

# Razvoj tankostjenog plastomernog pakovanja za injekcijsko prešanje

---

**Dika, Vladimir**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2016**

*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:235:116814>

*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

# ZAVRŠNI RAD

**Vladimir Dika**

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr. sc. Damir Godec, dipl. ing.

Student:

Vladimir Dika

Zagreb, 2016.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu i pod stručnim vodstvom profesora dr. sc. Damira Godeca, dipl. ing.

Zahvaljujem se mentoru dr.sc. Damiru Godecu, dipl. ing. što mi je pružio pomoć kod odabira teme za ovaj završni rad, te pruženoj pomoći, savjetima i razumijevanju.

Zahvaljujem se svojoj obitelji na bezuvjetnoj podršci i razumijevanju tijekom studija.

Vladimir Dika



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

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

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **VLADIMIR DIKA** Mat. br.: 0035187182

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **RAZVOJ TANKOSTJENOG PLASTOMERNOG PAKOVANJA ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE**

Naslov rada na engleskom jeziku: **DEVELOPMENT OF THIN-WALLED THERMPLASTIC PACKAGING FOR INJECTION MOULDING**

Opis zadatka:

Područje primjene plastomernih pakovanja u trajnom je razvoju. Injekcijsko prešanje kao najvažniji ciklički postupak prerade polimera sve češće zamjenjuje tradicionalne postupke proizvodnje pakovanja kao što je to toplo oblikovanje. Međutim uz prednosti koje pruža injekcijsko prešanje, pri razvoju otpresaka javljaju se i specifični problemi koje je potrebno riješiti. Prije svega riječ je o trendu smanjenja debljine stijenke otpresaka u cilju uštede materijala i skraćanja vremena ciklusa injekcijskog prešanja, uz istodobno očuvanje uporabnih svojstava tankostjenog otpreska.

U okviru rada potrebno je detaljno opisati faze razvoja plastomernih proizvoda koji će se proizvoditi injekcijskim prešanjem. Potrebno se posebno osvrnuti na područje razvoja tankostjenih otpresaka i istaknuti specifičnosti njihovog razvoja i prerade. Teorijske spoznaje iz područja razvoja plastomernih otpresaka, potrebno je primijeniti na konkretnom primjeru razvoja tankostjenog plastomernog pakovanja za prehrambenu industriju.

Zadatak zadan:

25. studenog 2015.


Rok predaje rada:

**1. rok:** 25. veljače 2016.  
**2. rok (izvanredni):** 20. lipnja 2016.  
**3. rok:** 17. rujna 2016.


Predviđeni datumi obrane:

**1. rok:** 29.2., 02. i 03.03. 2016.  
**2. rok (izvanredni):** 30. 06. 2016.  
**3. rok:** 19., 20. i 21. 09. 2016.

Zadatak zadao:

  
Prof. dr. sc. Damir Godec

Predsjednik Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Zoran Kunica

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	IV
SAŽETAK.....	V
SUMMARY .....	VI
1. UVOD.....	1
2. RAZVOJ PROIZVODA.....	2
2.1. Marketinško istraživanje [1] .....	3
2.1.1. Istraživanje tržišta [1].....	4
2.1.2. Planiranje proizvodnje [1].....	4
3. TEHNOLOŠKO KONSTRUIRANJE OTPRESKA [1,2] .....	5
3.1. Polazišni postupci konstruiranja [1].....	5
3.1.1. Vrednovanje tehnike [1].....	6
3.2. Središnja faza konstruiranja [1] .....	6
3.2.1. Analiza opterećenja i naprezanja otpreska [1] .....	8
3.2.2. Zahtjevi na materijal otpreska.....	8
3.2.3. Dimenzioniranje otpreska [1].....	10
3.2.4. Oblikovanje otpreska [1].....	10
3.2.4.1. Proizvodno oblikovanje otpreska [1].....	10
3.2.4.2. Uporabno oblikovanje otpreska [1] .....	11
3.3. Završne aktivnosti konstruiranja [1] .....	11
3.3.1. Analiza trajnosti i pouzdanosti otpreska .....	11
3.3.2. Lista otpreska .....	11
4. INJEKCIJSKO PREŠANJE .....	13
4.1. Elementi sustava za injekcijsko prešanje .....	13
4.1.1. Ubrizgavalica .....	14
4.1.1.1. Jedinica za pripremu i ubrizgavanje taljevine.....	15
4.1.1.2. Jedinica za zatvaranje kalupa [7] .....	15
4.1.1.3. Pogonska jedinica [4].....	15
4.1.1.4. Jedinica za vođenje [4].....	15
4.1.2. Kalup.....	15
4.1.2.1. Uljevni sustav.....	16
4.1.2.2. Hladni uljevni sustav [7].....	18
4.1.2.3. Vrući uljevni sustav [7].....	18
4.1.2.4. Kalupna šupljina .....	20
4.1.2.5. Kućište kalupa [7].....	21
4.1.2.6. Sustav za vađenje otpreska iz kalupne šupljine [7] .....	22
4.1.2.7. Sustav za vođenje i centriranje elemenata kalupa [7].....	22
4.1.3. Temperiralo [7] .....	23

