiti) ili negativan (suprotan oblik koji će se koristiti kao kalup).
2. Zagrijavanje polimernog lista: Polimerni list, obično ABS, PC ili PE, se zagrijava na odgovarajuću temperaturu dok ne postane mekan i fleksibilan, ali ne toliko da se rastopi.
3. Postavljanje polimernog lista preko kalupa: zagrijani list se pažljivo postavlja preko kalupa i fiksira.
4. Stvaranje vakuuma: Kada je list postavljen preko kalupa, vakuum se primjenjuje između lista i kalupa. To se postiže usisavanjem zraka ispod lista pomoću vakuumske pumpe. Usisavanje zraka stvara negativan tlak koji pritišće polimerni list prema kalupu, oblikujući ga u željeni oblik.
5. Hlađenje i uklanjanje: Nakon što se polimerni list oblikuje prema kalupu, vakuum se isključuje, a materijal se lagano hladi. Kada se potpuno stvrdne, može se ukloniti s kalupa.

Metoda oblikovanja vakuumom često se koristi za proizvodnju jednostavnih, ravnih ili jednostavnijih trodimenzionalnih oblika u odnosu na predmete izrađene metodom termooblikovanja.

Ova metoda je popularna zbog svoje relativno jednostavne primjene, brzine izrade i relativno niske cijene alata i kalupa.

Vakuumskim oblikovanjem izrađuju se zaštitne kacige, štitnici za tijelo, podlošci za zaštitu, roleri, *skateboardovi* i dr.



*Slika 3.11. Pojednostavljen prikaz procesa vakuumskog oblikovanja [60]*



## **4. POLIMERNI MATERIJALI U SPORTOVIMA**

### **4.1. Zahtjevi koje polimeri moraju zadovoljavati**

Kako bi se primijenili u sportu, polimeri moraju zadovoljiti određene zahtjeve za specifičnu primjenu u kojoj se koriste. Važno je da se ovisno o sportu zahtijevaju različita svojstva. Primjerice, kod nekih sportova bitna je elastičnost materijala, dok kod drugih elastičnost ne igra ulogu, već je važno da je materijal žilav. Imajući to na umu, neki ključni zahtjevi koje polimeri obično moraju zadovoljavati su sljedeći:

**Mehanička svojstva:** Polimeri moraju imati čvrstoću, elastičnost i tvrdoću odgovarajuću potrebama sportaša i specifičnih sportova kako bi se nosili s mehaničkim opterećenjima koja se javljaju u određenoj primjeni.

**Toplinska svojstva:** Polimeri trebaju zadržati svoja mehanička svojstva i stabilnost u širokom rasponu temperatura. Ovisno o primjeni, može se zahtijevati da polimeri izdrže velike temperaturne razlike od vrlo niskih do vrlo visokih temperatura.

**Električna svojstva:** Za primjenu kod sportske opreme s elektronikom, polimeri moraju imati dobra izolacijska i antistatička svojstva.

**Otpornost na vremenske uvjete:** Polimeri koji se koriste na otvorenom ili su izloženi vanjskim uvjetima moraju biti otporni na UV zračenje i vremenske uvjete poput vlage, vjetra, sunčeve svjetlosti, kiše ili snijega.

**Ergonomija** je važna da bi se osigurala udobnost sportaša zbog čega je potrebno da je materijal koji se koristi prilagodljiv tijelu sportaša, prozračan i naravno izdržljiv kako bi se osigurala dugotrajna upotreba.

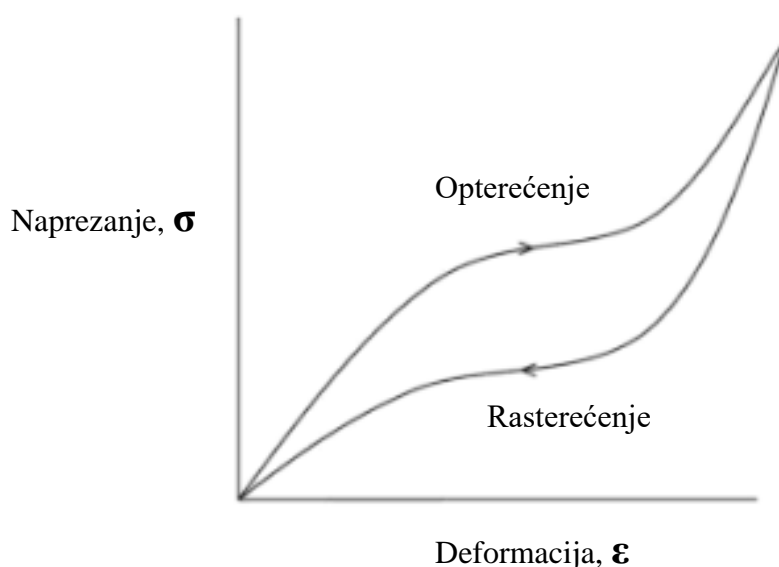
**Estetika:** Za neke primjene polimeri moraju zadovoljavati estetske zahtjeve poput boje, prozirnosti, sjaja ili teksture.



## 4.2. Zaštitne kacige u sportu

Zaštitne kacige su ključni dio sportske opreme koja ima za cilj zaštititi glavu i smanjiti ozljede tijekom sportskih aktivnosti. One su posebno važne u sportovima koji uključuju visok rizik udaraca u glavu kao što su skijanje, snowboarding, hokej, ragbi, američki nogomet i mnogi drugi.

