

# Optimiranje parametara injekcijskog prešanja za akrilonitril/butadien/stiren

---

**Vlašić, Nikola**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2009**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:309741>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-23**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



**Sveučilište u Zagrebu**  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

**DIPLOMSKI RAD**

Nikola Vlašić

**Zagreb, 2009.**

**Sveučilište u Zagrebu**  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

**DIPLOMSKI RAD**

Prof. dr. sc. Mladen Šercer

Nikola Vlašić

**Zagreb, 2009.**



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**  
Središnje povjerenstvo za završne i diplomske radove  
Povjerenstvo studija strojarstva za smjer  
Proizvodno inženjerstvo



Zagreb, 15. rujna 2008.

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **NIKOLA VLAŠIĆ**

Mat. br.: 0035148759

Naslov: **Optimiranje parametara injekcijskog prešanja za akrilonitril/butadien/stiren**

Opis zadatka:

Akrilonitril/butadien/stiren (ABS) je polimerni materijal sastavljen od dvofaznog sustava, kopolimera stirena i akrilonitrila (SAN) i fino raspršenih čestica kaučuka butadiena. Svaki sastojak daje određena svojstva: akrilonitril toplinsku stabilnost i kemijsku postojanost, butadien duktilnost, elastičnost i dobru savojnu žilavost, a stiren sjajnu površinu, laku preradljivost i nižu cijenu. ABS posjeduje dobru uravnoteženost mehaničkih, toplinskih i električkih svojstava, kao i izvrsnu kemijsku postojanost.

ABS se najčešće prerađuje injekcijskim prešanjem. Primjena ABS-a je pretežno u automobilskoj industriji (instrument ploče, poklopci pretinaca, dijelovi za pričvršćenje pojaseva), elektronici, građevinarstvu, za medicinski i uredski pribor (kućišta za monitore). Upotrebljava se i za igračke, telefonske slušalice, posudice za kozmetiku, kacige, kućišta za strojeve za košnju, za izradbu cjevovoda, spojnice, sportske opreme i drugo.

U radu je potrebno obraditi najnovija saznanja na području preradbe i primjene ABS-a. U eksperimentalnom dijelu potrebno je primjenom plana pokusa pronaći optimalne parametre injekcijskog prešanja ABS-a za zadani proizvod, te ispitati mehanička svojstva.

Zadatak zadan:

15. ožujka 2008.

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Mladen Šercer

Rok predaje rada:

ožujak 2009.

Predsjednik povjerenstva :

Prof.dr.sc. Franjo Cajner

## **ZAHVALA**

Ovaj rad napravljen je pod stručnim vodstvom prof. dr. sc. Mladena Šercera, kojem posebno zahvaljujem na pruženoj pomoći i korisnim savjetima tijekom izrade ovog rada.

Također se zahvaljujem mr. sc. Maji Rujnić-Sokele te dipl. ing. Ani Pilipović na uloženom trudu i pruženoj pomoći tijekom izrade rada. Dr. sc. Damiru Godecu i g. Miodragu Kataleniću zahvaljujem na pruženoj pomoći pri izradi otpresaka i izradi eksperimentalnog dijela rada.

## **IZJAVA**

Izjavljujem da sam ovaj diplomski rad radi samostalno, uz korištenje navedene literature i konzultacija.

---

Nikola Vlašić

## **SAŽETAK**

U ovom radu opisana je primjena Akrilonitril/butadien/stirena (ABS) u raznim granama gospodarstva za proizvodnju široke palete proizvoda. ABS se najčešće prerađuje injekcijskim prešanjem, te je stoga u radu ukratko opisan i postupak injekcijskog prešanja kao i tipovi injekcijskih preša. Također su ukratko opisani ostali postupci prerade polimera kao i najčešće korišteni tipovi polimera.

U eksperimentalnom dijelu rada pristupilo se postupkom injekcijskog prešanja izradi otpresaka od ABS-a u obliku čepova, na kojima su vršena ispitivanja mehaničkih svojstava s ciljem analize i optimiranja parametara injekcijskog prešanja. Utvrđeno je da ispitivani parametri nemaju značajniji utjecaj na mehanička svojstva, odnosno da su u ispitivanom području odabrani parametri prerade optimalni.

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2. POSTUPCI PRERADE POLIMERA.....</b>	<b>2</b>
2.1. Podjela postupaka prerade polimera.....	2
2.2. Kontinuirani postupci praoblikovanja polimera.....	3
2.2.1. Kalandriranje.....	3
2.2.2. Kontinuirano prevlačenje.....	3
2.2.3. Ekstrudiranje.....	4
2.3. Ciklički postupci praoblikovanja polimera.....	5
2.3.1. Lijevanje.....	5
2.3.2. Prešanje.....	5
2.3.3. Srašćivanje u kalupu.....	6
<b>3. INJEKCIJSKO PREŠANJE POLIMERA.....</b>	<b>7</b>
3.1. Uvod o injekcijskom prešanju.....	7
3.2. Ciklički tijek procesa injekcijskog prešanja.....	9
<b>4. UBRIZGAVALICE ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE PLASTOMERA.....</b>	<b>11</b>
4.1. Razvoj ubrizgavalica.....	11
4.2. Hidrauličke ubrizgavalice.....	11
4.3. Hibridne ubrizgavalice.....	13
4.4. Električne ubrizgavalice.....	15
<b>5. PLASTOMERI.....</b>	<b>16</b>
5.1. Vrste plastomera.....	18
5.1.1. Polietilen (PE).....	18
5.1.2. Polipropilen (PP).....	19
5.1.3. Poli(vinil-klorid) (PVC).....	19
5.1.4. Poliamid (PA).....	20
5.1.5. Poli(tetrafluor – etilen) (PTFE).....	20
5.1.6. Polistiren (PS).....	21
5.1.7. Akrilonitril/butadien/stiren (ABS).....	22
5.1.7.1. Svojstva ABS-a.....	23
5.1.7.2. Preradivost ABS-a.....	24
5.1.7.3. Zdravlje i sigurnost.....	25
5.1.7.4. Primjena ABS-a.....	26
5.1.7.4.1. Proizvodnja malih kućanskih aparata i alata.....	26



5.1.7.4.2. Automobilska industrija .....	27
5.1.7.4.3. Sustavi odvodnje .....	28
5.1.7.4.4. Elektronička industrija .....	28
5.1.7.4.5. Industrija zabave i sporta.....	29
5.1.7.4.6. Ostalo .....	30
5.1.7.5. Mješavine ABS-a i drugih polimera .....	30
<b>6. EKSPERIMENTALNI DIO.....</b>	<b>32</b>
6.1. Ispitni materijal i oprema .....	33
6.2. Provedba pokusa.....	41
6.2.1. Određivanje vremena hlađenja otpresaka .....	41
6.2.2. Centralno kompozitni plan pokusa .....	43
6.2.3. Ispitivanje mase .....	44
6.2.4. Ispitivanje dimenzijske stabilnosti.....	48
6.2.4.1. Vrijednosti Dimenzije 1 .....	48
6.2.4.2. Vrijednosti Dimenzije 2 .....	52
6.2.5. Ispitivanje tvrdoće.....	55
<b>7. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>59</b>
<b>8. LITERATURA .....</b>	<b>60</b>
<b>9. PRILOZI.....</b>	<b>62</b>

## POPIS SLIKA

Slika 2.1. Postupci prerade polimera.....	2
Slika 2.2. Postupci prevlačenja .....	3
Slika 2.3. Presjek jednopužnog ekstrudera .....	4
Slika 2.4. Ekstrudati .....	4
Slika 2.5. Postupci srašćivanja .....	6
Slika 3.1. Shematski presjek ubrizgavalice .....	8
Slika 3.2. Injekcijsko prešanje 1.faza .....	9
Slika 3.3. injekcijsko prešanje 2.faza .....	9
Slika 3.4. Injekcijsko prešanje 3.faza .....	10
Slika 3.5. Injekcijsko prešanje 4.faza .....	10
Slika 4.1 Shema hidraulične ubrizgavalice.....	12
Slika 4.2. Presjek hibridne ubrizgavalice za injekcijsko prešanje .....	13
Slika 4.3. Shema električne ubrizgavalice .....	15
Slika 5.1. Kemijska formula ABS-a .....	22
Slika 5.2. Svojstava pojedinih monomera u mješavini .....	23
Slika 5.3. Kućište bušilice od ABS-a .....	26
Slika 5.4. Obloga unutrašnjosti hladnjaka .....	26
Slika 5.5. Elektroplatirani ABS .....	27
Slika 5.6. Žmigavac od ABS-a .....	27
Slika 5.7. Cijevi za odvodnju otpadnih voda .....	28
Slika 5.8. Kućište telefona .....	28
Slika 5.9. Prikolica .....	29
Slika 5.10. Dijelovi karoserije motocikla od ABS-a .....	29
Slika 5.11. Lego kocke .....	30
Slika 5.12. Kutije za instrumente .....	30
Slika 5.13. Kreditne kartice izrađene od mješavine ABS/PVC .....	31
Slika 5.14. Krov automobila izrađen od mješavine ABS/PA .....	31
Slika 5.15. Kaciga izrađena od mješavine ABS/PC .....	31
Slika 6.1.Otpresak načinjan injekcijskim prešanjem.....	32
Slika 6.2. ABS tvrtke <i>Ineos</i> Lustran ABS 440.....	33
Slika 6.3. Materijal u sušilici .....	34
Slika 6.4. Digitalna vaga.....	34
Slika 6.5. Shema ENGEL Victory 80 ubrizgavalice.....	35

Slika 6.6. Ulazno sučelje .....	36
Slika 6.7. Određivanje temperature grijača .....	36
Slika 6.8. Određivanje doziranja.....	37
Slika 6.9. Parametri ubrizgavanja .....	37
Slika 6.10. Određivanje naknadnog tlaka i vremena trajanja naknadnog tlaka.....	38
Slika 6.11. Grafički prikaz tlaka i vremena trajanja naknadnog tlaka .....	38
Slika 6.12. Ubrizgavalica ENGEL Victory 80.....	39
Slika 6.13. Kalup za izradu otpresaka .....	39
Slika 6.14. Pomični dio kalupa .....	40
Slika 6.15. Nepomični dio kalupa.....	40
Slika 6.16. Grafički prikaz ovisnosti mase o visini naknadnog tlaka i vremenu trajanja naknadnog tlaka .....	46
Slika 6.17. Pozicije mjerenja dimenzije .....	48
Slika 6.18. Grafički prikaz ovisnosti dimenzije 1 otpreska mjerene na poziciji 1 o visini naknadnog tlaka i vremenu trajanja naknadnog tlaka.....	50
Slika 6.19. Grafički prikaz ovisnosti dimenzije otpreska mjerene na poziciji 2 o visini naknadnog tlaka i vremenu trajanja naknadnog tlaka .....	53
Slika 6.20. Uređaj za mjerenje tvrdoće Shore D.....	55
Slika 6.21. Grafički prikaz ovisnosti tvrdoće o visini naknadnog tlaka i vremenu trajanja naknadnog tlaka .....	57

## POPIS TABLICA

Tablica 5.1. Fizička i mehanička svojstva ABS-a .....	24
Tablica 5.2. Primjenjivost postupaka prerade za ABS .....	25
Tablica 6.1. Faktori i njihove razine.....	43
Tablica 6.2. Redoslijed izvođenja pokusa i parametri prerade .....	44
Tablica 6.3. Izračunate srednje vrijednosti mase .....	44
Tablica 6.4. Rezultati obrade mase modulom ANOVA.....	45
Tablica 6.5. Pregled statističkih podataka o modelu.....	47
Tablica 6.6. Izračunate srednje vrijednosti dimenzije 1 .....	48
Tablica 6.7. Analiza varijance za dimenziju 1 .....	49
Tablica 6.8 Pregled statističkih podataka o modelu.....	51
Tablica 6.9. Izračunate srednje vrijednosti dimenzije 2 .....	52
Tablica 6.10. Analiza varijance za dimenziju 2.....	52
Tablica 6.11. Pregled statističkih podataka o modelu.....	54
Tablica 6.12. Izračunate srednje vrijednosti tvrdoće.....	56
Tablica 6.13. Rezultati obrade tvrdoće modulom ANOVA .....	56
Tablica 6.14. Pregled statističkih podataka o modelu.....	58
Tablica 9.1. Koeficijenti oblika i unutrašnjosti za otpreske različita oblika .....	62
Tablica 9.2. Parametri obrade i rezultati vaganja ispitaka (čepova) .....	63
Tablica 9.3. Rezultati mjerenja dimenzijske stabilnosti.....	64
Tablica 9.4. Rezultati mjerenja tvrdoće.....	65

## KRATICE

Kratice	Opis
ABS	akrilonitril/butadien/stiren
CA	celulozni acetat
MF	melamin-formaldehidna smola
PA	poliamid ( <i>Nylon</i> )
PBT	poli(butilen-tereftalat)
PC	polikarbonat
PE	polietilen
PEEK	poli(eter-eter-ke-ton)
PEI	poli(eter-imidi)
PET	poli(etilen-tereftalat)
PF	fenol-formaldehidna smola
PMMA	poli(metil-metakrilat) ( <i>Plexiglas</i> )
POM	poli(oksimetilen)
PP	polipropilen
PPO/PS	poli(fenil-oksidi)
PPS	poli(fenilen-sulfid)
PS	polistiren (polistirol)
PTFE	poli(tetrafluoretilen) ( <i>Teflon</i> )
PVC	poli(vinil-klorid)

## POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

Oznaka	Opis	Jedinica
$a_1$	Vrijednost koeficijenta oblika	-
$a_2$	vrijednost koeficijenta oblika	-
$a_{ef}$	efektivna toplinska difuzivost	$m^2/s$
$b_0$	karakteristična izmjera otpreska	-
$c_p$	specifični toplinski kapacitet	$J/kgK$
$k_0$	koeficijent oblika	-
$K_U$	koeficijent unutrašnjosti	-
$s$	standardna devijacija	-
$t_h$	vrijeme hlađenja otpresaka	s
$T_K$	temperatura stjenke kalupne šupljine	$^{\circ}C$
$T_T$	temperatura taljevine	$^{\circ}C$
$T_U = T_{PO}$	temperatura unutrašnjosti, temperatura postojanosti oblika	$^{\circ}C$
$\bar{x}$	aritmetička sredina	-
$\lambda$	toplinska vodljivost	$W/mK$
$\rho$	gustoća	$kg/m^3$

## 1. UVOD

Polimeri su tvari i materijali sastavljeni od organskih makromolekula, koje se dobivaju uspostavljanjem kemijskih veza između jednostavnijih molekula organskih spojeva, monomera [1].

Od organskih spojeva u prirodi, to su prirodni kaučuk i prirodne smole, celuloza, lignin, polisaharidi, škrob, bjelančevine i nukleinske kiseline [2].

S obzirom na postanak polimeri se mogu sistematizirati na prirodne i sintetske, dok se s obzirom na ponašanje pri zagrijavanju dijele na plastomere, duromere, elastomere i elastoplastomere [1].

Prednosti polimernih materijala su mala masa, korozijska postojanost, visoka toplinska rastezljivost, mogućnost jednostavne i ekonomične proizvodnje kompliciranih izradaka u velikim količinama, nevodljivost električne struje (električni izolatori). Nedostaci su im niska čvrstoća, krutost i niska mehanička otpornost pri povišenim temperaturama, mala krutost i otpornost na abrazijsko trošenje, te zapaljivost [3].

Od danas korištenih polimernih materijala (preko 10000 komercijalnih), s masenim udjelom od preko 80 % dominira skupina pet širokoprimjenjivih polimera: polietilen (PE), polipropilen (PP), poli(etilen-tereftalat) (PET), polistiren (PS) i poli(vinil-klorid) (PVC). Slijedi skupina konstrukcijskih polimera: poliamid (PA), polikarbonat (PC) i akrilonitril/butadien/stiren (ABS), a širi se i primjena polimernih mješavina [1].

Proizvodnja polimernih tvorevina temelji se većinom na istodobnom mehaničkom, toplinskom i reološkom ponašanju polimera, često uz prisustvo i kemijskih reakcija. To je ponašanje neposredan odraz strukture polimera i pokretljivosti segmenata makromolekulnih lanaca. Takav oblik gibanja čestica svojstven je samo polimerima, što pri proučavanju postupaka proizvodnje polimernih tvorevina zahtijeva uzimanje u obzir mnogobrojnih specifičnosti [2].

