Preoblikovanje polimera na uređaju za vakuumsko toplo oblikovanje

Kliček, Vladimir

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:377191

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

University North Digital Repository

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište
Sjever

Završni rad br. 285/PS/2018

Preoblikovanje polimera na uređaju za vakuumsko toplo oblikovanje

Vladimir Kliček, 0049/336

Varaždin, rujan 2018. godine

Sveučilište Sjever

Odjel za Strojarstvo

Završni rad br. 285/PS/2018

Preoblikovanje polimera na uređaju za vakuumsko toplo oblikovanje

Student

Vladimir Kliček, 0049/336

Mentor

Doc. dr.sc. Sanja Šolić, dipl.ing.stroj.

Varaždin, rujan 2018. godine

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3, HR-42000 Varaždin

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL: Odjel za strojarstvo

PRISTUPNIK: Vladimir Kliček | MATIČNI BROJ: 0049/336

DATUM: 21.09.2018. | KOLEGIJ: Tehnologija 2

NASLOV RADA: Preoblikovanje polimera na uređaju za vakuumsko toplo oblikovanje

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU: Polymer shaping on vacuum-hot forming device

MENTOR: dr.sc. Sanja Šolić, dipl.ing.stroj. | ZVANJE: docent

ČLANOVI POVJERENSTVA:

1. dr.sc.Zlatko Botak, viši predavač
2. dr.sc. Sanja Šolić, docent
3. Marko Horvat, dipl.ing., predavač
4. dr.sc. Tomislav Veliki, docent
5.

Zadatak završnog rada

BROJ: 285/PS/2018

OPIS:

U teorijskom dijelu završnog rada potrebno je opisati načine dobivanja polimernih materijala, objasniti njihovu podjelu, razlike između vrsta polimernih materijala te njihove glavne karakteristike, mehanička svojstva, strukturu kao i mogućnosti oblikovanja i preoblikovanja u ovisnosti o strukturi. Potrebno je opisati i postojeće tehnologije oblikovanja i preoblikvanja polimernih materijala u gotove proizvode, a detaljnije je potrebno opisati postupak vakuumskog toplog oblikovanja polimera te uređaj za vakuumsko toplo oblikovanje. U eksperimentalnom dijelu završnog rada potrebno je ispitati utjecaj vremena grijanja polimernih folija dvije različite debljine, uz konstantnu temperaturu, na prionjovost folija na ispitni model. Materijal folija na kojima će se provesti ispitivanje je poli-propilen (PP). Nakon provedenih ispitivanja potrebno je analizirati rezultate te napisati zaključak.
Rad je potrebno napraviti prema pravilima i uputama za pisanje završnih radova Sveučilišta Sjever.

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE SJEVER

ZADATAK URUČEN: 21.09.2018. | POTPIS MENTORA: Šolić

Predgovor

Zahvaljujem svojoj mentorici, doc. dr. sc. Sanji Šolić, na svim savjetima oko izrade rada. Uistinu sam zahvalan na strpljenju koje je pokazala prema meni i na njenoj stalnoj dostupnosti kad sam trebao pomoć u izradi rada.

Zahvaljujem se svim profesorima na pomoći koju su pružali i trudu kojeg su uložili u prenošenju znanja.

Zahvaljujem se svojoj obitelji, prijateljima i kolegama na podršci kroz ovaj studij.

Zahvaljujem se kolegi Mateju Detiću na suradnji u izradi uređaja za vakuumsko toplo oblikovanje polimera.

Sažetak

U ovom završnom radu bilo je potrebno prikazati postupke tehnologije prerade polimernih materijala te dati kratak pregled polimera, njihovog dobivanja i podjelu. U sklopu završnog rada izrađen je uređaj za vakuumsko toplinsko oblikovanje plastomera te je u teorijskom dijelu rada naglasak stavljen na svojstva i vrste plastomera. U eksperimentalnom dijelu rada provedeno je ispitivanje parametara vakuumskog toplog oblikovanja na prionjivosti polipropilenske folije dvije različite debljine, na ispitni model. Rezultati su pokazali da parametri postupka vakuumskog toplinskog oblikovanja imaju velik utjecaj na prionjivost polipropilenskih folija te da je u konkretnoj industrijskoj primjeni postupka potrebno provesti optimiranje parametara postupaka u ovisnosti o debljini materijala koji se oblikuju kako bi se dobili najbolji rezultati.

Summary

In this thesis paper, it was necessary to show the procedures of polymer processing technology and to give a brief overview of polymers in general, how trey are produced and their classification. As part of this thesis paper, a device for vacuum-hot forming of plastomers was developed. In the theoretical part of the paper, emphasis was put on the properties and types of polymers. In the experimental part of the paper, an examination was conducted to determine the parameters of vacuum hot forming on the adhesion of polypropylene foil of two different thicknesses to the test model. The results have shown that the parameters of the vacuum-hot forming process have a great influence on the adhesion of the polypropylene foils and that in industrial applications of the process it is necessary to optimize the parameters of the processes depending on the thickness of the materials to be formed in order to obtain the best results.

KLJUČNE RIJEČI: vakuumsko toplo oblikovanje, polimer, ispitivanje polimera

KEY WORDS: vacuum-hot forming, polymer, polymer testing

Popis korištenih kratica

PE	Polietilen
PP	Polipropilen
PVC	Poli(vinil-klorid)
PS	Polistiren
POM	Poli(oksimetilen)
PA	Poliamid
PC	Polikarbonat
PE-LD	Polietilen niske gustoće
PE-LLD	Linearni polietilen niske gustoće
PE-HD	Polietilen visoke gustoće
PET	Poli(etilen-tereftalat)

Sadržaj

1. Uvod 1
2. Polimeri 2
2.1. Polimerizacija 3
2.1.1. Lančana polimerizacija 3
2.1.2. Polikondenzacijska stupnjevita polimerizacija 4
2.1.3. Poliadicijska stupnjevita polimerizacija 4
2.2. Kopolimerizacija 5
2.3. Struktura polimera 5
2.3.1. Struktura pojedinačnih molekula 5
2.3.2. Broj tipova mera 6
2.3.3. Opći izgled makromolekule 7
2.3.4. Nadmolekulna (fizička) struktura polimera 7
2.4. Fizička stanja polimera 9
2.5. Podjela polimera prema ponašanju pri visokim temperaturama 11
2.5.1. Plastomeri 12
2.5.2. Elastomeri 14
2.5.3. Duromeri 15
2.5.4. Elastoplastomeri 15
3. Postupci praoblikovanja i preoblikovanja polimera 16
3.1. Postupci praoblikovanja 16
3.1.1. Ekstrudiranje 16
3.1.2. Kalandriranje 18
3.1.3. Kontinuirano prevlačenje 19
3.1.4. Lijevanje 19
3.1.5. Sraščivanje u kalupu 20
3.1.6. Injekcijsko prešanje 20
3.2. Postupci preoblikovanja 21
3.2.1. Hladno oblikovanje plastomera 21
3.2.2. Toplo oblikovanje plastomera 22
4. Eksperimentalni dio 24
4.1. Ispitivanje prve skupine uzoraka 25
4.1.1. Uzorak 1 26
4.1.2. Uzorak 2 27
4.1.3. Uzorak 3 28
4.1.4. Uzorak 4 29
4.1.5. Uzorak 5 30
4.1.6. Uzorak 6 31
4.1.7. Analiza prve skupine uzoraka 32
4.2. Ispitivanje druge skupine uzoraka 35
4.2.1. Uzorak 1 35
4.2.2. Uzorak 2 37

4.2.3. Uzorak 3 ..... *38*
4.2.4. Uzorak 4 ..... *39*
4.2.5. Uzorak 5 ..... *40*
4.2.6. Analiza druge skupine uzoraka *41*

5. Zaključak 44
6. Literatura 45

1. Uvod

Ere civilizacije čestu su bile nazivane po materijalima koje je čovjek tada otkrio i koristio npr. Kameno doba, Brončano, itd. Prateći tu tradiciju, kasnije 20. stoljeće moglo bi se nazvati „Polimerno doba.“ Prirodni polimeri, kao što su to DNK ili proteini, postoje od početaka života, no sintetski polimeri su relativno novi izum, pojavivši se na „mapi materijala“ u 1920-tim godinama. Sljedeća dva desetljeća obilježena su naglim razvojem raznih vrsta umjetnih vlakana, plastomera, duromera, elastomera itd. U ostatku 20-tog stoljeća dogodio s eksplozivni rast razvitka novih polimera i njihovih primjena. Danas, polimeri su nezamjenjivi; od polimera za najširu upotrebu, od kućanstva, vodovodne cijevi, foliju za hranu ili vreće za smeće pa sve do visoko specijaliziranih materijala koji se koriste za izradu dijelova u avionskoj industriji, biomedicinsku primjenu itd.

Glavni razlog zašto su polimerni materijali danas toliko korišteni i neophodni je njihova cijena, jednostavnost proizvodnje i specifična svojstva (mala gustoća, otpornost na djelovanje kiselina i lužina, toplinski i električni izolatori itd). [1]

Proizvodnja polimernih materijala temelji se većinom na istovremenom mehaničkom, toplinskom i reološkom ponašanju polimera. To je ponašanje neposredan odraz makromolekulne strukture polimera i pokretljivosti segmenata makromolekulnih lanaca. Takav oblik gibanja materijalnih čestica svojstven je samo polimerima. [2]

Proizvodnja polimernih materijala pretežno je podijeljena u dvije odvojene faze. Proizvodnja polimernih materijala (plastomera i elastoplastomera) i izradba proizvoda od njih.

Najvažniji postupci preoblikovanja su toplo i hladno oblikovanje, puhanje, izvlačenje i istezanje. Osnovni je cilj promjena oblika pripremka, uz eventualno očvršćivanje. Pretežno se preoblikuju plastomeri. Mogu se preoblikovati i umreživi polimeri, ali proces preoblikovanja prethodi polimeriziranju i/ili umreživanju (stvaranje materijala). Preoblikovanje pretpostavlja da postoji pripremak dobiven jednim od postupka praoblikovanja. Preoblikovanje je ciklički postupak obradbe polimera tijekom kojega se bez odvajanja čestica mijenja oblik pripremka (ploča, folija, filmova). Postignuti oblik mora se učvrstiti hlađenjem ili umrežavanjem. [3]

2. Polimeri

Polimeri su skupni naziv za tvari i materijale kojih su osnovni sastojak makromolekule (grč. makros = veliko, molecula= mala masa), pa se stoga nazivaju i makromolekularnim spojevima. Upravo je makromolekula ta specifična razina strukturiranja koja polimere čini posebnom klasom tvari. [4]

Polimeri se dijele na nekoliko načina. Prema postanku na prirodne i sintetske, a prema kemijskom sastavu na organske i anorganske. Prirodni polimeri su tvari organskog podrijetla, npr. prirodni kaučuk, celuloza, lignin, bjelančevine, tj. tvari koje su glavnina suhe tvari biljnog i životinjskog svijeta. [4]

Danas se proizvodi na stotine vrsta sintetskih polimera. Oni su kao i prirodni, većinom organskog podrijetla, ali mogu biti i anorganski. Sintetski polimeri danas čine temelje industrijske primjene polimernih materijala. [4]

Polimeri su kondenzirani sustavi makromolekula, tj. postoje u čvrstom i kapljevitom, a ne mogu postojati u plinovitom agregatnom stanju. Makromolekula nije naprosto molekula s velikim brojem atoma, nego molekula u kojoj je veliki broj atoma organiziran tako da je makromolekula sastavljena od velikog broja strukturnih jedinica, tzv. mera, koji se u makromolekuli ponavljaju, a malen je broj tipova mera – najčešće samo jedan ili dva. Otuda i naziv polimer (grč. polys = mnogo, meros = dio). [4]

Polimeri kao tehnički materijali se dijele po njihovom ponašanju pri povišenim temperaturama. Dijele se na plastomere, duromere, elastomere i elastoplastomere.

Polimerni materijali se također mogu podijeliti na polimere široke potrošnje, inženjerske materijale i specijalne polimerne materijale. Polimeri široke potrošnje koriste se u izradi umjereno mehanički, toplinski i električno opterećenih proizvoda kao što je ambalaža, kućišta itd. Masovno se proizvode i cijene su im relativno niske. Inženjerski materijali koriste se pri većim mehaničkim toplinskim ili električnim opterećenjima, više su cijene i proizvede se u manjim količinama. Specijalni polimerni materijali koriste se kod specijalnih slučajeva koji zahtijevaju velika mehanička, toplinska ili električna opterećenja. Proizvode se u malim količinima i imaju višu cijenu od inženjerskih materijala. [5]

2.1. Polimerizacija

Monomer je najmanja strukturna jedinica polimera. Odlikuje se niskom molekularnom masom i izraženom sposobnošću stvaranja kemijskih veza s istim ili različitim monomerima. Zahvaljujući tim svojstvima nastaju polimerni lanci različitih duljina. Tipični polimerni lanac uvijek uključuje stotine ili tisuće monomernih molekula. Broj mera u lancu makromolekule naziva se stupanj polimerizacije. Polimeri s malim stupnjem polimerizacije su lako taljive krutine ili viskozne kapljevine. Polimeri s većim stupnjevima polimerizacije su materijali od kojih se izrađuju čvrste folije ili vlakna, oni se otapaju uz prethodno bubrenje. Što je veći stupanj polimerizacije, polimer ima bolja mehanička svojstva. Postupak stvaranja polimernih lanaca naziva se polimerizacija. [3]

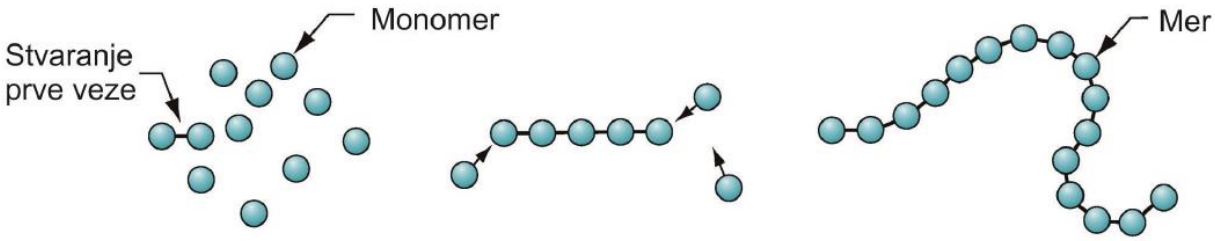
Općenito, polimerizacija je proces stvaranja strukture polimera lančanjem uz umreživanje ili bez njega. [2]

Polimerizacije se uglavnom svrstavaju u dvije skupine: lančane i stupnjevite polimerizacije. Te skupine postupaka polimerizacije međusobno se razlikuju prema kinetici i mehanizmu odvijanja reakcije, što je posljedica različitosti polaznih niskomolekularnih tvari, monomera. Stupnjevite polimerizacije mogu nadalje biti kondenzacijske (polikondenzacija) i adicijske (poliadicija). [4]

2.1.1. Lančana polimerizacija

Lančana polimerizacija jest reakcija stvaranja polimerizata povezivanjem pogodnih niskomolekularnih tvari u lanac. Polazne niskomolekularne tvari moraju u strukturi imati dvostruku (ili trostruku) kemijsku vezu koja otvaranjem postaje reaktivna, čime je i omogućeno povezivanje mera u lanac. Lančane polimerizacije odvijaju se tipičnim mehanizmom u kojima su zastupljene najmanje tri faze: početak reakcije ili inicijacija, odvijanje kemijske reakcije ili propagacija i završetak lančane reakcije ili terminacija. Početak reakcije odvija se između monomera i aktivnih čestica, inicijatora nakon čega slijedi vrlo brza propagacija kojom se na aktivne centre aditira veliki broj monomernih molekula. Porast koncentracije tako nastalih polimernih aktivnih čestica dovodi do njihove terminacije uz nastajanje polimerizata velikih molekularnih masa, od nekoliko desetaka tisuća do nekoliko milijuna. [4]

Najvažnije skupine polimernih tvari koje se dobivaju lančanom polimerizacijom su: polietilen (PE), polipropilen (PP), poli(vinil-klorid) (PVC), polistiren (PS), itd.



Slika 2.1. Lančana polimerizacija [6]

2.1.2. Polikondenzacijska stupnjevita polimerizacija

Polikondenzacija je stupnjevita reakcija izrade polimerizata (polikondenzata) uz izdvajanje sporednih proizvoda. Polazne niskomolekulne tvari me moraju u strukturi imati dvostruku (ili trostruku) kemijsku vezu, kao što je to nužno u slučaju lančane polimerizacije, već reakcijski sposobne skupine atoma, tzv. funkcijske skupine. Polikondenzacijom je moguće polimerizirati linearne, granate i umrežene polikondenzate, ovisno o tome imaju li polazni monomeri dvofunkcionalne, trofunkcionalne ili višefunkcionalne reaktivne skupine. Najvažnije skupine polimernih tvari koje se dobivaju polikondenzacijskim polimerizacijama su: melaminske smole, poliamid 66, polikarbonat, poliesteri i silikoni. [4]

2.1.3. Poliadicijska stupnjevita polimerizacija

Poliadicija je stupnjevita reakcija izrade polimerizata (poliadukta). Za razliku od polikondenzacijske polimerizacije nema izdvajanja sporednih proizvoda reakcije. Polazne niskomolekulne tvari kao i kod polikondenzacije ne moraju u strukturi imati dvostruku kemijsku vezu, već reakcijski sposobne skupine atoma. Povezivanje monomera u makromolekulne lance odvija se vezivanjem krajnjih reaktivnih skupina monomera. Za tu skupinu reakcija karakterističan je prijelaz atoma vodika iz funkcionalne skupine jednog monomera u funkcionalnu skupinu drugog monomera. Kao i kod polikondenzacije moguće je dobiti linearne , granate ili umrežene polimerizate, ovisno o funkcionalnosti reaktivnih skupina. Tipični proizvodi poliadicijske polimerizacije jesu poliuretani i epoksidne smole. [4]

2.2. Kopolimerizacija

Kopolimerizacija je istovremena polimerizacija dva ili više monomera od kojih je svaki samostalno sposoban za polimerizaciju. [3]

2.3. Struktura polimera

Svaka tvar ima dvije razine strukturiranja. Strukturiranje na molekularnoj razini opisuje se molekulnom ili kemijskom strukturom, a strukturiranje na razini sustava molekula nadmolekularnom ili fizičkom strukturom. Kemijska struktura razlikuje se od fizičke po energiji veze, polimeri obzirom na druge klase tvari pokazuju brojne specifičnosti molekulne i nadmolekulne strukture. [4]

2.3.1. Struktura pojedinačnih molekula

Strukturu pojedinačnih molekula određuje:

a) Konstitucija – vrste ponavljajućih jedinica i način vezanja
b) Konfiguracija – različiti stupnjevi prostorne uređenosti molekula, odnosno prostornog rasporeda supstituenata na ugljikovim atomima glavnog lanca
c) Konformacija – različita pokretljivost lanca ili segmenata lanca oko jednostruke veze

Konstitucija molekule označuje vrstu i redoslijed vezanja pojedinih atoma, bez obzira na njihovu usmjerenost u prostoru. Ta definicija u slučaju polimera uključuje kemijski sastav mera, ali i blokove, grananje, duljine molekula, itd.