Odabir materijala za izradu sportskih kaciga je ovisi o vrsti sporta i vođen je brojnim čimbenicima kao što su kriteriji performansi (sport, dobna skupina, itd.), ekonomija i očekivani vijek trajanja proizvoda. Stoga su viskoelastični materijali glavni izbor za izradu kaciga. Viskoelastični materijal je materijal koji posjeduje kombinaciju svojstava viskoznosti i elastičnosti. To znači da se materijal može deformirati pod utjecajem sile, ali također ima sposobnost vraćanja u svoj prvobitni oblik nakon prestanka sile. Razlika između elastičnosti i viskoelastičnosti leži u tome da elastični materijali imaju linearno ponašanje deformacije i povratka u prvobitni oblik dok kod viskoelastičnog materijala imaju ne-linearne karakteristike deformacije i povratka što je vidljivo na dijagramu na slici 4.1. Ova razlika u ponašanju odražava se u vremenskom faktoru i brzini povratka materijala u svoj prvobitni oblik nakon prestanka sile. Iz tog razloga, polimeri se koristi kao materijali za kacige jer imaju svojstva viskoelastičnosti [61, 62].



Slika 4.1. Dijagram naprezanje – deformacija viskoelastičnog materijala [61]

Polimeri koji se najčešće primjenjuju za kacige spadaju u tri kategorije: polikarbonat (PC), akrilnitril/butadien/stiren (ABS) i poliolefin.

#### 4.2.2. Svojstva i proizvodnja polikarbonata (PC)

Polikarbonat pruža najveću razinu apsorpcijske energije i udarnu žilavost za kacige te je zbog toga često i poprilično skup. Tipično se koristi pri ekstremnim sportovima poput motosporta zbog izrazito visokog otpora na udarce. PC je dostupan pod trgovačkim imenima Lexan od kompanije General Electrica i Makrolon od kompanije Bayer. Na slici 4.2. prikazan je kaciga od polikarbonata koja se koristi za motosport.

Polikarbonat se dobiva postupkom polikondenzacije. U ovom postupku, polikarbonat se sintetizira reakcijom diola (npr. bisfenola A) i karbonatnog estera. Reakcija se provodi uz dodatak katalizatora i uz kontrolu temperature i vremena reakcije. Nakon sinteze, polikarbonat se obično dobiva u obliku granula ili praha. Ti materijali se dalje mogu koristiti u raznim procesima prerade poput ekstruzije, prešanja ili oblikovanja pod visokom temperaturom. Kod kaciga, polikarbonat se prvo oblikuje u željeni oblik procesom kalupljenja. To se obično postiže tehnikom prešanja u kojoj se polikarbonat zagrijava do topljivog stanja i ubrizgava u kalup kako bi poprimio oblik kacige. Kalup se tada ohladi kako bi se polikarbonat stvrdnuo i zadržao oblik kacige [61].



*Slika 4.2. Kaciga za motosport od polikarbonata [63]*

#### 4.2.3. Svojstva i proizvodnja akrilnitril/butadien/stirena (ABS)

ABS ima manju cijenu od PC-a i ima puno poželjnih svojstava za zaštitne kacige. Ima nešto manji otpor na udarce u odnosu na PC i zbog toga nije najkorisniji u upotrebi pri vrlo visoko energetske udarima poput onih u motosportu i američkom nogometu, ali je adekvatan za ostale sportove poput

biciklizma, skijanja, snowboardinga i sl. ABS je sastavljen od tri vrste monomera od kojih svaki ima specifična svojstva: akrilnitril je kemijski i toplinski otporan, butadien ima veliku udarnu žilavost, a stiren je krut, lak za obradu i pruža površinski sjaj. Količina određenog monomera inkorporirana tijekom polimerizacije određuje kakva će mehanička svojstva imati materijal. ABS smjesa za kacige se priprema tako da se taljenjem pretvara u tekuću masu koja se zatim ekstrudira kroz kalup u obliku šuplje cijevi. Ta cijev je početni oblik kacige. Topla cijev se postavlja u kalup za oblikovanje kacige. Kalup ima unutarnji oblik kacige i pomoću topline i tlaka oblikuje topljenu plastiku u željeni oblik. Hlađenjem se stvrdnjava kako bi zadržala oblik. Na slici 4.3. nalazi se kaciga za skijanje od ABS-a [61].



*Slika 4.3. Kaciga za skijanje od ABS-a [64]*

#### 4.2.4. Svojstva i proizvodnja poliolefinskih materijala

Poliolefinske kacige su niske gustoće i niskih cijena koje se koriste u generalne svrhe zaštite poput amaterskog biciklizma, *skateboardinga* i sl. Poliolefinski materijali su jeftini, razmjerno dimenzionalno stabilni, lako se oblikuju i imaju dodatnu prednost odlične kemijske postojanosti. Poliolefin je dobiven polimerizacijom monomera koji sadrže etilenski ili propilenski dio. Iako u smislu otpora na udarce nisu na razini PC-a i ABS-a, poliolefin pruža izvrsnu zaštitu za generalne svrhe kod sportskih aktivnosti kod mladih. Poliolefinske kacige se oblikuju istim postupkom kao i polikarbonatne.

Ipak, od PC-a, ABS-a i poliolefina, izrađuje se samo tzv. kostur kacige koji je najbitniji dio za zaštitu. No kako bi kaciga pružala udobnost i dodatnu zaštitu, unutarnji sloj se obično izrađuje od polimerne pjene [61].