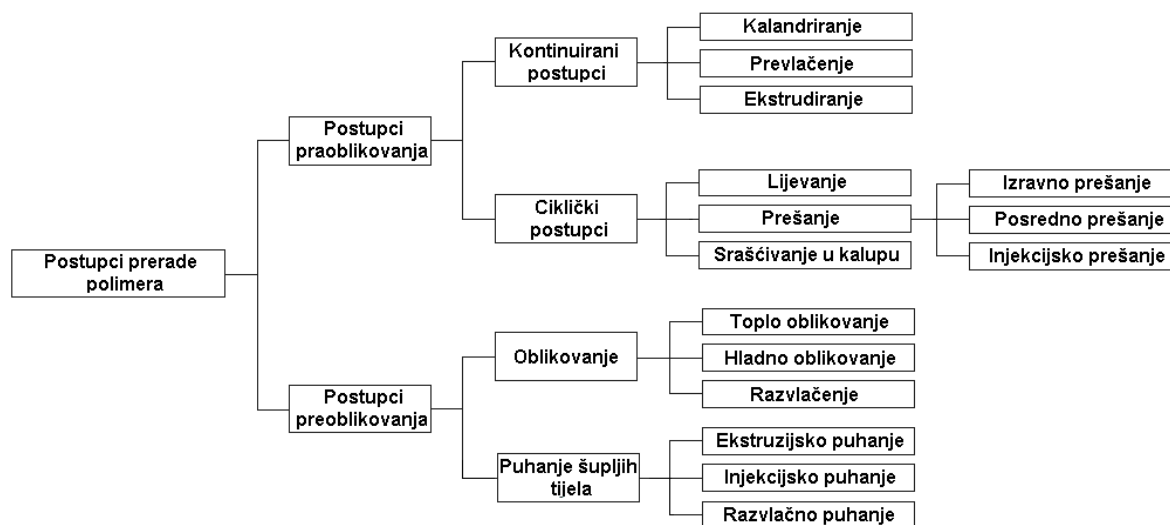
## 2. POSTUPCI PRERADE POLIMERA

### 2.1. Podjela postupaka prerade polimera

Postupci prerade polimera (slika 2.1) dijele se na postupke praoblikovanja (preradbe) i na postupke preoblikovanja (promjene oblika).

Praoblikovanje je pravljenje čvrstog tijela od bezobličnih tvari, pri čemu se postiže povezanost među česticama i stvara se građa materijala. Praoblikovati se mogu tvari u plinovitom, dispergiranom, ionizirajućem i čvrstom stanju. Praoblikovanjem nastaju poluproizvodi (kalandrirani trakovi ili ekstrudirane cijevi) ili izradci (otpresci ili odljevci) [2].

Prilikom preoblikovanja mijenja se oblik materijala dok fizičke veze među molekulama ostaju očuvane. Materijal koji se preoblikuje dolazi u obliku poluproizvoda (ploča, folija, filmova), koji se promjenom oblika, preoblikovanjem, pretvaraju u izratke [2].



Slika 2.1. Postupci prerade polimera [3]



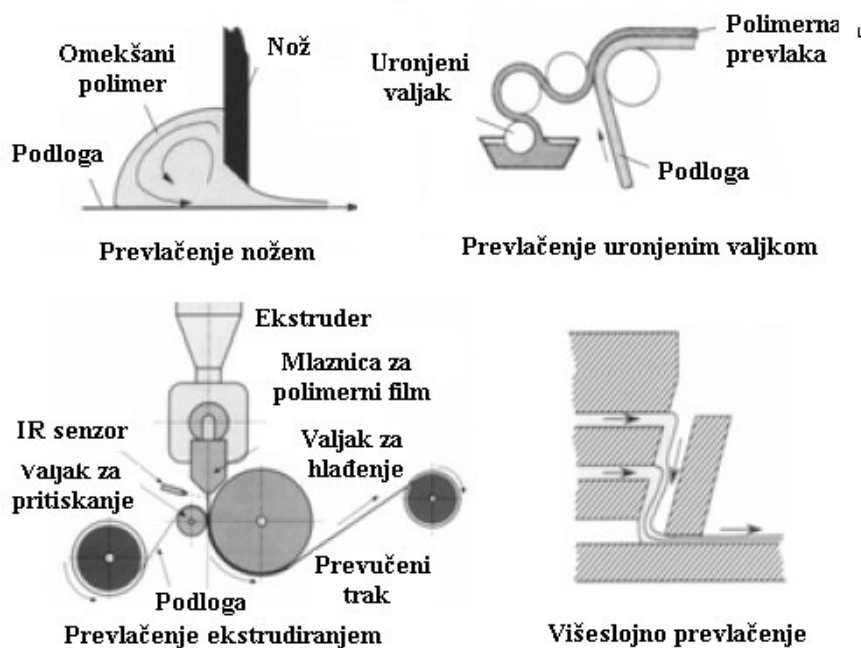
## 2.2. Kontinuirani postupci praoblikovanja polimera

### 2.2.1. Kalandriranje

Kalandriranje je kontinuirani postupak pravljenja beskonačnih trakova praoblikovanjem visokoviskoznog kapljastog polimera njegovim propuštanjem između parova valjaka kalandra, pri čemu valjci pritišću polimer. Nastala tvorevina, kalandrat je u obliku traka (poluproizvod). Kalandriraju se smjese od prirodnog i sintetskog kaučuka i plastomeri. Od plastomera to su najčešće kruti i savitljivi poli(vinil-klorid) (PVC), kopolimeri vinil-klorida, vinil-acetata, celuloznog acetata, te polistiren i polietilen [2].

### 2.2.2. Kontinuirano prevlačenje

Prevlačenje je postupak kojim se polimer nanosi na podlogu koja može biti obliku trake papira, metala, tekstila ili nekog drugog tkanja. 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 materijala u tu svrhu najviše se upotrebljava poli(vinil-klorid), i to obliku paste dobivene miješanjem praškastog poli(vinil-klorida) s omekšavalom i drugima dodacima. Najpoznatiji proizvod dobiven prevlačenjem na temelju PVC-a je sintetička koža (skaj) [2].

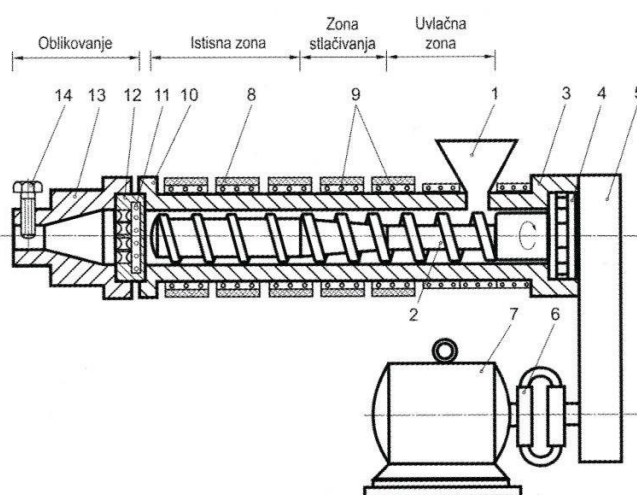


Slika 2.2. Postupci prevlačenja [3]

### 2.2.3. Ekstrudiranje

Ekstrudiranje je postupak kontinuiranog praoblikovanja protiskivanjem kapljastog polimera kroz mlaznicu. Istisnuti polimer očvršćuje u tvorevinu, ekstrudat, geliranjem i/ili hlađenjem, odnosno polimerizacijom i/ili umrežavanjem te sušenjem.

Ekstrudiranje je zbog svoje sveobuhvatnosti najprošireniji proizvodni postupak u polimerstvu. Ekstrudiranjem se izrađuju tzv. beskonačni proizvodi ili poluproizvodi kao što su razne cijevi, štapovi, filmovi, folije i ploče, vlakna, izolacije i plaševi kabela i slično (slika 2.5) [2].



Slika 2.3. Presjek jednopužnog ekstrudera; 1 – lijevak, 2 – pužni vijak, 3 – cilindar, 4 – tlačni ležaj, 5 – namjestivi prigon, 6 – spojka, 7 – pogonski motor, 8 – grijala, 9 – hladila, 10 – prirubnica, 11 – sita, 12 – cjedilo, 13 – glava ekstrudera, ujedno i mlaznica, 14 – prigušnica [2]



Slika 2.4. Ekstrudati [4]

## **2.3. Ciklički postupci praoblikovanja polimera**

### **2.3.1. Lijevanje**

Lijevanje je ciklički postupak praoblikovanja ulijevanjem niskoviskoznih tvari u temperirani kalup. Tvorevina, odljevak, poprima oblik kalupne šupljine, bez djelovanja dodatne vanjske sile. Lijevanju se kapljeviti monomeri ili već stvoreni polimeri u obliku otopine, disperzije, paste ili niskoviskozne taljevine [2].

Čvrsti polimerni materijal nastaje u kalupu

- isparavanjem otapala ili sredstva za disperziranje
- geliranjem
- kemijskom reakcijom (umrežavanjem) [3]

Mogu se lijevati plastomeri kao što su polistiren (PS), poliamid (PA), poli(metil-metalkrilat) (PMMA), polikarbonat (PC), celulozni esteri i eteri, te duromeri (epoksidne smole, silikonski kaučuci) i elastomeri (poliuretani i silikoni).

Proizvodi dobiveni tim postupkom su blokovi, ploče, štapovi i ostali proizvodi debelih stijenki ili kompliciranih oblika [2].

### **2.3.2. Prešanje**

Postupci prešanja polimernih materijala dijele se na:

- izravno prešanje
- posredno prešanje
- injekcijsko prešanje [2].

U ovom poglavlju biti će ukratko opisani postupci izravnog i posrednog prešanja, dok će injekcijsko prešanje biti opisano u zasebnom poglavlju.

Izravno prešanje je ciklički postupak praoblikovanja, gdje se polimer u obliku praha (duromeri), priprema (duromeri i elastomeri) ili granulata (plastomeri) stavlja u otvorenu, temperiranu kalupnu šupljinu. Tvorevina otpresak može očvrnuti polireakcijom i umrežavanjem (duromeri), umrežavanjem (elastomeri) ili hlađenjem (plastomeri) i time postaje podobna za vađenje iz kalupa [2].

Posredno prešanje je postupak praoblikovanja tijekom kojeg se polimerna tvar potrebne smične viskoznosti ubrizgava iz komore za ubrizgavanje u temperiranu kalupnu šupljinu. Tvorevina, otpresak, postaje polireakcijom i/ili umrežavanjem podobna za potiskivanje iz kalupne šupljine. Posredno prešanje je savršeniji postupak nego izravno prešanje zbog postizanja boljih svojstava i veće dimenzijske stabilnosti uz istodobno skraćenje ciklusa [2].

### 2.3.3. Srašćivanje u kalupu

Srašćivanje je umnogome slično već opisanom postupku lijevanja. Ono se u prvom redu primjenjuje za preradu polimernih materijala koji i pri temperaturi višoj od tališta ne stvaraju izrazitu niskoviskoznu taljevinu kao što su polietilen vrlo visoke molekulne mase i poli(tetraflouretilen).

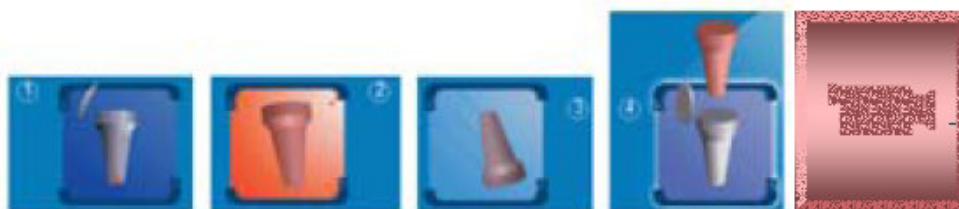
Postupak se sastoji od punjenja kalupa prahom, zatvaranja i zagrijavanja do potpunog staljivanja praha, a nakon hlađenja vade se čvrsti kompaktni izradci [2].

Od postupaka srašćivanja najčešće je nasipno srašćivanje i rotacijsko srašćivanje (slika 2.6).

#### □ Nasipno srašćivanje



#### □ Rotacijsko srašćivanje



Slika 2.5. Postupci srašćivanja [3]

### **3. INJEKCIJSKO PREŠANJE POLIMERA**

#### **3.1. Uvod o injekcijskom prešanju**

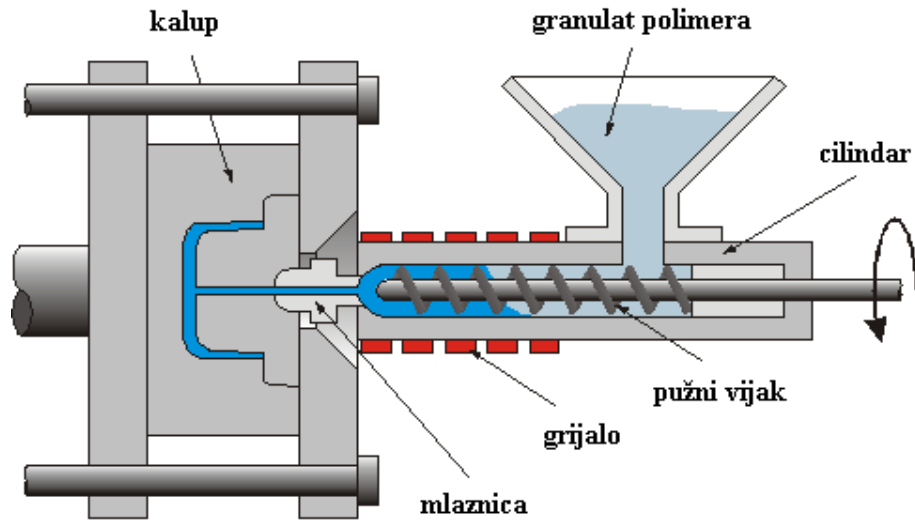
Injekcijsko prešanje je trodimenzionalni ciklički postupak praoblikovanja ubrizgavanjem polimerne tvari potrebne smične viskoznosti iz jedinice za pripremu i ubrizgavanje u temperiranu kalupnu šupljinu [2].

Početak injekcijskog prešanja polimera smatra se 1868. godina kada je John Wesley Hyatt prvi ubrizgao rastaljenu celulozu u kalup da bi proizveo biljarske kugle. On i njegov brat Isaiah patentirali su 1872. stroj za injekcijsko prešanje polimera pomoću klipa. Navedeni postupak injekcijskog prešanja pomoću klipa ostao je nepromijenjen u uporabi sve do 1946. kada je James Hendry konstruirao prvi stroj za injekcijsko prešanje pomoću pužnog vijka što je izazvalo revoluciju u proizvodnji polimera. Danas gotovo 95 % ubrizgavalica koristi pužni vijak da bi uspješno zagrijale, izmješale i ubrizgale polimer u kalupnu šupljinu [5].

Injekcijsko prešanje je najvažniji ciklički postupak prerade polimera. Plastomerna taljevina se velikom brzinom ubrizgava u temperiranu kalupnu šupljinu, gdje se skrućuje u izradak i nakon toga izbacuje djelovanjem izbacivala (slika 3.1) [6].

Osnovne karakteristike postupka:

- prerađuju se svi materijali (plastomeri, duromeri, elastomeri)
- mogućnost automatizacije
- velikoserijska proizvodnja
- naknadna obrada otpresaka nije potrebna
- veliki raspon otpresaka (od najmanjih do najvećih i od najjednostavnijih do najkompleksnijih) [3]



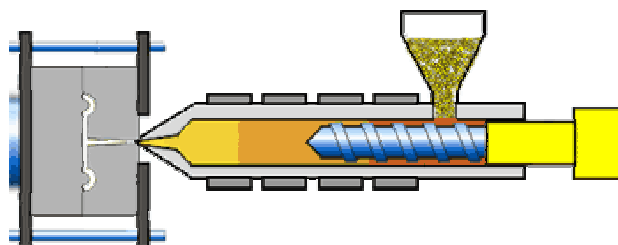
Slika 3.1. Shematski presjek ubrizgavalice [3]

Cijena proizvodnje injekcijskim prešanjem ovisi o mnogo faktora počevši od veličine otpreska (a time i kalupa), kompleksnosti otpreska, kvalitete površine i mnogih drugih. Početna cijena investicije za proizvodnju injekcijskim prešanjem je relativno velika, ali je pojedinačna cijena proizvodnje po otpresku niska, pa iz toga proizlazi da konačna cijena proizvodnje izravno ovisi o količini proizvodnje [5].

### 3.2. Ciklički tijek procesa injekcijskog prešanja

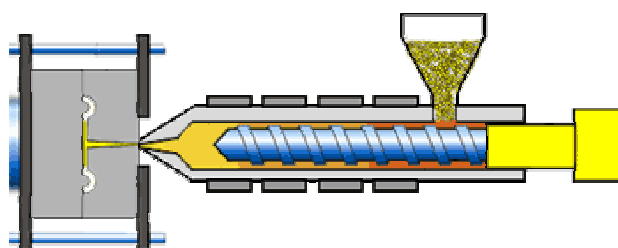
Ciklus injekcijskog prešanja može se prikazati u tri osnovne faze koje su prikazane na slikama 3.2 do 3.5.