4.2. Faze injekcijskog prešanja .....	23
4.2.1. Priprema taljevine (plastificiranje) [4] .....	24
4.2.2. Ubrizgavanje taljevine u kalupnu šupljinu.....	24
4.2.3. Djelovanje naknadnog tlaka [2,4] .....	24
4.2.4. Hlađenje i vađenje otpreska iz kalupne šupljine.....	25
5. TANKOSTJENO INJEKCIJSKO PREŠANJE.....	26
5.1. Definiranje pojma tankostjenih proizvoda .....	26
5.2. Izbor materijala .....	27
5.3. Uvjeti preradbe.....	27
5.4. Ubrizgavalica za tankostjeno injekcijsko prešanje [10].....	28
5.5. Kalup za tankostjeno injekcijsko prešanje .....	29
5.6. Greške kod injekcijskog prešanja .....	32
5.6.1. Srh (eng. Flash) [16] .....	32
5.6.2. Nepotpunost otpreska (eng. Short shot) [16] .....	33
5.6.3. Vitoperenje (eng. Warp) [16] .....	33
5.6.4. Uleknuća i usahline (eng. Sink marks i Voids) [16].....	34
5.6.5. Izgorine (eng. Burn marks) [16] .....	35
5.6.6. Stezanje otpreska (eng. Shrinkage) [16] .....	35
5.6.7. Linija spajanja (eng. Weld i Meld lines) (Linija zavara i mješanja) [16] .....	36
5.6.8. Listanje površine (eng. Surface delamination) [16].....	37
5.6.9. „Riblje oko“ (eng. Fish eye) [16].....	38
5.6.10. Trag ubrizgavanja (eng. Jetting) [16].....	39
5.6.11. Mjehurićavost (eng. Bubbles i Silver streaks) (unutrašnja i vanjska) [17] .....	39
5.6.12. Linije tečenja (eng. Flow lines) [16].....	40
6. USPOREDBA POSTUPAKA PROIZVODNJE AMBALAŽE.....	41
7. RAZVOJ TANKOSTJENE AMBALAŽE ZA PREHRAMBENU INDUSTRIJU .....	44
8. PROVJERA TEHNIČNOSTI OTPRESKA .....	49
9. ZAKLJUČAK.....	52
LITERATURA.....	53
PRILOZI.....	55

**POPIS SLIKA**

Slika 2.1	Shema razvoja injekcijski prešanih otpresaka [1] .....	2
Slika 3.1	Polazišni postupci tehnologijskog konstruiranja otpreska [1].....	6
Slika 3.2	Glavne aktivnosti sredinje faze konstruiranja [1].....	7
Slika 3.3	Središnja faza tehnologijskog konstruiranja otpreska [1] .....	7
Slika 3.4	Izbor materijala i prethodno dimenzioniranje otpreska [1] .....	9
Slika 4.1	Sustav za injekcijsko prešanje [5] .....	14
Slika 4.2	Kalup za injekcijsko prešanje [8] .....	16
Slika 4.3	Uljevni kanali [8].....	17
Slika 4.4	Hladni uljevni sustav (grozd) [2].....	18
Slika 4.5	Raspored kalupnih šupljina [8].....	20
Slika 4.6	Ciklus injekcijskog prešanja plastomernog otpreska [5].....	25
Slika 5.1	Kalup za tankostjeno injekcijsko prešanje [14].....	30
Slika 5.2	Oblici izbacivala [17] .....	31
Slika 5.3	Srh na otpresku [17] .....	32
Slika 5.4	Uleknuća i usahline u otpresku [16].....	34
Slika 5.5	Spajanje dviju fronti tokova [16].....	36
Slika 5.6	Linija zavara na otpresku [16].....	36
Slika 5.7	Linija miješanja na otpresku [16].....	37
Slika 5.8	„Riblje oko“ na otpresku [16] .....	38
Slika 5.9	Trag ubrizgavanja na otpresku [16].....	39
Slika 5.10	Linije tečenja na otpresku [16].....	40
Slika 6.1	Izvedba oblikovalice s odvojenim štanjanjem [2] .....	42
Slika 6.2	Usporedba troškova u ovisnosti o veličini serije [18] .....	43
Slika 7.1	Predložak ambalaže [19] .....	44
Slika 7.2	Posuda s poklopcem .....	45
Slika 7.3	Ambalaža: a) poklopac, b) posuda .....	45
Slika 7.4	Izbor materijala otpreska [20] .....	46



**POPIS TABLICA**

Tablica 4.1 Gospodarske i tehničke prednosti i nedostaci vrućih uljevnih sustava [7] .....	19
Tablica 5.1 Omjer debljine i duljine toka taljevine tankostjenog injekcijskog prešanja [11] ..	26
Tablica 7.1 Oznake materijala i njihova primjena u ambalaži [2] .....	47
Tablica 7.2 Mehanička svojstva materijala BJ 380 MO [20] .....	48
Tablica 7.3 Preradbena svojstva materijala BJ 380 MO [20] .....	48
Tablica 8.1 Rezultati simulacije otpreska poklopca .....	50
Tablica 8.2 Rezultati simulacije otpreska posude .....	51

## SAŽETAK

U radu je opisan koncept razvoja tankostjenog plastomernog proizvoda za postupak preradbe injekcijskim prešanjem, te sva ograničenja i specifičnosti na koje treba obratiti pozornost u tom procesu.