#### 4.2.5. Polimerne pjene unutar kaciga

Pjena unutar kaciga može raspršiti energiju po širem području, izdržati višestruke udarce i vratiti se u prvobitni oblik zadržavajući svojstva. Bitno je primijetiti da čak i najkvalitetnije, najotpornije pjene s vremenom i opterećenjima polako gube svoja svojstva apsorpiranja energije. Najčešća i najkvalitetnija pjena za udarna opterećenja napravljena je od poliuretana. Druga vrsta polimera poput PVC-a ili PP-a se može koristiti u slučaju da je pjena dugo izložena vlazi zato što je jedna od mana poliuretanskih pjena potencijalna degradacija dugoročnom izlaganju vlazi. Drugi faktor za biranje alternativne pjene je manja masa. Način sastavljanja različitih pjena u jednu kacigu, tzv. „dual-density system“ (hrv. sistem dvostruke gustoće) vidljiv na slici 4.4. koji se koristi kod bejzbol kaciga odličan je primjer dobrog upravljanja pjenom u konstrukciji kaciga. U ovom primjeru, debeo sloj pjene niske gustoće i male mase nalazi se točno na čelu igrača. Ova pjena paše udobno na različite oblike glave i pomaže pri zadržavanju znoja i time pruža udobnost igraču. Svrha tanjeg sloja teže, zatvorene pjene veće gustoće smještene između kostura kacige i lagane pjene je da apsorbira manje česte, visoko energetske udarce. U situaciji kod jakog udarca, pjena manje gustoće se pritisne dokraja na pjenu veće gustoće koja preuzima energiju i djeluje kao zadnja razina zaštite [61].



*Slika 4.4. Kaciga za lakros koja koristi dual-density poliuretansku pjenu: (A) pjena velike gustoće, (B) pjena male gustoće [61]*

### 4.3. Polimeri kod zimskih sportova

Polimeri koji se koriste za zimske sportove moraju ispunjavati nekoliko ključnih zahtjeva da bi bili prikladni za tu primjenu. Ti zahtjevi su: izdržljivost na niske temperature jer je cilj da polimer zadrži svoja mehanička svojstva pri ekstremno niskim temperaturama, materijal koji se koristi mora također biti otporan na vlagu jer je često izložen kiši, snijegu i drugim vremenskim uvjetima. Potrebna je i mala masa kako bi sportašima bilo što udobnije, a time i sigurnije.

Kod skijanja na primjer, skijaške cipele obično sadrže vanjski omotač izrađen od poliuretana (PU) koji ima dobra izolacijska svojstva, vodootporan je te je oblikovan prema stopalu skijaša. Skijaške skije mogu imati polimerne jezgre koje pružaju optimalnu ravnotežu fleksibilnosti i stabilnosti. Polimerne ploče ili umetci mogu se koristiti na određenim dijelovima skija radi poboljšanja prijanjanja na snijeg, ublažavanja vibracija ili smanjenja mase skija. Polimeri se također koriste za zaštitu skijaša kao kacige, naočale, rukavice i štitnici za noge.

Skijaške ploče tzv. snowboardi se obično izrađuju od kompozitnih materijala koji sadrže polimere poput poliuretana, epoksidnih smola ili polikarbonata. Ovi materijali pružaju kombinaciju čvrstoće, fleksibilnosti i male mase.

Kod klizanja na ledu, polimeri se koriste za izradu klizaljka bez oštrice, no mogu se koristiti i za premaze koji se nanose na površinu oštrice kako bi se smanjilo trenje i poboljšalo klizanje. Koriste se i za izradu unutarnjeg potplata na klizaljka koji se nalazi između stopala i donjeg dijela klizaljki. Izrađuje se sa svrhom apsorpcije udarca koji se dešavaju zbog skokova sportaša.

Sportaši hokeja na ledu koriste mnogo opreme koja sadrži polimere. Kacige, zaštitne maske, štitnici za ramena, noge i laktove često su izrađeni od polimernih materijala. Hokejaški pak je obično napravljen od vulkanizirane gume jer pruža trajnost, potrebnu elastičnost i dobre klizne karakteristike po ledu. Na slici 4.5. redom je prikazana sportska oprema od polimera: hokejaška oprema, klizaljke, pancerice, snowboard.

Ovo su samo neki primjeri zimskih sportova u kojima se koriste polimeri no puno opreme se poklapa i s ostalim zimskim sportovima što pokazuje izrazitu širinu upotrebe polimera u ovoj kategoriji sporta [61, 65].



*Slika 4.5. Zimska oprema načinjena od polimera [66, 67, 68, 69]*

#### **4.4. Polimeri kod sportova na vodi**

Polimeri korišteni kod sportova na vodi moraju podosta zahtjeva kako bi bili pogodni za upotrebu, uključujući vodootpornost, trajnost, nisku apsorpciju vode, toplinsku izolaciju, UV otpornost i jednostavno održavanje.

U plivanju, polimeri se koriste za izradu plivačkih naočala, kapa i plivačkih kostima. Za kostim je najčešće korišten materijal poliester s dodatkom spandeksa. Ovi materijali pružaju kombinaciju izdržljivosti, fleksibilnosti i nepropusnosti potrebne za plivanje. Godine 2008. razvijen je plivački kostim naziva LZR Racer, prikazan na slici 4.6., načinjen od kombinacije pletenog elasta-najlona i poliuretana. Razvila ga je strana talijanska tvrtka Mectex, u asocijaciji s australskim institutom sporta. Uz pomoć kompanije Speedo u ulozi sponzora testiran je u NASA-inim tunelima za ispitivanje i njihovim softverima za analizu protoka fluida. Rezultat toga je kostim koji je reducirao otpornost trenja kože za 24 % više nego prijašnji Speedo plivački kostimi. U ožujku 2008. sportaši koji su nosili ovaj kostim oborili su čak 13 svjetskih rekorda, a te godine za vrijeme Olimpijskih igara, 94 % pobjeda bilo je u tom kostimu, 98 % svih medalja, i 23 od 25 oborenih svjetskih rekorda. Zbog prednosti koji se doimala ne poštenom prema ostalim sportašima koji su radi sponzorskih ili drugih razloga nosili druge kostimi, LZR Racer je u Prosincu 2008 godine, nakon

European short course swimming championships u Rijeci, zabranjen od strane FINE za korištenje kod plivanja i sličnih sportova [70].