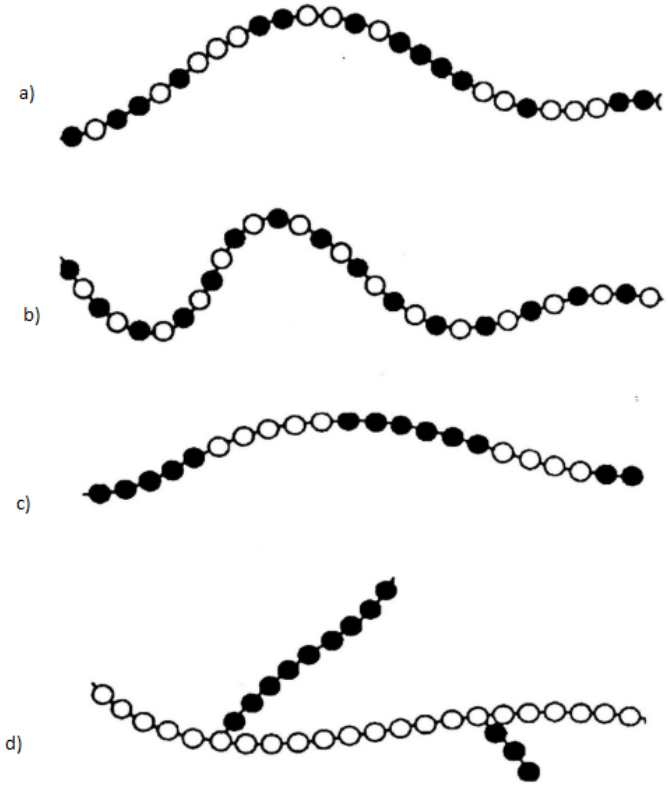
Konfiguracija podrazumijeva određeni prostorni razmještaj atoma ili atomskih skupina oko jednog ugljikovog atoma. Po rasporedu bočnih skupina u odnosu prema ravnini ugljikovodikova niza razlikuje se ataktne (slučajni raspored bočnih skupina), izotaktne (pravilno poredane bočne skupine s jedne strane niza) i sindiotaktne (pravilno poredane bočne skupine s obje strane ugljikovodikova niza) polimerne materijale

Konformacija predstavlja prostorni raspored atoma ili skupine atoma postignut rotacijom oko jednostruke -C-C- veze. Mogućnost rotacije oko jednostrukih C-C veza omogućuje polimernim molekulama gotovo neizmjerni broj konformacija. [3]

2.3.2. Broj tipova mera

Podjela po broju tipova mera spada u kemijsku strukturu polimera. Prema broju tipova istovrsnih mera u makromolekuli mogu se razlikovati homopolimeri i kopolimeri. Makromolekule homopolimera izgrađene se od samo jednog tipa mera, a makromolekule kopolimera imaju dva ili više mera, koji ovisno o uvjetima odvijanja reakcije mogu biti raspoređeni:

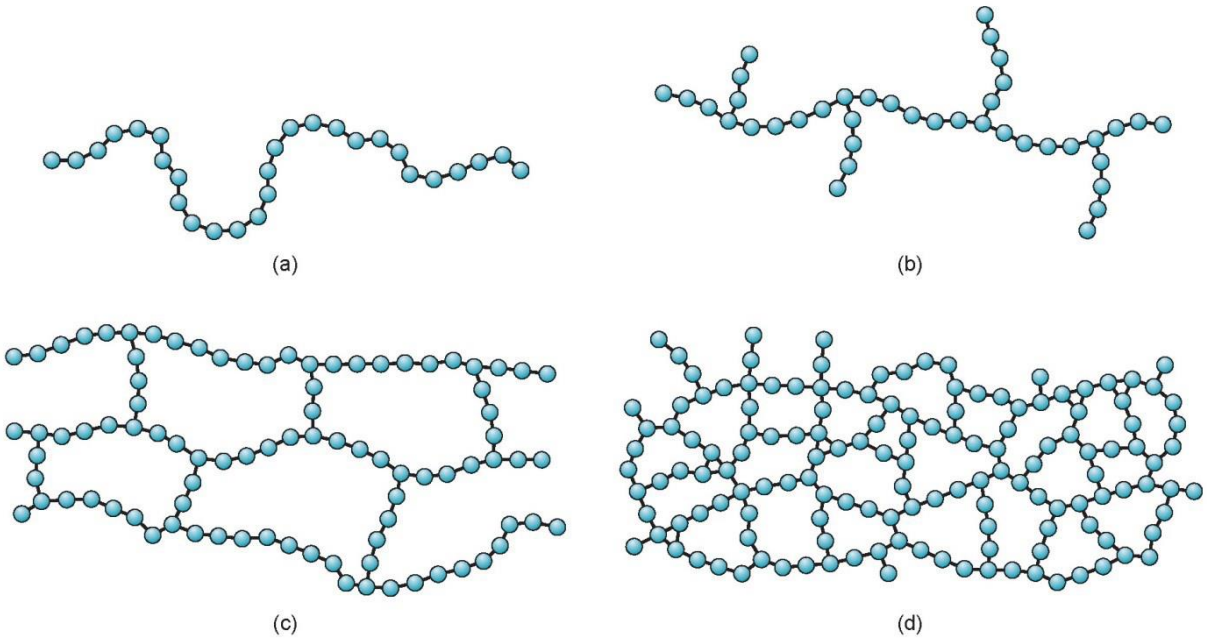
a) statistički,
b) naizmjenično,
c) u blokovima ili
d) cijepljeni (slika 2.2). [3]



Slika 2.2 Vrsta kopolimera, a) statistički kopolimer, b) naizmjenični kopolimer, c) blok kopolimer, d) cijepljeni kopolimer [7]

2.3.3. Opći izgled makromolekule

Po općem izgledu makromolekule su linearne, granate, djelomično (rahlo) umrežene i potpuno (gusto) umrežene (Slika 2.3).



Slika 2.3 Opći izgled makromolekule, a) linearna makromolekula, b) granata makromolekula, c) djelomično (rahlo) umrežena makromolekula, d) potpuno (gusto) umrežena makromolekula [6]

Linearna makromolekula ima samo dvije krajnje skupine, tj. svaki mer u lancu vezan je samo s dva susjedna mera (slika 2.3.a). U granatim makromolekulama na neke od mera u glavnom lancu vezani su bočni lanci (slika 2.3.b). Ako su ti bočni lanci relativno kratki u usporedbi s glavnim lancem, granata makromolekula još uvijek zadržava većinu svojstava karakterističnih za linearnu makromolekulu. Ta sličnost nestaje kad ukupna duljina bočnih lanaca premašuje duljinu glavnog lanca i kad se bočni lanci isprepliću. Ako se bočni lanci vežu međusobno kemijskim vezama, nestaje glavni lanac – svi su meri spojeni u trodimenzijsku mrežu koja može biti djelomično ili gusto umrežena (slika 2.3.c i 2.3.d). takvi umreženi polimeri imaju bitno različita svojstva od linearnih polimera. [4]

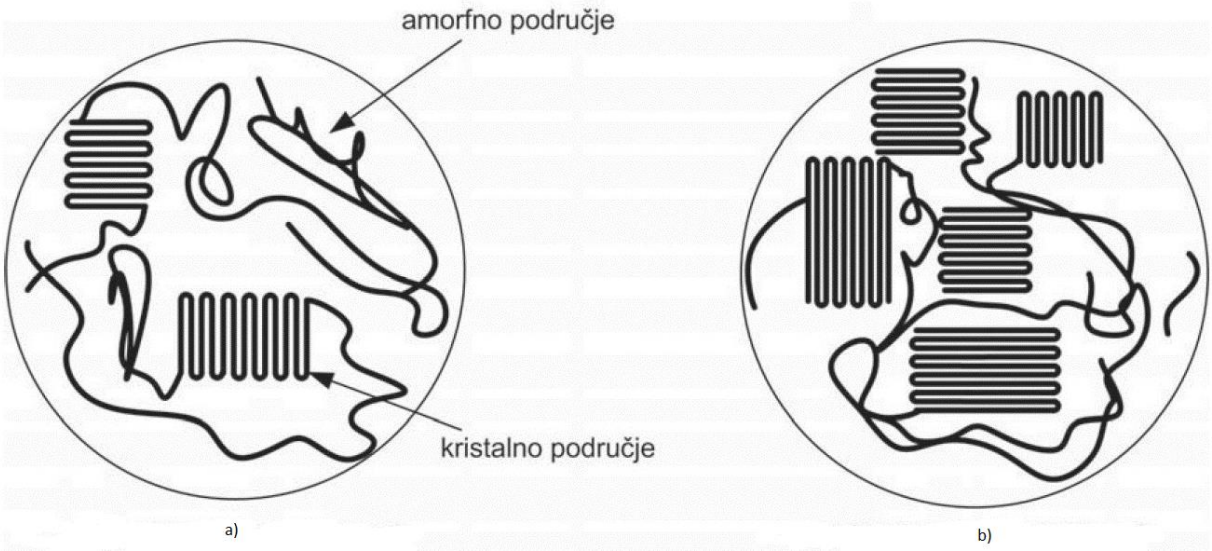
2.3.4. Nadmolekulna (fizička) struktura polimera

Veze između makromolekula glavna je karakteristika polimera. O tim vezama ovise mehanička i preradbena svojstva polimera. Povezanost molekula duž makromolekulnog lanca polimera ostvaruje se primarnim vezama. Te primarne veze su kemijske veze koje povezuju mere u

makromolekulnom lancu. Kod većine polimera lanci su međusobno povezani sekundarnim (fizikalnim) vezama. Sekundarne veze ostvaruju se s pomoću Van der Waalsovih sila, dipolnih sila i vodikovih mostova. Iako je interakcija atoma dviju molekula (sekundarna veza) stotinu puta manja od energije valencijske veze (primarna veza) u svakoj od molekula, dvije makromolekule mogu imati toliko mnogo dodirnih mjesta da je ukupna energija interakcije tih sviju makromolekula veća od energije primarnih veza u njima. Zato je nemoguće da se makromolekula odjednom, u cjelini pomakne s obzirom na susjedne makromolekule. Stoga polimeri ne mogu isparivati i postoje samo kao kondenzirani sustavi makromolekula. To također znači da mehaničke deformacije, povratljive (elastične deformacije) i nepovratljive (plastična deformacija čvrstog tijela i tečenje kapljevine) nisu iste prirode kao u niskomolekulnim tvarima. [4]

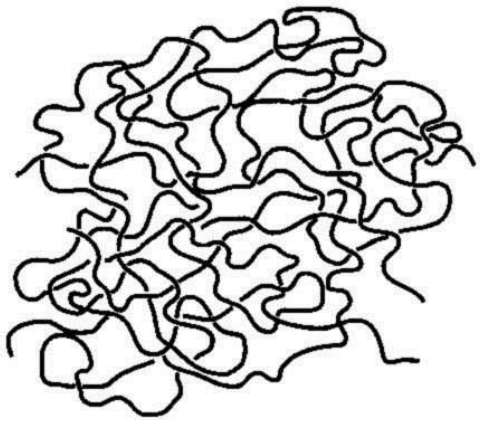
Polimeri u čvrstom stanju mogu imati različite prostorne rasporede makromolekula. Polimer ima amorfnu strukturu ako je njegov prostorni raspored makromolekula nepravilan. Takva amorfna struktura javlja se u kapljevinama i amorfnim čvrstim tvarima. Ako je struktura polimera potpuno pravilna, onda se takva struktura naziva kristalnom. Strukture u kojima se istovremeno javlja i kristalna i amorfna struktura nazivaju se kristalaste strukture. [4]

Da bi se odredila granica do koje se neki polimer smatra kristalastim, uveden je pojam stupanj kristaličnosti. On ovisi o građi makromolekule i uvjetima polimerizacije. Ovisno o uvjetima stupanj kristaličnosti može varirati od 5 do 95% ukupnog volumena polimera. Na slici 2.4.a prikazan je polimer s niskim stupnjem kristaličnosti, a na slici 2.4.b polimer s visokim stupnjem kristaličnosti.[3]



Slika 2.4 Stupanj kristaličnosti polimera, a) polimer s niskim stupnjem kristaličnosti, b) polimer s visokim stupnjem kristaličnosti [3]

Amorfnu strukturu polimera karakterizira nesređen raspored atoma i molekula u materijalu (slika 2.5). U amorfnim polimerima nema prostornog poretka reda veličine valne duljine svjetlosti, pa nema niti promjene indeksa loma svjetlosti unutar polimera, niti difuznog rasipanja svjetlosti. Zato su homogeni amorfni polimeri bez dodatka boje, ojačala ili pigmenata, prozirni. [3]



Slika 2.5. Amorfna struktura polimera [3]

Dok se mnogi komercijalno dostupni polimeri nalaze samo u amorfnom stanju, drugi su pak sposobni stvarati područja u kojima su polimerni lanci složeni vrlo pravilno. Važno je naglasiti da je u praksi gotovo nemoguće ostvariti potpunu kristalnost polimerne strukture. [3]

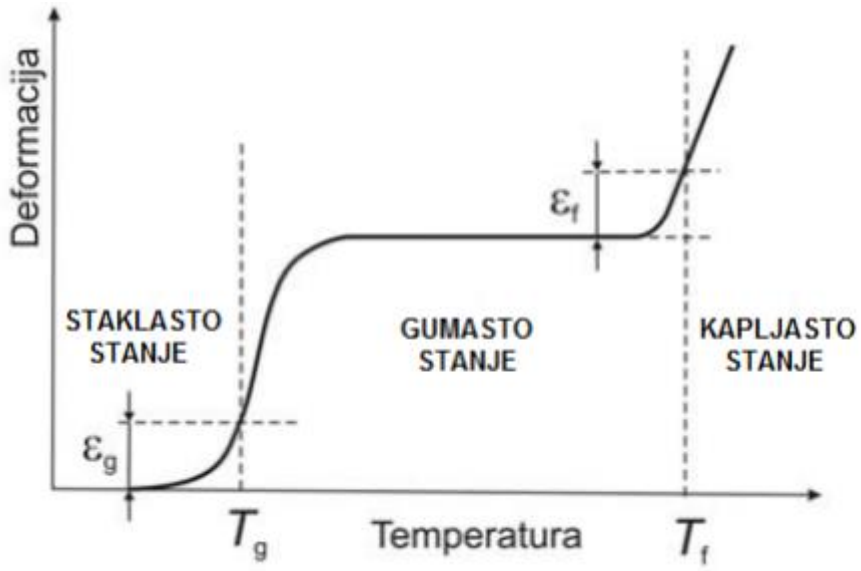
2.4. Fizička stanja polimera

Deformacija polimernnog tijela ne ovisi samo o naprezanju već i o temperaturi, vremenu u kojem se deformacija promatra i uvjetima opterećivanja. Ovisno o uvjetima opterećivanja, postoje tri izrazito različite skupine fizičkih stanja u kojima se polimer može naći:

- staklasto
- gumasto
- kapljasto.

Tri navedena stanja jesu skupine fizičkih stanja, koja su grupirana po kriteriju deformabilnosti, stoga se ta stanja još nazivaju i deformacijska ili relaksacijska stanja. Deformacijska stanja reflektiraju pokretljivost makromolekule u toplinskom gibanju. [4]

Ovisnost deformacije, uzrokovane vanjskim opterećenjem, o temperaturi moguće je predočiti termomehaničkom krivuljom na kojoj su vidljiva tri različita deformacijska stanja polimera (slika 2.6).



Slika 2.6 Termomehanička krivulja linearnog amorfnog polimera [8]

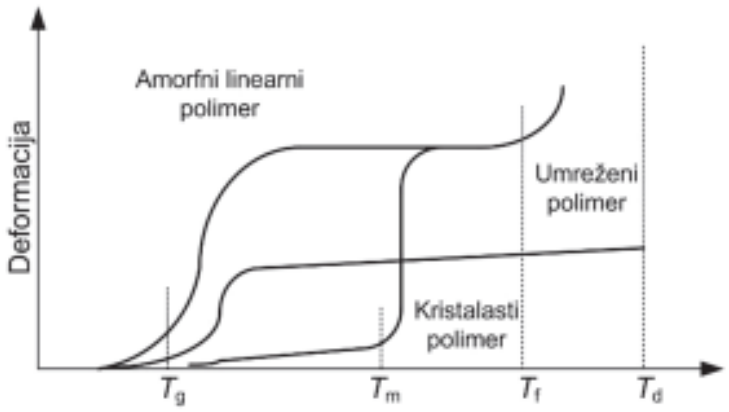
U staklastom stanju energija toplinskog gibanja segmenata makromolekulnog lanca nije dostatna za savladavanje potencijalne barijere interakcija s drugim segmentima (vlastite i drugih molekula), pa se elastična deformacija ostvaruje promjenama valentnih veza i kutova, stoga je deformacija polimera u staklastom stanju istog tipa kao i deformacija stakla i keramike, mala je po iznosu, nastaje i nestaje trenutačno i približno slijedi Hookov zakon elastičnosti.

U gumastom stanju energija toplinskog gibanja segmenata dovoljna je za savladavanje potencijalne barijere, pa makromolekula prelazi u konformaciju istegnutu u smjeru djelovanja vanjskog opterećenja. Promjenom konformacije moguće je ostvariti mnogo veća elastična istezanja nego promjenom valentnih veza i kutova, no kako se ta visokoelastična deformacija ostvaruje toplinskim gibanjem, potrebno je za njeno razvijanje i njeno nestajanje neko konačno, relaksacijsko vrijeme.

U kapljastom stanju pokretljivost je segmenata toliko velika da se oni kooperativno gibaju u smjeru djelovanja vanjskog opterećenja. U istom se sjeru premješta i središte masa makromolekula, što je nepovratljiva deformacija – tečenje.[4]

Prijelaz iz staklastog u gumasto stanje karakterizira se temperaturom staklastog prijelaza, staklištem i označuje se kao T_g , a prijelaz iz gumastog u kapljasto stanje tecištem i označuje se kao T_f . [4]

Termomehanička krivulja bitno ovisi o stupnju uređenosti nadmolekulne strukture polimera. Umreženi polimeri ostvaruju pri istim uvjetima manju gumastu deformaciju od linearnih amorfnih polimera, a područje prijelaznih temperatura iz staklastog u gumasto stanje redovito je mnogo šire. Umreženi polimer ne može poteći (nema tecišta, T_f) nego se razgrađuje pri određenoj temperaturi razgradnju, razgradilištu (T_d) (slika 2.7)



Slika 2.7 ovisnost termomehaničke krivulje o stupnju uređenosti strukture [9]

Kristalasti polimeri iznad stakliša, T_g , ostvaruju vrlo malu gumastu deformaciju, jer u kristalnoj rešetki postoje velika energijska ograničenja promjeni konformacije makromolekula. Dostizanjem temperature taljenja kristalita, tališta (T_m) nastaje promjena kristalnog poretka. Ako je $T_m = T_f$ kristalasti polimer izravno prelazi u kapljasto stanje taljevine. Kristalasti polimer niskih i srednjih molekulnih masa imaju $T_m > T_f$. Većina tehnički uporabljivih kristalastih polimera velikih je molekulnih masa, i za njih vrijedi $T_m < T_f$. Takvi kristalasti polimeri prije prijelaza u kapljasto stanje najprije postaju amorfni i ostvaruju visoke iznose gumaste deformacije.