**Ključne riječi:** razvoj polimernog proizvoda, ambalaža za prehrambenu industriju, tankostjeno injekcijsko prešanje, vrući uljevni sustav

## **SUMMARY**

This paper describes the concept of thin-walled thermoplastic product development for process of injection molding and all restrictions and peculiarities that need attention in the process.

**Key words:** development of polymer product, packaging for food industry, thin-walled injection moulding, hot runner system

## 1. UVOD

Čovjek je vrlo davno prepoznao prednosti ambalaže. Potreba čuvanja prvenstveno hrane i tekućina, a kasnije i drugog javila se na samom početku ljudske kulture. Prva ambalaža koju je načinio čovjek vjerojatno je bio lonac od mokre gline, a s kasnijim zagrijavanjem (keramički lonac) da bi se dobila funkcionalnost i trajnost. Promjene načina života utječu i na tražena svojstva ambalažnog materijala u cilju praktičnosti ambalaže, te produljenja trajnosti zapakiranih proizvoda. Plastika je relativno nov materijal, vrlo pogodan za izradbu ambalaže zbog svojih specifičnih svojstava.

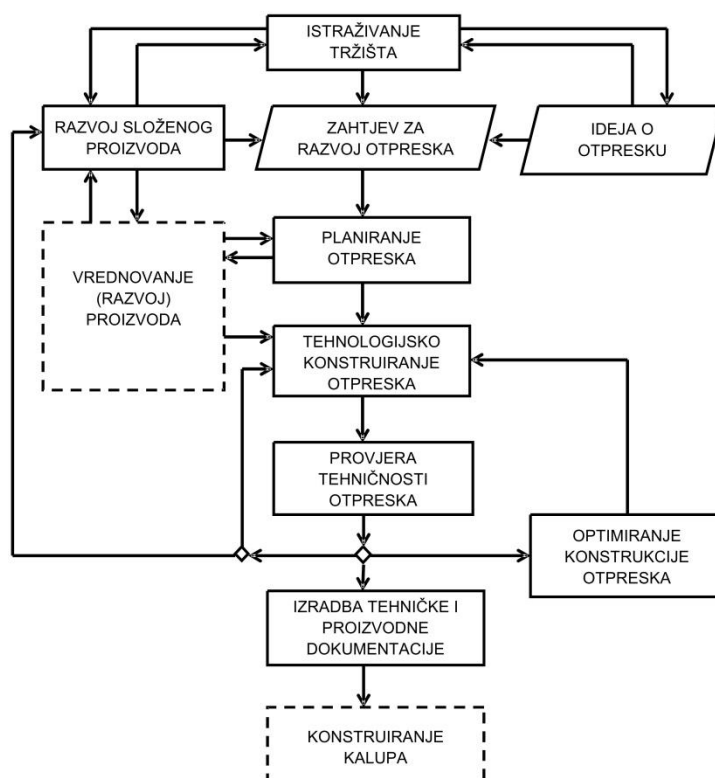
Injekcijsko prešanje je glavni i najvažniji postupak cikličke preradbe polimera. Trendovi na tržištu injekcijski prešanih proizvoda pokazuju da su otpresci sve kompliciranijih oblika uz povišene zahtjeve na kvalitetu i kraća vremena ciklusa injekcijskog prešanja sa ciljem niže cijene kalupa i otpresaka. S druge strane, pojavljuju se novi polimerni materijali ciljanih svojstava, kao i unaprijeđeni postupci preradbe injekcijskim prešanjem, kao što je postupak tankostjenog injekcijskog prešanja.

S obzirom na velike troškove i složenost izradbe kalupa i razvoja samog proizvoda, potrebno je kvalitetno isplanirati i razraditi razvoj novog proizvoda. To je multidisciplinarni posao koji obuhvaća brojne stručnjake različitih profila, koji razrađuju razvoj proizvoda od onih početnih faza, kao što su ideje i koncepti, pa sve do istraživanja tržišta i plasiranja samog proizvoda na tržište. Sam razvoj proizvoda je vrlo složen i težak posao koji od osobe traži kreativnost i sposobnost u provedbi zahtjeva za taj proizvod, materijalom i postupkom kojim će se izraditi. Stoga je zadaća razvoja modelirati optimalni proizvod koji će biti kompromis između estetskih, funkcionalnih, ekonomskih i proizvodnih zahtjeva.

U radu je dan osvrt na sve faze i radnje potrebe za sistematski razvoj proizvoda postupkom tankostjenog injekcijskog prešanja. Također opisane su specifičnosti tog postupka u usporedbi s klasičnim injekcijskim prešanjem. Primjenom teorijskih spoznaja oblikovana je tankostjena polimerna ambalaža za prehrambenu industriju. Na temelju odabranog materijala i parametara preradbe provedena je provjera tehničnosti otpreska.