*Slika 4.6. Michael Phelps u LZR Racer kostimu [71]*

Polimeri se koriste za izradu jedra za jedrenje. Uobičajeno se koristi poliester primarno jer je otporan na razne vremenske uvjete. Za jedra se još može koristiti Mylar. Mylar je vrsta poliesterske folije koja je lagana, tanka i ima dobru čvrstoću i elastičnost. Jedra od Mylara su često korištena u regatnom jedrenju gdje se traže visoke performanse. Na slici 4.7. prikazane su jedrilice s jedrima od polimera [72].



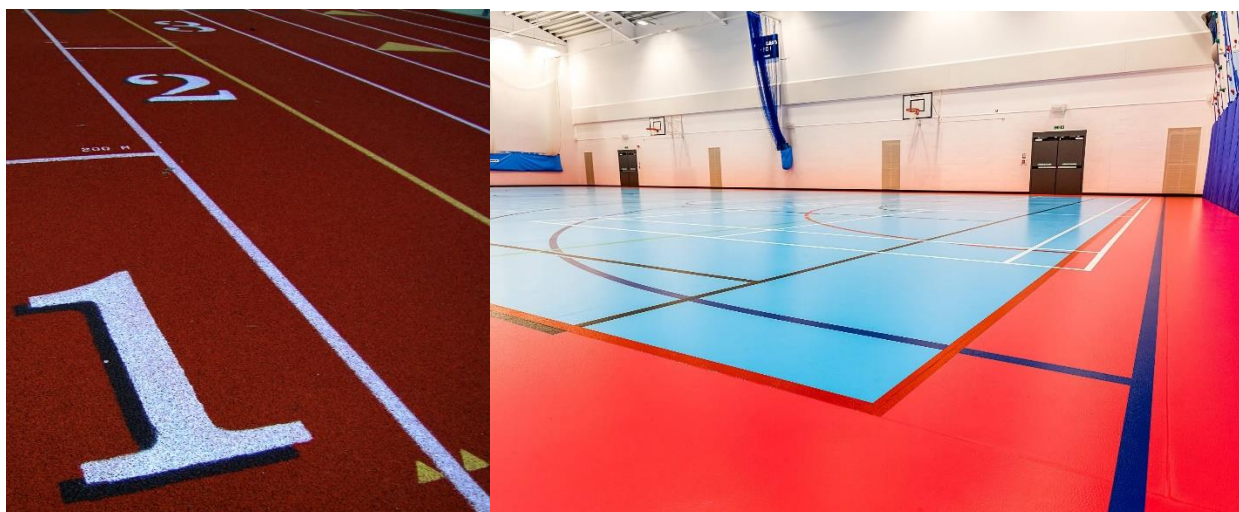
*Slika 4.7. Regatno jedrenje [73]*



#### 4.5. Polimeri kod atletskih sportova

Polimerni materijali se koriste za izradu trkačkih staza na atletskim stadionima. Tartanska staza je zaštitni znak jedne takve sintetske staze, otporne na sve vremenske uvjete tzv. all-weather staza izrađena od poliuretana. Omogućuje natjecanje i pri lošem vremenu bez ozbiljnog gubitka performansi te poboljšava njihove rezultate u usporedbi s drugim površinama. Takve staze postale su standard za većinu elitnih natjecanja.

Polimeri se koriste i za druge podne podloge u dvoranama i teretanama. Te podloge su najčešće načinjene od EPDM (etilen-propilen-dien-monomer) gume jer pružaju izvrsnu elastičnost, otpornost na habanje i apsorpciju udaraca. Takvi sportski podovi smanjuju opterećenja na zglobove i mišiće te pružaju sigurnu površinu za izvođenje različitih vježbi. Koriste se u sportskim dvoranama, teretanama i dječjim igralištima. Podovi od poliolefinske smjese kao polipropilen ili polietilen također se koriste, ali više kod vanjskih sportova zbog svoje otpornosti na UV zrake i vlagu te ekološke prihvatljivosti. Na slici 4.8. prikazan je tartanska staza i desno pored nje pod u sportskoj dvorani od EPDM gume [74].



*Slika 4.8. Površina sportskih podova načinjena od polimera [75, 76]*

#### 4.6. Polimeri kod sportova s loptom i kuglom

Lopte za nogomet izrađuju se koristeći kombinaciju različitih materijala kako bi se postigla odgovarajuća svojstva poput elastičnosti, čvrstoće i aerodinamičnosti. Uobičajeni postupci i materijali koji se koriste u izradi lopta su sljedeći [77]



1. Vanjski sloj lopte obično je izrađen od sintetske kože ili termoplastičnog poliuretana (TPU). Ovi materijali pružaju izdržljivost, vodootpornost i dobro prianjanje. TPU se često koristi za profesionalne lopte.
2. Unutarnji sloj lopte često je načinjen od slojeva poliesterske mreže koja daje strukturalnu podršku lopti.
3. Između vanjskog sloja i unutarnjeg sloja može se nalaziti sloj pjene kako bi se ublažili udarci lopte s igračem.
4. Unutarnji „mjehur“ lopte, koji drži zrak, obično je izrađen od lateksa ili butil gume. Lateks mjehurići se koriste kod profesionalnih lopti zbog visoke elastičnosti i trajnosti, dok se butil guma koristi u jeftinijim loptama.