U prvoj fazi prikazanoj na slici 3.2, granulat koji je nasipan u lijevak okretanjem pužnog vijka uvlači se u cilindar za taljenje. U cilindru se granulat tali toplinom grijala i trenjem pužnog vijaka, te se smicanjem potiskuje do protupovratnog ventila u prednjem dijelu cilindra [7].



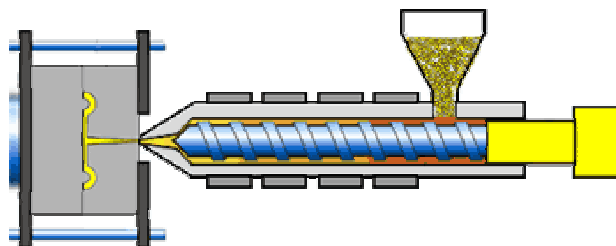
Slika 3.2. Injekcijsko prešanje, 1. faza [7]

Nakon što je pužni vijak došao u krajnji položaj uslijed punjenja taljevine u prednjem dijelu cilindra, cilindar za ubrizgavanje ga potiskuje naprijed. Ovime dolazi do ubrizgavanja taljevine u zatvorenu kalupnu šupljinu (slika 3.3) [7].



Slika 3.3. Injekcijsko prešanje, 2. faza [7]

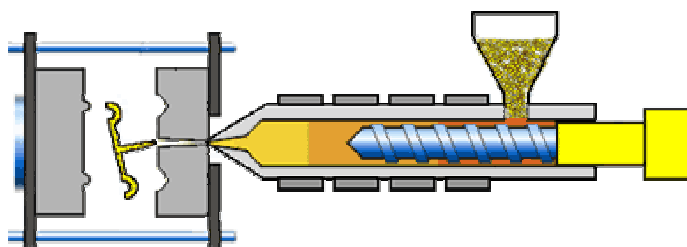
Kalup se drži zatvorenim pod tlakom dok se polimer u kalupnoj šupljini ne ohladi i stvrdne. To je obično i najduže vrijeme u procesu injekcijskog prešanja [7].



Slika 3.4. Injekcijsko prešanje, 3. faza [7]

Naknadni tlak sprečava povratak taljevine uz kalupa natrag u cilindar. Pri injekcijskom prešanju naknadni tlak djeluje sve dok se spojno mjesto između kalupne šupljine i uljevnog sustava ne ohladi dovoljno da polimer očvrstne tako da više nije moguć protok taljevine (slika 3.4) [7].

Nakon isteka vremena djelovanja naknadnog tlaka, pužni vijak se počinje ponovno okretati i uvlačiti polimer u cilindar za taljenje pripremajući taljevinu za sljedeći ciklus. Kalup se otvara i otpresak se izbacuje iz kalupne šupljine kao što je vidljivo na slici 3.5. Nakon izbacivanja otpreska kalup se zatvara i proces injekcijskog prešanja počinje iznova [7].



Slika 3.5. Injekcijsko prešanje, 4. faza [7]



## **4. UBRIZGAVALICE ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE PLASTOMERA [8]**

### **4.1. Razvoj ubrizgavalica**

Ubrizgavalica se sastoji od četiri jedinice: jedinice za pripremu i ubrizgavanje taljevine, jedinice za zatvaranje kalupa, pogonske jedinice i jedinice za vođenje i reguliranje te zaštitnih uređaja.

Nekad je osnovno načelo ubrizgavanja bilo ubrizgavanje klipom, dok se danas to ubrizgavanje ostvaruje pužnim vijkom. Ubrizgavalice imaju samo jedan pužni vijak, duljine 12 do 20 promjera pužnoga vijka. U novije su vrijeme sve češći pužni vijci omjera  $L/D$  iznad 20. Promjer pužnog vijka može biti 10 – 200 mm.

Uobičajeno se taljevina ubrizgava u kalup brzinom do 1,5 m/s i pri visokom tlaku, obično do 200 N/mm<sup>2</sup>.

Temperature su taljevine obično od 150 do 425 °C, a kalupne šupljine od -5 do 260 °C.

### **4.2. Hidrauličke ubrizgavalice**

Moderno konstruirane hidrauličke ubrizgavalice u mnogim područjima primjene usporedive su s hibridnim i električkim ubrizgavalicama.

Na kvalitetu proizvedenoga otpreska utječu tri važna čimbenika:

- kvaliteta taljevine
- brzina tečenja čela taljevine
- gustoća taljevine.

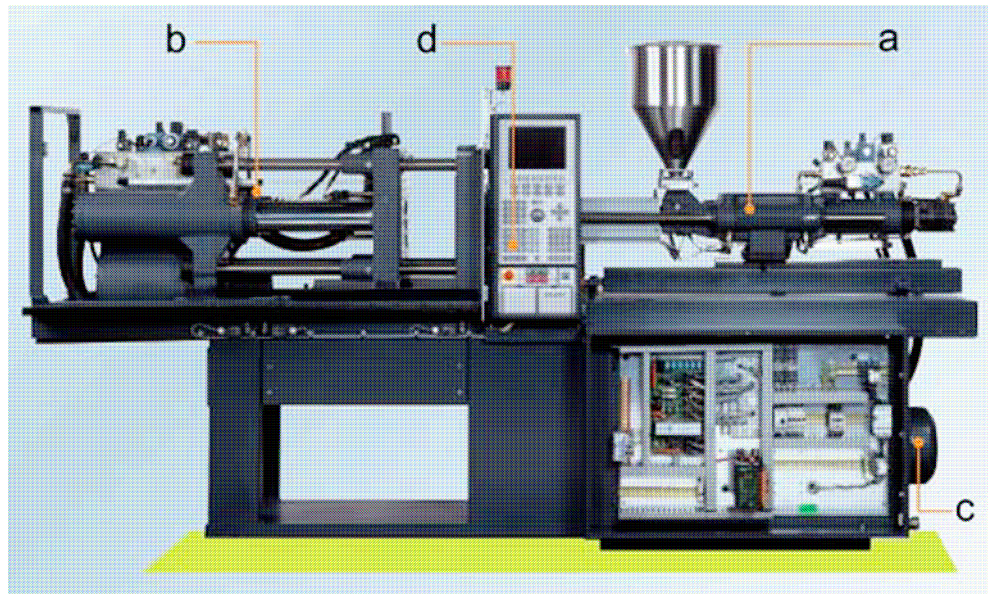
Kvaliteta taljevine je ovisna o konstrukciji jedinice za pripremu i ubrizgavanje taljevine, koja je neovisna o pogonu ubrizgavalice.

Brzina tečenja čela taljevine ovisi o kvaliteti taljevine, temperaturi stijenke kalupne šupljine i brzini pužnoga vijka. Električke ubrizgavalice ne nude odlučujuću prednost u tom pogledu u odnosu na hidrauličke ubrizgavalice sa servo pumpama s promjenjivim volumenom.

Ujednačena gustoća otpreska postiže se nadzorom visine i trajanja tlaka tijekom razdoblja djelovanja naknadnoga tlaka.

Nove hidrauličke ubrizgavalice sa servo pumpama s promjenjivim volumenom nude velike mogućnosti uštede energije.

Sustav s promjenjivim volumenom troši samo 18 % više energije u odnosu na potpuni električni pogon. Hidraulični pogon omogućuje ponajbolju kontrolu tlaka u kalupnoj šupljini tijekom razdoblja djelovanja naknadnoga tlaka. Jednako se tako postižu najbolja dinamika i najviši tlakovi ubrizgavanja.



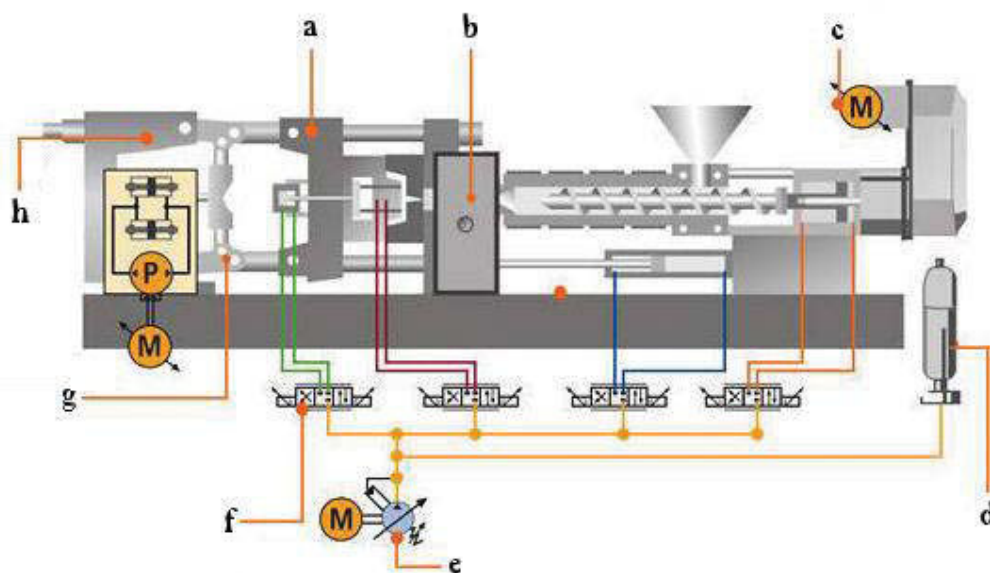
Slika 4.1 Shema hidraulične ubrizgavalice; a - jedinica za pripremu i ubrizgavanje taljevine, b - jedinica za zatvaranje kalupa, c - pogonska jedinica, d - jedinica za vođenje i reguliranje [8]

### 4.3. Hibridne ubrizgavalice

Hibridne ubrizgavalice uobičajeno sjedinjuju raznovrsnost i snagu hidrauličnih s preciznošću i ponovljivošću rada potpuno električno upravljanih i pogonjenih ubrizgavalica.

Hibridni pogon ubrizgavalica najčešće se postiže dodavanjem električnoga pogona za pužni vijak na klasičnu hidrauličnu ubrizgavalicu.

Električni pogon pužnoga vijka omogućuje preklapanje slijednih operacija rada ubrizgavalice tijekom rada čime se postiže skraćenje ciklusa injekcijskoga prešanja. Takav pogon radi dobro i za opće namjene kada se traže dulji ciklusi izradbe te se postižu veće uštede energije. Slika 4.3 prikazuje hibridnu ubrizgavalicu.



Slika 4.2. Presjek hibridne ubrizgavalice za injekcijsko prešanje; a - nosači kalupa, b - upravljačka jedinica, c - električni pogon pužnoga vijka, d - hidraulični akumulator, e - hidraulična pumpa, f - sustav za uštedu energije, g - osjetilo za zaštitu kalupa, h – jedinica za zatvaranje kalupa [8]

Kombinacija električnoga pogona pužnog vijka s elektromehaničkim polugama za zatvaranje kalupa troši oko 50 % manje energije u odnosu na usporedive veličine hidraulične izvedbe.

Kod te izvedbe ubrizgavalica moguće je ubrizgavanje i tri dodatne funkcije:

- izvlačenje jezgri
- izbacivanje otpreska
- otvaranje i zatvaranje kalupa koji se obavljaju hidrauličnim sustavom s akumulatorom.

Posebno valja naglasiti ulogu akumulatora kojim se postižu visoke brzine gibanja pužnoga vijka u aksijalnom smjeru, što se ne može postići kod električne izvedbe.

Hidrauličko ubrizgavanje taljevine u kalupnu šupljinu može se bolje prilagoditi zahtjevima pojedine vrste otpreska i općenito omogućuje bolju ponovljivost ubrizgavanja pri promjenama viskoznosti taljevine.

Hidromehanički sustav zatvaranja kalupa ima niz prednosti u odnosu na polužni sustav zatvaranja kalupa jer omogućuje zaštitu kalupa tijekom zatvaranja, automatsko podešavanje visine kalupa, ravnomjernu raspodjelu sile zatvaranja, planparalelnost ploča, veće pomake klipa i izradbu čistih otpresaka.

U svrhu održavanja područja kalupa čistim, hidraulički cilindri izvedeni su s dvostrukim brtvljenjem i podtlačnim povratnim vodom za ulje. Dobro konstruirane hibridne ubrizgavalice već sada nadmašuju mogućnosti i hidrauličkih i električkih ubrizgavalica.

Hibridne ubrizgavalice skuplje su 5 – 10 % od hidrauličkih, ali su istodobno 10 – 15 % jeftinije od većine potpuno električkih ubrizgavalica.

#### 4.4. Električne ubrizgavalice

Područje primjene potpuno električkih ubrizgavalica je za otpreske s traženom visokom točnošću mjera i preciznosti izradbe, koji zahtijevaju posebne profile ubrizgavanja, kalupi s posebnim načinima zatvaranja i otpresci koji troše puno energije uslijed dugih putova doziranja i potrebnih visokih brzina ubrizgavanja.

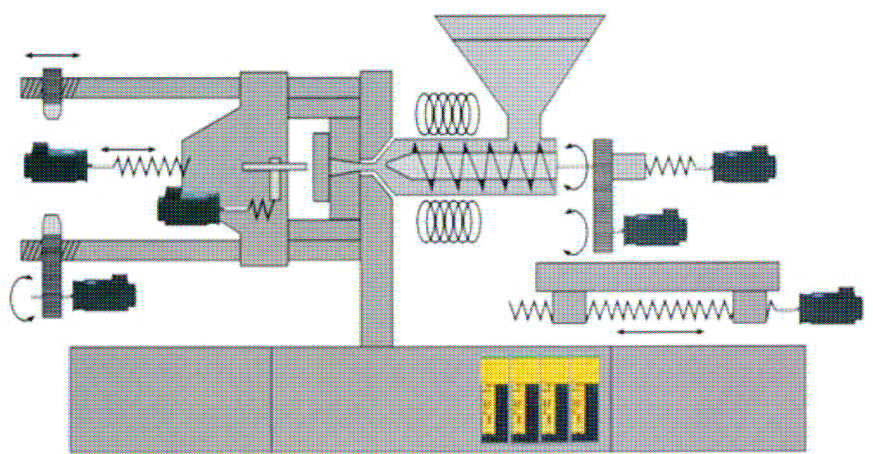
Ključne su prednosti električkih u odnosu na hidrauličke ubrizgavalice:

- mogućnost dugotrajnoga održavanja stabilnosti procesa injekcijskoga prešanja
- visoka točnost i preciznost gibanja (ubrzanje, usporenje i namještanje)
- niski utrošak energije i medija za temperiranje
- kraće vrijeme ciklusa
- niža razina buke i prikladnost proizvodnje čistih otpresaka.

Uporabom sinkronih motora s velikim momentom vrtnje za pripremu i ubrizgavanje taljevine postiže se preciznost i ekonomičnost rada.

U prednosti potpuno električkih ubrizgavalica valja nabrojati i znatno kraće vrijeme upuštanja sustava za injekcijsko prešanje u rad.

Električke ubrizgavalice nepovoljne su za primjenu pri izradbi debelostjenih otpresaka, pri dugim vremenima hlađenja i kada postoji potreba za dvostrukim ili trostrukim izvlačenjem jezgri iz kalupa.



Slika 4.3. Shema električne ubrizgavalice [8]

## 5. PLASTOMERI

Plastomeri su polimeri kojima su makromolekule međusobno povezane isključivo sekundarnim vezama. Takve strukture obično se nazivaju linearnom strukturom. Iako su sekundarne veze dosta slabe, s obzirom na njihov veliki broj zbog visokog stupnja polimerizacije, njihova ukupna energija je dovoljno velika da takvi polimeri pokazuju dobra svojstva. Zagrijavanjem, te sekundarne veze postepeno slabe i popuštaju. S obzirom na njihov veliki broj nije moguće odmah i registrirati vanjske posljedice tog popuštanja. Kako s porastom temperature popušta sve veći broj sekundarnih veza, to pokretljivost segmenata makromolekula postaje sve izrazitija. Vanjska posljedica povećane pokretljivosti makromolekula jest omekšavanje polimera. Daljnjim povišenjem temperature dolazi do potpunog popuštanja sekundarnih veza. Makromolekule se potpuno slobodno kreću i polimer prelazi u taljevinu. Odvođenjem topline (hlađenjem) dolazi do suprotnog procesa: sekundarne veze se postepeno uspostavljaju i polimer prelazi ponovno u čvrsto stanje. S obzirom na karakter sekundarnih veza ovakav se ciklus omekšavanja i očvršćivanja teorijski može stalno ponavljati (zato je plastomer moguće mehanički reciklirati) [9].

Plastomeri se tale, ali zbog amorfne strukture nemaju određenu temperaturu taljenja, nego se tale u određenom temperaturnom rasponu.

Hlađenjem otvrdnu i zadrže dobiveni oblik [1].