## 2. RAZVOJ PROIZVODA

Ideja o novom proizvodu nastaje u poduzeću u kojem će se proizvod izrađivati, na poticaj razvojne ili komercijalne službe, ili izvan poduzeća na temelju istraživanja tržišta ili dobrih ideja pojedinaca. Razvoj proizvoda započinje fazom istraživanja i planiranja razvoja u kojoj se na temelju analize tržišta i drugih kriterija (marketinškog istraživanja, studije trenda, ...), utvrđuje potreba za proizvodnjom određenog proizvoda i formira zahtjev za razvojem proizvoda. Zahtjev za razvojem proizvoda u biti opisuje ciljeve razvoja, a ujedno se može shvatiti kao postavljanje inženjerskog zadatka. Razvoj otpreska ovisiti će još i o položaju poduzeća na tržištu, kapacitetu poduzeća, troškovima i rokovima proizvodnje, riziku itd. Na slici 2.1 prikazana je općenita shema razvoja injekcijski prešanog polimernog otpreska. [1]



Slika 2.1 Shema razvoja injekcijski prešanih otpresaka [1]

Na slici 2.1 uočava se više shematski ucrtanih veza među pojedinim blokovima (posebno unutar faze konstrukcije kalupa), koje označuju kompleksnost i isprepletenost pojedinih faza tijekom razvoja otpreska, odnosno njihove interakcije. Brojne kompleksne veze postoje i unutar blokova među pojedinim koracima. Stoga su navedene veze ucrtane samo principijelno. [1]

Prema zakonitostima metodičkog konstruiranja u početnoj fazi, tj. konceptualnoj fazi konstruiranja proizvoda treba definirati ukupnu i parcijalne funkcije proizvoda. Za svaku parcijalnu funkciju budućeg proizvoda treba odabrati jedno ili više mogućih rješenja. [1] U radu su razmotrene osnovne funkcije ambalaže u prehrambenoj industriji.

- Funkcija sadržavanja daje veliki doprinos zaštiti okoliša od neizmjerne količine proizvoda koji se prenose s jednog mjesta na drugo. Loša (ili nedostatna) ambalaža dovela bi do velikog onečišćenja okoliša i gubitka vrijednog proizvoda.
- Funkcija zaštite se često smatra osnovnom funkcijom ambalaže. Ambalaža štiti sadržaj od vanjskih utjecaja, a štiti i okoliš od utjecaja zapakiranog proizvoda, što je osobito važno za toksične kemikalije koji mogu ozbiljno oštetiti okoliš. U slučaju većine prehrambenih proizvoda, zaštita koju pruža ambalaža važan je dio procesa očuvanja proizvoda.
- Funkcija prikladnosti utječe na oblikovanje ambalaže kako bi se zadovoljili zahtjevi potrošača za pogodno korištenje, rukovanje i daljnje slaganje ambalaže u sekundarno i tercijarno pakovanje različitih vrsta hrane i pića.
- Komunikacijska funkcija omogućuje trenutno prepoznavanje proizvoda i funkcioniranje samoposluživanja. Ostale komunikacijske funkcije jednako su važne, npr. uporaba moderne opreme za skeniranje univerzalnog koda proizvoda. Također, nutricionističke informacije na ambalaži prehrambenih proizvoda obavezne su u mnogim zemljama. [2]

Zadnji dio sheme, slika 2.1, sadrži aktivnosti provjere tehnološkiosti otpreska kod koje se uzimaju u obzir pretpostavljeni, propisani ili tijekom provjere određeni uvjeti preradbe (tlakovi, temperature, ...). Tek na taj način moguće je optimirati konstrukciju otpreska. Međutim, provjerom tehničnosti, može se utvrditi i potreba za ponovljenim planiranjem razvoja otpreska ili čak za intervencijom u razvoju proizvoda. [1]

## **2.1. Marketinško istraživanje [1]**

Marketing je stručna disciplina kojoj je temeljna zadaća utvrđivanje društvenih potreba i traženje znanstvenih, tehničkih, ekonomskih, proizvodnih i tržišnih putova njihova zadovoljavanja. Tada se marketing i industrijsko oblikovanje proizvoda komplementarno nadopunjuju kao dvije svjesne i svrsishodne ljudske djelatnosti koje teže istom cilju. Kod planiranja i razvoja proizvoda marketing zauzima završnu aktivnost jer je upravo pomoću proizvoda, asortimana i usluge moguće posredno ili neposredno zadovoljiti te potrebe.

Temeljne djelatnosti marketinga po Rodgeru su:

- marketinške informacije i istraživanje tržišta i konačnih korisnika,
- planiranje proizvoda i asortimana,
- prodaja i distribucija,
- ekonomska propaganda i unapređenje prodaje.

U nastavku rada razmotreno je istraživanje tržišta i planiranje proizvoda kao dvije kategorije marketinga nužne pri razvoju proizvoda.

### **2.1.1. Istraživanje tržišta [1]**

Istraživanje tržišta je marketinška funkcija u kojoj se osiguravaju potrebne informacije za donošenje poslovnih odluka. Sustavnim prikupljanjem i analizom tržišta, njegovim bivšim trendovima i budućim potencijalima, istraživanje se odnosi na sve dijelove tržišta na kojima poduzeće djeluje, a provodi se sa svrhom prilagođavanja proizvoda i usluga, strategije nastupa na tržištu, proizvodnih i uslužnih kapaciteta zahtjevima potrošača.