Važno je napomenuti da postoje različite vrste lopti za nogomet, uključujući one za natjecateljske utakmice, trening, plažu ili dvorište. Ovisno o namjeni, mogu se koristiti različiti materijali i konstrukcijske tehnike kako bi se zadovoljile specifične potrebe i zahtjevi.

Kod bejbola je vanjski sloj lopte sličan kao i kod nogometne, no unutarnji sloj je tipično napravljen od lateksa koji pomaže pri održavanju oblika lopte i pruža određenu elastičnost. Jezgra bejbol lopte čini središnji dio i izrađena je od kaučuka. Jezgra je tvrda i ima određenu masu kako bi se postigla odgovarajuća brzina pri bacanju. Poprečni presjek baseball lopte može se vidjeti na slici 4.9 [78].

Kugle za biljar su izrađene od akrilnog ili fenilnog polimera. Ti su polimeri iznimno tvrdi i njima je moguće postići glatku površinu koja omogućuje lako klizanje po stolu za biljar. Akrilne kugle se izrađuju injekcijskim prešanjem [79].



*Slika 4.9. Poprečni presjek bejbol lopte [80]*

## 5. ZAKLJUČAK

Polimerni materijali igraju ključnu ulogu u proizvodnji sportske opreme jer pružaju optimalne performanse sportašima i zaštitu tijekom sporta. Polimeri, svojim svojstvima, zadovoljavaju sve veće zahtjeve sportaša u sportskom svijetu koji se brzo razvija.

Detaljnim proučavanjem i analizom, uočeno je da polimerni materijali donose niz prednosti u odnosu na druge materijale. Njihova mala masa, fleksibilnost i izdržljivost čine ih veoma privlačnima za sportaše u svim vrstama sporta. Također vodootpornost i prozirne karakteristike polimernih materijala osiguravaju udobnost sportašima tijekom intenzivnih treninga i natjecanja.

Napredne metode oblikovanja polimerne opreme poput termooblikovanja i različitih vrsta 3D printanja omogućuju personalizaciju opreme prema individualnim potrebama sportaša. 3D printanje u odnosu na tradicionalne metode proizvodnje pruža bržu izradu složene geometrije, manju količinu otpada, lakšu i jeftiniju dostupnost dijelova.

Daljnje istraživanje i razvoj polimernih materijala za sportsku opremu su ključni kako bi se udovoljilo rastućim zahtjevima sportaša i postigla stalna poboljšanja u performansama. Također je važno razmoriti ekološku održivost polimernih materijala te poticati razvoj biorazgradivih i recikliranih mogućnosti kako bi se smanjio negativan utjecaj na okoliš.

Također, važno je napomenuti da primjena polimernih materijala u proizvodnji sportske opreme ne pruža samo prednost sportašima, nego je i višestruko korisna u zaštiti sportaša. Polimeri poput polikarbonata, poliolefina i akrilnitril/butadien/stirena imaju sposobnost apsorpcije udaraca što smanjuje rizik ozljeda, dok istovremeno pruža potrebnu čvrstoću i udobnost.

Važno je naglasiti da polimerni materijali kontinuirano evoluiraju kako bi se zadovoljile potrebe suvremenog sporta. Istraživanjem novih materijala, razvojem tehnologije i testiranjem industrija sportske opreme nastoji pronaći nove načine za poboljšanje svojstva materijala i zaštitu sportaša. Ovaj napredak nije samo relevantan za sportsku opremu, već može imati i širu primjenu u drugim industrijama poput medicinske i automobilske industrije.

## LITERATURA

- [1] Hanza, S.S.: Materijali I\_P\_7 dio "Polimerni materijali" pdf
- [2] Hiemenz, P.L.; Lodge, T.P.: „Polymer Chemistry“, CRC Press, s interneta [https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Classes/Properties/Books/Paul%20C.%20Hiemenz,%20Timothy%20P.%20Lodge%20-%20Polymer%20Chemistry-CRC%20Press%20\(2007\).pdf](https://www.eng.uc.edu/~beaucag/Classes/Properties/Books/Paul%20C.%20Hiemenz,%20Timothy%20P.%20Lodge%20-%20Polymer%20Chemistry-CRC%20Press%20(2007).pdf) 2007
- [3] Knight, A.: „Polymerization“, s interneta <https://slideplayer.com/slide/12933894/> 2018
- [4] Yashoda: „What type of chemical reaction produces a polymer“, s interneta <https://pediaa.com/what-type-of-chemical-reaction-produces-a-polymer/> 12.11.2016
- [5] McCrum: „Polymer (matrix) structure“, s interneta <https://compositeskn.org/KPC/index.php?title=A236&veaction=edit&section=3>
- [6] British Plastics Federation: „Polyvinyl Chloride PVC“, s interneta <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/PVC.aspx>
- [7] Slika s interneta: [https://en.wikipedia.org/wiki/LP\\_record](https://en.wikipedia.org/wiki/LP_record) 10.6.2023
- [8] Slika s interneta: <https://www.pipsisland.com/how-much-is-pvc-pipe/> 10.6.2023.
- [9] Slika s interneta: <https://renovated.org.za/windows/upvc/> 10.6.2023.
- [10] Team Xometry: „Polyethylene Terephthalate: Uses, Advantages, and Disadvantages“, s interneta <https://www.xometry.com/resources/materials/polyethylene-terephthalate> 9.6.2022
- [11] Slika s interneta: <https://www.agvu.de/en/polyethylene-terephthalate-pet-469/> 10.6.2023
- [12] Adreco plastics: „Polypropylene Plastic Uses“, s interneta <https://adrecoplastics.co.uk/polypropylene-uses>
- [13] Slika s interneta: <https://polychem-usa.com/polypropylene-plastic/> 10.6.2023
- [14] Abts, G.: Kunststoffe „Polystyrol (PS)“, s interneta <https://www.kunststoffe.de/a/grundlagenartikel/polystyrol-ps-264382>
- [15] Slika s interneta: <https://www.amazon.ae/Heatoe-Styrofoam-Polystyrene-Filling-0-1-0-5cm/dp/B083HVGPGXG> 10.6.2023.
- [16] Slika s interneta: <https://beachapedia.org/Polystyrene> 10.6.2023.
- [17] Slika s interneta: <https://eartheclipse.com/science/misc/does-styrofoam-absorb-water.html> 10.6.2023
- [18] Reichelt Chemietechnik: „Möglichkeiten der Kunststoffverarbeitung“, s interneta <https://www.rct-online.de/magazin/kunststoffverarbeitung-moeglichkeiten/>
- [19] Vitrum: „Fiberglass: a material in the history of sport“, s interneta <https://vitrumlife.it/en/fiberglass-material-in-the-history-of-sport/> 7.6.2022
- [20] Slika s interneta: <https://cen.acs.org/materials/inorganic-chemistry/s-fiberglass-does->