Plastomeri mogu imati:

- pretežno sređenu strukturu (kristalasta struktura)
- pretežno nesređenu strukturu (amorfna struktura)

O kemijskom sastavu polimera ovisi hoće li plastomer imati kristalastu ili amorfnu strukturu. Ako su makromolekule građene simetrično imat će kristalastu strukturu, a ako su makromolekule nesimetrične imat će pretežno amorfnu strukturu. Međusobni omjer tih struktura iskazuje se kao stupanj kristalnosti i može varirati od 5 do 95 % [9].

Plastomeri su najzastupljenija skupina sintetskih polimera i obično se dijele u tri skupine:

- širokoprimjenjive
- konstrukcijske
- specijalne ili funkcionalne [1].

Prvu skupinu širokoprimjenjivih plastomera čiji udio u ukupnoj svjetskoj proizvodnji premašuje 80 % čine polietilen (PE), polopropilen (PP), poli(vinil-klorid) (PVC), poli(etilen-tereftalat) (PET) i polistiren (PS) [1].

Drugu skupinu čine konstrukcijski plastomeri i to: polikarbonati (PC), poliamidi (PA), poli(tetrafluoretilen) (PTFE), akrilonitril/butadien/stiren (ABS), poli(metil-metakrilat) (PMMA), te mješavine poli(fenil-oksid)/polistiren (PPO/PS) i PC/ABS [1].

Skupinu specijalnih konstrukcijskih plastomera čine aromatski poliamidi, poli(eter-imidi) (PEI), poli(eter-eter-ke-ton) (PEEK), itd. [1].

## 5.1. Vrste plastomera

U ovom poglavlju biti će ukratko navedena osnovna svojstva i područja primjene nekoliko najčešćih plastomera kako onih tzv. širokoprimjenjivih, tako i konstrukcijskih. Na kraju poglavlja bit će detaljnije navedena svojstva, područja primjene, načini prerade i ostali podaci o akrilonitril/butadien/stirenu (ABS) pošto je on korišten u izradi eksperimentalnog dijela ovoga rada.

### 5.1.1. Polietilen (PE) [1]

Polietilen je najjednostavniji polimerni materijal koji se dobiva polimerizacijom etilena, pri čemu se dobiva plastomer kristalaste strukture (zamućen).

Odgovarajućim postupcima proizvodi se više vrsta polietilena od kojih su najvažniji PE-LD (polietilen niske gustoće), PE-HD (polietilen visoke gustoće), PE-UHMW (polietilen vrlo visoke molekulske mase) i PE-LLD (polietilen niske linearne gustoće).

PE-HD je postojan u kipućoj vodi i relativno postojan prema UV zračenju, goriv je i potreban mu je dodatak antistatika.

PE-UHMW ima samopodmazivajuća svojstva te ima nizak faktor trenja i otporan je na trošenje. Izvrsna mu je dinamička izdržljivost. Čistoća mu je dovoljna za primjenu u prehrambenoj industriji. Dodatkom staklenih vlakana povećava mu se krutost i toplinska postojanost uz neznatne promjene drugih svojstava.

PE-LD se primjenjuje za izradu: cijevi, folija, traka, boca, igračaka, spremnika, kugli, brtva, izolatora vodiča, kemijski postojanih ispuna. PE-HD se primjenjuje za izradu: cijevi, folija, vrećica, igračaka, posuda, boca, cisterni, spremnika. PE-UHMW se primjenjuje za izradu: ploča za potrebe kemijske industrije i industrije papira, dijelova za potrebe prehrambene industrije (dijelovi pumpi, dijelovi filtara, zupčanici), dijelova vozila i poljoprivrednih strojeva.

PE-LLD se također primjenjuje za izradu folija, izolatora i raznih traka slično kao i PE-LD, no PE-LLD ima višu rasteznu čvrstoću i otporniji je na udarce i probadanje, zbog čega su folije i trake izrađene od PE-LLD-a mnogo tanje u nego je to slučaj kod PE-LD-a.



### **5.1.2. Polipropilen (PP) [10]**

Polipropilen se dobiva polimerizacijom propilena u polipropilen pri niskim temperaturama s pomoću katalizatora.

Proizvodi se postupkom koordinativne polimerizacije u kojemu se više malih molekula monomera propilena pravilnim rasporedom povezuje u duge lance molekula – makromolekule.

Primjenjuje se u ambalažnoj industriji, tekstilnoj industriji (užad, nepromočiva odjeća, tepisi), fotoindustriji, automobilskoj industriji, medicini i drugo. Osnovni je materijal za izradu plastičnih cijevi za razvod tople i hladne vode. Polipropilen je plastomer niske gustoće. Zagrijan se lako oblikuje savijanjem, a nakon hlađenja zadržava novi oblik.

Polipropilen se može prerađivati postupcima ekstrudiranja i injekcijskog prešanja.

### **5.1.3. Poli(vinil-klorid) (PVC) [1]**

PVC je najsvestranije i volumno među najkorištenijim plastičnim materijalima.

Vinil-klorid je plin koji pri 8 °C prelazi u kapljevinu. Polimerizat je bijeli prah, koji je proziran i tvrd (tvrdi PVC) pri obradi. S dodavanjem omekšivala plastika postaje meka i elastična (meki PVC).

Svim PVC-ima se moraju dodavati stabilizatori, koji ga čine postojanim na svjetlo i toplinu. PVC-u se dodaju i punila kako bi se postigla željena svojstva. PVC je moguće obojati.

Tvrđi PVC se primjenjuje za: vodovodne i kanalizacijske cijevi, elektro-izolacijske materijale, folije, ambalažu u prehrambenoj industriji i dr.

Meki PVC se primjenjuje za: folije od skaja, filmske folije, podne podloge, vrtne cijevi, izolacije kabela, igračke, profile i dr.

#### **5.1.4. Poliamid ( PA ) [1]**

Kemijski je moguće proizvesti preko 3 000 različitih vrsta poliamida. Danas se uglavnom rabi pet glavnih vrsta: PA 6/6, PA 6, PA6/10, PA11 i PA 12. Brojevi pokazuju broj ugljikovih atoma u osnovnim molekulama.

PA koji se još naziva i Nylon (trgovačko ime tvrtke *DuPont*), poznat je po visokoj žilavosti i otpornosti na trošenje. U određenoj mjeri PA apsorbira vlagu i zbog toga se ne koristi kao izolacijski elektromaterijal. Kako bi se smanjio utjecaj topline i UV svjetlosti dodaju mu se stabilizatori.

Dobra klizna svojstva mogu se poboljšati dodavanjem molibdenovog sulfida. Čvrstoća mu se znatno pojačava dodavanjem kratkih staklenih vlakana. Rasteznu čvrstoću mu je također moguće povećati izvlačenjem, odnosno orijentiranjem PA vlakana. PA se primjenjuje za izradu strojnih dijelova s odličnim tavnim svojstvima, na primjer: zupčanici, ležajevi, oprema za domaćinstvo, četke i sl.

#### **5.1.5. Poli(tetrafluor – etilen) (PTFE) [1]**

PTFE je materijal s izvanrednim svojstvima. Neki kažu da je to jedan od najkorisnijih materijala koje čovjek poznaje. To je zbog toga što posjeduje kombinaciju svojstava koje je teško naći zajedno: vrlo mali koeficijent trenja, veliku inertnost, visoko talište, te odlična električna svojstva. Ova svojstva zahvaljuje jedinstvenoj molekularnoj strukturi.

PTFE se sastoji od ugljika i fluora. Veze ugljika s fluorom i ugljika s ugljikom su među najsnažnijim pojedinačnim vezama u organskoj kemiji (što je uzrok mnogim njegovim svojstvima). Zbog snažne veze potrebno puno je toplinske energije da bi se ona prekinula. Činjenica je da je njegova električna otpornost preko  $10^{18} \Omega\text{m}$  (metali  $10^{-8} \Omega\text{m}$ ).

Mali koeficijent trenja između dodirnih površina je rezultat malih sila između površine PTFE i drugog materijala. PTFE je najinertnija tvar poznata čovjeku. Njegova inertnost prema drugim molekulama i sposobnost održanja stabilnosti pri visokim i niskim temperaturama omogućuje mu interesantna svojstva, koja ga čine primjenjivim u različitim primjenama.

Najpoznatija primjena PTFE-a su neprianjajuće, zaštitne podloge za lonce, tave i druge kućanske potrepštine. PTFE se primjenjuje za: brtvila, klipne prstene, neprianjajuće podloge za metale i druge materijale, slojeve otporne na adheziju, spremnike za opasne kemikalije, dijelove ljudskih organa, ventile srca, kontrolne kabele u elektronici, optičke leće, filmove i žice koji imaju veliku postojanost na visoku temperaturu i dr.

#### ***5.1.6. Polistiren (PS) [11]***

Polistiren je aromatski polimer koji se dobiva od aromatskoga monomera stirena, tekućeg ugljikovodika koji se proizvodi iz sirove nafte. Polistiren je plastomer koji je na sobnoj temperaturi u krutom stanju, ali se tali uz dovođenje topline i ponovno skrućuje kada se ohladi. Jedan je od najčešće korištenih polimera. U krutom stanju je bezbojan, tvrd i relativno krut. Polistiren se upotrebljava u tri oblika i to ekstrudirani polistiren, ekspanzirana polistirenska pjena i ekstrudirana polistirenska pjena.

Često se za sve pjenaste polistirene koristi naziv stiropor.

Ekstrudirani polistiren se upotrebljava za izradu raznih predmeta kao što su kutije za CD-e i DVD-e, kućišta uređaja, kućanskog posuđa, razne laboratorijske opreme i slično.

Pjenasti polistiren primjenjuje se kao izolator u građevinarstvu zbog male toplinske vodljivosti. Također se koristi pri pakiranju raznih osjetljivih proizvoda, za izradu modela u arhitekturi i slično.

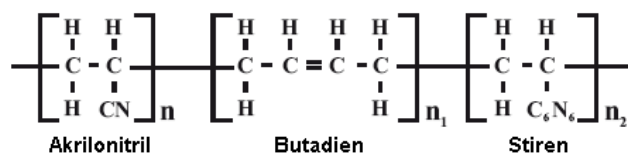
Polistiren se koristi i pri proizvodnji napalma, a također je i dio komponenti koje se koriste pri konstruiranju hidrogenske bombe.

### 5.1.7. Akrilonitril/butadien/stiren (ABS)

ABS čija je kemijska formula prikazana na slici 5.1 je kopolimer koji se proizvodi polimerizacijom stirena i akrilonitrila uz prisustvo butadiena. Udjeli navedenih monomera mogu varirati 15-35 % akrilonitrila, 5-30 % butadiena i 40-60 % stirena [12].

Kao što je već navedeno ABS je kopolimer (dvofazni polimer). Stiren-akrilonitril (SAN) tvori kontinuiranu matricu, dok se druga faza sastoji od raspršenih čestica butadiena koje imaju sloj SAN-a usađen (nalijepljen) na svoju površinu. Vezivna matrica SAN-a čini navedene dvije faze kompatibilnima [13].

Akrilonitril je sintetski monomer koji se proizvodi od polipropilena i amonijaka, butadien je naftni ugljikohidrat dobiven od butana, a stiren potječe od ugljena dok se komercijalno dobiva od benzena i etilena koji su derivati ugljena [12].



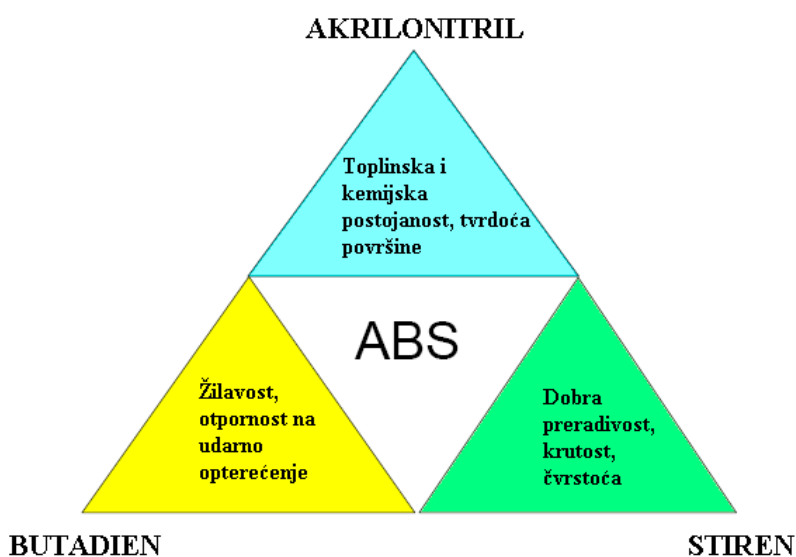
Slika 5.1. Kemijska formula ABS-a [13]

Svojstva ABS-a se mogu kontrolirati (podešavati) mijenjanjem udjela monomera i mijenjanjem molekularne strukture navedenih dviju faza. Stabilizatori, maziva, boje (pigmenti) i drugi dodaci mogu se dodavati mješavini. Ti dodaci znatno kompliciraju proces proizvodnje ABS-a, no s druge strane osiguravaju fleksibilnost u primjeni ABS-a za široku paletu proizvoda. Upravo zbog jedinstvene građe ABS-a stotine različitih proizvoda razvijeno je i komercijalno prisutno diljem svijeta [13].

### 5.1.7.1. Svojstva ABS-a

ABS ima veoma dobro izbalansirana svojstva za izradu dimenzijski prilično točnih proizvoda, sa veoma kvalitetnom površinom, dobrom otpornošću na udarno opterećenje i mogućnošću metalnog galvaniziranja [13].

U dobivenoj mješavini (slika 5.2) akrilonitril osigurava toplinsku i kemijsku postojanost i tvrdoću površine. Butadien pridonosi žilavošću i otpornosti na udarno opterećenje, dok stiren osigurava dobru preradivost, krutost i čvrstoću [12].



Slika 5.2. Svojstva pojedinih monomera u mješavini [15]

Prednosti ABS-a:

- dobra otpornost na udarno opterećenje čak i pri niskim temperaturama
- dobra dimenzijska stabilnost
- tvrd i krut
- mogućnost elektronanošenja
- dobar električni izolator i pri visokoj vlazi
- može se prerađivati konvencionalnih postupcima
- slabo upija vodu
- otporan na abraziju [14].

Nedostaci ABS-a:

- mora se sušiti prije prerade
- osjetljivost na neka otapala, ketone i estere
- niska dielektrična čvrstoća
- relativno slaba postojanost pri povišenoj temperaturi
- lako zapaljiv
- relativno skup [14].

U tablici 5.1 prikazana su fizička i mehanička svojstva ABS-a.

Tablica 5.1. Fizička i mehanička svojstva ABS-a [14]

Svojstvo	Vrijednost
Rastezna čvrstoća	55 - 80 MN/m <sup>2</sup>
Rastezni modul	2 - 3 GN/m <sup>2</sup>
Rastezljivost	10 - 50 %
Savojna čvrstoća	< 50 - 100 MN/m <sup>2</sup>
Specifična toplina	1,25 - 1,70 kJ/kg
Temperatura skrućivanja	110 °C
Radna temperatura	< 100 °C
Gustoća	1000 - 1200 kg/m <sup>3</sup>
Skupljanje	0,001 - 0,005 m/m
Upijanje vode	0,1 - 0,5%
Prozirnost	neproziran

#### 5.1.7.2. Preradivost ABS-a

ABS je materijal amorfne strukture zbog čega omekšava kroz određeni temperaturni raspon za razliku od materijala s kristalastom strukturom koji se veoma brzo tale. To ga čini podobnim za preradu gotovo svim postupcima prerade na većini standardnih strojeva, kao što je vidljivo iz tablice 5.2 [14].

Razni tipovi ABS-a obično su grupirani u dvije glavne skupine, odnosno one namijenjene za injekcijsko i one namijenjene za ekstrudiranje. Glavna razlika između tih dviju skupina ABS-a je vrijednost viskoznosti taljevine, koja je puno manja kod ABS-a namijenjenog injekcijskom prešanju [13].

Tablica 5.2. Primjenjivost postupaka prerade za ABS [14]

Postupak prerade	Primjenjivo
Injekcijsko prešanje	Da
Ekstrudiranje	Da
Ekstruzijsko puhanje	Ne
Injekcijsko puhanje	Ne
Rotacijsko prešanje	Da
Ljevanje	Da
Miješanje i spajanje	Da

### 5.1.7.3. Zdravlje i sigurnost [15]

ABS ne sadrži stabilizatore na bazi teških metala kao što je npr. olovo koje se veoma često primjenjuje prilikom proizvodnje ostalih plastomera, zbog čega je siguran za prijenos pitke vode. Mnogo godina ABS se rabi zapri prijenos destilirane vode za zdravstvene potrebe i za prijenos tekućine koja se koristi pri dijalizi.