Staklasto i gumasto stanje nisu različita agregatna stanja tvari. Naime, staklište nije fazni prijelaz, već prijelaz iz jednog u drugo fizičko (deformacijsko) stanje tvari, karakteristično za makromolekulne spojeve. Polimeri, obzirom da ne mogu postići plinovito agregatno stanje imaju samo jedan fazni prijelaz, i to onaj koji se zbiva na prijelazu iz čvrstog gumastog u kapljasto stanje (T_f). [4]

2.5. Podjela polimera prema ponašanju pri visokim temperaturama

Prema ponašanju pri povišenim temperaturama polimerni se materijali dijele na tri temeljne skupine : duromere, elastomere i plastomere. Posebnu skupinu čine elastoplastomeri.

2.5.1. Plastomeri

Plastomeri su taljivi i topivi polimerni materijali čiju strukturu čine linearne ili granate makromolekule. Zagrijavanjem mekšaju, a prije nego se otope bubre.

Po potrošnji i proizvodnji plastomeri su najrasprostranjenija skupina polimernih materijala. Obzirom na bitno različita uporabna i preradbena svojstva, plastomeri se najčešće razlikuju po stupnju uređenosti strukture. Tako postoje amorfni i kristalasti, a rjeđe i potpuno kristalni plastomeri.

Zbog postojanja sekundarnih međumolekulnih veza, koje djelovanjem topline postupno pucaju, plastomeri zagrijavanjem mekšaju (prelaskom područja staklastog prijelaza), a daljnjim zagrijavanjem prelaze u stanje taljevine (prolaskom područja tečenja). Takvo ponašanje plastomere čini temelj njihova praoblikovanja, preoblikovanja i spajanja zavarivanjem u gotove proizvode te ih čini pogodnim za recikliranje. Plastomere je moguće zagrijavanjem i hlađenjem neograničeno mnogo puta dovesti u navedena fizička stanja. Pod uvjetom da se ne prekorače temperature razgradnje (razgradilište, T_d) pri kojima se makromolekule kemijski razgrađuju na niskomolekulne spojeve. [4]

Gotovo polovica komercijalno upotrebljivih plastomera po svojim se obilježjima makromolekulne strukture svrstavaju u amorfne plastomere. Njihovi polimerni lanci uvijek imaju slučajni raspored. Pri niskim temperaturama amorfni plastomeri su u čvrstom stanju i nema zapaženijeg gibanja molekula. Povišenjem temperature prelaze u kapljevito stanje uz stalna molekulna kretanja. Amorfni plastomeri, bez boje i ojačanja su uglavnom prozirni, krhki i slabije kemijske postojanosti. [3]

Pri povišenim temperaturama, iznad tališta kristalita (T_m), kristalasti plastomeri prelaze u kapljevito stanje. Tu je konformacija molekula slučajna, ne razlikuje se od one amorfnih plastomera pa je iznad T_m makromolekulna struktura amorfna. Hlađenjem iz amorfne faze, makromolekulni lanci ili njihovi dijelovi kristaliziraju.

Obzirom na staklište amorfne faze moguće je razlikovati dvije skupine kristalastih plastomera. Prvu skupinu čine polietilen (PE), polipropilen (PP) i poli(oksimetilen) (POM). Ti su plastomeri do vrlo niskih temperatura (< 80 °C) podatljivi (plastični), a tek pri još nižim temperaturama postaju staklasto krhki. Drugu skupinu čine plastomeri sa staklasto amorfnom fazom $T_g > T_u$. U tu se skupinu ubrajaju poliamidi (PA) i polikarbonati (PC)

Kod kristalastih materijala stupanj kristalnosti izravno utječe na preradbena i uporabna svojstva. Viši stupanj kristalnosti povisuje gustoću, tvrdoću, čvrstoću, krutost i postojanost prema otapalima. Veći udjel amorfne faze poboljšava fleksibilnost, podatljivost i preradljivost.

Kristalasti su materijali u pravilu neprozirni. Mogu se pojaviti kao djelomično prozirni, svjetlopropusni (translucentni). Odlikuju se izvrsnom žilavošću i razvlačivosti te boljom kemijskom postojanošću od amorfnih plastomera. [3]

Među više od 50 različitih vrsta plastičnih materijala, u ukupnoj svjetskoj proizvodnji polimera više od 80% čini sedam tzv. širokoprimijenjivih plastomera: polietilen niske gustoće (PE-LD), linearni polietilen niske gustoće (PE-LLD) i polietilen visoke gustoće (PE-HD), zatim polipropilen (PP), te amorfni poli(vinil-klorid) (PVC), polistiren (PS) te sve prisutniji poli(etilen-tereftalat) (PET). [3]

- **Polietilen (PE)**

Polietilen je kristalasti plastomer koji se industrijski proizvodi polimerizacijom etilena CH_2-CH_2 . Mali stupanj polimerizacije rezultira niskom gustoćom (PE-LD, 0,910 – 0,925 g/cm^3), a viši stupanj visokom gustoćom (PE-HD, 0,941 – 0,965 g/cm^3).

Polietilen niske molekulne mase odlikuje se visokom viskoznosti i takvi se tipovi pogodni za preradu injekcijskim prešanjem. Tipovi polietilena visoke molekulne mase odlikuju se niskom viskoznosti. Oni su pogodni za preradu ekstrudiranjem i toplim oblikovanjem. Sve vrste polietilena karakterizira: niska cijena, neutralnost na kemikalije, dobra električna svojstva, jednostavnost prerade i odlična mehanička svojstva u području nižih temperatura. [3]

- **Polipropilen (PP)**

Polipropilen (PP, gustoća 0,9 – 0,91 g/cm^3) kristalasti je plastomer višeg tališta (175 °C) nego PE. Pri niskim temperaturama (<0 °C) je krhak s obzirom na to da je staklište oko -20 °C. radi povišenja žilavosti često se kopolimerizira. Zahvaljujući prihvatljivoj tržišnoj cijeni PP ima vrlo široko područje primjene (dijelovi unutrašnjosti automobila, filmovi za pakiranje, dijelovi namještaja,…) [3]

- **Poli(vinil-klorid) PVC**

U svom čistom obliku PVC je krut i krhak, ali se njegova svojstva mogu lagano modificirati. Poznato je više od stotinu vrsta plastomera na osnovi vinil-klorida. Razlikuju se po postupcima dobivanja, vrsti i količini omekšavala, sadržaju komponenata ili drugih polimera. Njihova se fizička svojstva tako mijenjaju od savitljivog, elastomernog do žilavog ili krutog materijala.

Poznata su dva osnovna tipa PVC-a: kruti i savitljivi. Kruti PVC je tvrd, žilav, proziran i teško obradiv materijal, ali zato vrlo postojan na utjecaj atmosferilija, vlage i kemikalija, a ima i odlična električna svojstva i slabi gori. Drugi, savitljivi PVC, sadrži 20 – 30% omekšavala, lagano se

prerađuje, ali je slabijih mehaničkih svojstava i manje je postojan prema utjecaju topline i atmosferilija.

Poli(vinil-klorid) ne kristalizira u uobičajenom smislu. Za njegovu preradu potrebna je temperatura koja je dosta iznad relativno niskog staklišta (140-190 °C). PVC se najčešće upotrebljava u proizvodnji: okvira prozora, boca, zaštitnih panela u kućanstvu, različitih cijevi, obloga za žice i kabele. [3]

- **Polistiren (PS)**

Polistiren je amorfni plastomer. Njegovo staklište čini ga materijalom niske toplinske postojanosti. Čisti PS je vrlo proziran i krhak. Slitina PS s česticama kaučuka je žilavija i manje prozirnosti. Tipični primjeri njegove primjene su: jednokratni pribor za jelo, zaštitna pakovanja, prozirni spremnici, itd. Često se upotrebljava i u pjenećem obliku za izradbu pjenaste ambalaže i izolacijskih ploča. [3]

2.5.2. Elastomeri

Elastomeri se mogu najbolje definirati kao materijali sa sposobnošću vrlo velikih elastičnih deformacija. Praksa je potvrdila da se takvo posebno mehaničko ponašanje temelji na gumastom stanju polimernih molekula (iznad staklišta, -60 °C). Pri tom se molekule svojim slučajnim redoslijedom opiru deformaciji. Nijedan drugi materijal ne pokazuje takve elastičnost. Zbog toga se gumeni materijali nazivaju elastomeri.

Osim elastičnosti, gume posjeduju niz drugih svojstava. Tako su npr. neki gumeni materijali nepropusni za vodu i zrak, ili su postojani pri temperaturama višim od 200 °C. također mogu biti postojani na agresivne medije, ili pak savitljivi pri -100 °C.

Kaučuk, bilo prirodni bio sintetski, osnovni je sastojak kaučukovih smjesa. Pod pojmom kaučuk razumijeva se neumreženi polimer, prirodni ili sintetski, koji nakon umreživanja postaje entropijski elastičan.

Gumasta elastičnost pojavljuje se u kratkim vremenskim razdobljima kod nekristalizirajućih plastomernih polimera iznad staklišta. Prevladava teza da su zapleti molekulnih lanaca odgovorni za prijenos opterećenja na pojedinačne dijelove molekule. Takvi zahvati lanaca nisu, međutim, kontinuirani i efekti rasterećenja onemogućuju da materijal bude posve elastičan. [3]

2.5.3. Duromeri

Za razliku od plastomera, u strukturi duromera prevladava gusta prostorna umreženost makromolekula primarnim (kemijskim) vezama, tvoreći tako amorfnu nadmolekulnu strukturu. Stogu su pri sobnim temperaturama duromeri ukrućeni i malo deformabilni. Pritom takve karakteristike zadržava u čitavom području uporabe, koje se praktično proteže sve do temperature razgradnje. U potpuno umreženom duromeru nema sekundarnih (fizikalnih) veza. Ipak u stvarnosti nije uvijek moguće postići potpunu umreženost, pa u strukturi duromera uvijek postoji i mali udio fizikalnih veza. Postojanje fizikalnih veza utječe na blago mekšanje duromera pri zagrijavanju neposredno prije dostizanja područja razgradnje, jer dolazi do njihova kidanja.

Kod rahlo umreženih duromera taj je utjecaj još značajniji, pa je moguće jasno uočiti područje staklastog prijelaza. Kod takvih duromera područje primjene je ograničeno na područje temperatura ispod stakliša, koja su ipak, u usporedbi s plastomerima i elastomerima znatno većih vrijednosti.

Kada jednom duromerna polimerna smjesa (tijekom preradbe) postigne prostorno umreženu strukturu nije je više moguće, za razliku od plastomera, zagrijavanjem omekšati i rastaliti. Nastaje duromerni materijal, duromer. Duromeri neznatno bubre i nije ih moguće otopiti.[4]

2.5.4. Elastoplastomeri

Elastoplastomeri su posebna skupina blok-kopolimera ili cijepljenih kopolimera kod kojih su jedne skupine mera plastomernog tipa, a druge skupine mera elastomernog tipa. Nužno je pritom da staklište plastomernih blokova (ili grana) bude iznad stakliša elastomernih. Obzirom na strukturu plastomernih blokova razlikuju se amorfni i kristalasti elastoplastomeri. Kod amorfnih elastoplastomera plastomerni blokovi imaju staklište iznad sobnih temperatura, a elastomerni blokovi ispod sobnih temperatura.

Kod kristalastih elastoplastomera, plastomerni blokovi ovisno o vrsti plastomera mogu imati staklište ispod ili iznad sobnih temperatura, ali redovito iznad stakliša elastomernih blokova. Plastomerni blokovi međusobno su povezani sekundarnim vezama. Ta mjesta u strukturi elastoplastomera predstavlja rahla fizikalna umreženja, osjetljiva na toplinske utjecaje.

Zbog toga se elastoplastomeri pri povišenim temperaturama ponašaju kao plastomeri, mekšaju i prelaze u kapljasto stanje, dok se pri sobnim temperaturama zadržavaju tipična elastomerna svojstva (povišene elastične deformacije). To znači da su im uporabna svojstva slična svojstvima umreženih elastomera, a prerađuju se postupcima tipičnim za plastomere. [4]

3. Postupci praoblikovanja i preoblikovanja polimera

3.1. Postupci praoblikovanja

Polimerne tvari i polimerni materijali pretvaraju se u polimerne tvorevine mnogobrojnim reakcijskim i nereakcijskim postupcima, u proizvodnji polimernih tvorevina težište je na postupcima kojima se povezuju čestice, praoblikovanju (preradbi). Proizvodnja polimernih tvorevina obuhvaća postupke praoblikovanja polimera, preoblikovanja i obrade polimernih pripremaka, povezivanja te oplemenjivanja polimernih izradaka.

Prema trajanju pravljenja polimerne tvorevine, postupci praoblikovanja mogu biti kontinuirani i ciklički. [3]

3.1.1. Ekstrudiranje

Ekstrudiranje je najprošireniji postupak prerade polimernih materijala. Osnovna načela ekstrudiranja poznata su već gotovo dva stoljeća. Ektrudiranjem se izrađuju tzv. beskonačni proizvodi ili poluproizvodi (ekstrudati), tj. oni kojima sve dimenzije nisu konačne i točno određene. To su npr. krute i gripke cijevi, štapovi i ostali profili, vlakna, obloženi kabli itd.

Ekstrudiranje je postupak kontinuiranog praoblikovanja protiskivanjem kapljevitog polimera kroz mlaznicu. Istisnuti polimer očvršćuje u tvorevinu, ekstrudat, hlađenjem, polimeriziranjem i/ili umreživanjem. Ekstrudat se slaže ili namotava. Cikličko protiskivanje klipom naziva se istiskivanjem, a prave se proizvodi od duromera i plastomernog poli(tetrafluoretilena).

Osnovni su elementi linije za ekstrudiranje ekstruder (stroj) i alat za ekstrudiranje.

Ekstruder služi potiskivanju kapljevitog polimera dobivenog omekšavanjem ili otapanjem. Potiskuje se pužnim vijcima, valjcima ili pločama. Ekstruderi koji prevode polimer iz čvrstog u kapljevito stanje nazivaju se plastificirajućim ekstruderima i oni prevladavaju. Ako se polimer dobavlja ekstruderu u obliku kapljevine dobivene omekšavanjem ili otapljanjem, takav ekstruder naziva se kapljevinskim.

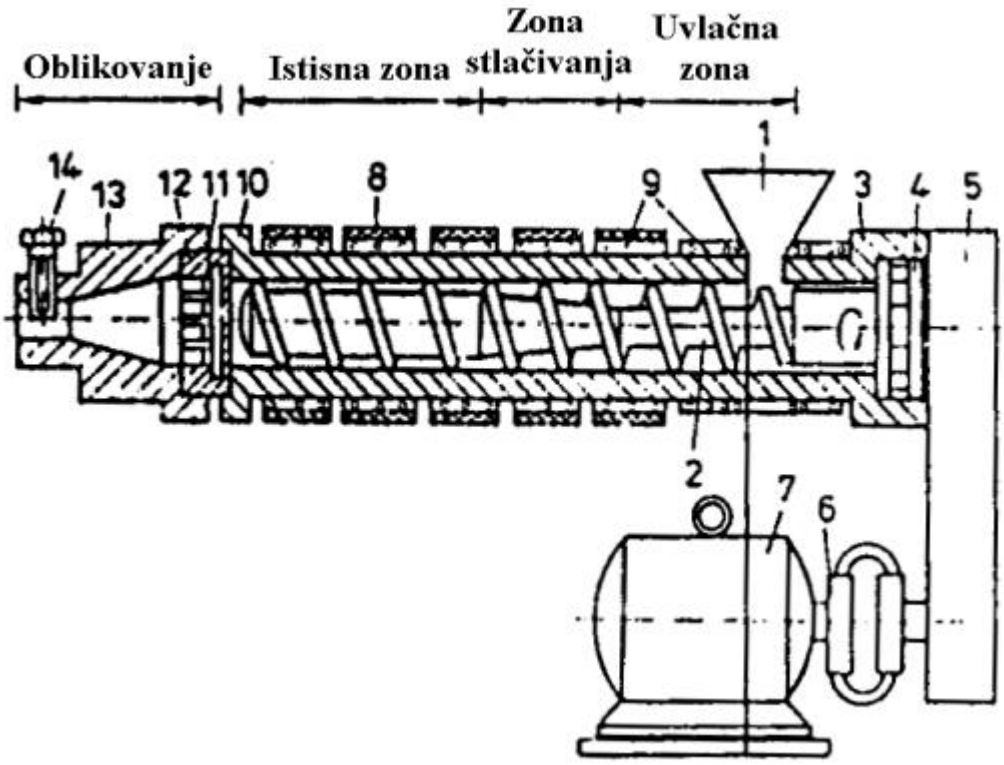
Ekstruderi s pužnim vijkom u osnovi se sastoji od lijevka, cilindra, pužnog vijka i glave (slika 3.1) pužni vijak je smješten u cilindru za taljenje. Čvrsti polimer u obliku granula ili praha ulazi u ekstruder kroz lijevak.

Ulazak polimera često se pospješuje djelovanjem pretlaka ili podtlaka. Kaučukove smjese obično ulaze u ekstruder kao trake. Polimer upada u cilindar tada ga zahvaća rotirajući pužni vijak te potiskuje kroz ostale zone prema glavi ekstrudera. Pritom se polimer stlačuje, smanjuje mu se obujam i zagrijava se. Ako zagrijavanjem polimera uzrokovano trenjem nije dovoljno, cilindar

ekstrudera zagrijava se izvana elektrootpornim pojasnim grijalima, a pužni se vijak održava pri propisanoj temperaturi. Prolaskom kroz cilindar omekšani se polimer može vrlo dobro izmiješati te toplinski i mehanički homogenizirati.

Cilindar završava prirubnicom na koju se pričvršćuje glava ekstrudera. Glava je element kalupa ili spojni dio između alata za ekstrudiranje i cilindra. Tu su smještena sita i cjedilo. Sita zadržavaju nečistoće, strana tijela i izgorjele djeliće polimera. Osim toga, sita i cjedila omogućuju dopunsko homogeniziranje i jednolikost dobave materijala glavi ekstrudera.