[delicate-material/96/i38](#) 10.6.2023.

[21] Slika s interneta: <https://newtoski.com/mid-vs-top-grade-ski-performance/> 10.6.2023.

[22] Slika s interneta: <https://www.fiberglassfiber.com/emulsion-binder-product/> 10.6.2023

[23] The Rubber company: „Polyurethane Foam Material“, s interneta  
<https://therubbercompany.com/sponge-foam/polyurethane-foam/polyurethane-foam>

[24] Rosu, D.; Rosu, L.; Cascaval, C.N.: „Polymer degradation and stability“, s interneta  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141391009000135> 4.2009.

[25] Slika s interneta: <https://www.designyu.de/en/tojo-ergo-mattress> 11.6.2023.

[26] Slika s interneta: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyurethane> 11.6.2023.

[27] Promise epoxy: „Epoxy resins everywhere“, s interneta  
<https://promiseepoxy.com/blog/epoxy-resin-everywhere-commercial-industrial-applications>  
15.6.2023

[28] Slika s interneta:  
[https://www.youtube.com/watch?v=Bcz39w07WIA&ab\\_channel=BlacktailStudio](https://www.youtube.com/watch?v=Bcz39w07WIA&ab_channel=BlacktailStudio) 11.6.2023

[29] Conrad, R.: „What are elastomers?“, s interneta  
<https://www.elastomer.kuraray.com/blog/what-are-elastomers>

[30] Slika s interneta: <https://www.greencarcongress.com/2021/01/20210113-bridgestone.html>  
11.6.2023.

[31] Global: „Elastomer Applications“, s interneta <https://www.globaleee.com/global-news/-/history/elastomers-applications>

[32] Slika s interneta: <https://www.intechopen.com/chapters/56207> 11.6.2023.

[33] Soccer ball world: „Soccer Ball History“, s interneta <https://soccerballworld.com/history-of-the-soccer-ball/> 18.12.2019

[34] Slika s interneta: <https://www.soccer-training-methods.com/world-cup-soccer-ball.html>  
12.6.2023.

[35] Cult MTL: „The evolution of Sports Equipment and Technology“, s interneta  
<https://cultmtl.com/2023/05/the-evolution-of-sports-equipment-and-technology/> 9.5.2023

[36] Slika s interneta: <https://www.thehideawaysclub.com/magazine/latest/the-history-of-skiing>

[37] Slika s interneta: [https://www.fine2shop.com/?category\\_id=7184070](https://www.fine2shop.com/?category_id=7184070) 13.6.2023.

[38] Slika s interneta: [www.svrtravelsindia.com](http://www.svrtravelsindia.com) 13.6.2023.

[39] Slika s interneta: <https://www.mytoys.de/best-sporting-federballe-neon-10-stk-10626892.html> 13.6.2023.

[40] Slika s interneta: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Amazor\\_helmet\\_after\\_crash.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Amazor_helmet_after_crash.jpg)  
13.6.2023.

[41] Slika s interneta: <https://www.supersports.co.th/en/spandex-spd-compression-short-pants->

[ssp56394221](#) 13.6.2023.

[42] Slika s interneta: <https://www.indiamart.com/proddetail/synthetic-acrylic-handball-court-21736184688.html> 13.6.2023.

[43] Slika s interneta: <https://www.pinterest.com/pin/767441592732850252/> 13.6.2023.

[44] Essentra Components: „Injection Moulding: How does it work?“, s interneta [https://www.youtube.com/watch?v=jYIypsWQjLU&ab\\_channel=EssentraComponents](https://www.youtube.com/watch?v=jYIypsWQjLU&ab_channel=EssentraComponents) 2020

[45] Digital Journal, Coherent Market: „Injection moulding machines“, s interneta <https://www.digitaljournal.com/pr/injection-molding-machines-market-research-report>

[46] Slika s interneta: <https://www.dreamstime.com/stock-image-golf-ball-image8112681> 14.6.2023.

[47] Slika s interneta: <https://www.amazon.de/-/en/Mouth-Boxing-Professional-Karate-Protection/dp/B08C355M98> 14.6.2023.

[48] Polymer-Labor TH Köln: “Thermoformen für Einsteiger”, s interneta [https://www.youtube.com/watch?v=IPKu36b00pY&ab\\_channel=Polymer-LaborTHK%C3%B6ln](https://www.youtube.com/watch?v=IPKu36b00pY&ab_channel=Polymer-LaborTHK%C3%B6ln) 12.01.2022

[49] Slika s interneta: „Thermoforming animation“ [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thermoforming\\_animation.gif](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thermoforming_animation.gif)

[50] Slika s interneta: <https://protecbrand.com/collections/kids/products/pro-pad-elbow-pad-black> 14.6.2023.