Pri preporučenim uvjetima skladištenja i rukovanja, ABS koji se nalazi u obliku granula nije kemijski aktivan, no prilikom prerade može doći do oslobađanja monomera u tragovima, uključujući akrilonitril i stiren za koje se sumnja da su kancerogeni.

Prilikom sagorijevanja ABS-a nastaju ugljikov monoksid, ugljikov dioksid i dušikovi oksidi, koji mogu biti štetni ako se udahnu.

Također prilikom mljevenja ABS-a nastaje prašina koja može izazvati iritaciju kože i očiju, a predstavlja i opasnost od eksplozije.

#### 5.1.7.4. Primjena ABS-a

Zbog veoma visokih mehaničkih svojstava ABS se primjenjuje u raznim granama gospodarstva za izradu široke palete proizvode ili dijelova proizvoda.

U narednom tekstu navedene su najčešće grane gospodarstva u kojima se primjenjuje ABS.

##### 5.1.7.4.1. Proizvodnja malih kućanskih aparata i alata

Prilikom izrade malih kućanskih aparata i alata, ABS se rabi za izradu kućišta raznih kućanskih aparata kao što su mikseri, glačala, sušila za kosu, otvarači konzervi, mlinci za kavu, usisavači, bušilice (slika 5.3), brusilice, kosilice, kao i za police i unutrašnju oblogu hladnjaka (slika 5.4) [13].



Slika 5.3. Kućište bušilice od ABS-a [16]



Slika 5.4. Obloga unutrašnjosti hladnjaka [17]



#### 5.1.7.4.2. Automobilaska industrija

Od svjetske potrošnje ABS-a, za primjenu u automobilskoj industriji troši se između 25 i 30 % ABS-a što ju čini najvećim potrošačem.

Standardni ABS se rabi za izradu dijelova interijera kao što su nasloni za ruke, raznih pretinaca, dijelova pojasa, te farova i žmigavaca (slika 5.6).

Također se u automobilskoj industriji relativno mnogo upotrebljava elektronanešeni ABS (slika 5.5) za izradu poklopaca za naplatke („ratkapa“), dekorativnih letvica, odbojnika, kućišta ogledala, rešetaka hladnjaka itd. [13]



Slika 5.5. Elektroplatinirani ABS [18]



Slika 5.6. Žmigavac od ABS-a [19]

#### 5.1.7.4.3. Sustavi odvodnje

Kod sustava odvodnje ABS se upotrebljava pri izradi cijevi za odvodnju fekalija (slika 5.7), kućišta filtera za bazene, dijelova slavina, cijevi za ventilaciju i slično [13].



Slika 5.7. Cijevi za odvodnju otpadnih voda [20]

#### 5.1.7.4.4. Elektronička industrija

U elektroničkoj industriji ABS se rabi za izradu videokazeta, audiovizualne opreme, kućišta printera i kopirki, kućišta računala, kućišta telefona i mobitela (slika 5.8), dijelova USB memorije i slično [13].



Slika 5.8. Kućište telefona [21]

#### 5.1.7.4.5. Industrija zabave i sporta

Male jedrilice, kamp kućice i prikolice (slika 5.9), modeli zrakoplova, prenosivi hladnjaci za piknik, dijelovi karoserije motocikala (slika 5.10) i slično također pripadaju u proizvode koji se prave od ABS-a [13].



Slika 5.9. Prikolica [22]



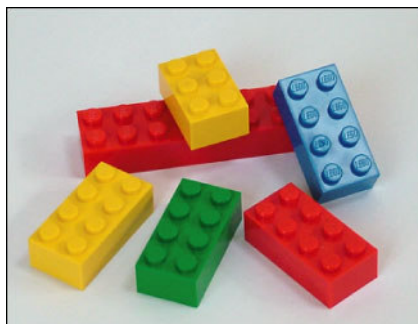
Slika 5.10. Dijelovi karoserije motocikla od ABS-a [13]

#### 5.1.7.4.6. Ostalo

Od ostalih primjena važno je spomenuti razne vrste kovčega (slika 5.11), kutije za kozmetiku, razne posude za pohranu hrane u domaćinstvu, igračke (slika 5.12), fotografsku opremu itd. [13]



Slika 5.11. Kutije za instrumente [23]



Slika 5.12. Lego kocke [24]

#### 5.1.7.5. Mješavine ABS-a i drugih polimera

ABS je izvrstan izbor za korištenje u legurama i mješavinama. Kada se kombinira više polimera, dobre strane svakog od polimera se zadržavaju ili čak povećavaju, dok se nedostaci smanjuju.

ABS se najčešće miješa s poli(vinil-kloridom) (ABS-PVC) (slika 5.13) i polikarbonatom (PC) (slika 5.14) tvoreći mješavine koje se široko primjenjuju [14].

Mjješanje s PVC-om najčešće se provodi radi poboljšanja otpornosti na zapaljenje, pri čemu klor iz PVC-a djeluje kao usporivalo vatre [14].

Najnovije mješavine nastaju miješanjem ABS-a sa stiren-maleinslim anhidridom (ABS-SMA) i poliamidom (ABS-PA) (slika 5.15) [13] .



Slika 5.13. Kreditne kartice izrađene od mješavine ABS/PVC [25]



Slika 5.14. Kaciga izrađena od mješavine ABS/PC [26]



Slika 5.15. Krov automobila izrađen od mješavine ABS/PA [27]

## 6. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu bilo je potrebno primjenom centralno kompozitnog plana pokusa analizirati utjecaj naknadnog tlaka i vremena trajanja naknadnog tlaka na masu, te na dimenzije i tvrdoću otpresaka, od ABS-a.

U svrhu dobivanja željenih podataka proveden je pokus injekcijskog prešanja čepova različitih oblika.

Na slici 6.1 prikazani su čepovi od ABS-a načinjeni injekcijskim prešanjem. U eksperimentalnom dijelu ovoga rada ispitivanje mase, dimenzija i tvrdoće provođeno je na čepu pod brojem jedan koji je prikazan na slici 6.1.



Slika 6.1. Otpresak načinjan injekcijskim prešanjem

## 6.1. Ispitni materijal i oprema

Pri izradi ovoga rada korišten je polimerni materijal ABS (akrilonitril/butadien/stiren) prikazan na slici 6.2, proizvođača *Ineos*, pod nazivom *Lustran ABS 440*.

Talište navedenog materijala je pri temperaturama od 218 do 260 °C, dok mu je gustoća  $\rho=1060 \text{ kg/m}^3$ .

*Lustran ABS 440* je kopolimer koji je prvenstveno namijenjen za primjenu u automobilske industriji. Odlikuje ga otpornost na udarno opterećenje, dimenzijska stabilnost, otpornost na puzanje, kemijska postojanost, visoka tvrdoća i čvrstoća, visoka kvaliteta površine i dobra preradljivost [28].



Slika 6.2. ABS tvrtke *Ineos* Lustran ABS 440

Prije prerade materijal je bio sušen 4 sata pri temperaturi od 80 °C. Sušenje je provedeno u sušilici proizvođača *Belišće*, prikazanoj na slici 6.3, dok je temperatura mjerena pomoću digitalnog termometra *Hasco Z251*.

Kad je materijal temperature okoline od oko 20 °C postigao temperaturu od 80 °C počelo se mjeriti vrijeme sušenja.



Slika 6.3. Materijal u sušilici

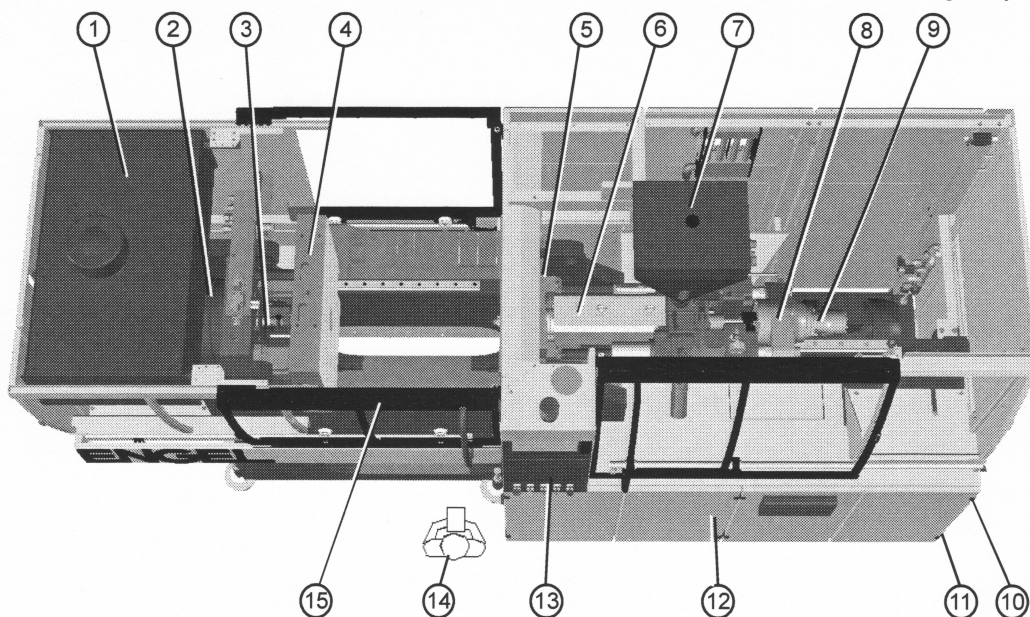
Za mjerenje mase ispitaka korištena je digitalna vaga proizvođača KERN&SOHN, tipa EW1500-2M, razreda točnosti II, podjeljka 0,01 g. prikazana na slici 6.4.



Slika 6.4. Digitalna vaga

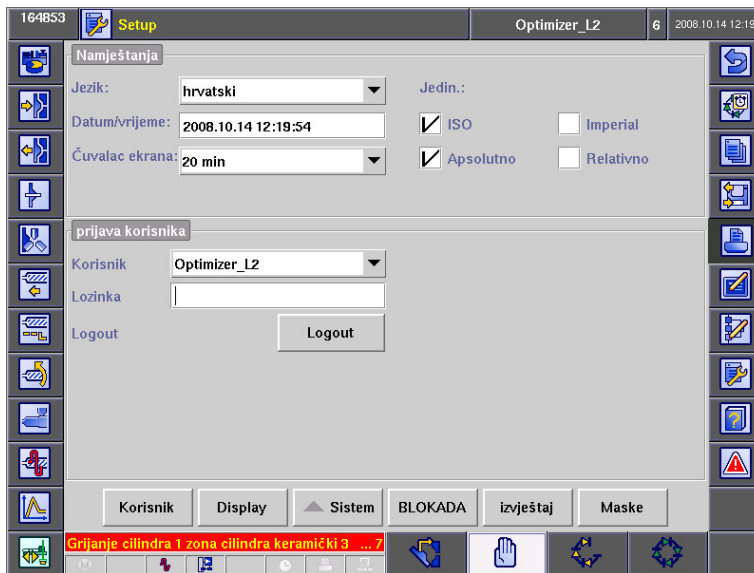


Za izradu potrebnih otpresaka korištena je ubrizgavalica prikazana na slici 6.5 ENGEL Victory VC 330/80 POWER \ ER-USP 5, austrijskog proizvođača.



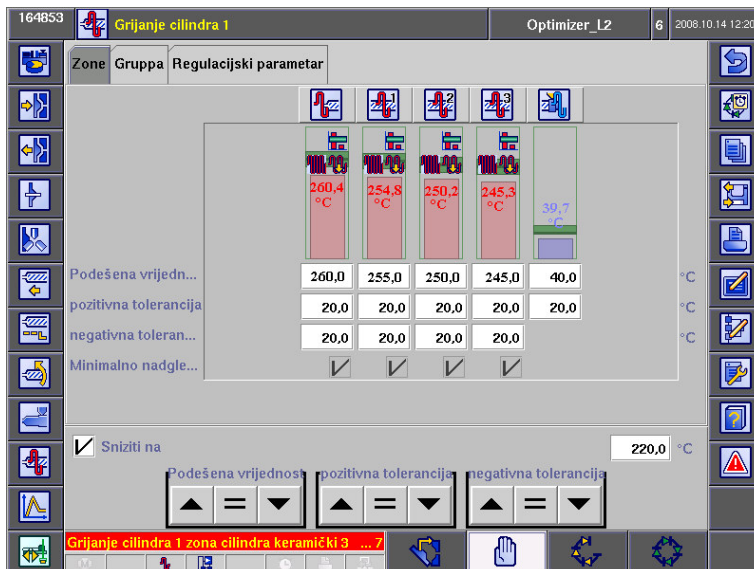
Slika 6.5. Shema ENGEL Victory 80 ubrizgavalice; 1 - posuda s hidrauličkim uljem, 2 - cilindar za zatvaranje kalupa, 3 - hidraulički izbacivač, 4 - pomična ploča za pričvršćivanje kalupa, 5 - nepomična ploča za pričvršćivanje kalupa, 6 - cilindar za plastificiranje s mlaznicom, 7 - lijevak, 8 - jedinica za ubrizgavanje, 9 - pogon pužnog vijka, 10 - glavni prekidač, 11 - priključak na mrežu, 12 - razvodni ormarić, 13 - poslužno polje sa zaslonom, 14 - poslužno osoblje radnog mjesta, 15 - pomična zaštitna vrata na strani za zatvaranje [29]

Na slikama 6.5 do 6.12 prikazan je izgled sučelja ubrizgavalice s parametrima obrade, dok je na slikama 6.13 do 6.16 prikazana ubrizgavalica *Engel Victory 80* i izgled kalupa.



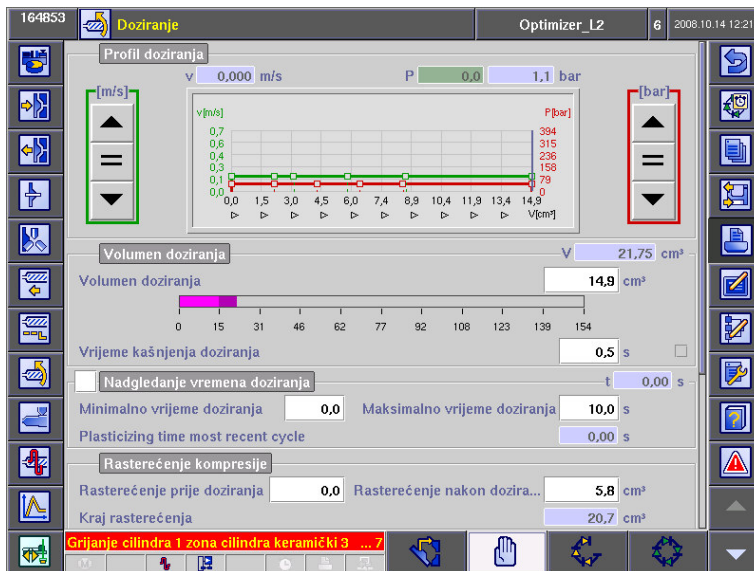
Slika 6.6. Ulazno sučelje

Na slici 6.6 pokazan je izbornik ulaznog sučelja u kojemu se korisnik treba logirati da bi mu bio omogućen rad na stroju.



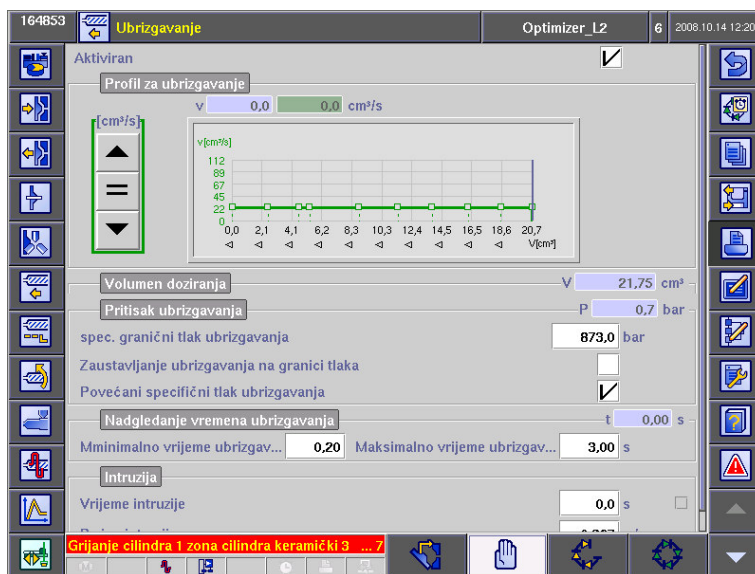
Slika 6.7. Određivanje temperature grijala

Nakon logiranja potrebno je odrediti temperaturu grijala i temperaturu vode za hlađenje.