Na slici 3.1 prikazan je presjek jednopužnog plastificirajućeg ekstrudera. Njegovi dijelovi su: 1-lijevak, 2-pužni vijak, 3- cilindar za taljenje, 4-tlačni ležaj, 5-namjestivi prigon, 6-spojka, 7-pogonski motor, 8- grijala, 9-hladila, 10-prirubnica, 11-sita, 12-cijedilo, 13-glava ekstrudera - mlaznica, 14- prigušnica. [3]



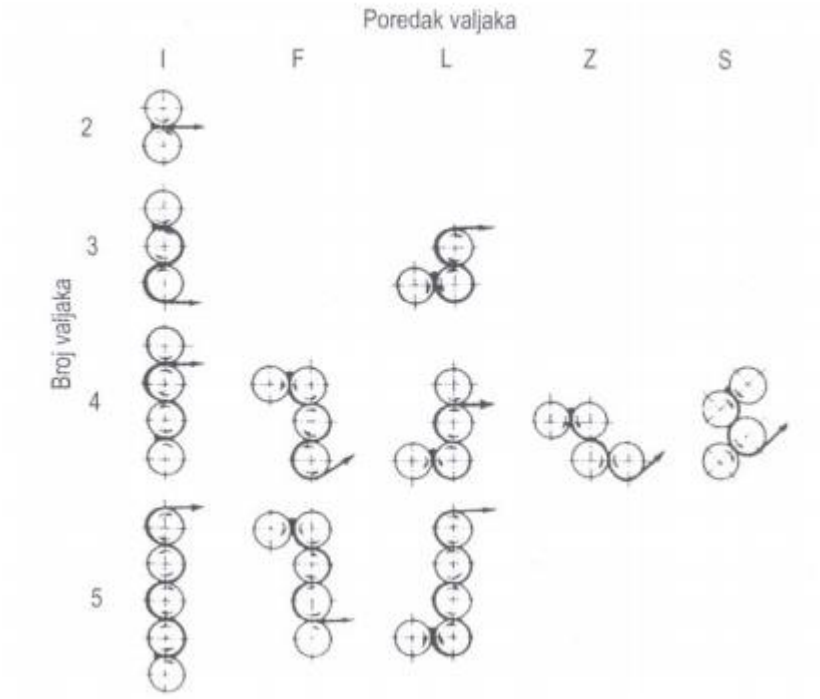
Slika 3.1 Presjek jednopužnog plastificirajućeg ekstrudera, 1-lijevak, 2-pužni vijak, 3- cilindar za taljenje, 4-tlačni ležaj, 5-namjestivi prigon, 6-spojka, 7-pogonski motor, 8- grijala, 9-hladila, 10-prirubnica, 11-sita, 12-cijedilo, 13-glava ekstrudera - mlaznica, 14- prigušnica [10]

3.1.2. Kalandriranje

Kalandriranje je kontinuirani postupak pravljenja beskonačnih trakova praoblikovanjem, visokoviskoznog kapljastog polimera njegovim propuštanjem između parova valjaka kalandra s namjestivim rasporom. Pritom valjci pritišću polimer. Tvorevina, kalandrat u obliku traka, nastaje očvršćivanjem – procesima geliranja, hlađenja ili umreživanja.

Prema debljini, kalandrirani se trakovi razvrstavaju na filmove (do 0,2 mm), folije (0,2 do 2mm) i ploče (> 2mm). To razvrstavanje vrijedi i za trakove proizvedene drugim postupcima.

Najvažniji element linije za kalandriranje jest kalandar. Osnovna zadaća kalandra je da djelovanjem pritiska razvalja na potrebnu debljinu dobavljeni prethodno omekšani polimer. Polimer za kalandriranje priprema se u miješalicama, valjačkim stanovima, gnjetalicama ili ekstruderima. Kalandri se razlikuju prema broju valjaka i njihovu međusobnom položaju (slika 3.2). prema broju valjaka, mogu biti od dvovaljčanih do peterovaljčanih, a prema položaju valjka razlikuje se I, F, L, Z i S izvedba. Pri kalandriranju trakova od plastomera najčešće se upotrebljavaju četverovaljčani i peterovaljčani kalandri u F i L izvedbi. [3]



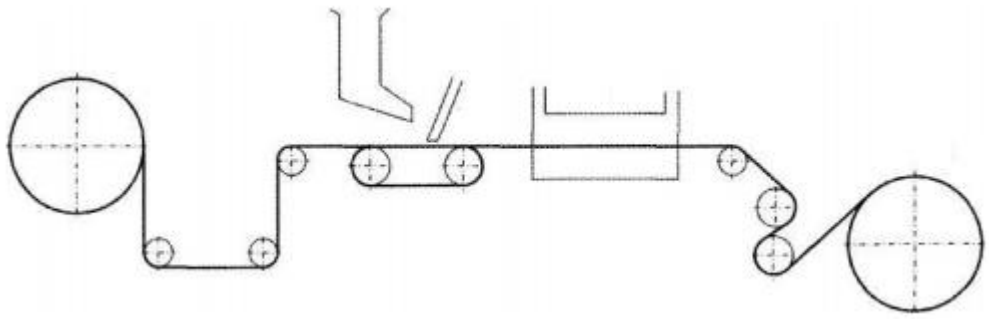
Slika 3.2 Poredak i broj valjaka u kalandru [3]

3.1.3. Kontinuirano prevlačenje

Prevlačenje je postupak kojim se polimer nanosi na podlogu, podloga je u obliku traka pa to može biti vrlo dug trak papira, metala, tekstila ili nekog drugog tkanja, a tako se mogu proizvoditi i trakovi od polimernog materijala bez podloge. Kao polimerni materijali za prevlačenje prikladni su oni koji mogu tvoriti otopine, disperzije i taljevine, koji se, dakle, mogu lijevati, najčešće kao paste. Od polimernih se materijala za tu svrhu svakako najviše upotrebljava poli(vinil-klorid), i to u obliku paste dobivene miješanjem praškastog poli(vinil-klorida) s omekšavalom. Među proizvodima dobivenim prevlačenjem na temelju poli(vinil-klorida) vrlo je poznata sintetička koža.

Prevlačenjem kaučukovom smjesom dobiva se npr. gumirana tkanina (guma popunjava pore u tkanini). Pri prevlačenju se kontrolira samo debljina sloja.

Postrojenje za prevlačenje sastoji se od uređaja za odmotavanje i namotavanje podloge, dijela za nanošenje polimera, komore za geliranje i valjaka za hlađenje. Glavni dio postrojenja, onaj u kojemu se polimer nanosi na trak tzv. noževima, namjestivim šipkama različitih oblika(slika 3.2). [2]



Slika 3.3 postrojenje za prevlačenje [3]

3.1.4. Lijevanje

Ciklički postupak gravitacijskog praoblikovanja ulijevanjem niskoviskozne tvari u temperirani kalup je (gravitacijsko) lijevanje. Tvorevina, odljevak, poprima oblik kalupne šupljine bez djelovanja dodatne vanjske sile. Lijevaju se kapljeviti monomeri ili već stvoreni polimeri u obliku otopine, disperzije ili niskoviskozne taljevine.

Jednostavniji postupak praoblikovanja lijevanjem jest lijevanje kapljevitih monomera, koji zatim u kalupu polimeriziraju. Tim se postupkom mogu od plastomera polistirena, poliamida i poli(metil-metakrilata) proizvesti blokovi, ploče, štapovi i predmeti debelih stjenki ili kompliciranih oblika.

Poliamidi, polikarbonati, celulozni esteri i eteri mogu se lijevati u obliku otopina. Takve su otopine vrlo niske viskoznosti i prikladne su za lijevanje filmova i folija. Filtrirana otopina može se lijevati na nosač od papira ili tekstila, ali se obično lijeva izravno na rotirajući metalni bubanj. Otapalo zatim isparuje i vraća se u proces, a polimerni se materijal očvršćuje u trak željene debljine.[3]

3.1.5. Sraščivanje u kalupu

To je postupak cikličkog praoblikovanja polimernih prahova u kalupnoj šupljini spajanjem njihovih čestica pri povišenoj temperaturi. Konačni oblik tvorevina, sraslina, poprima hlađenjem.

Sraščivanje u kalupu se u prvome redu primjenjuje za preradbu polimernih materijala koji i pri temperaturi višoj od tališta ne stvaraju izrazitu niskoviskoznu taljevinu. Kalupi se pune prahom, zatvaraju i zagrijavaju do potpunog staljivanja praha, a nakon hlađenja vade se čvrsti kompaktni izratci. Međutim, često se sraščuje i prah plastomera koji se lako tale, i to ili u kalupe ili kao slobodan sloj na ravnoj podlozi. Tako se sloj prah zagrijava na limu do temperature koja je dovoljna samo za nepotpuno staljivanje pa nastaju porozne ploče što služe kao filtarske ploče, separacijske ploče u akumulatorima itd. [3]

3.1.6. Injekcijsko prešanje

To je najvažniji ciklički postupak preradbe polimera. Injekcijsko prešanje polimera ciklički je postupak praoblikovanja ubrizgavanjem polimerne tvari potrebne smične viskoznosti iz jedinice za pripremu i ubrizgavanje u temperiranu kalupnu šupljinu. Nakon polireakcije i/ili umreživanja, geliranja i /ili hlađenja otpresak postaje pogodan za vađenje iz kalupne šupljine.

Liniju za injekcijsko prešanje tvori sustav za injekcijsko prešanje i dopunska oprema. Dopunska oprema povisuje djelotvornost procesa, a sastoji se od elemenata rukovanja tvarima i/ili materijalom i proizvodom (oprema za procese transporta).

Svaki sustav za injekcijsko prešanje mora ispuniti ove funkcije: pripremanje tvari potrebne smične viskoznosti, ubrizgavanje, stvaranje praoblika pri propisanoj temperaturi elemenata koji stvaraju obličje otpreska, kalupne šupljine. [3]

3.2. Postupci preoblikovanja

Ciklički postupak obrade polimera tijekom kojega se bez odvajanja čestica mijenja oblik pripremka (ploča, folija, filmova) jest preoblikovanje. Postignuti oblik mora se učvrstiti hlađenjem ili umreživanjem

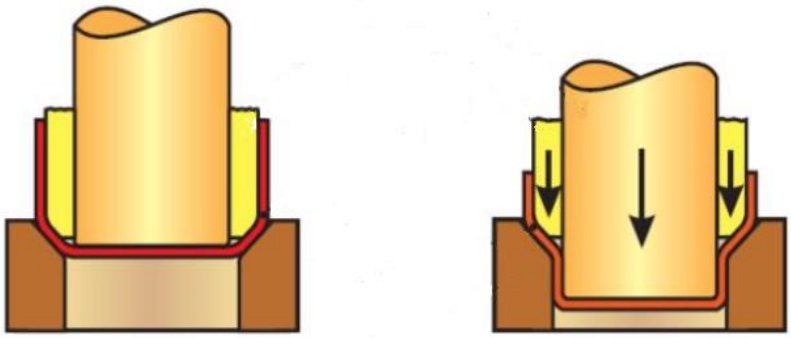
Tako se izrađuju mnoge tvorevine malih izmjera (npr. čašice za crnu kavu), ali i vrlo veliki proizvodi (čamci, velike posude). Preoblikovati se može u toplom i hladnom stanju, a pretežni dio postupaka namijenjen je preoblikovanju plastomera. Preoblikovanje izradaka od duromera i elastomera rjeđe je i ograničeno na neke jednostavnije postupke. Pritom se teži da se u jednom ciklusu omogući postizanje propisnog oblika, te polimeriziranje i/ili umreživanje. [3]

3.2.1. Hladno oblikovanje plastomera

Hladno oblikovanje temelji se na hladnom tečenju materijala. Za to su potrebna dovoljno visoka mehanička naprezanja, da bi se ostvarila plastična deformacija. Materijal prikladan za hladno oblikovanje ne smije biti krhak i mora imati visoki modul elastičnosti. To su duktilni (razvlačivi) materijali. Takvi su materijali polietilen, polipropilen, polikarbonat, poli(vinil-klorid), poliamidi itd.

Oblikovati se može pri sobnoj temperaturi, i to valjanjem, dubokim vučenjem, prešanjem, istiskivanjem i izvlačenjem, ili pri temperaturama nižim od tališta kristalita. Tako se polipropilen, polietilen visoke gustoće i poli(oksimetilen) kuju pri 150 do 160 °C, a polipropilen se, osim toga, pri toj temperaturi može oblikovati i gumenom vrećom, istiskivanjem, utiskivanjem, valjanjem i udarnim prešanjem. Pri temperaturi od 205 °C mogu se izvlačiti staklom ojačani polipropilen, kruti poli(vinil-klorid) i kopolimer stiren/akrilonitril.

Dubokim vučenjem izrađuju se pretežno cilindrični predmeti (slika 3.4), a moguća je i reprodukcija finih detalja pa se tako izrađuju nakit, gumbi, medalje, itd.[3]



Slika 3.4 Duboko vučenje plastomernog pripravka

3.2.2. Toplo oblikovanje plastomera

Za toplo oblikovanje prikladni su: polistiren, termopolimer akrilonitril/butadien/stiren, polietilen niske i visoke gustoće, polipropilen, poli(metil-metakrilat), stiren/butadien, celulozni acetat i drugi plastomeri. Kao pripremci za toplo oblikovanje pretežno služe filmovi, folije ili ploče izrezane iz ekstrudiranih ili kalandriranih trakova. Pripremci se još izrađuju izravnim i posrednim prešanjem i lijevanjem. Tlačnim oblikovanjem prave se pripremci od polipropilena,

Da bi se mogao toplo oblikovati, pripremak mora biti u omekšanom stanju. Zato se katkad još neohlađeni trak dovodi izravno do uređaja za preoblikovanje, no češće se pripremak mora zagrijati električnim grijačima ili dodirom sa zagrijanim dijelom uređaja.

Od postupka toplog oblikovanja najprošireniје je toplo oblikovanje u kalupu, koje može biti uzrokovano mehaničkim pritiskanjem, tlakom zraka ili djelovanjem podtlaka te njihovom kombinacijom. Najčešći su postupci toplog oblikovanja u kalupu: nezagrijani pripremak oblikuje se slobodno pritiskanjem zagrijanog žiga, zagrijani se pripremak tiska stlačenim zrakom u matricu ili se oblikuje slobodno, uvlači u matricu zbog podtlaka u njoj, tiska se žigom u matricu iz koje se izvlači zrak pa se pripremak uz matricu tijesno priljubljuje ili se razvlači žigom u kojem vlada podtlak pa se priljubljuje uza žig i poprima njegov oblik. [3]

U sklopu ovog završnog rada bio je izrađen uređaj za vakuumsko toplinsko oblikovanje polimera (slika 3.5). Postupak toplog oblikovanja vakuumom spada u postupke toplog preoblikovanja.

- **Princip rada uređaja**

Pripremak može biti film, folija ili ploča dobivena ekstruzijom ili kalandriranjem polimera. Nakon što se pripremak dimenzionira da određenu duljinu i širinu, pričvršćuje se u držač koji se nalazi između četiri paralelnih vodilica. Nakon uključivanja grijača, pričvršćen pripravak se, pomoću mehanizma za dizanje podiže do grijača i fiksira za ugrijavanje na traženu temperaturu. Za vrijeme zagrijavanja, na perforirani lim stavlja se model preko kojeg će se pripravak prevući. Kad je pripravak postigao određenu razinu omekšanog stanja, spušta se na model. Pali se ventilator koji prednapuše pripravak kako bi bolje obuhvatio model nakon što se upali usisni motor. Gasi se ventilator i pali se usisni motor koji stvara podtlak i time prevlači pripravak oko modela.

U sljedećem poglavlju će se provoditi ispitivanja pri konstantnoj temperaturi s pripravcima različitih debljina kako bi se odredilo optimalno vrijeme potrebno da se dobije najbolji rezultat toplog oblikovanja.

Proces konstrukcije uređaja za vakuumsko toplinsko oblikovanje polimera opisan je u radu: M. Detić: Izrada uređaja za termooblikovanje polimera i testiranje polimera kod različitih temperatura, Završni rad, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2017.



Slika 3.5 Uređaj za vakuumsko toplinsko oblikovanje polimera

4. Eksperimentalni dio

U ovom završnom radu provest će se ispitivanje prionjivosti polimera na model na uređaju za vakuumsko toplinsko oblikovanje polimera. Ispitivanja će se provesti na dvije skupine plastomernih uzoraka. Prva skupina uzoraka sastoji se od šest folija debljine 0,3 mm, druga skupina uzoraka sastoji se od pet folija debljine 0,5 mm. Folije manje debljine i folije veće debljine su izrađene od polipropilena (PP). Obje grupe uzoraka grijat će se konstantnom temperaturom od 200 °C u različitim vremenima grijanja. Vremena grijanja varirat će od 15 do 300 sekundi.

Za potrebe ispitivanja izrađen je model od drveta duljine 194 mm, širine 113 mm i visine 100 mm (slika 4.1). Na gornjoj površini modela ubušena su tri provrta različitih promjera. Prvi provrt je promjera D_1 = 18 mm, drugi provrt je promjera D_2 = 10 mm, treći provrt je promjera D_3 = 4 mm. Provrti su ubušeni kako bi se mogla izmjeriti dubina ulaza polimerne folije te na temelju toga također procijeniti prionjivost folije. Gornja površina modela brušena je brusnim papirom P80 granulacije 201. Nakon brušenja, na jednu polovicu gornje površine modela bila su nanijeta različita udubljenja. Brušena površina i površina s udubljenjima služe kako bi se moglo po subjektivnoj procjeni odrediti kvaliteta prionjivosti polimera za model.



Slika 4.1 Model za ispitivanje

Na svakom uzorku biti će izmjerene tri veličine. Prvo mjerenje sastoji se od mjerenja dubine prodiranja polimera u svakom od tri provrta. U drugom mjerenju mjeri se dužina od gornjeg ugla modela okomito dolje do točke u kojoj se polimer počinje odvajati od modela. Ta veličina će se zvati duljina prianjanja. Najbolji rezultat takvog mjerenja bi bio onaj kod kojeg je izmjerena veličina jednaka visini modela. Duljina prianjanja će biti izražena u milimetrima i postotcima, gdje 100% predstavlja prianjanje polimera tokom cijele visine modela. Dužina prianjanja kotirana je

na slici 4.2. Prvo i drugo mjerenje biti će izvršeno pomičnim mjerilom. Treće mjerenje je subjektivna ocjena ispitivača. Ta ocjena je broj od 0 do 9 gdje 0 predstavlja nepromijenjenu foliju, a 9 predstavlja savršeno prianjanje polimera uz model.