Ispravna znanstvena analiza i interpretacija informacija prikupljenih istraživanjem tržišta oblikovat će zadatak (zahtjev za razvojem), tj. temelj za sljedeći korak u razvoju proizvoda – planiranje proizvoda.

### **2.1.2. Planiranje proizvodnje [1]**

Planiranje proizvoda se javlja kao operativna znanstveno – metodološka disciplina radi smanjivanja rizika investicijskih ulaganja u razvoj proizvoda i njegovu proizvodnju. To je pokušaj znanstveno i metodološki utemeljenog dobivanja odgovora na pitanje lansiranja ili plasiranja proizvoda na tržištu i njegova tržišnog vijeka. Jedan od vitalnih zadataka planiranja proizvoda je smanjivanje nerazmjera između broja inovacija i komercijalnih proizvoda.

### 3. TEHNOLOŠKO KONSTRUIRANJE OTPRESKA [1,2]

Kod razvoja injekcijski prešanog otpreska, s tehničkog stajališta, konstruiranje zauzima središnje mjesto. Kod klasičnog pristupa konstruiranja uglavnom se razmatra funkcija proizvoda, te se konstruira na temelju potrebe za zadovoljavanjem njegove temeljne, tehničke funkcije. Često se kod klasičnog konstruiranja zanemaruju proizvodnja i uporaba tvorevina, koje predstavljaju konstrukcijski zadatak. Zbog posebnosti polimernih materijala, kod kojih uporabna svojstva ovise izravno o načinu pravljenja materijala i postupka pravljenja tvorevine, takav pristup ne odgovara suvremenom shvaćanju razvoja proizvoda. Njime su uvelike zanemareni proizvodnja i upotreba proizvoda. Stoga se pristup razvoju i konstruiranju proizvoda ne samo sa stajališta njegove funkcije, proizvodnje i tehničke uporabe, već i razumijevanjem razvoja i konstruiranja proizvoda sa stajališta njegove tehničnosti, gospodarstvenosti i sociološkičnosti naziva tehnologijsko konstruiranje.

Tehnologijsko konstruiranje moguće je podijeliti u tri faze: polazišni postupci ili razrada koncepta, središnja faza te završne aktivnosti konstruiranja.

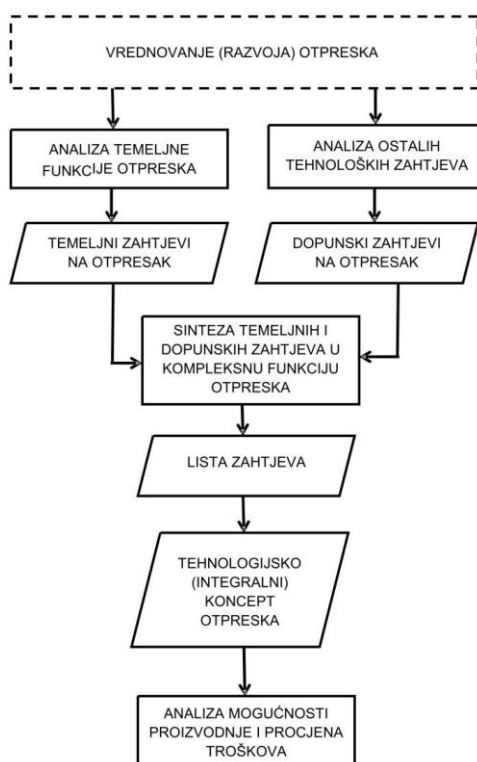
#### 3.1. Polazišni postupci konstruiranja [1]

Na slici 3.1 prikazan je prvi korak u fazi analiza funkcija otpreska koje otpresak mora zadovoljiti i na temelju takve analize postavljanje odgovarajućih zahtjeva. Ti zahtjevi mogu se podijeliti na temeljne, tehničke i ostale tj. dopunske zahtjeve.

Pri razvoju novog proizvoda postavljaju se svi potrebni zahtjevi, a posebno analiza netehničkih ciljeva. Inženjeri ne mogu više ignorirati odgovornost za gospodarski i društveno loše proizvode, koji su posljedica nedovoljnog i lošeg ispunjavanja tih zahtjeva, već moraju formirati listu kompleksnih funkcija u sintezi temeljnih i dopunskih zahtjeva pri razvoju proizvoda. Rezultat tih aktivnosti jest stvaranje tehnologijskog (integralnog) koncepta otpreska, koji će udovoljiti svim potrebnim tehnologijskim zadacima. Nakon toga u toj fazi konstruiranja potrebno je analizirati mogućnost i troškove izrade.

Na temelju proračunatih troškova proizvodnje, te na temelju grubog geometrijskog oblika otpreska, procijenjenih troškova materijala potrebno je procijeniti cijenu otpreska.