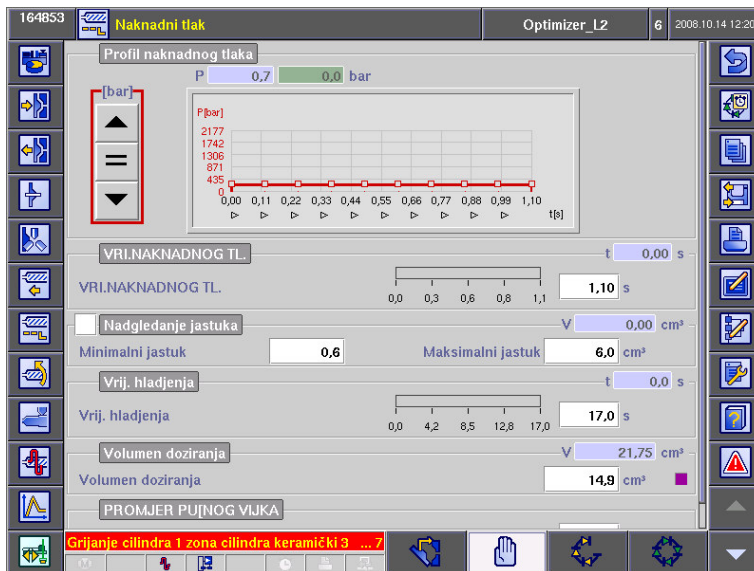
Slika 6.8. Određivanje doziranja

Sljedeći parametar koji je potrebno odrediti je volumen doziranja, odnosno koliko rastaljenog materijala će biti ubrizgano u kalup, te maksimalno vrijeme doziranja (slika 6.8).



Slika 6.9. Parametri ubrizgavanja

Na slici 6.9 prikazan je izbornik u kojem se određuju parametri ubrizgavanja kao što su tlak ubrizgavanja te minimalno i maksimalno vrijeme ubrizgavanja.



Slika 6.10. Određivanje naknadnog tlaka i vremena trajanja naknadnog tlaka

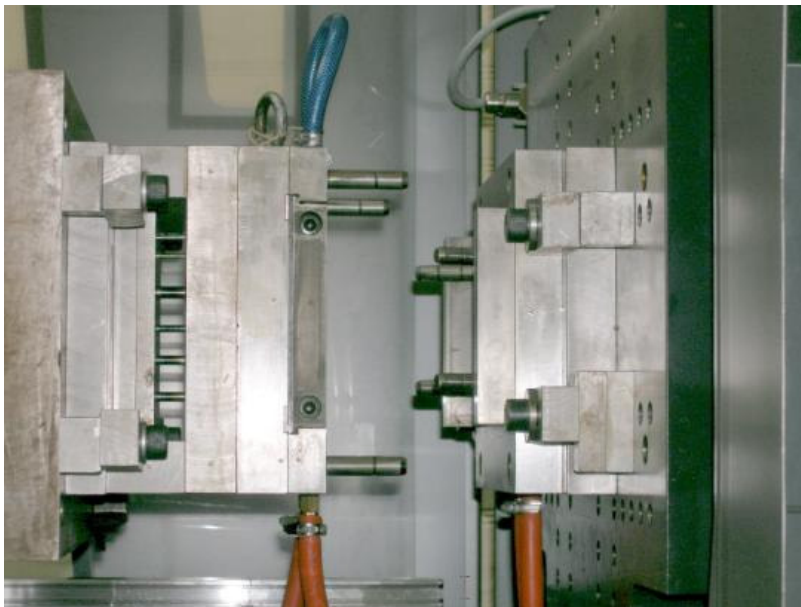


Slika 6.11. Grafički prikaz tlaka i vremena trajanja naknadnog tlaka

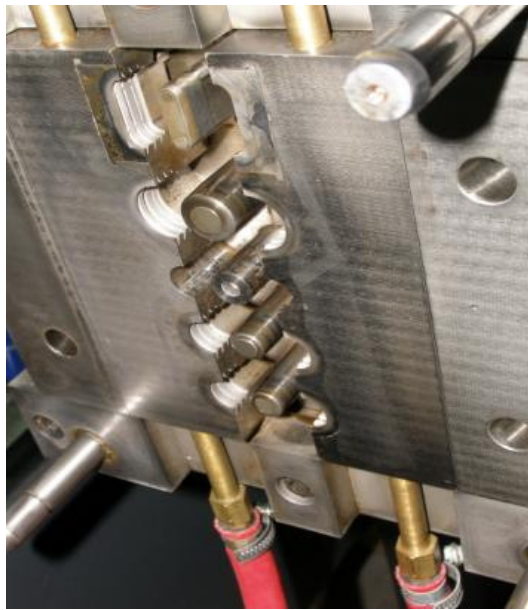
Na slici 6.10 prikazani su izbornici u kojima se određuje vrijednost naknadnog tlaka i vrijeme trajanja naknadnog tlaka, dok je na slici 6.11 prikazan profil naknadnog tlaka. Nakon određivanja gore navedenih parametara stroj je spreman za početak rada.



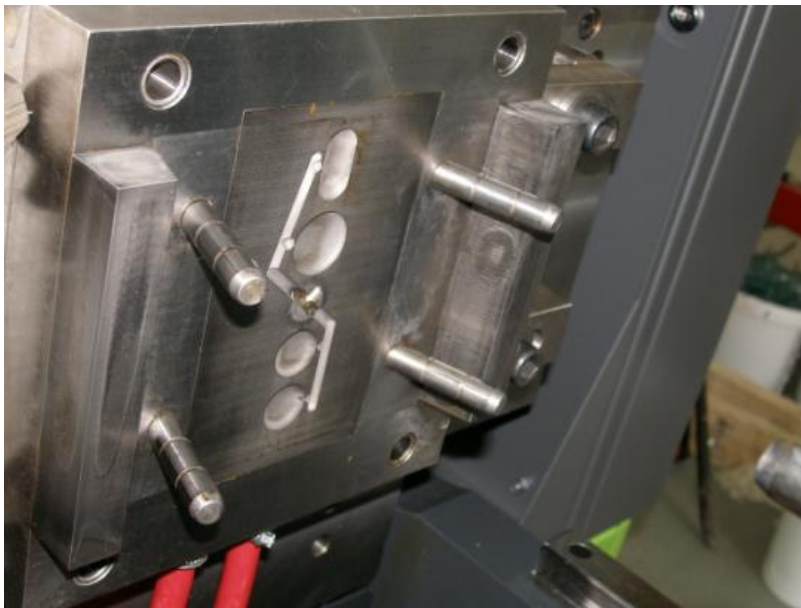
Slika 6.12. Ubrizgavalica *ENGEL Victory 80*



Slika 6.13. Kalup za izradu otpresaka



Slika 6.14. Pomični dio kalupa



Slika 6.15. Nepomični dio kalupa

## 6.2. Provedba pokusa

### 6.2.1. Određivanje vremena hlađenja otpresaka [2]

Za provedbu pokusa korišteni su sljedeći parametri: temperatura kalupa 58 °C, temperatura taljevine 260 °C, temperatura unutrašnjosti, odnosno postojanosti oblika 115 °C.

Određivanje potrebnog vremena hlađenja plastomernih otpresaka temelji se na zakonitostima nestacionarne izmjene topline, posebno Fourierovog zakona o provođenju topline.

Za određivanje potrebnog vremena hlađenja plastomernih otpresaka razvijena je opća jednadžba hlađenja:

$$t_h = \frac{b_0^2}{K_0 \cdot \pi^2 \cdot a_{ef}} \cdot \ln \left( K_U \cdot \frac{T_T - T_K}{T_U - T_K} \right) \quad (1.1)$$

- $b_0$  – karakteristična izmjera  $a_f$
- $K_0$  – koeficijent oblika ( $K_0 = 1 + a_1^2 + a_2^2$ ). Vrijednosti  $a_1$  i  $a_2$  određuju se iz tablice 9.1 u prilogu 9
- $K_U$  – koeficijent unutrašnjosti (određuje se iz tablice 9.1)
- $a_{ef}$  – efektivna toplinska difuzivnost
- $T_T$  – temperatura taljevine
- $T_K$  – temperatura stijenke kalupne šupljine
- $T_U$  – temperatura unutrašnjosti. To je vrijednost koju može poprimiti središte otpreska. U pravilu se zamjenjuje temperaturom postojanosti oblika  $T_{PO}$

Za zadani otpresak prikazan na slici 6.1 izračunato je po jednadžbi (1.1) i tablici 9.1 sljedeće:

- $b_0 = 1 \text{ mm}$

- $K_0 = 1$

$$K_0 = 1 + a_1^2 + a_2^2$$

$$a_1 = 0$$

$$a_2 = 0$$

- $K_U = 4/\pi$

- $a_{\text{ef}} = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} = \frac{0,15}{1060 \cdot 1400} = 1,01078 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$

$$\lambda = 0,15 \text{ W/mK}$$

$$\rho = 1,06 \text{ g/m}^3 = 1060 \text{ kg/m}^3$$

$$c_p = 1400 \text{ J/kgK}$$

- $T_T = 260 \text{ }^\circ\text{C}$

- $T_K = 58 \text{ }^\circ\text{C}$

- $T_U = 115 \text{ }^\circ\text{C}$

$$t_h = \frac{b_0^2}{K_0 \cdot \pi^2 \cdot a_{\text{ef}}} \cdot \ln \left( K_U \cdot \frac{T_T - T_K}{T_U - T_K} \right) = \frac{0,001^2}{1 \cdot \pi^2 \cdot 1,01078 \cdot 10^{-7}} \cdot \ln \left( \frac{4}{\pi} \cdot \frac{260 - 58}{115 - 58} \right) = 1,485 \text{ s}$$

Za zadani otpresak vrijeme hlađenja iznosi 1,485 sekundi.



### 6.2.2. Centralno kompozitni plan pokusa

Centralno kompozitni plan pokusa pripada u skupinu planova pokusa višeg reda, tzv. metoda odzivne površine. Metoda odzivne površine obuhvaća skup statističkih i matematičkih metoda koje se primjenjuju za razvoj, poboljšanje i optimiranje procesa. Svrha plana pokusa je generiranje matematičkog modela, odnosno jednadžbe koja opisuje proces [30].

Izvođenjem predpokusa određene su vrijednosti naknadnog tlaka i vremena trajanja naknadnog tlaka koje su korištene za glavni pokus. Vrijednosti naknadnog tlaka kreću se u granicama od 100 bara do 400 bara, vrijeme trajanja naknadnog tlaka u granicama od 0,6 sekundi do 1,6 sekundi.

Pomoću računala i programa *DesignExpert* generirano je 13 stanja pokusa za svaki čep. Tablica 6.1 prikazuje faktore i njihove razine, a tablica 6.2 redoslijed izvođenja pokusa i parametre prerade. Injekcijskim prešanjem s tim parametrima isprešani su ispitci na kojima su naknadno provedena potrebna mjerenja.

Tablica 6.1. Faktori i njihove razine

Razine	x <sub>1</sub> Naknadni tlak, bar	x <sub>2</sub> Vrijeme trajanja naknadnog tlaka, s
-1	100	0,6
0	250	1,1
1	400	1,6

Tablica 6.2. Redoslijed izvođenja pokusa i parametri prerade

Otpresak	Stanje	Naknadni tlak, $x_1/\text{bar}$	Vrijeme trajanja naknadnog tlaka, $x_2/\text{s}$
1	3	140,00	1,50
2	11	250,00	1,10
3	4	360,00	1,50
4	6	405,56	1,10
5	10	250,00	1,10
6	2	360,00	0,70
7	9	250,00	1,10
8	12	250,00	1,10
9	13	250,00	1,10
10	1	140,00	0,70
11	5	94,44	1,10
12	7	250,00	0,53
13	8	250,00	1,67

### 6.2.3. Ispitivanje mase

Za svako od 13 stanja naknadnog tlaka i vremena trajanja naknadnog tlaka izrađeno je 7 ispitaka (čepova) na kojima je provedeno ispitivanje mase (vaganje).

Rezultati vaganja prikazani su u tablici 9.2 u prilogu.

Tablica 6.3. Izračunate srednje vrijednosti mase

Stanje	Naknadni tlak, $x_1/\text{bar}$	Vrijeme trajanja naknadnog tlaka, $x_2/\text{s}$	Aritmetička sredina	Standardna devijacija
3	140,00	1,50	3,590	0,000
11	250,00	1,10	3,593	0,005
4	360,00	1,50	3,620	0,000
6	405,56	1,10	3,608	0,004
10	250,00	1,10	3,590	0,000
2	360,00	0,70	3,580	0,000
9	250,00	1,10	3,590	0,000
12	250,00	1,10	3,590	0,000
13	250,00	1,10	3,590	0,000
1	140,00	0,70	3,571	0,004
5	94,44	1,1	3,587	0,005
7	250,00	0,53	3,570	0,000
8	250,00	1,67	3,612	0,004

Stanje broj 5 nije se uzimalo u obzir pri analizi zbog nesljedivosti modela.

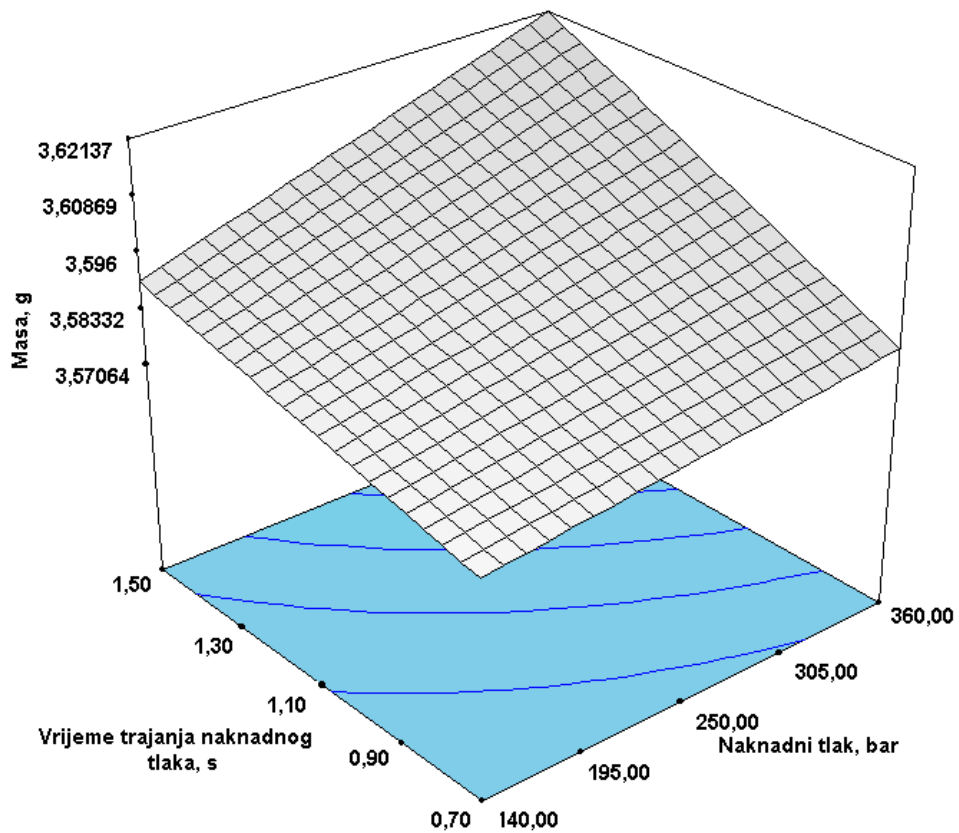
Izračunate vrijednosti aritmetičke sredine iz tablice 6.3 unesene su u programski paket *DesignExpert*.

Podaci su obrađeni modulom ANOVA (analiza varijance), a rezultat analize je prikazan u tablici 6.4.

Tablica 6.4. Rezultati obrade mase modulom ANOVA

		Suma kvadrata odstupanja	Stupnjevi slobode	Srednji kvadrat odstupanja	Varijabla F	Rizik odbacivanja hipoteze $H_0$	
Model		$2,514 \cdot 10^{-3}$	3	$8,379 \cdot 10^{-4}$	407,60	<0,0001	signifikantno
	$x_1$	$6,511 \cdot 10^{-4}$	1	$6,511 \cdot 10^{-4}$	316,74	<0,0001	
	$x_2$	$1,752 \cdot 10^{-3}$	1	$1,752 \cdot 10^{-3}$	852,43	<0,0001	
	$x_1 x_2$	$1,103 \cdot 10^{-4}$	1	$1,103 \cdot 10^{-4}$	53,63	<0,0001	
Ostatak		$1,644 \cdot 10^{-5}$	8	$2,056 \cdot 10^{-6}$			
	Odstupanje od modela	$9,245 \cdot 10^{-6}$	4	$2,311 \cdot 10^{-6}$	1,28	0,41	nesignifikantno
	Greška	$7,200 \cdot 10^{-6}$	4	$1,800 \cdot 10^{-6}$			
Ukupno		$2,530 \cdot 10^{-3}$	11				

Programom *DesignExpert* dobiven je modelni prikaz (slika 6.16) ovisnosti utjecaja naknadnog tlaka i vremena trajanja naknadnog tlaka na masu ispitaka.