Slika 4.2 Dužina prianjanja

4.1. Ispitivanje prve skupine uzoraka

Tablica 4.1 Vremena grijanja prve skupine uzoraka

Uzorak	Vrijeme grijanja, *t* [s]
1	15
2	30
3	60
4	90
5	180
6	300

4.1.1. Uzorak 1

Na slici 4.3 prikazan je uzorak 1 nakon provedenog ispitivanja. Kod ovog ispitivanja vidljivo je da vrijeme zagrijavanja nije bilo dovoljno dugo da polipropilenska folija postigne stanje pogodno za toplinsko oblikovanje. Iznos subjektivne ocjene ispitivača je 1 jer, iako prionjivost nije zadovoljavajuća, folija je djelomično poprimila oblik modela. Izmjerene vrijednosti dane su u tablici 4.2.



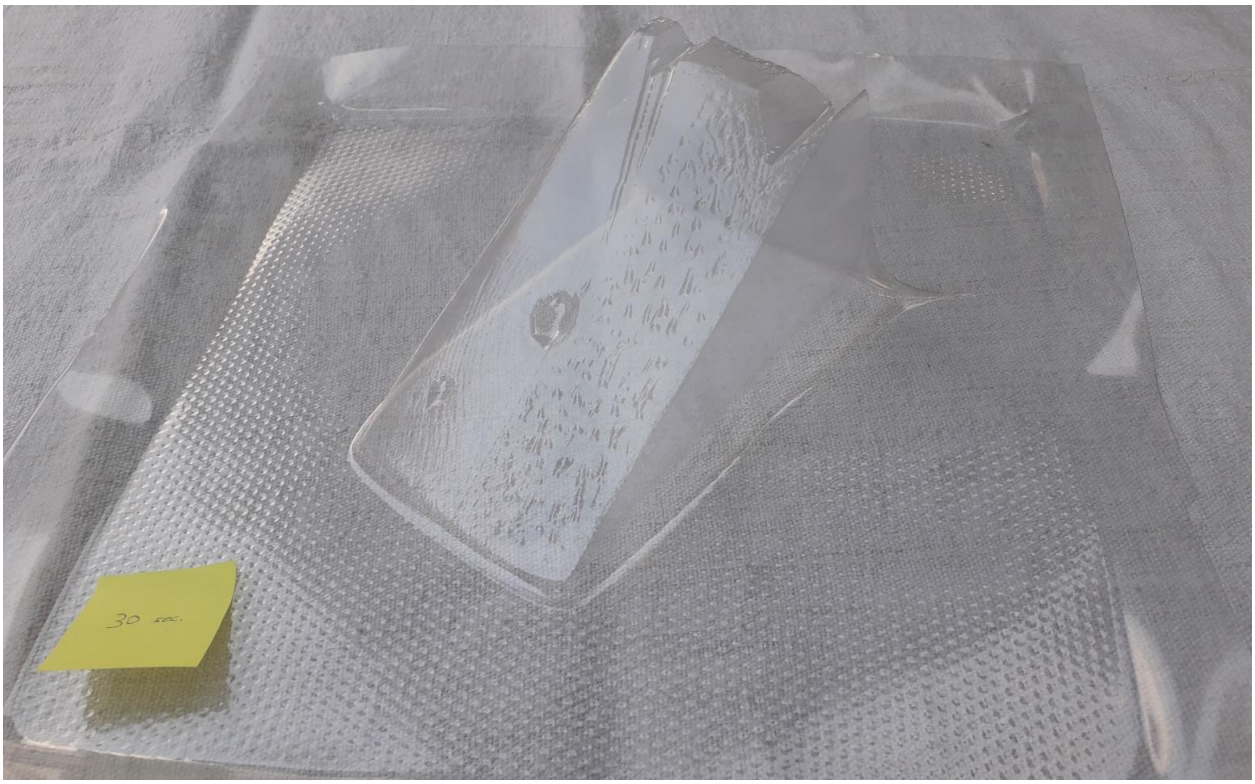
Slika 4.3 Prvi uzorak, t = 15 s, debljina folije = 0,3mm

Tablica 4.2 Mjerenja prvog uzorka, t = 15 s, debljina folije = 0,3mm

Dubina prodiranja, mm	Dužina prianjanja, mm	Subjektivna ocjena ispitivača
D_1 = 0 mm D_2 = 0 mm D_3 = 0 mm	0 mm / 0%	1

4.1.2. Uzorak 2

Na slici 4.4 prikazan je uzorak 2 nakon provedenog ispitivanja. U drugom ispitivanju je zanimljiva drastična razlika u usporedbi s prvim ispitivanjem za relativno malo povećanje vremena grijanja. Subjektivna ocjena ispitivača iznosi 6 jer se model može jasno razaznati, ali detalji na gornjoj površini nisu dovoljno izraženi. Izmjerene vrijednosti dane su u tablici 4.3.



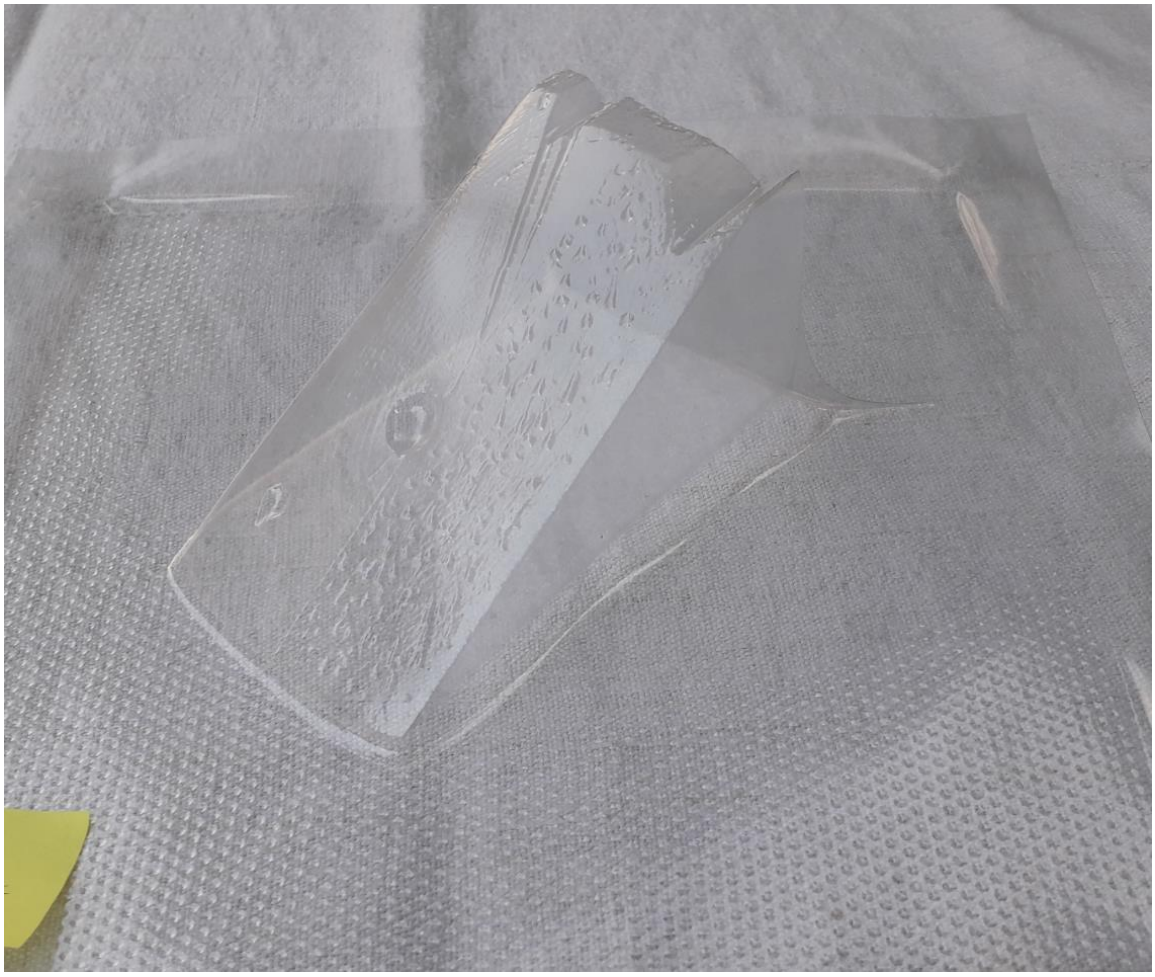
Slika 4.4 Drugi uzorak, t = 30 s, debljina folije = 0,3mm

Tablica 4.3 Mjerenja drugog uzorka, t = 30 s, debljina folije = 0,3mm

Dubina prodiranja, mm	Dužina prianjanja, mm	Subjektivna ocjena ispitivača
D_1 = 4,2 mm D_2 = 1,6 mm D_3 = 0.7 mm	76,9 mm / 77%	6

4.1.3. Uzorak 3

Na slici 4.5 prikazan je uzorak 3 nakon provedenog ispitivanja. Mogu se uočiti poboljšanja u svakom aspektu izmjerenih veličina. Izmjerene vrijednosti dane su u tablici 4.4.



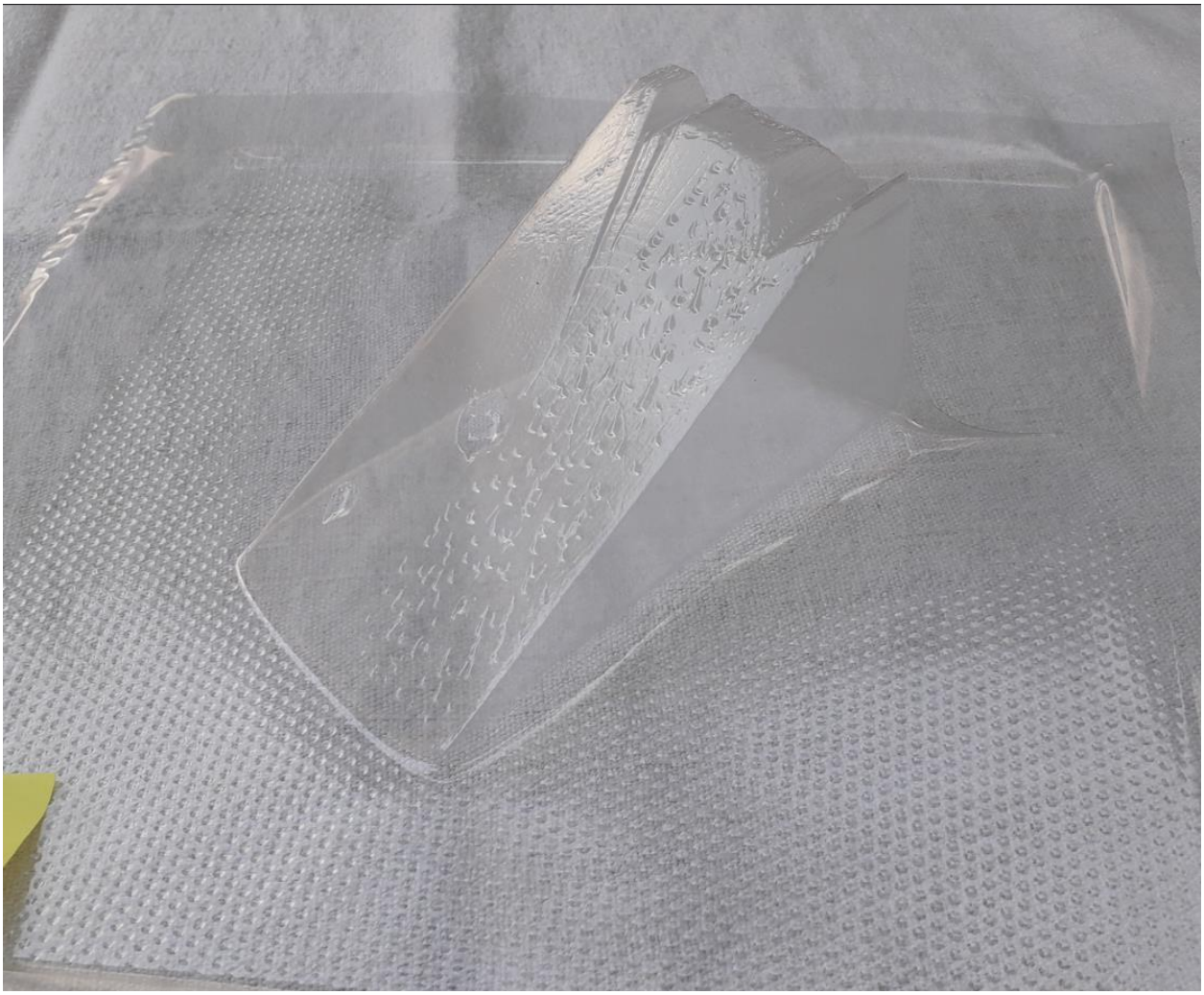
Slika 4.5 Treći uzorak, t = 60 s, debljina folije = 0,3mm

Tablica 4.4 Mjerenja trećeg uzorka, t = 60 s, debljina folije = 0,3mm

Dubina prodiranja, mm	Dužina prianjanja, mm	Subjektivna ocjena ispitivača
D_1 = 5,4 mm D_2 = 2 mm D_3 = 1,1 mm	79,2 mm / 79%	7

4.1.4. Uzorak 4

Na slici 4.6 prikazan je uzorak 4 nakon provedenog ispitivanja. Kod ovog ispitivanja dubina prodiranja za D_1 i D_2 raste u usporedbi s trećim ispitivanjem. Subjektivna ocjena ispitivača ostaje nepromijenjena. Zanimljivo je kako dubina prodiranja za D_3 i dužina prianjanja ostaju relativno iste kao i kod trećeg ispitivanja. To je mogući indikator da se dosegla maksimalna dubina prodiranja i dužina prianjanja za zadane parametre. Izmjerene vrijednosti dane su u tablici 4.5.



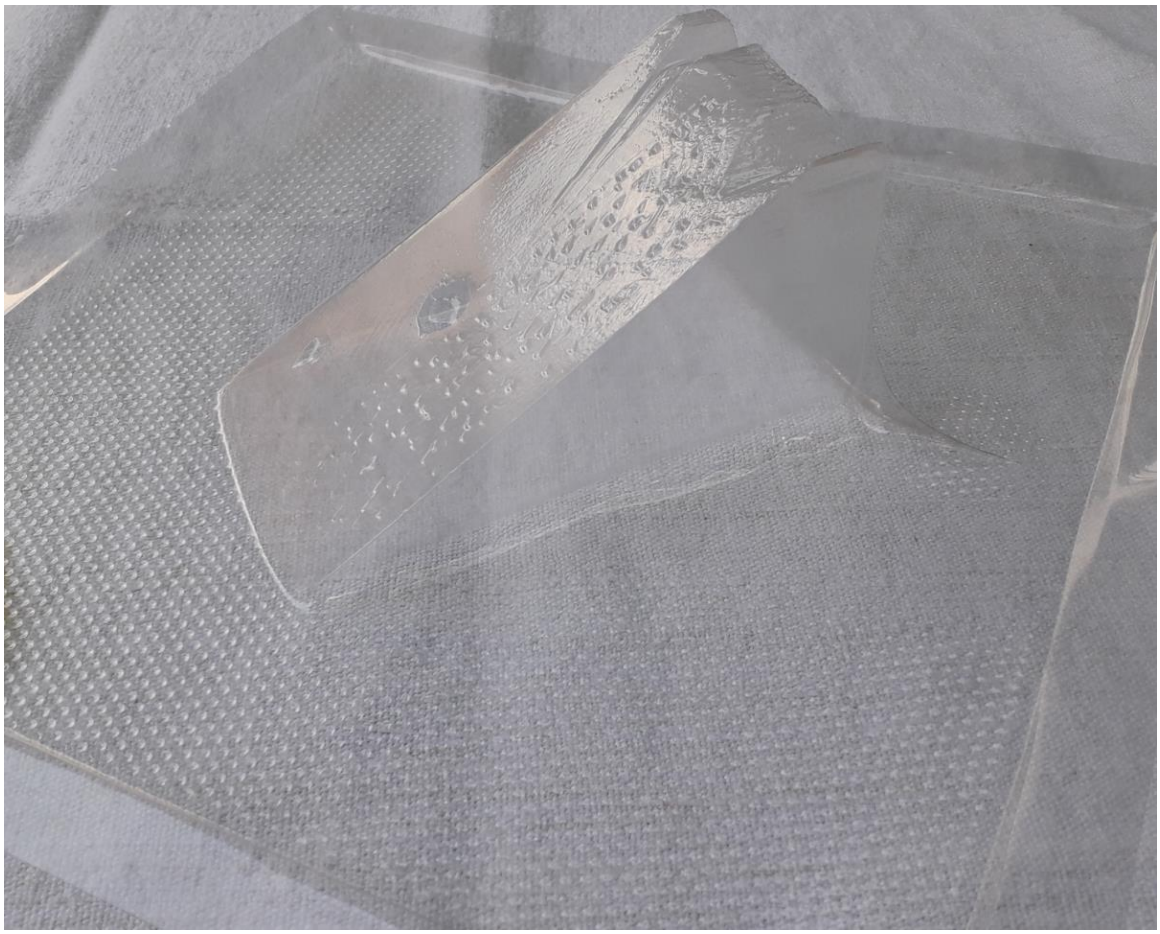
Slika 4.6 Četvrti uzorak, t = 90 s, debljina folije = 0,3mm

Tablica 4.5 Mjerenja četvrtog uzorka, t = 90 s, debljina folije = 0,3mm

Dubina prodiranja, mm	Dužina prianjanja, mm	Subjektivna ocjena ispitivača
D_1 = 6,4 mm D_2 = 2,4 mm D_3 = 1 mm	82,1 mm / 82%	7

4.1.5. Uzorak 5

Na slici 4.7 prikazan je uzorak 5 nakon provedenog ispitivanja. Uspoređujući ovo ispitivanje s prošlim, može se uočiti da je porasla subjektivna ocjena ispitivača, što ukazuje na daljnje poboljšanje prianjanja polipropilenske folije na model. Nadalje, porasla je i dužina prianjanja što odbacuje prijašnju pretpostavku da se dosegla maksimalna dužina prianjanja. Dubina prodiranja stagnira za sva tri provrta u usporedbi s prošlim ispitivanjem. Izmjerene vrijednosti dane su u tablici 4.6.