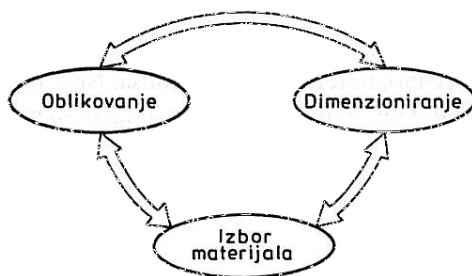
Slika 3.1 Polazišni postupci tehnologijskog konstruiranja otpreska [1]

### 3.1.1. Vrednovanje tehnike [1]

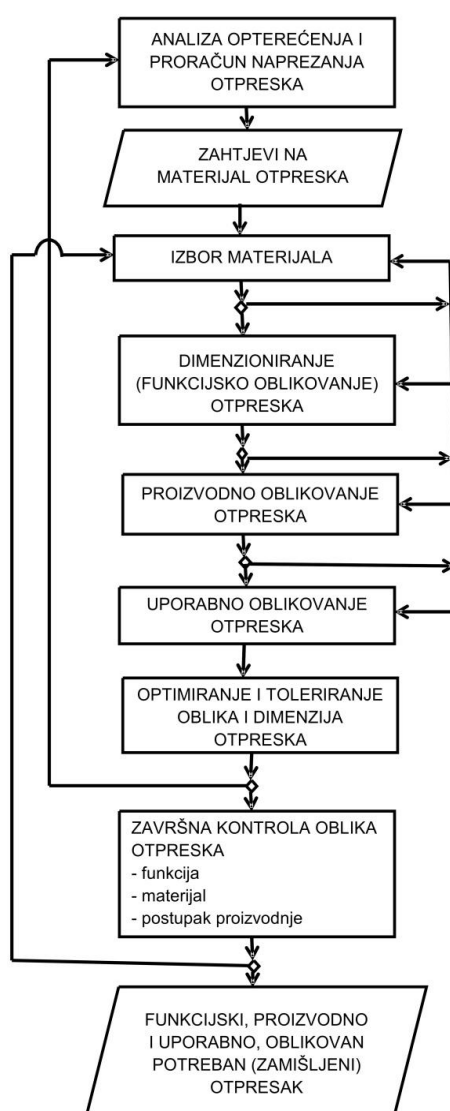
Pri postavljanju svih potrebnih zahtjeva u vezi s proizvodom, nužno je vrednovati razvoj proizvoda odnosno sam proizvod koji se vrednuje s obzirom na postizanje tehničkih i netehničkih ciljeva. Cilj svih tehničkih djelovanja jest osiguranje i poboljšavanje mogućnosti ljudskog življenja razvojem i smislenom uporabom funkcionalnih tehničkih sredstava po kriteriju gospodarstvenosti. Svi tehnički sustavi uvijek su u službi netehničkih i negospodarskih ciljeva kao što su blagostanje, zdravlje, sigurnost, razvoj osobnosti i kvalitete društva, ekologija, etika itd.

### 3.2. Središnja faza konstruiranja [1]

Središnju fazu konstruiranja, koja se često naziva i projektom, ponajviše karakterizira visoka uzajamna povezanost triju glavnih aktivnosti: oblikovanje, dimenzioniranje i izbor materijala, slika 3.2. Uz te tri glavne aktivnosti u toj je fazi potrebno provesti i ostale, koje su skupno predočene shemom na slici 3.3. Temeljne značajke toga središnjeg dijela konstruiranja otpreska visok je stupanj povezanosti pojedinih faza te njihova interaktivnost.



Slika 3.2 Glavne aktivnosti sredinje faze konstruiranja [1]



Slika 3.3 Središnja faza tehnološkog konstruiranja otpreska [1]

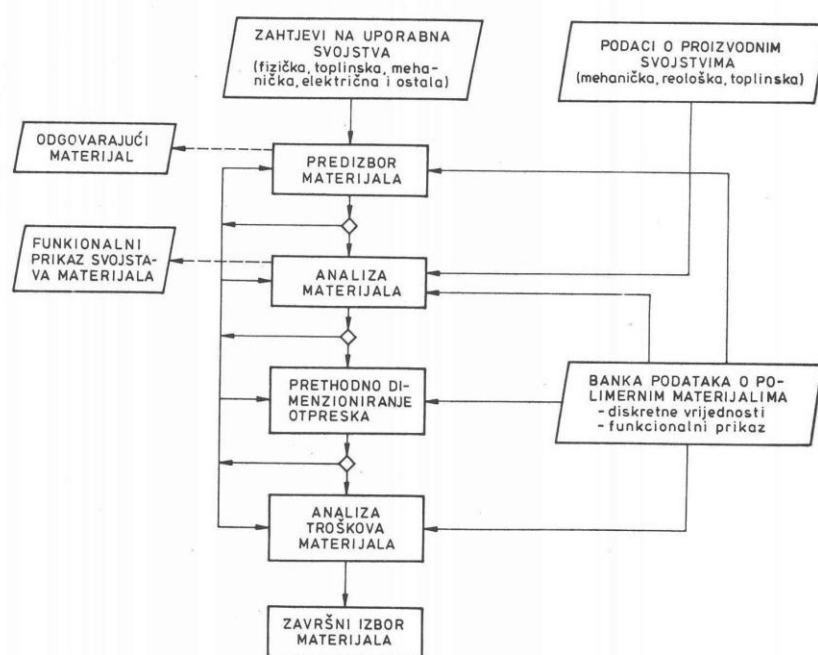
### **3.2.1. Analiza opterećenja i naprezanja otpreska [1]**