Slika 6.16. Grafički prikaz ovisnosti mase o visini naknadnog tlaka i vremenu trajanja naknadnog tlaka

Iz slike 6.16 uočljivo je da visina naknadnog tlaka i vrijeme trajanja naknadnog tlaka imaju gotovo podjednak utjecaj na masu ispitaka, odnosno s njihovim porastom, masa ispitaka raste, kao i obrnuto.

Pregled statističkih podataka o modelu prikazan je u tablici 6.5.

Koeficijent determiniranosti je mjera odstupanja od aritmetičke sredine koja je objašnjena modelom. Što je vrijednost koeficijenta determiniranosti bliža 1 model bolje slijedi podatke, odnosno pojava je bolje objašnjena [30].

Tablica 6.5. Pregled statističkih podataka o modelu

Standardno odstupanje	$1,434 \cdot 10^{-3}$
Aritmetička sredina	3,59
Koeficijent determiniranosti	0,9935

Kodirana jednadžba za izračunavanje predviđanja mase:

$$y_1 = 3,59 + 0,11 x_1 + 0,15 x_2 + 5,250 \cdot 10^{-3} x_1 x_2 \quad (6.1)$$

$x_1$  = Visina naknadnog tlaka, bar

$x_2$  = Vrijeme trajanja naknadnog tlaka, s

Jednadžba za izračunavanje mase sa stvarnim faktorima:

$$y_1 = 3,5586 - 3,52073 \cdot 10^{-5} x_1 + 7,16951 \cdot 10^{-3} x_2 + 1,19318 \cdot 10^{-4} x_1 x_2 \quad (6.2)$$

#### 6.2.4. Ispitivanje dimenzijske stabilnosti

Sljedeće ispitivanje koje je provedeno na ispitcima (čepovima) bilo je ispitivanje dimenzijske stabilnosti. Pomičnom mjerkom mjerene su po dvije dimenzije na svakom ispitku (čepu).

Pozicije mjerenja prikazane su na slici 6.17, dok su u prilogu u tablici 9.3 prikazane dobivene vrijednosti mjerenja na navedenim pozicijama.



Slika 6.17. Pozicije mjerenja dimenzije

##### 6.2.4.1. Vrijednosti Dimenzije 1

Tablica 6.6. Izračunate srednje vrijednosti dimenzije 1

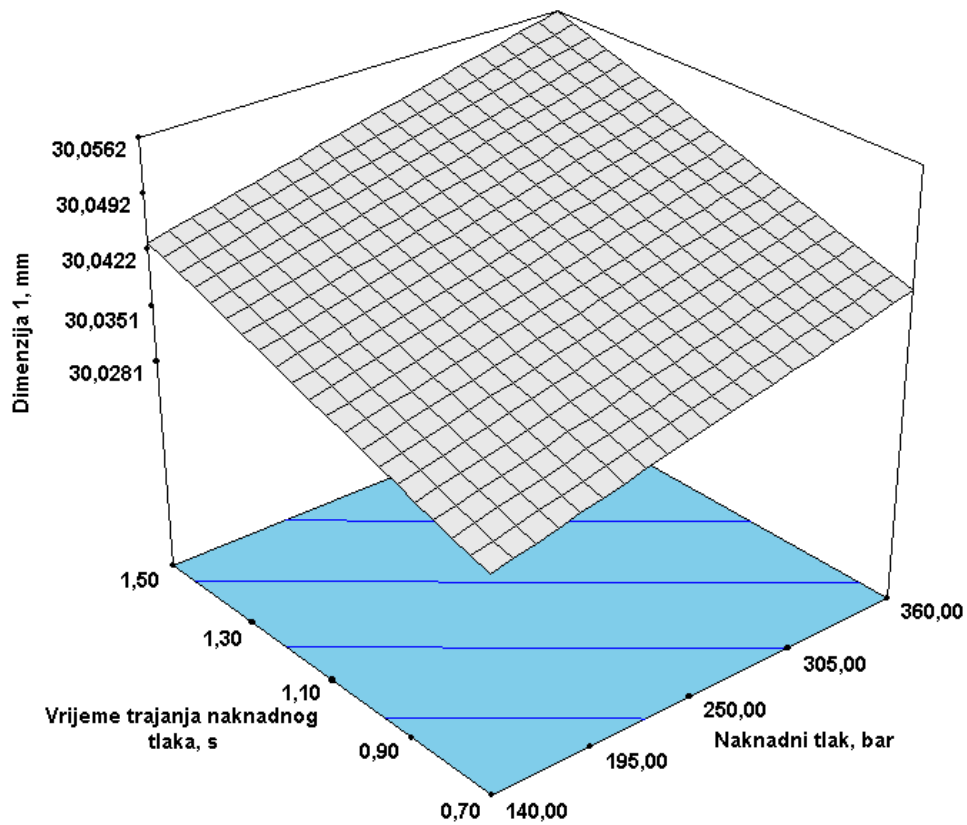
Ispitak	Naknadni tlak, $x_1$ /bar	Vrijeme trajanja naknadnog tlaka, $x_2$ /s	Aritmetička sredina	Standardna devijacija
3	140,00	1,50	30,046	0,0052
11	250,00	1,10	30,047	0,0049
4	360,00	1,50	30,051	0,0069
6	405,56	1,10	30,047	0,0049
10	250,00	1,10	30,046	0,0063
2	360,00	0,70	30,047	0,0110
9	250,00	1,10	30,046	0,0079
12	250,00	1,10	30,047	0,0053
13	250,00	1,10	30,046	0,0069
1	140,00	0,70	30,030	0,0081
5	94,44	1,10	30,026	0,0081
7	250,00	0,53	30,020	0,0140
8	250,00	1,67	30,049	0,0048

Izračunate vrijednost iz tablice 6.6 unesene su u programski paket *DesignExpert*. Modulom ANOVA (analiza varijance), ti podaci su obrađeni i prikazani su u tablici 6.7.

Tablica 6.7. Analiza varijance za dimenziju 1

		Suma kvadrata odstupanja	Stupnjevi slobode	Srednji kvadrat odstupanja	Varijabla F	Rizik odbacivanja hipoteze $H_0$	
Model		$7,994 \cdot 10^{-4}$	2	$3,997 \cdot 10^{-4}$	10,57	0,0034	signifikantno
	A	$3,341 \cdot 10^{-4}$	1	$3,341 \cdot 10^{-4}$	8,83	0,0140	
	B	$4,653 \cdot 10^{-4}$	1	$4,653 \cdot 10^{-4}$	12,30	0,0057	
Ostatak		$3,783 \cdot 10^{-4}$	10	$3,783 \cdot 10^{-4}$			
	Odstupanje od modela	$3,771 \cdot 10^{-4}$	6	$6,285 \cdot 10^{-5}$	209,49	<0,0001	nesignifikantno
	Greška	$1,200 \cdot 10^{-6}$	4	$3,000 \cdot 10^{-7}$			
Ukupno		$1,178 \cdot 10^{-3}$	12				

Programom *DesignExpert* dobiven je modelni prikaz (slika 6.18) ovisnosti utjecaja naknadnog tlaka i vremena trajanja naknadnog tlaka na dimenziju ispitaka mjerenu na poziciji 1.



Slika 6.18. Grafički prikaz ovisnosti dimenzije 1 otpreska mjerene na poziciji 1 o visini naknadnog tlaka i vremenu trajanja naknadnog tlaka

Iz slike 6.18 vidljivo je da visina naknadnog tlaka i vrijeme trajanja naknadnog tlaka imaju podjednak utjecaj na vrijednost dimenzije 1, odnosno vidljivo je da se njihovim porastom dolazi do povećanja dimenzije 1.



Pregled statističkih podataka o modelu prikazan je u tablici 6.8

Tablica 6.8 Pregled statističkih podataka o modelu

Standardno odstupanje	$6,151 \cdot 10^{-5}$
Aritmetička sredina	30,04
Koeficijent determiniranosti	0,7788

Kodirana jednadžba za izračunavanje dimenzije 1:

$$y_1 = 30,04 + 6,462 \cdot 10^{-3} x_1 + 7,627 \cdot 10^{-3} x_2 \quad (6.3)$$

$x_1$  = Visina naknadnog tlaka, bar

$x_2$  = Vrijeme trajanja naknadnog tlaka, s

Jednadžba za izračunavanje dimenzije 1 sa stvarnim faktorima:

$$y_1 = 30,00649 + 5,87483 \cdot 10^{-5} x_1 + 0,019066 x_2 \quad (6.4)$$

### 6.2.4.2. Vrijednosti Dimenzije 2

Tablica 6.9. Izračunate srednje vrijednosti dimenzije 2

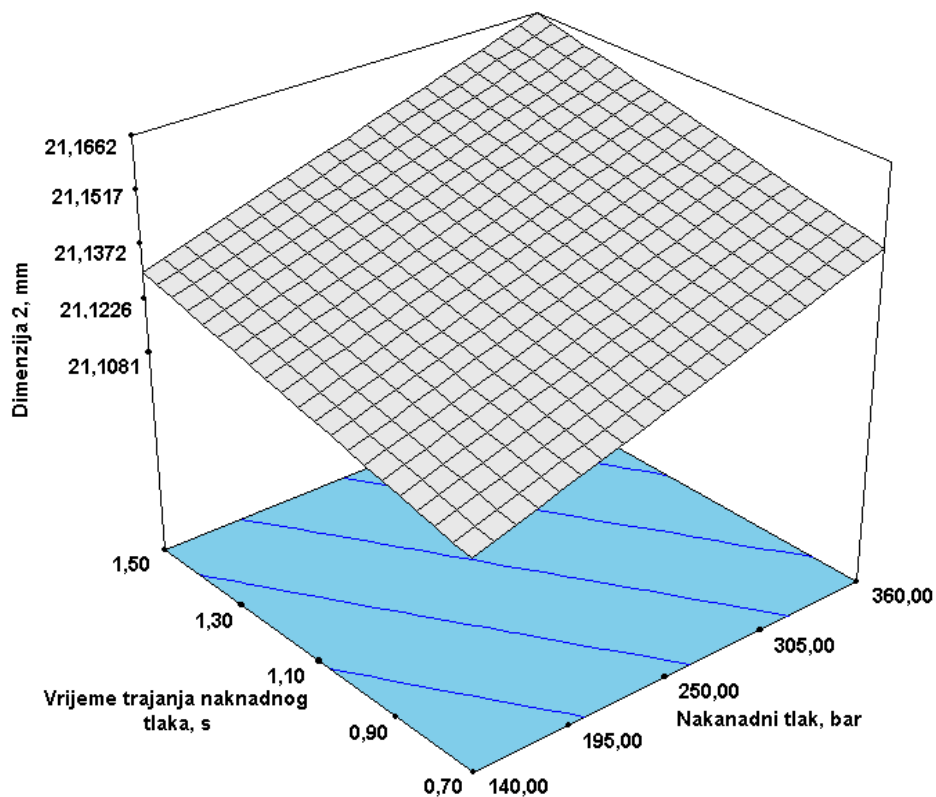
Uzorak	Naknadni tlak, $x_1$ /bar	Vrijeme trajanja naknadnog tlaka, $x_2$ /s	Aritmetička sredina	Standardna devijacija
3	140,00	1,50	21,133	0,0050
11	250,00	1,10	21,151	0,0090
4	360,00	1,50	21,163	0,0075
6	405,56	1,10	21,154	0,0055
10	250,00	1,10	21,156	0,0053
2	360,00	0,70	21,150	0,0057
9	250,00	1,10	21,143	0,0048
12	250,00	1,10	21,134	0,0053
13	250,00	1,10	21,133	0,0048
1	140,00	0,70	21,111	0,0069
5	94,44	1,10	21,101	0,0089
7	250,00	0,53	21,108	0,0130
8	250,00	1,67	21,146	0,0078

Izračunate vrijednost iz tablice 6.9 unesene su u programski paket *DesignExpert*. Modulom ANOVA (analiza varijance), ti podaci su obrađeni i prikazani su u tablici 6.10.

Tablica 6.10. Analiza varijance za dimenziju 2

		Suma kvadrata odstupanja	Stupnjevi slobode	Srednji kvadrat odstupanja	Varijabla F	Rizik odbacivanja hipoteze $H_0$	
Model		$5,575 \cdot 10^{-3}$	2	$1,787 \cdot 10^{-3}$	16,44	0,0007	signifikantno
	$x_1$	$2,590 \cdot 10^{-3}$	1	$2,590 \cdot 10^{-3}$	23,83	0,0006	
	$x_2$	$9,844 \cdot 10^{-4}$	1	$9,844 \cdot 10^{-4}$	9,06	0,0131	
Ostatak		$1,087 \cdot 10^{-3}$	10	$1,087 \cdot 10^{-3}$			
	Odstupanje od modela	$6,738 \cdot 10^{-4}$	6	$1,123 \cdot 10^{-4}$	1,09	0,4902	nesignifikantno
	Greška	$4,132 \cdot 10^{-4}$	4	$1,033 \cdot 10^{-4}$			
Ukupno		$4,662 \cdot 10^{-3}$	12				

Programom *DesignExpert* dobiven je modelni prikaz (slika 6.19) ovisnosti utjecaja naknadnog tlaka i vremena trajanja naknadnog tlaka na dimenziju 2 ispitaka mjerenu na poziciji 2.



Slika 6.19. Grafički prikaz ovisnosti dimenzije otpreska mjerene na poziciji 2 o visini naknadnog tlaka i vremenu trajanja naknadnog tlaka

Iz slike 6.19 može se uočiti da porastom naknadnog tlaka vrijednost dimenzije 2 raste izrazitije nego porastom vremena trajanja naknadnog tlaka.

Pregled statističkih podataka o modelu prikazan je u tablici 6.11.

Tablica 6.11. Pregled statističkih podataka o modelu

Standardno odstupanje	0,01
Aritmetička sredina	21,14
Koeficijent determiniranosti	0,7688

Kodirana jednadžba za izračunavanje dimenzije 2:

$$y_1 = 21,14 + 0,018 x_1 + 0,011 x_2 \quad (6.5)$$

$x_1$  = Visina naknadnog tlaka

$x_2$  = Vrijeme trajanja naknadnog tlaka

Jednadžba za izračunavanje dimenzije 2 sa stvarnim faktorima:

$$y_1 = 21,06575 + 1,63583 \cdot 10^{-4} x_1 + 0,027731 x_2 \quad (6.6)$$

### 6.2.5. Ispitivanje tvrdoće

Posljednje ispitivanje koje je provedeno na ispitcima bilo je ispitivanje tvrdoće.

Ispitivanje je provedeno tako da su od 7 ispitaka nasumce odabrana 3 ispitka na kojima se provodilo ispitivanje tvrdoće tako da je na svakom od odabranih ispitaka tvrdoća mjerena na tri mjesta.

Time je za svaki uzorak dobiveno po 9 vrijednosti tvrdoće koje su prikazane u tablici 9.4 u prilogu 9.

Mjerenje tvrdoće provođeno je uređajem za mjerenje tvrdoće po *Shoreu* (slika 6.20).