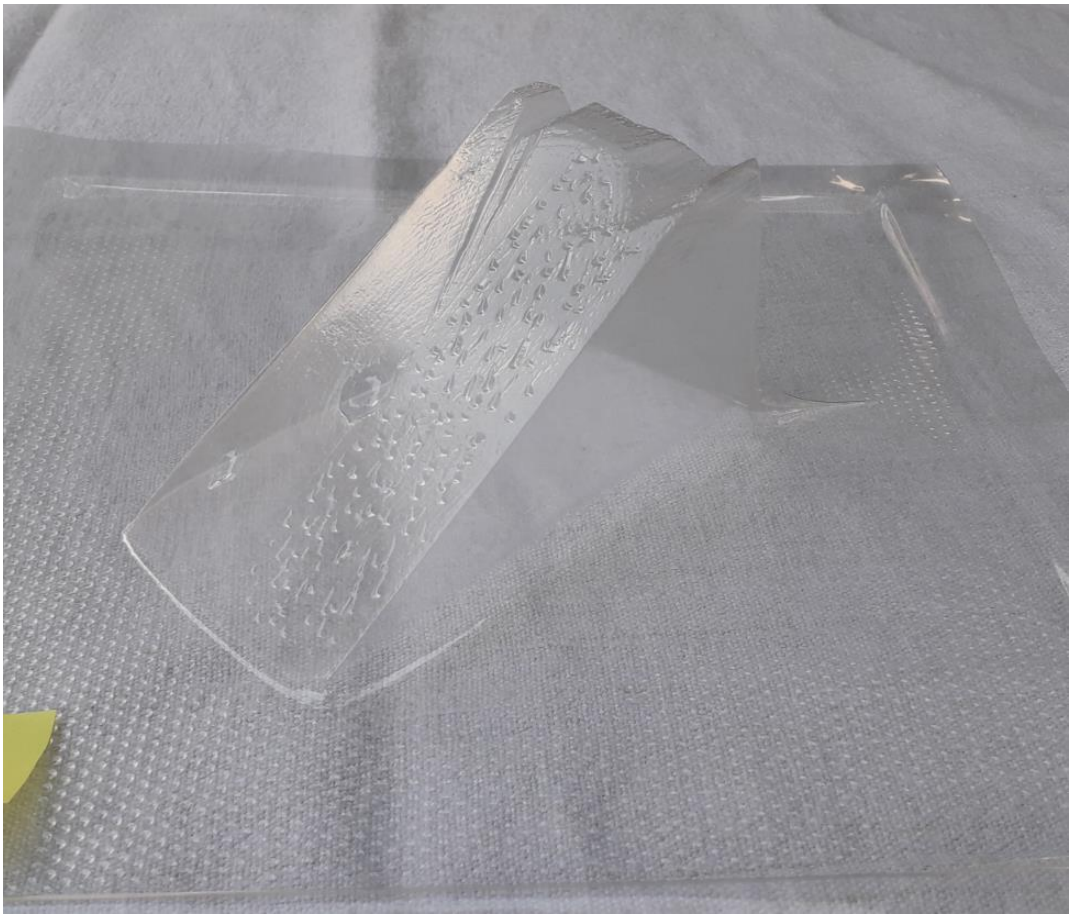
Slika 4.7 Peti uzorak, t = 180 s, debljina folije = 0,3mm

Tablica 4.6 Mjerenja petog uzorka, t = 180 s, debljina folije = 0,3mm

Dubina prodiranja, mm	Dužina prianjanja, mm	Subjektivna ocjena ispitivača
D_1 = 6,6 mm D_2 = 2,4 mm D_3 = 1,1 mm	84,6 mm / 85%	8

4.1.6. Uzorak 6

Na slici 4.8 prikazan je uzorak 6 nakon provedenog ispitivanja. Dubina prodiranja za D_1 je u ovom ispitivanju osjetno porasla, dok su dubine prodiranja za D_2 i D_3 porasle za vrlo mali iznos. Dužina prianjanja je također porasla dok je subjektivna ocjena ispitivača ostala isto kao i u prijašnjem ispitivanju. Može se pretpostaviti da bi daljnjim povećanjem vremena grijanja dubina prodiranja za D_1 dalje rasla, ali za vrlo mali iznos. Ista pretpostavka vrijedi i za dužinu prianjanja. Također se može pretpostaviti da dubine prodiranja za D_2 i D_3 te subjektivna ocjena ispitivača neće više rasti s povećanjem vremena grijanja iz podatka dobivenih prijašnjim ispitivanjem. Izmjerene vrijednosti dane su u tablici 4.7.



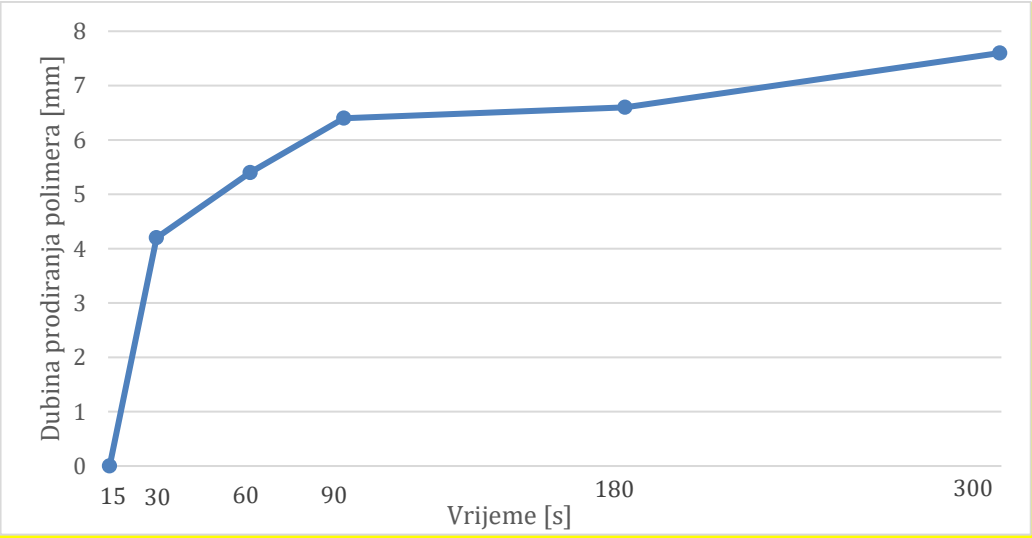
Slika 4.8 Šesti uzorak, t = 300 s, debljina folije = 0,3mm

Tablica 4.7 Mjerenja šestog uzorka, t = 300 s, debljina folije = 0,3mm

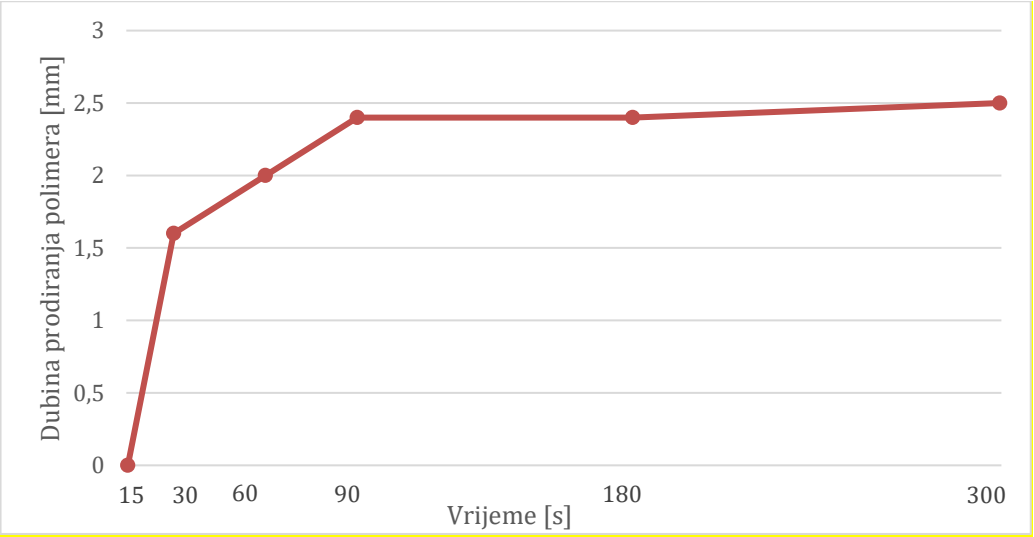
Dubina prodiranja, mm	Dužina prianjanja, mm	Subjektivna ocjena ispitivača
D_1 = 7, 6 mm D_2 = 2,5 mm D_3 = 1,2 mm	89 mm / 89%	8

4.1.7. Analiza prve skupine uzoraka

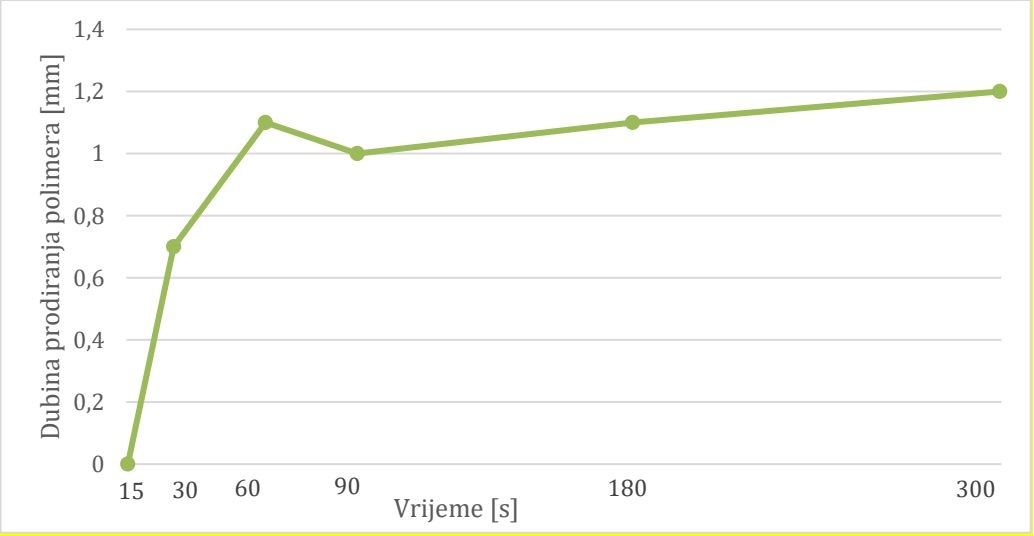
Podaci dobiveni prethodnim ispitivanjima analizirani su te prikazani dijagramima ovisnosti dubine prodiranja, dužine prianjanja i subjektivne ocjene ispitivača o vremenu na slikama 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 i 4.13.



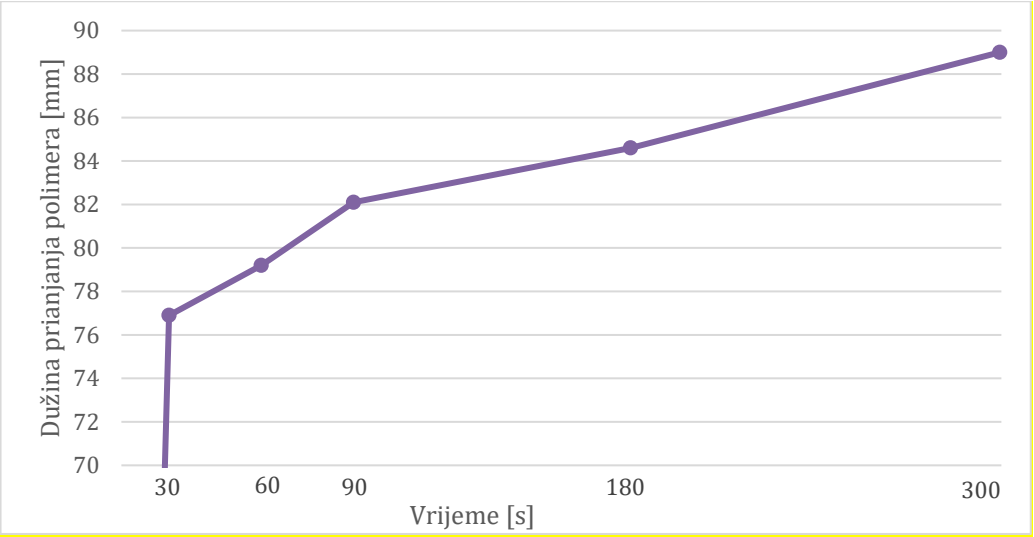
Slika 4.9 Dijagram ovisnosti dubine prodiranja polimera za provrt D_1 o vremenu, debljina folije = 0,3mm



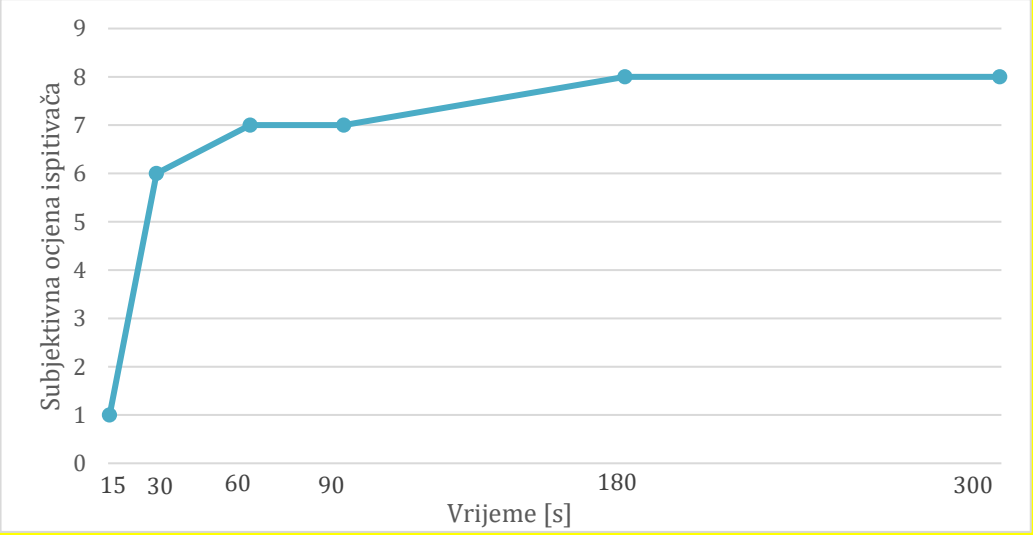
Slika 4.10 Dijagram ovisnosti dubine prodiranja polimera za provrt D_2 o vremenu, debljina folije = 0,3mm



Slika 4.11 Dijagram ovisnosti dubine prodiranja polimera za provrt D_3 o vremenu, debljina folije = 0,3mm



Slika 4.12 Dijagram ovisnosti dužine prianjanja o vremenu, debljina folije = 0,3mm



Slika 4.13 Dijagram ovisnosti subjektivne ocjene ispitivača o vremenu, debljina folije = 0,3mm

Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da je vrijeme zagrijavanja od 90 sekundi najdulje korisno vrijeme zagrijavanja. Dužim vremenom zagrijavanja mogu se postići mala poboljšanja izmjerenih veličina, ali za takva poboljšanja potrebno je duže vrijeme zagrijavanja. Ako nije potrebna velika kvaliteta prianjanja, vrijeme zagrijavanja može se smanjiti na 30 sekundi.

4.2. Ispitivanje druge skupine uzoraka

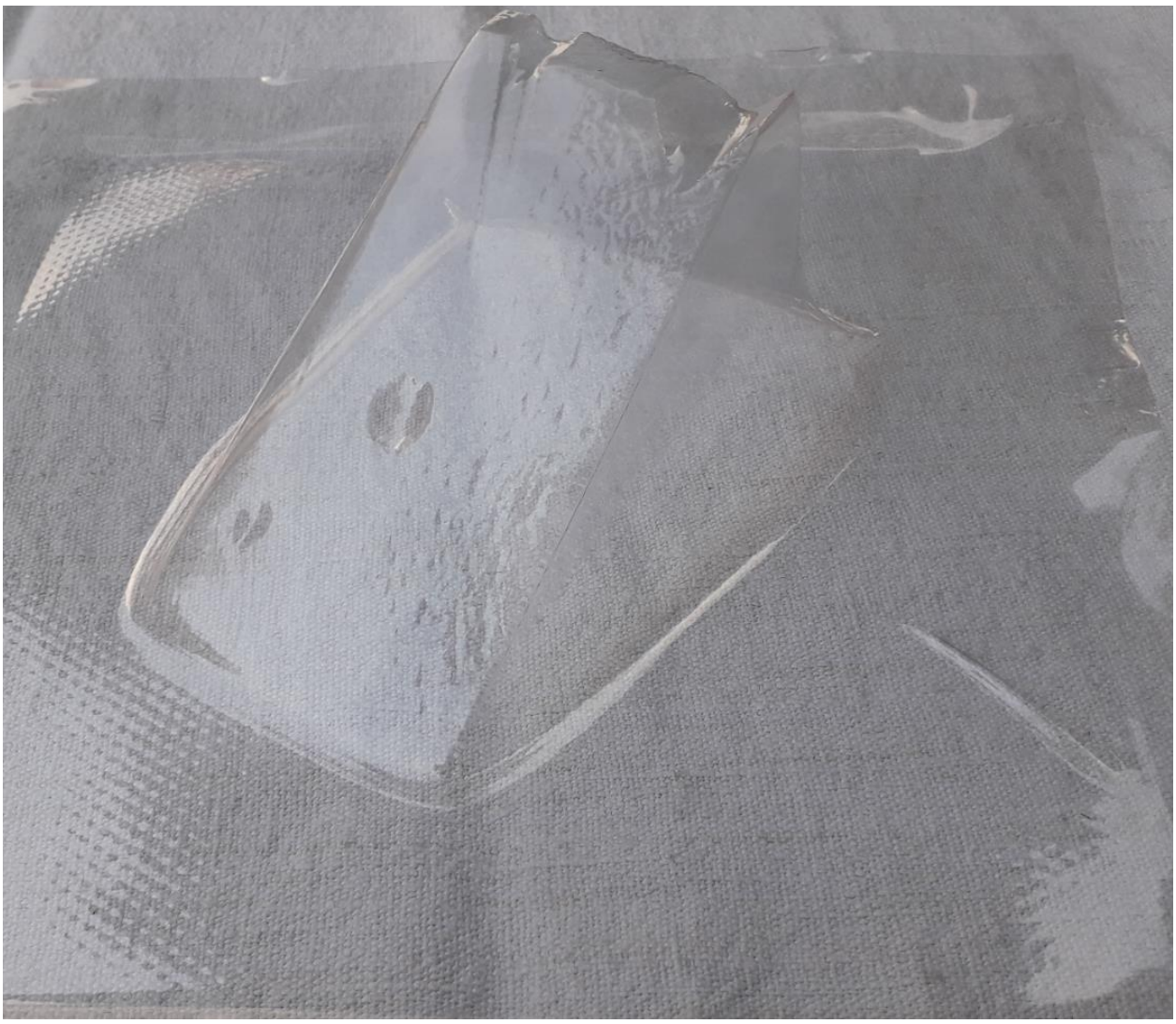
Nije se izvodilo ispitivanje kod kojeg bi zagrijavanje trajalo 15 sekundi jer se prijašnjim ispitivanjem ustanovilo da takvo ispitivanje ne daje zadovoljavajuće prianjanje.