Prema shemi na slici 3.3, faza konstruiranja započinje analizom opterećenja i proračunom naprezanja i deformacija. Na temelju analize funkcijskih i ostalih zahtjeva potrebno je analizirati pretpostavljena opterećenja koja djeluju na otpresak u uporabi. Potrebno je definirati vrstu (mehanička, toplinska, ...), način (statički, dinamički, ...), veličinu i smjerove djelovanja opterećenja kako bi se mogao provesti proračun posljedičnih naprezanja i deformacija opterećena. Razumljivo ovisnost o postavljanim zahtjevima u vezi s otpreskom, potrebno je analizirati i ostala opterećenja i provesti odgovarajuće proračune. Za toplinski proračun polimernih proizvoda još uvijek ne postoje zadovoljavajuće razrađene podloge. Poznavanje toplinskih svojstava nužan je preduvjet reološke i toplinske provjere otpreska i mehaničke provjere kalupne šupljine pri razvoju otpreska kao i pri konstruiranju kalupa. Toplinska opterećenja otpresaka uvijek postoje pri preradbi u kalupnoj šupljini ako ne i tijekom uporabe. Kada je potreban toplinski proračun, mogu se upotrijebiti programi za proračun s pomoću metode konačnih elemenata FEM.

### **3.2.2. Zahtjevi na materijal otpreska**

Primjena različitih polimernih materijala u prehrambenoj industriji ovisi o svojstvima hrane. Međutim, i proizvodnja, rukovanje i pakiranje mogu utjecati na konačna svojstva ambalažnog materijala, posebno na barijerna svojstva koja su usko povezana s intrinzičkom strukturom polimera: stupanj kristalnosti, omjer kristalne i amorfne faze, stupanj umreženosti, ... [2]

Na temelju analize opterećenja i odgovarajućih proračuna naprezanja i deformacija proizlaze zahtjevi u vezi s materijalom otpreska. Zahtjevi u vezi s uporabnim svojstvima proizvoda (mehanička, toplinska, barijerna, ...) postavljaju se u oblik diskretnih i funkcionalnih vrijednosti. [1] Također treba obratiti pažnju da intrinzička svojstva zapakirane hrane (npr. pH, sadržaj masti, miris) mogu utjecati na apsorpcijske karakteristike ambalažnog materijala, a okolišni faktori kao što su temperatura (kod nekih polimera i relativna vlažnost), mogu utjecati na njihova barijerna svojstva. [2] S druge strane nužno je postaviti zahtjeve za određivanje podataka o proizvodnim svojstvima potrebnih za provedbu aktivnosti provjere kalupljivosti otpreska. Slikom 3.4 shematski su predočeni izbor materijala i prethodno dimenzioniranje otpreska. [1]



Slika 3.4 Izbor materijala i prethodno dimenzioniranje otpreska [1]

Zahtjevi na ambalažni materijal otpreska su [2]:

Mehanički zahtjevi:

- čvrstoća pri slaganju u visinu i pritiska čvrstoća, krutost, savojna žilavost.

Toplinski zahtjevi:

- svojstvo toplinske izolacije, toplinska postojanost oblika.

Optički zahtjevi:

- prozirnost odnosno propusnost svjetla, kvaliteta površine (glatkoća i sjaj).

Kemijski zahtjevi:

- postojanost na kapljevine s različitim svojstvima, svojstva površine ambalaže.

Posebni zahtjevi [2]:

- Postojanost (stabilnost) prehrambenog proizvoda s obzirom na kemijske, biokemijske i mikrobiološke reakcije koje se mogu javiti a dovode do kvarenja proizvoda.
- Okolišni uvjeti kojima je proizvod izložen tijekom distribucije i pohrane. Najvažniji čimbenici su temperatura okoline i vlažnost, pa oni određuju barijerna svojstva ambalaže.
- Kompatibilnost (snošljivost) pakovanja s odabranim načinom konzerviranja hrane.
- Sastav ambalažnog materijala i njegov potencijalni utjecaj na kvalitetu i sigurnost zapakirane hrane (migracija potencijalno toksičnih spojeva iz ambalaže u hranu).

Razni proizvođači obilježavaju istu vrstu materijala različitim komercijalnim nazivima, zato je nužno naznačiti vrstu materijala odnosno dati pravi kemijski naziv. Međutim, unutar iste vrste polimera moguće su razlike, od proizvođača do proizvođača, zato su nužni podaci o proizvođači i tipu polimera. [1]

### **3.2.3. Dimenzioniranje otpreska [1]**

Dimenzioniranje je postupak koji povezuje optimalno iskorištavanje materijala s ograničenjima na konstrukcijski oblik proizvoda pri djelovanju opterećenja. Pri dimenzioniranju često je više puta potrebno provesti proračun naprezanja i deformacija kako bi se uz odabrani odgovarajući materijal provelo odgovarajuće dimenzioniranje stjenke otpreska zbog otežanog prenošenja znanstvenih, teorijskih spoznaja na realne konstrukcije, što je posljedica nedostupnosti podataka o svojstvima polimera za različite uvjete opterećenja, nedovoljnog poznavanja ponašanja pri deformiranju i nesigurnost pri utvrđivanju dopuštenih opterećenja ili deformacija. Dimenzioniranje kod polimernih tvorevina ponajviše ovisi o vrsti materijala koji moraju zadovoljiti neke od najčešćih kriterija, a to su: krhki lom, žilavi lom, granica tečenja, kritična deformacija i potrebni stupanj deformacija.