Slika 6.20. Uređaj za mjerenje tvrdoće Shore D

Tablica 6.12. Izračunate srednje vrijednosti tvrdoće

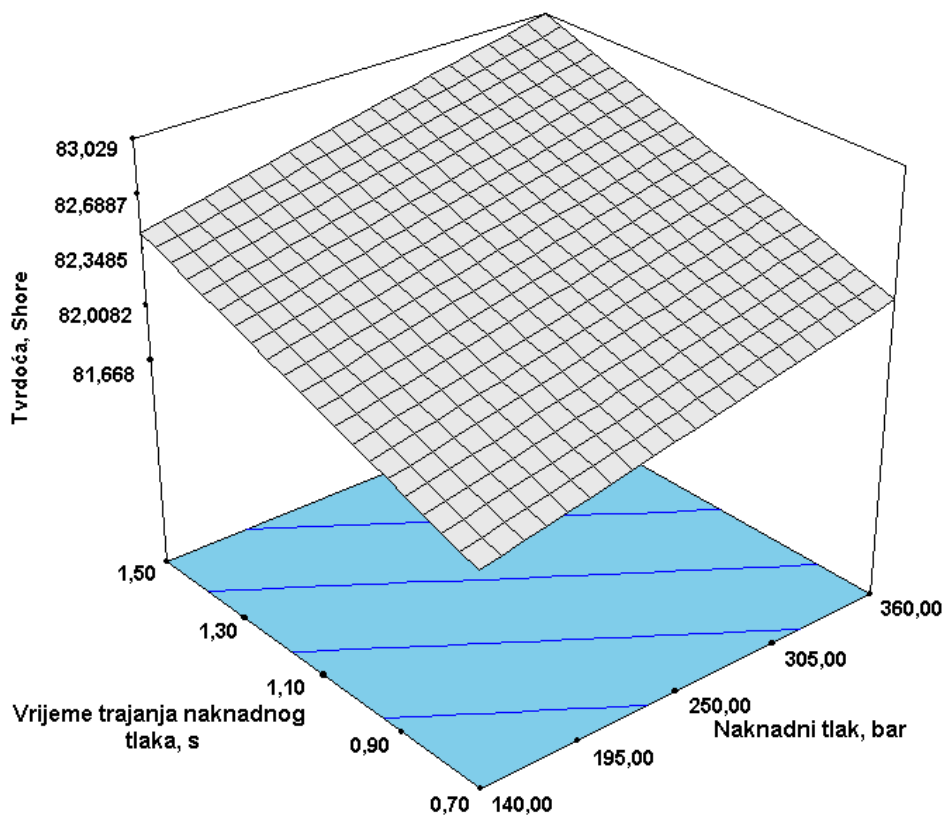
Stanje	Naknadni tlak, $x_1/\text{bar}$	Vrijeme trajanja naknadnog tlaka, $x_2/\text{s}$	Aritmetička sredina	Standardna devijacija
3	140,00	1,50	81,88	0,782
11	250,00	1,10	82,11	0,782
4	360,00	1,50	83,11	1,167
6	405,56	1,10	82,33	0,500
10	250,00	1,10	82,67	0,707
2	360,00	0,70	82,44	0,882
9	250,00	1,10	82,22	0,441
12	250,00	1,10	82,44	1,013
13	250,00	1,10	82,11	0,601
1	140,00	0,70	81,88	0,782
5	94,44	1,10	82,00	0,707
7	250,00	0,53	81,78	0,667
8	250,00	1,67	83,56	0,726

Izračunate vrijednost iz tablice 6.12 unesene su u programski paket *DesignExpert*. Modulom ANOVA (analiza varijance), ti podaci su obrađeni i prikazani su u tablici 6.13.

Tablica 6.13. Rezultati obrade tvrdoće modulom ANOVA

		Suma kvadrata odstupanja	Stupnjevi slobode	Srednji kvadrat odstupanja	Varijabla F	Rizik odbacivanja hipoteze $H_0$	
Model		1,91	2	0,95	7,47	0,0104	signifikantno
	$x_1$	0,64	1	0,64	4,99	0,0495	
	$x_2$	1,27	1	1,27	9,96	0,0102	
Ostatak		1,28	10	0,13			
	Odstupanje od modela	1,04	6	0,17	2,96	0,1566	nesignifikantno
	Greška	0,23	4	0,059			
Ukupno		3,18	12				

Programom *DesignExpert* dobiven je modelni prikaz (slika 6.21) ovisnosti utjecaja naknadnog tlaka i vremena trajanja naknadnog tlaka na tvrdoću ispitaka.



Slika 6.21. Grafički prikaz ovisnosti tvrdoće o visini naknadnog tlaka i vremenu trajanja naknadnog tlaka

Sa slike 6.21. vidljivo je da vrijednost naknadnog tlaka ima nešto veći utjecaj na tvrdoću otpreska nego je to slučaj sa vremenom trajanja naknadnog tlaka.

Pregled statističkih podataka o modelu prikazan je u tablici 6.14.

Tablica 6.14. Pregled statističkih podataka o modelu

Standardno odstupanje	0,36
Aritmetička sredina	82,35
Koeficijent determiniranosti	0,6991

Kodirana jednadžba za izračunavanje tvrdoće:

$$y_1 = 82,35 + 0,28 x_1 + 0,40 x_2 \quad (6.7)$$

$x_1$  = Visina naknadnog tlaka

$x_2$  = Vrijeme trajanja naknadnog tlaka

Jednadžba za izračunavanje tvrdoće sa stvarnim faktorima:

$$y_1 = 80,61172 + 2,56442 \cdot 10^{-3} x_1 + 0,99603 x_2 \quad (6.8)$$



## 7. ZAKLJUČAK

Polimerni materijale danas srećemo na svakom koraku i oni su postali neizostavan dio ljudskog života, jer je dobar dio današnjeg tehnološkog napretka vezan upravo za razvoj i korištenje polimera. Njihovim razvojem polako se istiskuju klasični materijali posebice kod autoindustrije i avioindustrije.

U ovom radu ukratko su opisana svojstva najčešće korištenih tipova polimera s posebnom pažnjom na svojstva i primjenu akrilonitril/butadien/stirena koji je korišten za izradu ispitaka (čepova) u eksperimentalnom dijelu ovoga rada. Također je ukratko opisan postupak injekcijskog prešanja kojima su izrađivani ispitci (čepovi), kao i tipovi ubrizgavalica.

U eksperimentalnom dijelu rada ispitci (čepovi) su vagani, mjerena je tvrdoća površine i dvije dimenzije dimenzije. Dobiveni rezultati mjerenja obrađeni su pomoću računala u programu *DesignExpert* čime se došlo do rezultata i modela koji pokazuju utjecaj naknadnog tlaka i vremena trajanja naknadnog tlaka na masu, tvrdoću i dimenzije ispitaka.

Primjenom centralno kompozitnog plana pokusa dobiveni su modeli za ispitivanje mase, tvrdoće i dimenzija Iz dobivenih rezultata uočljivo je da na masu ispitka podjednak utjecaj imaju vrijednost naknadnog tlaka i vrijeme trajanja naknadnog tlaka, dok na tvrdoću i dimenzije ispitka veći utjecaj ima vrijeme trajanja naknadnog tlaka, odnosno što je duže vrijeme naknadnog tlaka ispitak je tvrdi i ima veće dimenzije.

## 8. LITERATURA

- [1] N.N.: *Polimeri*, [www.ffri.hr/~zvonimir/07%20Polimeri.pdf](http://www.ffri.hr/~zvonimir/07%20Polimeri.pdf) (20.09.2008.)
- [2] Čatić I.: *Proizvodnja polimernih tvorevina, Biblioteka polimerstvo*, Zagreb 2006
- [3] N.N.: *Postupci prerade polimera*  
[www.riteh.hr/zav\\_katd\\_sluz/zvd\\_pro\\_stroj/djelatnici/gcukor\\_predavanja/Proizvodne\\_tehnolo\\_gije/6\\_Postupci\\_PP.pdf](http://www.riteh.hr/zav_katd_sluz/zvd_pro_stroj/djelatnici/gcukor_predavanja/Proizvodne_tehnolo_gije/6_Postupci_PP.pdf) (20.09.2008.)
- [4] [www.marinepipeproducts.com/.../1009859.jpg](http://www.marinepipeproducts.com/.../1009859.jpg) (22.10.2008.)
- [5] [en.wikipedia.org/wiki/Injectio\\_mouldig\\_process](http://en.wikipedia.org/wiki/Injectio_mouldig_process) (20.10.2008.)
- [6] Siminiati D., Pomenić L., Oršić F.: *Određivanje osnovnih parametara za injekcijsko prešanje plastike*, Eng.Rev. 28-1 (2008) 119-127, [hrcak.srce.hr/file/40667](http://hrcak.srce.hr/file/40667)
- [7] [www.toolcraft.co.uk/help\\_injection\\_moulding\\_process.htm](http://www.toolcraft.co.uk/help_injection_moulding_process.htm) (20.10.2008.)
- [8] Šercer M.: *Smjerovi razvoja ubrizgavalica za injekcijsko prešanje plastomera*, *Polimeri* 1(2004), 74-78
- [9] N.N.: *Polimeri-struktura i osobine*  
[fizika.9.forumer.com/a/polimeri-struktura-i-osobine-post198.htm](http://fizika.9.forumer.com/a/polimeri-struktura-i-osobine-post198.htm) (23.10.2008.)
- [10] [en.wikipedia.org/wiki/Polypropylene](http://en.wikipedia.org/wiki/Polypropylene) (22.10.2008.)
- [11] [en.wikipedia.org/wiki/Polystyrene](http://en.wikipedia.org/wiki/Polystyrene) (22.10.2008.)
- [12] [en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile\\_butadiene\\_styrene](http://en.wikipedia.org/wiki/Acrylonitrile_butadiene_styrene) (17.09.2008.)
- [13] N.N.: *Industrial Polymers*, [files.hanser.de/hanser/docs/20071031\\_2712115233-98\\_978-3-446-41119-7\\_Extract.pdf](http://files.hanser.de/hanser/docs/20071031_2712115233-98_978-3-446-41119-7_Extract.pdf) (17.09.2008.)
- [14] N.N.: *Acrylonitrile Butadiene Styrene-ABS*, [www.tangram.co.uk/TI-Polymer-ABS.html](http://www.tangram.co.uk/TI-Polymer-ABS.html) (17.09.2008.)
- [15] Seddon D.: *Resin Portrait ABS*, [www.arb.ca.gov/ei/an/abs.pdf](http://www.arb.ca.gov/ei/an/abs.pdf) (17.09.2008.)
- [16] [www.nenostoolshed.com/catalog/a1\\_1\\_47\\_1.JPG](http://www.nenostoolshed.com/catalog/a1_1_47_1.JPG) (22.10.2008.)
- [17] [www.isplc2006.org/b2b/pics/Mini\\_Refrigerator.jpg](http://www.isplc2006.org/b2b/pics/Mini_Refrigerator.jpg) (22.10.2008.)
- [18] [www.atotech.com/dana/gamf/ABS\\_PC\\_45.jpg](http://www.atotech.com/dana/gamf/ABS_PC_45.jpg) (22.10.2008.)
- [19] [www.toyotapartsstore.com/images/WH-404.jpg-ratkapa](http://www.toyotapartsstore.com/images/WH-404.jpg-ratkapa) (22.10.2008.)
- [20] [www.agreement.co.za/inactive/2000\\_281.jpg](http://www.agreement.co.za/inactive/2000_281.jpg) (22.10.2008.)
- [21] [www.office365.co.uk/im/pim/575692.jpg](http://www.office365.co.uk/im/pim/575692.jpg) (22.10.2008.)
- [22] [www.tandrtrailer.com/different/index/page/pulmor/](http://www.tandrtrailer.com/different/index/page/pulmor/) (22.10.2008.)
- [23] [www.jhs.co.uk/kinsman.html#standard](http://www.jhs.co.uk/kinsman.html#standard) (22.10.2008.)
- [24] [www.grantadesign.com/images/Level-2-ABS.jpg](http://www.grantadesign.com/images/Level-2-ABS.jpg) (23.10.2008.)

- [25] [www.digitechpeople.com/.../membership\\_cards1.jpg](http://www.digitechpeople.com/.../membership_cards1.jpg) (22.10.2008.)
- [26] [www.ridersdiscount.com/.../800/320x320-FULL.jpg](http://www.ridersdiscount.com/.../800/320x320-FULL.jpg) (22.10.2008.)
- [27] [www.plasticportalasia.net/wa/plasticAP~en\\_G.jpg](http://www.plasticportalasia.net/wa/plasticAP~en_G.jpg) (22.10.2008.)
- [28] [www.prospector.ides.com/datasheet.aspx?E=1494](http://www.prospector.ides.com/datasheet.aspx?E=1494) (29.09.2008.)
- [29] Uputstvo za upotrebu stroja ENGEL VICTORY 80
- [30] Rujnić-Sokele M.: *Utjecaj parametara razvlačnog puhanja na svojstva PET boca*,  
Polimeri 28(2007)4:225-233,

## 9. PRILOZI

Tablica 9.1. Koeficijenti oblika i unutrašnjosti za otpreske različita oblika [2]

Oblik otpreska			$\hat{t}_h$	$\bar{t}_h$
	$a_1$	$a_2$	$K_{U1}$	$K_{U2}$
Ploča $s_0 = b_0$	0	0	$4/\pi$	$8/\pi^2$
Cilindar $d_0 = b_0, l_0 = \infty$	0	1,15921	1,599	0,975
Cilindar $d_0 = b_0, l_0$	1,15956	$d_0/l_0$	$6,396/\pi$	$7,802/\pi^2$
Kugla $d_0 = b_0$	1	$\sqrt{2}$	2	1,178
Kvadar $b_0, h_0, l_0$	$b_0/h_0$	$b_0/l_0$	$64/\pi^3$	$512/\pi^6$
Kvadar $b_0, h_0, l = \infty$	$b_0/h_0$	0	$16/\pi^2$	$64/\pi^4$
Kocka $b_0$	1	1	$64/\pi^3$	$512/\pi^6$

Tablica 9.2. Parametri obrade i rezultati vaganja ispitaka (čepova)

Stanje	Naknadni tlak, $x_1/\text{bar}$	Vrijeme trajanja nakadnog tlaka, $x_2/\text{s}$	Masa otpresaka, g						
			1	2	3	4	5	6	7
3	140,00	1,50	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59
11	250,00	1,10	3,59	3,60	3,59	3,59	3,59	3,60	3,59
4	360,00	1,50	3,62	3,62	3,62	3,62	3,62	3,62	3,62
6	405,56	1,10	3,60	3,61	3,61	3,61	3,61	3,61	3,61
10	250,00	1,10	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59
2	360,00	0,70	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58	3,58
9	250,00	1,10	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59
12	250,00	1,10	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59
13	250,00	1,10	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59	3,59
1	140,00	0,70	3,57	3,57	3,57	3,57	3,58	3,57	3,57
5	94,44	1,10	3,59	3,58	3,59	3,59	3,59	3,58	3,59
7	250,00	0,53	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57	3,57
8	250,00	1,67	3,61	3,61	3,60	3,61	3,61	3,62	3,61

Tablica 9.3. Rezultati mjerenja dimenzijske stabilnosti

Stanje	Pozicije mjerenja	Dimenzije otpresaka, mm						
		1	2	3	4	5	6	7
3	Pozicija 1	30,04	30,05	30,05	30,04	30,05	30,05	30,04
	Pozicija 2	21,13	21,13	21,13	21,13	21,13	21,14	21,14
11	Pozicija 1	30,04	30,05	30,05	30,05	30,05	30,04	30,05
	Pozicija 2	21,14	21,15	21,16	21,15	21,16	21,16	21,14
4	Pozicija 1	30,04	30,05	30,05	30,05	30,06	30,05	30,06
	Pozicija 2	21,16	21,16	21,17	21,17	21,17	21,16	21,15
6	Pozicija 1	30,04	30,05	30,04	30,05	30,05	30,05	30,05
	Pozicija 2	21,15	21,16	21,15	21,16	21,15	21,16	21,15
10	Pozicija 1	30,05	30,06	30,04	30,05	30,05	30,05	30,03
	Pozicija 2	21,15	21,15	21,14	21,14	21,15	21,15	21,14
2	Pozicija 1	30,04	30,06	30,05	30,03	30,06	30,04	30,05
	Pozicija 2	21,14	21,15	21,16	21,15	21,15	21,15	21,15
9	Pozicija 1	30,04	30,06	30,04	30,05	30,04	30,05	30,04
	Pozicija 2	21,14	21,14	21,14	21,15	21,15	21,14	21,14
12	Pozicija 1	30,04	30,05	30,05	30,05	30,04	30,04	30,04
	Pozicija 2	21,14	21,14	21,13	21,13	21,13	21,13	21,14
13	Pozicija 1	30,05	30,04	30,05	30,04	30,04	30,03	30,04
	Pozicija 2	21,14	21,13	21,13	21,13	21,14	21,13	21,13
1	Pozicija 1	30,03	30,03	30,04	30,04	30,03	30,02	30,02
	Pozicija 2	21,12	21,12	21,11	21,11	21,11	21,10	21,11
5	Pozicija 1	30,03	30,01	30,02	30,03	30,02	30,01	30,02
	Pozicija 2	21,09	21,10	21,09	21,11	21,11	21,10	21,11
7	Pozicija 1	30,03	30,04	30,01	30,00	30,01	30,01	30,01
	Pozicija 2	21,12	21,13	21,11	21,10	21,11	21,09	21,10
8	Pozicija 1	30,04	30,05	30,04	30,04	30,04	30,04	30,05
	Pozicija 2	21,14	21,16	21,15	21,14	21,15	21,14	21,14

Tablica 9.4. Rezultati mjerenja tvrdoće

Stanje	Tvrdoća otpresaka, Shore								
	1			2			3		
3	81	82	81	82	83	82	82	81	83
11	82	83	81	82	83	82	83	82	81
4	83	85	83	81	83	82	83	84	84
6	82	82	83	82	83	82	82	83	82
10	82	82	82	83	82	84	83	83	83
2	83	82	82	81	82	82	83	83	84
9	82	82	82	82	82	82	83	82	83
12	82	83	83	83	83	84	82	81	81
13	82	83	82	82	83	82	82	81	82
1	83	82	83	81	82	82	82	81	81
5	81	82	81	82	82	83	83	82	82
7	81	82	82	82	82	83	81	82	81
8	84	84	82	84	84	84	84	83	83