Tablica 4.8 Vremena grijanja druge skupine uzoraka

Uzorak	Vrijeme grijanja, *t* [s]
1	30
2	60
3	90
4	180
5	300

4.2.1. Uzorak 1

Na slici 4.14 prikazan je uzorak 1 nakon provedenog ispitivanja. Subjektivna ocjena ispitivača iznosi 3 jer je kvaliteta prianjanja cjelokupnog uzorka relativno loša. Ocjena je manja u usporedbi s ekvivalentnim ispitivanjem provedenim s folijom debljine 0,3 mm, što je bilo za očekivati jer je foliji veće debljine potrebno više vremena da se dovede do dovoljne razine omekšanog stanja. Izmjerene vrijednosti dane su u tablici 4.9.



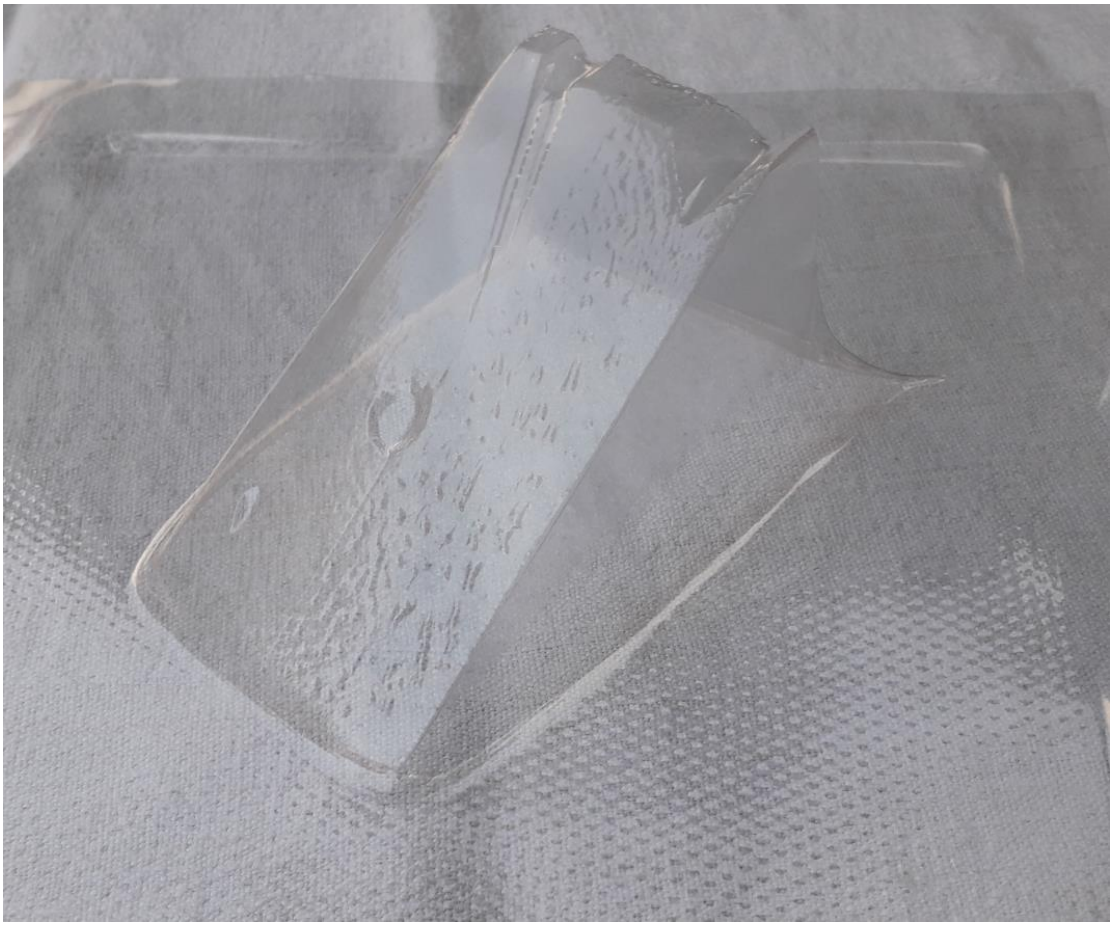
Slika 4.14 Prvi uzorak, t = 30 s, debljina folije = 0,5mm

Tablica 4.9 Mjerenja prvog uzorka, t = 30 s, debljina folije = 0,5mm

Dubina prodiranja, mm	Dužina prianjanja, mm	Subjektivna ocjena ispitivača
D_1 = 2,4 mm D_2 = 1,1 mm D_3 = 0,1 mm	59 mm / 59%	3

4.2.2. Uzorak 2

Na slici 4.15 prikazan je uzorak 2 nakon provedenog ispitivanja. Kod ovog ispitivanja vidimo poboljšanje u svakom aspektu izmjerenih veličina, a osobito kod subjektivne ocjene ispitivača. Izmjerene vrijednosti dane su u tablici 4.10.



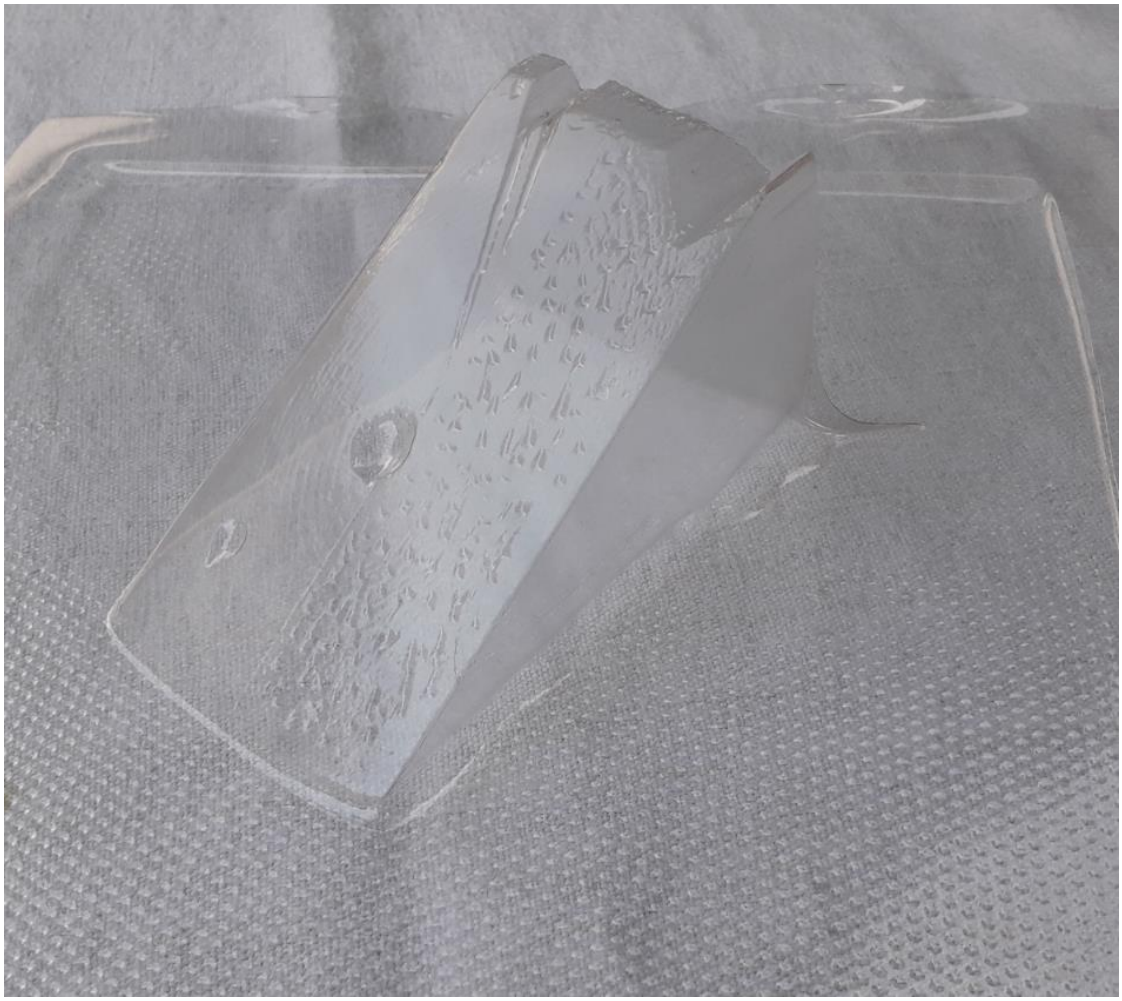
Slika 4.15 Drugi uzorak, t = 60 s, debljina folije = 0,5mm

Tablica 4.10 Mjerenja drugog uzorka, t = 60 s, debljina folije = 0,5mm

Dubina prodiranja, mm	Dužina prianjanja, mm	Subjektivna ocjena ispitivača
D_1 = 3,4 mm D_2 = 1,4 mm D_3 = 0,5 mm	70 mm / 70%	5

4.2.3. Uzorak 3

Na slici 4.16 prikazan je uzorak 3 nakon provedenog ispitivanja. Ovim ispitivanjem je vidljivo da daljnjim povećanjem vremena zagrijavanja, mjerene veličine i subjektivna ocjena ispitivača i dalje rastu. Izmjerene vrijednosti dane su u tablici 4.11.



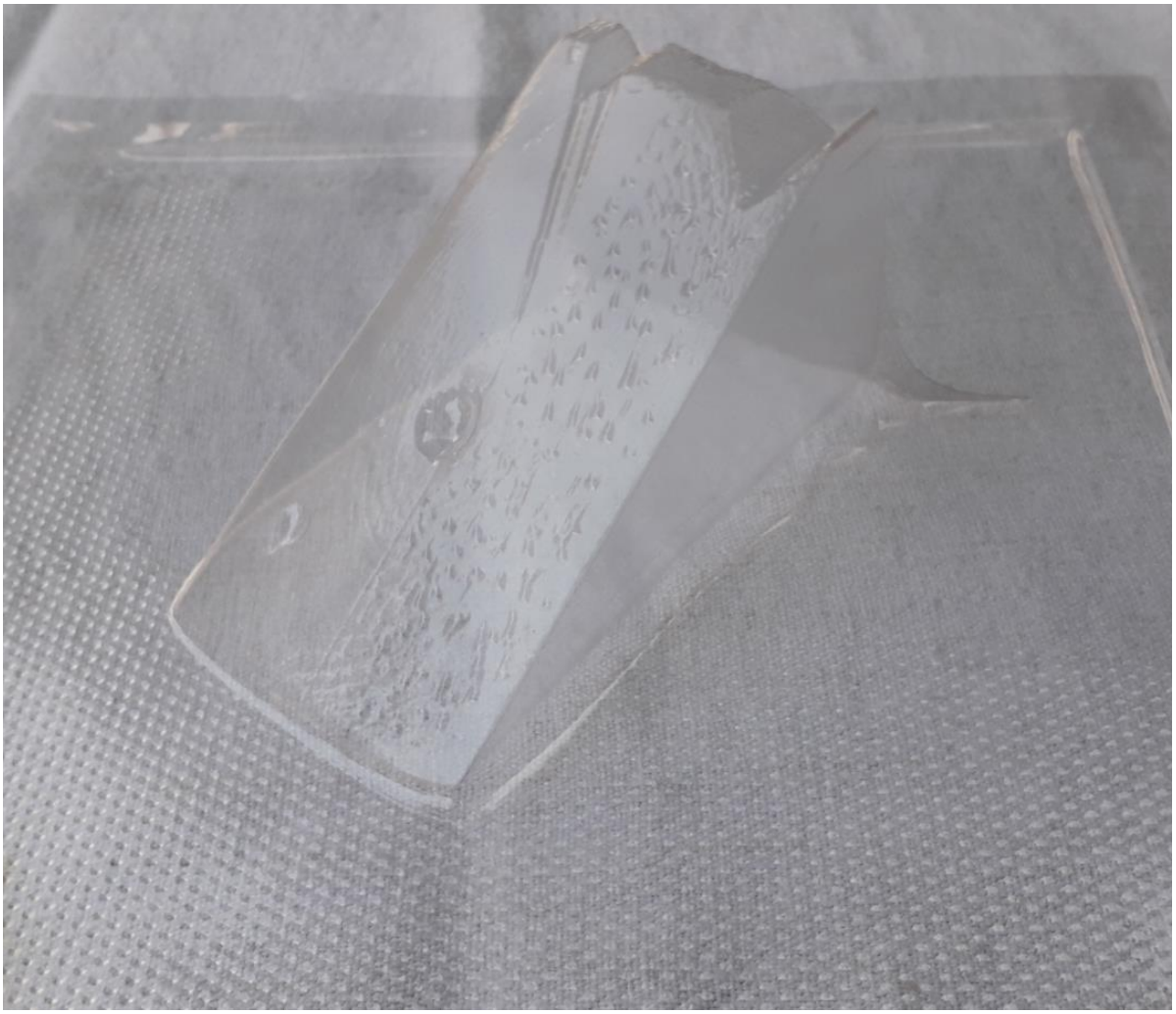
Slika 4.16 Treći uzorak, t = 90 s, debljina folije = 0,5mm

Tablica 4.11 Mjerenja trećeg uzorka, t = 90 s, debljina folije = 0,5mm

Dubina prodiranja, mm	Dužina prianjanja, mm	Subjektivna ocjena ispitivača
D_1 = 4,2 mm D_2 = 1,7 mm D_3 = 0,7 mm	84 mm / 84%	6

4.2.4. Uzorak 4

Na slici 4.17 prikazan je uzorak 4 nakon provedenog ispitivanja. Mogu se uočiti poboljšanja u svakom aspektu izmjerenih veličina. Izmjerene vrijednosti dane su u tablici 4.12.



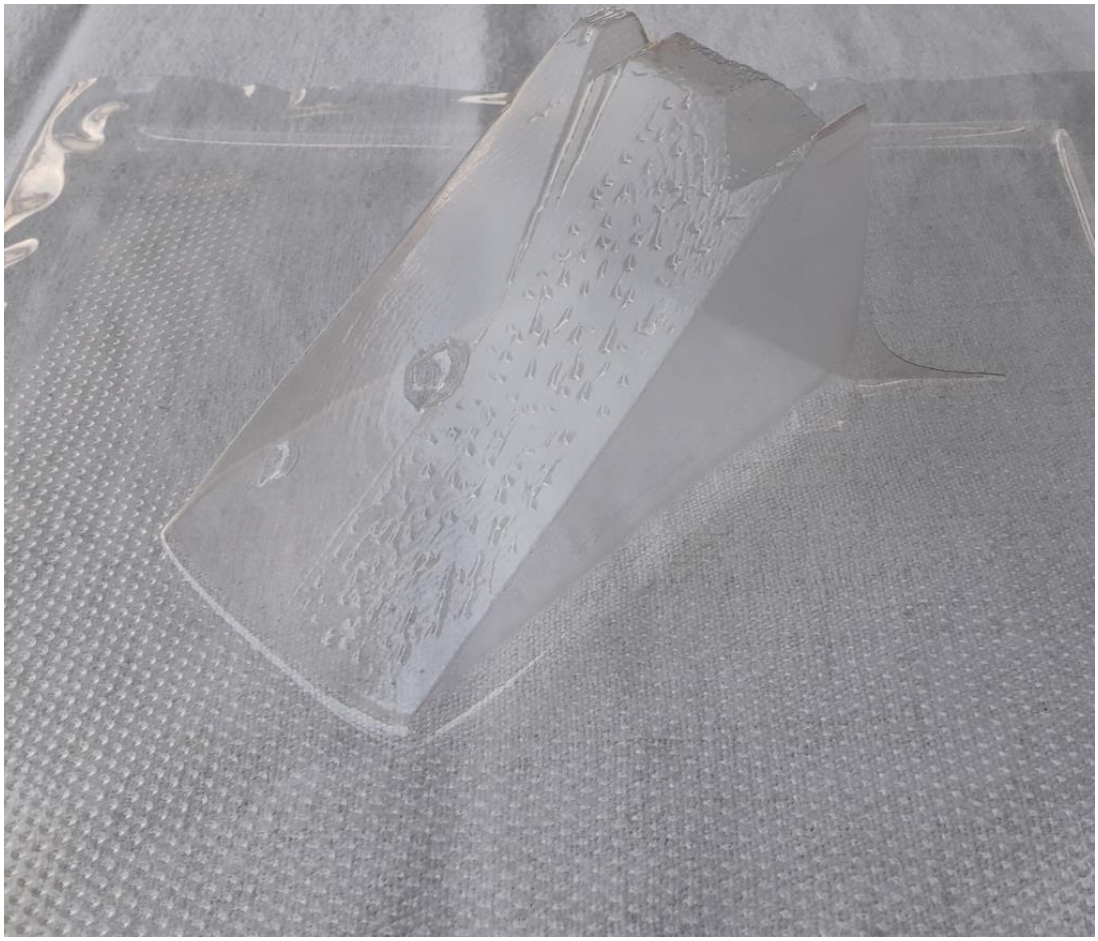
Slika 4.17 Četvrti uzorak, t = 180 s, debljina folije = 0,5mm

Tablica 4.12 Mjerenja četvrtog uzorka, t = 180 s, debljina folije = 0,5mm

Dubina prodiranja, mm	Dužina prianjanja, mm	Subjektivna ocjena ispitivača
D_1 = 5,4 mm D_2 = 1.9 mm D_3 = 0,8 mm	90 mm / 90%	7

4.2.5. Uzorak 5

Na slici 4.18 prikazan je uzorak 5 nakon provedenog ispitivanja. Izmjerene veličine ovog ispitivanja su gotovo identične veličinama prošlog ispitivanja. Time možemo zaključi da smo s prošlim ispitivanjem postigli maksimalno korisno vrijeme zagrijavanja za zadanu temperaturu od 200 °C. Izmjerene vrijednosti dane su u tablici 4.13.