[51] Slika s interneta: <https://www.walmart.com/ip/Aksel-Cycling-Running-Sunglasses/3828248412> 14.6.2023.

[52] Formlabs: „Guide to 3D printing“ <https://formlabs.com/blog/3d-printing-materials/>

[53] Solid Concepts: „Selective Laser Sintering (SLS) Technology“, s interneta [https://www.youtube.com/watch?v=9E5MfBAV\\_tA&ab\\_channel=SolidConcepts](https://www.youtube.com/watch?v=9E5MfBAV_tA&ab_channel=SolidConcepts) 10.5.2013

[54] Wilson Basketball: „The Making of the Wilson Airless Prototype Basketball“, s interneta [https://www.youtube.com/watch?v=eIyhSE6Tkus&ab\\_channel=WilsonBasketball](https://www.youtube.com/watch?v=eIyhSE6Tkus&ab_channel=WilsonBasketball) 19.02.2023

[55] Hubs: „SLA 3D Printing – What Is It And How Does It Work?“, s interneta [https://www.youtube.com/watch?v=CISyU3D3WE&t=4s&ab\\_channel=Hubs](https://www.youtube.com/watch?v=CISyU3D3WE&t=4s&ab_channel=Hubs) 05.06.2019

[56] Solid Concepts: „Fused Deposition Modeling (FDM) Technology“, s interneta [https://www.youtube.com/watch?v=WHO6G67GJbM&ab\\_channel=SolidConcepts](https://www.youtube.com/watch?v=WHO6G67GJbM&ab_channel=SolidConcepts) 6.3.2013

[57] Slika s interneta: <https://bikerumor.com/specialized-s-works-power-mirror-saddle-replaces-foam-with-project-black-3d-printing/> 15.6.2023.

[58] Slika s interneta: <https://www.dezeen.com/2014/06/08/nike-3d-printed-sports-bag-fifa-world-cup-2014/> 15.6.2023.

[59] Alejandro Bona: „Vacuum/Thermal Forming Explained“, s interneta

[https://www.youtube.com/watch?v=HWX\\_XxS4zY8&t=173s&ab\\_channel=AlejandroBona](https://www.youtube.com/watch?v=HWX_XxS4zY8&t=173s&ab_channel=AlejandroBona)

[60] OpenLearn: „Vacuum Forming“, s interneta <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/vacuum-forming-thermoforming> 28.11.2017

[61] Subic, A.: „Materials in Sports Equipment“, WP, Duxord, s interneta [https://www.google.de/books/edition/Materials\\_in\\_Sports\\_Equipment/bA6ZDwAAQBAJ?hl=en&gbpv=0](https://www.google.de/books/edition/Materials_in_Sports_Equipment/bA6ZDwAAQBAJ?hl=en&gbpv=0) 2007

[62] Sorbothane Inc: „The difference between elastic materijals and viscoelastic materials“, s interneta <https://www.sorbothane.com/technical-data/articles/difference-between-elastic-materials-and-viscoelastic-materials>

[63] Slika s interneta: <https://www.amazon.in/LS2-FF391-Helmet-Unisex-Blue/dp/B01MXMMPOJ> 15.6.2023.

[64] Slika s interneta: <https://www.warehouse-one.de/en/smith/holt-2-helmet-2023-matte-olive.html> 15.6.2023.

[65] Jenkins, M.: „Materials in Sports equipment“, Elsevier Science, s interneta [https://www.google.de/books/edition/Materials\\_in\\_Sports\\_Equipment/nrKjAgAAQBAJ?hl=en&gbpv=0](https://www.google.de/books/edition/Materials_in_Sports_Equipment/nrKjAgAAQBAJ?hl=en&gbpv=0) 2003

[66] Slika s interneta: <https://www.europosters.de/ice-hockey-equipment-isolated-on-white-background-f132774517> 15.6.2023.

[67] Slika s interneta: <https://eishockey-onlineshop.de/Skate-Graf-figure-skating-Montana-Senior> 15.6.2023.

[68] Slika s interneta: <https://www.duijvestein-winterstore.de/tecnica-mach1-mv-120-td-gw-2023/> 15.6.2023.

[69] Slika s interneta: [https://www.youtube.com/watch?v=mzhSx4jVKLA&ab\\_channel=BoardInsiders](https://www.youtube.com/watch?v=mzhSx4jVKLA&ab_channel=BoardInsiders) 15.6.2023.

[70] Theswimsuitguy: „A Brief History in Tech Suits“, s interneta [https://www.youtube.com/watch?v=iTnN5LEwLrU&ab\\_channel=TheSwimsuitGuy](https://www.youtube.com/watch?v=iTnN5LEwLrU&ab_channel=TheSwimsuitGuy)

[71] Slika s interneta: <https://www.gettyimages.in/detail/news-photo/michael-phelps-models-the-new-lzr-racer-during-the-new-news-photo/79726868> 15.6.2023.

[72] North Sails: “Fibers & Fabrics: A Sailor’s Guide”, s interneta <https://www.northsails.com/blogs/north-sails-blog/fibers-fabrics-a-sailors-guide-to-finding-the-right-materials> 20.12.2022

[73] Slika s interneta: <https://www.sail-world.com/> 15.6.2023.