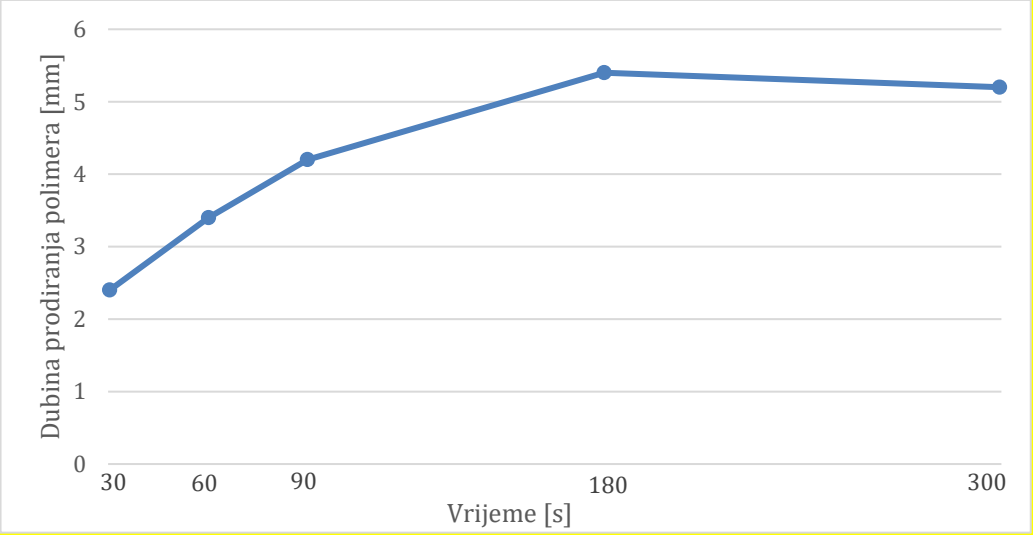
Slika 4.18 Peti uzorak, t = 300 s, debljina folije = 0,5mm

Tablica 4.13 Mjerenja petog uzorka, t = 300 s, debljina folije = 0,5mm

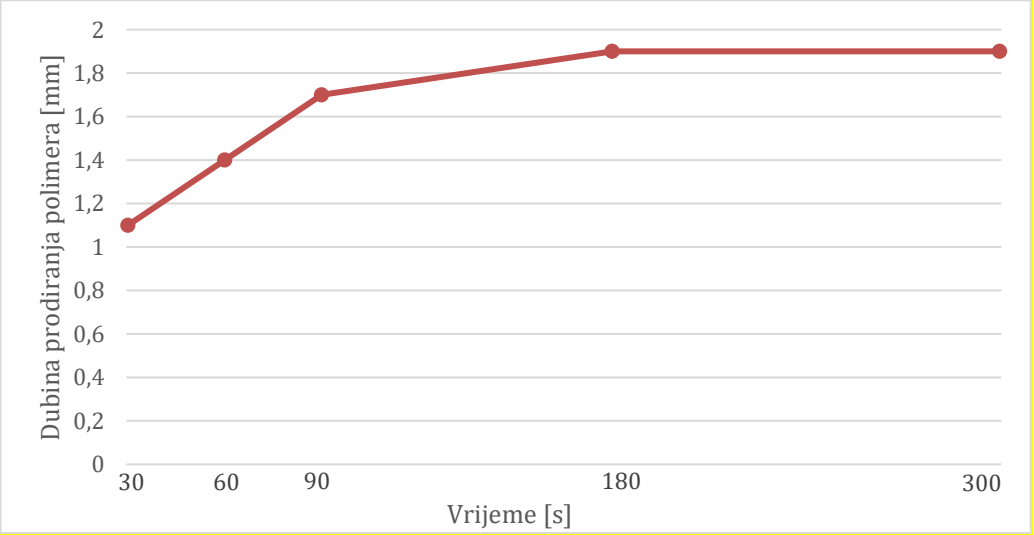
Dubina prodiranja, mm	Dužina prianjanja, mm	Subjektivna ocjena ispitivača
D_1 = 5,2 mm D_2 = 1,9 mm D_3 = 0,8 mm	91 mm / 91%	7

4.2.6. Analiza druge skupine uzoraka

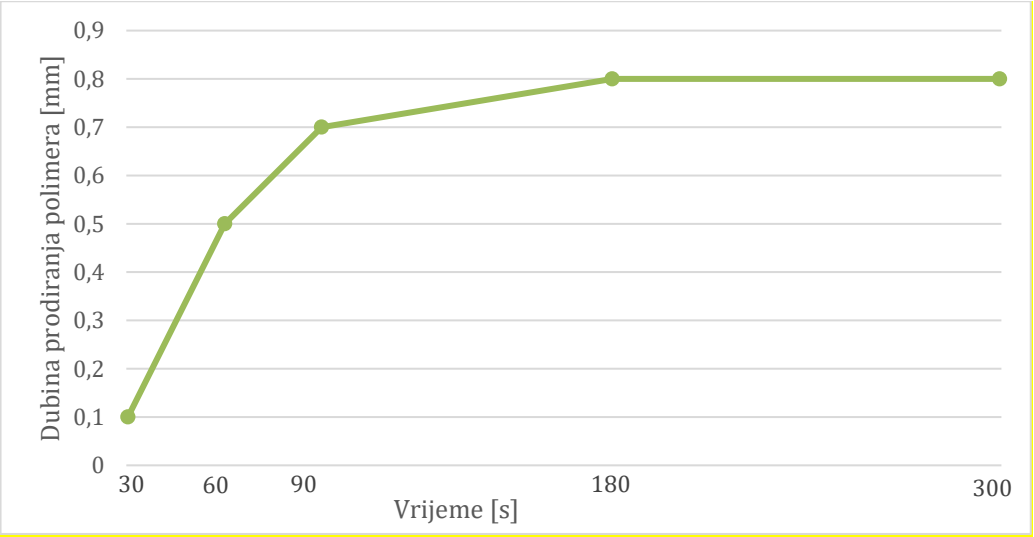
Podaci dobiveni prethodnim ispitivanjima analizirani su te prikazani dijagramima ovisnosti dubine prodiranja, dužine prianjanja i subjektivne ocjene ispitivača o vremenu na slikama 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 i 4.23.



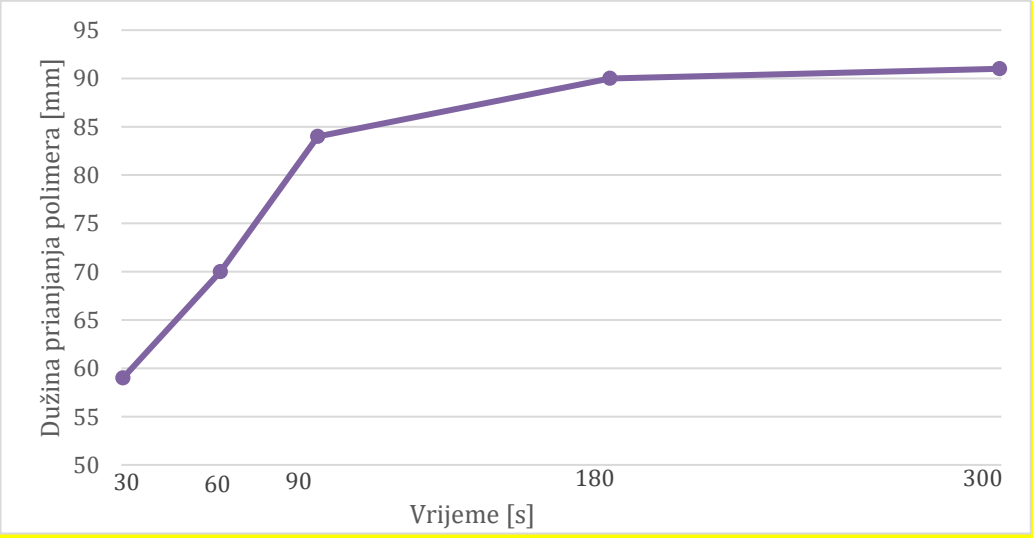
Slika 4.19 Dijagram ovisnosti dubine prodiranja polimera za provrt D_1 o vremenu, debljina folije = 0,5mm



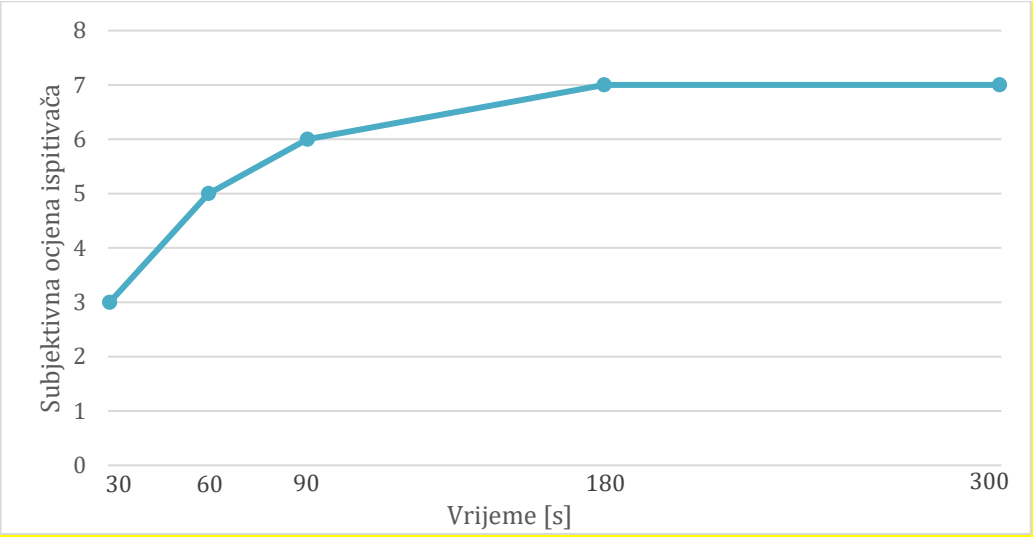
Slika 4.20 Dijagram ovisnosti dubine prodiranja polimera za provrt D_2 o vremenu, debljina folije = 0,5mm



Slika 4.21 Dijagram ovisnosti dubine prodiranja polimera za provrt D_3 o vremenu, debljina folije = 0,5mm



Slika 4.22 Dijagram ovisnosti dužine prianjanja o vremenu, debljina folije = 0,5mm



Slika 4.23 Dijagram ovisnosti subjektivne ocjene ispitivača o vremenu, debljina folije = 0,5mm

Iz dobivenih rezultata može se zaključiti da je vrijeme zagrijavanja od 180 sekundi najdulje korisno vrijeme zagrijavanja. Dužim vremenom zagrijavanja mogu se postići mala poboljšanja izmjerenih veličina, ali za takva poboljšanja potrebno je duže vrijeme zagrijavanja. Ako nije potrebna velika kvaliteta prianjanja, vrijeme zagrijavanja može se smanjiti na 60 sekundi.

5. Zaključak

U ovom završnom radu ispitivan je utjecaj vremena ugrijavanja polipropilenske folije dvije različite debljine na prionjivost folija u postupku vakuumskog toplinskog oblikovanja polimera.

Rezultati ispitivanja pokazali su kako parametri postupka, konkretno, vrijeme grijanja, ima značajan utjecaj na kvalitetu izratka. Polipropilenska folija veće debljine zahtijevala je više vremena da se kod konstantne temperature dovede u stanje pogodno za oblikovanje nego folija manje debljine. Vrijeme grijanja moguće je smanjiti povećanjem temperature grijanja ili korištenjem tanje folije.

Ispitivanjima u radu se ustanovilo da se za postizanje prihvatljivog proizvoda, polipropilenska folija debljine 0,3 mm na temperaturi od 200 °C treba zagrijavati 90 sekundi, dok se folija od 0,5mm treba zagrijavati 180 sekundi.

U radu je bio korišten ispitni model za ispitivanje uzoraka. U praksi, uređajem za vakuumsko toplinsko oblikovanje polimera mogu se proizvesti razni oblici iz polimera kao što su maske za lice, razne polimerne posude, ambalaža, kalupi za lijevanje gipsa itd.

Optimizacija procesa vakuumskog toplog oblikovanja izvodi se na način da se maksimalno smanji vrijeme trajanja procesa, a da se pritom udovoljava svim zahtjevima za zadovoljavajućom kvalitetom. Ukoliko se poveća temperatura grijanja polimera smanjuje se vrijeme zagrijavanja polimera, a time se smanjuje vrijeme trajanja cijelog procesa.

U Varaždinu, 10.12.2018.

6. Literatura

[1] http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/10198/2/a_patel_chapter-1.pdf, dostupno rujan 2018.

[2] I. Čatić: Uvod u proizvodnju polimernih tvorevina, Biblioteka polimerstvo, Zagreb, 1990.

[3] A. Rogić, I. Čatić, D. Godec: Polimeri i polimerne tvorevine, BIBILOTEKA POLIMERSTVO – SERIJA ZELENA, Zagreb 2008.

[4] P. Raos, M. Šercer: Teorijske osnove proizvodnje polimernih tvorevina, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište Josipa Juraja Strossmayera u Osijeku, Slavonski Brod/Zagreb, 2010.

[5] Z. Kolumbić, M. Dunđer: Materijali, Alfa, Rijeka, 2011.

[6] B. Bujanić, Tehnologija II, prezentacija, Sveučilište Sjever, Varaždin 2016.

[7] https://ironlady003.wordpress.com/2014/05/05/plasticni-materijali/, dostupno rujan 2018.

[8] http://jonas1234.no-ip.org/3.%20Semestar/Tehnologije/polimeri/143244029-Poli-Meri.pdf, dostupno rujan 2018.

[9] I. Čatić: Tvorba naziva karakterističnih temperatura , dostupno rujan 2018.

[10] M. Erceg: Prerada plastike i gume, KEMIJSKO – TEHNOLOŠKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U SPLITU, Split, 2017.

[11] M. Detić: Izrada uređaja za termooblikovanje polimera i testiranje polimera kod različitih temperatura, Završni rad, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2017.

Popis slika

Slika 2.1. Lančana polimerizacija [6] 4
Slika 2.2 Vrsta kopolimera, a) statistički kopolimer, b) naizmjenični kopolimer, c) blok kopolimer, d) cijepljeni kopolimer [7] 6
Slika 2.3 Opći izgled makromolekule, a) linearna makromolekula, b) granata makromolekula, c) djelomično (rahlo) umrežena makromolekula, d) potpuno (gusto) umrežena makromolekula [6]....7
Slika 2.4 Stupanj kristaličnosti polimera, a) polimer s niskim stupnjem kristaličnosti, b) polimer s visokim stupnjem kristaličnosti [3] 8
Slika 2.5. Amorfna struktura polimera [3]....9
Slika 2.6 Termomehanička krivulja linearnog amorfnog polimera [8] 10
Slika 2.7 ovisnost termomehaničke krivulje o stupnju uređenosti strukture [9]....11
Slika 3.1 Presjek jednopužnog plastificirajućeg ekstrudera, 1-lijevak, 2-pužni vijak, 3-cilindar za taljenje, 4-tlačni ležaj, 5-namjestivi prigon, 6-spojka, 7-pogonski motor, 8- grijala, 9-hladila, 10-prirubnica, 11-sita, 12-cijedilo, 13-glava ekstrudera - mlaznica, 14- prigušnica [10] 17
Slika 3.2 Poredak i broj valjaka u kalandru [3] 18
Slika 3.3 postrojenje za prevlačenje [3]....19
Slika 3.4 Duboko vučenje plastomernog pripravka....21
Slika 3.5 Uređaj za vakuumsko toplinsko oblikovanje polimera....23
Slika 4.1 Model za ispitivanje....24
Slika 4.2 Dužina prianjanja....25
Slika 4.3 Prvi uzorak, t = 15 s, debljina folije = 0,3mm 26
Slika 4.4 Drugi uzorak, t = 30 s, debljina folije = 0,3mm 27
Slika 4.5 Treći uzorak, t = 60 s, debljina folije = 0,3mm 28
Slika 4.6 Četvrti uzorak, t = 90 s, debljina folije = 0,3mm....29
Slika 4.7 Peti uzorak, t = 180 s, debljina folije = 0,3mm....30
Slika 4.8 Šesti uzorak, t = 300 s, debljina folije = 0,3mm....31
Slika 4.9 Dijagram ovisnosti dubine prodiranja polimera za provrt D_1 o vremenu, debljina folije = 0,3mm 32
Slika 4.10 Dijagram ovisnosti dubine prodiranja polimera za provrt D_2 o vremenu, debljina folije = 0,3mm 33
Slika 4.11 Dijagram ovisnosti dubine prodiranja polimera za provrt D_3 o vremenu, debljina folije = 0,3mm 33
Slika 4.12 Dijagram ovisnosti dužine prianjanja o vremenu, debljina folije = 0,3mm 34
Slika 4.13 Dijagram ovisnosti subjektivne ocjene ispitivača o vremenu, debljina folije = 0,3mm 34
Slika 4.14 Prvi uzorak, t = 30 s, debljina folije = 0,5mm 36
Slika 4.15 Drugi uzorak, t = 60 s, debljina folije = 0,5mm 37
Slika 4.16 Treći uzorak, t = 90 s, debljina folije = 0,5mm 38
Slika 4.17 Četvrti uzorak, t = 180 s, debljina folije = 0,5mm....39
Slika 4.18 Peti uzorak, t = 300 s, debljina folije = 0,5mm....40
Slika 4.19 Dijagram ovisnosti dubine prodiranja polimera za provrt D_1 o vremenu, debljina folije = 0,5mm 41
Slika 4.20 Dijagram ovisnosti dubine prodiranja polimera za provrt D_2 o vremenu, debljina folije = 0,5mm 41
Slika 4.21 Dijagram ovisnosti dubine prodiranja polimera za provrt D_3 o vremenu, debljina folije = 0,5mm 42
Slika 4.22 Dijagram ovisnosti dužine prianjanja o vremenu, debljina folije = 0,5mm 42

Slika 4.23 Dijagram ovisnosti subjektivne ocjene ispitivača o vremenu, debljina folije = 0,5mm 43

Popis tablica

Tablica 4.1 Vremena grijanja prve skupine uzoraka 25
Tablica 4.2 Mjerenja prvog uzorka, t = 15 s, debljina folije = 0,3mm 26
Tablica 4.3 Mjerenja drugog uzorka, t = 30 s, debljina folije = 0,3mm 27
Tablica 4.4 Mjerenja četvrtog uzorka, t = 60 s, debljina folije = 0,3mm 28
Tablica 4.5 Mjerenja četvrtog uzorka, t = 90 s, debljina folije = 0,3mm 29
Tablica 4.6 Mjerenja petog uzorka, t = 180 s, debljina folije = 0,3mm 30
Tablica 4.7 Mjerenja šestog uzorka, t = 300 s, debljina folije = 0,3mm 32
Tablica 4.8 Vremena grijanja druge skupine uzoraka 35
Tablica 4.9 Mjerenja prvog uzorka, t = 30 s, debljina folije = 0,5mm 36
Tablica 4.10 Mjerenja drugog uzorka, t = 60 s, debljina folije = 0,5mm 37
Tablica 4.11 Mjerenja trećeg uzorka, t = 90 s, debljina folije = 0,5mm 38
Tablica 4.12 Mjerenja četvrtog uzorka, t = 180 s, debljina folije = 0,5mm 39
Tablica 4.13 Mjerenja petog uzorka, t = 300 s, debljina folije = 0,5mm 40

Sveučilište
Sjever

SVEUČILIŠTE SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio 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, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, VLADIMIR KLIČEK *(ime i prezime)* pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog *(obrisati nepotrebno)* rada pod naslovom PRODUCIRANJE PRIMJERA NA VREDNJU ZA VAŽNOST TOPLO OBLIKOVANJE *(upisati naslov)* te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

V. Klič
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnost i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, VLADIMIR KLIČEK *(ime i prezime)* neopozivo izjavljujem da sam suglasan/~~ne~~ s javnom objavom završnog/diplomskog *(obrisati nepotrebno)* rada pod naslovom PRODUCIRANJE PRIMJERA NA VREDNJU ZA VAŽNOST TOPLO OBLIKOVANJE *(upisati naslov)* čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

V. Klič
(vlastoručni potpis)