[74] Conica: “The tartan track lives on”, s interneta <https://www.conica.com/en/the-tartan-track-lives-on-at-least-as-a-term/> 18.5.2022

- [75] Slika s interneta: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Athletics\\_track.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Athletics_track.jpg) 15.6.2023.
- [76] Slika s interneta: <https://reflexsports.co.uk/> 15.6.2023.
- [77] LeBlanc; Henshaw, R.: "Soccer Ball", s interneta <http://www.madehow.com/Volume-5/Soccer-Ball.html>
- [78] Danzig; Allison; Reichler: „Baseball“, s interneta <http://www.madehow.com/Volume-1/Baseball.html>
- [79] Capital Resin Corporation: „Phenolic Resin and the production of Billiard Balls“, s interneta <https://capitalresin.com/phenolic-resin-and-the-production-of-billiard-balls> 13.4.2022.
- [80] Slika s interneta: <https://www.gettyimages.ch/fotos/baseball-cut-in-half> 16.6.2023.

## POPIS SLIKA

Slika 2.1. Pojednostavljen primjer polimerizacije .....	2
Slika 2.2. Primjer polimernih lanaca nastalih adicijskom polimerizacijom.....	3
Slika 2.3. Primjer stupnjevite polimerizacije .....	3
Slika 2.4. Podjela polimera s obzirom na građu makromolekula.....	5
Slika 2.6. PVC proizvodi.....	6
Slika 2.7. Proizvodi od PET-a.....	7
Slika 2.8. Proizvodi od polipropilena.....	7
Slika 2.9. Proizvodi od polistirena .....	8
Slika 2.10. Prikaz strukture duromera.....	9
Slika 2.11. Proizvodi od stakloplastike .....	9
Slika 2.12. Proizvodi od poliuretana .....	10
Slika 2.13. Stol punjen epoksidnom smolom.....	10
Slika 2.14. Shematski prikaz istezanja gume .....	11
Slika 2.15. Stablo kaučukovca i cijedenje lateksa.....	12
Slika 2.16. Proizvodi od elastomera.....	12
Slika 3.1. Lopte korištene na svjetskim prvenstvima u nogometu kroz povijest .....	13
Slika 3.2. Sportska oprema u povijesti .....	14
Slika 3.3. Sportska oprema od polimera .....	16
Slika 3.4. Pojednostavljen prikaz stroja za injekcijsko prešanje.....	17
Slika 3.5. Golf loptica i štitnik za zube .....	17
Slika 3.6. Pojednostavljen prikaz procesa termooblikovanja.....	18
Slika 3.7. Sportska oprema načinjena procesom termooblikovanja .....	19
Slika 3.8. Wilson “Airless” prototip načinjen SLS tehnologijom.....	20
Slika 3.9. Predmet načinjen stereolitografijom .....	20
Slika 3.10. 3D isprintana sportska oprema FDM tehnologijom.....	21
Slika 3.11. Pojednostavljen prikaz procesa vakuumskog oblikovanja.....	23
Slika 4.1. Dijagram naprezanje – deformacija viskoelastičnog materijala .....	25
Slika 4.2. Kaciga za motosport od polikarbonata.....	26
Slika 4.3. Kaciga za skijanje od ABS-a .....	27
Slika 4.4. Kaciga za lakros koja koristi dual-density poliuretansku pjenu: (A) pjena velike gustoće, (B) pjena male gustoće [26] .....	28



Slika 4.5. Zimska oprema načinjena od polimera .....	30
Slika 4.6. Michael Phelps u LZR Racer kostimu .....	31
Slika 4.7. Regatno jedrenje .....	31
Slika 4.8. Površina sportskih podova načinjena od polimera.....	32
Slika 4.9. Poprečni presjek bejzbol lopte .....	33

## **SAŽETAK:**

Ovaj završni rad naziva „Primjena polimernih materijala u proizvodnji sportske opreme“ uvodno se bavi definiranjem polimernih materijala i načinom izrade polimera. Nadalje, analizira se struktura polimera i kako različite strukture utječu na svojstva polimera. Također je navedena primjena plastomera, elastomera i duromera u određenim industrijama i proizvodima. Naglasak je dan na primjenu polimera u sportskoj industriji, tijekom povijesti pa sve do danas, gdje je objašnjeno kako polimeri pružaju prednost u odnosu na ostale vrste materijala zbog svoje elastičnosti, izdržljivosti, male mase, čvrstoće i drugih poželjnih svojstava. Analizirani su moderni postupci dobivanja sportske opreme toplinskim oblikovanjem i različitim vrstama 3D printanja (SLS, SLA i FDM). Na posljetku je prikazano korištenje polimera za zaštitu sportaša u obliku kaciga i općenito korištenje u pojedinim kategorijama sportova, te su dani odgovarajući zaključci.

Ključne riječi: polimeri, polimerizacija, struktura, plastomeri, duromeri, elastomeri, primjena, sportska oprema, povijesni razvoj, oblikovanje, 3D printanje, kacige, polimeri u sportu

## **ABSTRACT:**

The title of this thesis is „Application of Polymer Materials in the Production of Sports Equipment“. It deals with the definition of polymeric materials, how they are obtained, and the ways in which their structure influences their properties. The application of polymers, elastomers, and thermoset polymers in specific industries and products is also mentioned. The emphasis is placed on the application of polymers in the sports industry, throughout history until today, where it is explained how polymers provide advantages over other types of materials due to their elasticity, durability, low weight, strength, and other desirable properties. Modern methods of manufacturing sports equipment through thermal molding and various types of 3D printing (SLS, SLA, FDM) are analyzed. Finally, the use of polymers for athlete protection and their general use in specific sports are presented, followed by appropriate conclusions.

Key words: polymers, polymerization, structure, elastomers, thermosets, application, sports equipment, historical development, shaping, 3D printing, helmets, polymers in sports