Dimenzioniranje proizvoda se može provesti na tri temeljna načina, ovisno o provođenju naprezanja i deformacija i to: empirijskim, analitičkim ili numeričkim metodama.

### **3.2.4. Oblikovanje otpreska [1]**

Na temelju sustavne analize injekcijskog prešanja polimera konstrukcijski oblik otpreska ne ovisi samo u njegovoj funkciji, već i o uvjetima upotrebe, a posebice o uvjetima proizvodnje. To je jedno od bitnih obilježja i specifičnosti polimernih proizvoda. S obzirom na to konstrukcijsko oblikovanje sadrži funkcijsko, proizvodno i uporabno oblikovanje. Tako se dimenzioniranje može označiti kao funkcijsko oblikovanje jer se provodi s obzirom na temeljnu tehničku funkciju proizvoda.

#### **3.2.4.1. Proizvodno oblikovanje otpreska [1]**

Proizvodno oblikovanje jest oblikovanje s obzirom na predviđene postupke proizvodnje (u radu oblikovanje s obzirom na postupak injekcijskog prešanja). Na temelju toga treba se držati pravila oblikovanja s obzirom na postupak injekcijskog prešanja koja su:

- postići što tanje stjenke te izbjegavati veće planplanarne površine,
- rebrasta ukrućenja oblikovati s obzirom na zahtjeve postupka preradbe,
- izbjegavati oštre rubove i bridove te podreze,
- izbjegavati nagle prijelaze u debljinama stjenki te gomilanje masa,
- osigurati potrebna skošenja u smjeru vađenja otpreska iz kalupne šupljine.

#### *3.2.4.2. Uporabno oblikovanje otpreska [1]*

Uporabno oblikovanje jest oblikovanje s obzirom na upotrebu, odnosno zahtjeve u vezi s upotrebom otpreska. Neki od zahtjeva kod uporabnog oblikovanja otpreska su: estetsko i ergonomijsko oblikovanje, oblikovanje s obzirom na mogućnost ispitivanja, mogućnost održavanja, te oblikovanje s obzirom na sigurnost, pouzdanost i trajnost.

### **3.3. Završne aktivnosti konstruiranja [1]**

Završne aktivnosti konstruiranja otpreska svode se na analizu trajnosti i pouzdanosti otpreska. Za analizu otpreska potrebni su crteži i datoteka geometrijskog oblika otpresak kao i lista otpreska.

#### *3.3.1. Analiza trajnosti i pouzdanosti otpreska*

Nužno je na temelju prethodno provedenih koraka pri razvoju otpreska procijeniti njegovu trajnost (uz poznata opterećenja pri uporabi), te analizirati da li predviđena trajnost zadovoljava predviđenu uporabu otpreska.

Proučavanje pouzdanosti temelji se na analizi prošlih događaja, na temelju kojih treba predvidjeti buduće. Te podatke moguće je dobiti samo tijekom uporabe sustava. Ukupni troškovi jednog sustava sastoje se od dva dijela. Prvi dio čine troškovi konstruiranja i proizvodnje. Pogonski troškovi, troškovi održavanja i popravaka čine drugi dio troškova.

#### *3.3.2. Lista otpreska*

Tijekom rada na razvoju otpreska konstruktor otpreska mora riješiti mnoge zadatke. Mora izraditi koncept otpreska u smislu određivanja njegova funkcionalnog oblika, odrediti polimerni materijal, odrediti svojstva i dimenzije otpreska, analizirati troškove, te preispitati estetski, ergonomski, montažni i ostale oblike otpreska.

Pri rješavanju tih zadataka nužna je suradnja s dizajnerom, automatičarom, ergonomičarom, montažerom, konstruktorom odnosno projektantom kalupa, proizvodnim inženjerom (tehnologom proizvodnje), proizvođačem materijala i komercijalistom.

Rad konstruktora otpreska treba konačno biti crtež otpreska popraćen listom otpreska, obrascima koji sadrže sve nužne podatke za ispravno projektiranje kalupa, odnosno proizvodne linije. Iz sheme na slici 2.1 uočava se još jedno važno područje za kojeg je uspješno izvođenje nužna lista otpreska uz crtež otpreska. To područje je provjera tehničnosti otpreska.

Lista otpreska jest obrazac koji sadrži opće podatke o otpresku, odabranom polimernom materijalu, izmjenama otpreska, tolerancijama, svojstvima otpreska, uvjetima njegove uporabe, umetku, pripremi za injekcijsko prešanje, te naknadnoj i završnoj obradi otpreska.

## 4. INJEKCIJSKO PREŠANJE

Injekcijsko prešanje polimera je najvažniji ciklički postupak praoblikovanja ubrizgavanjem tvari potrebne smične viskoznosti u temperiranu kalupnu šupljinu. [3] Otpresak hlađenjem postaje pogodan za vađenje iz kalupne šupljine. [2] Otpresci mogu biti različitih veličina i stupnjeva kompliciranosti, pri čemu se ostvaruje visoka dimenzijska stabilnost. Tim se postupkom u jednom ciklusu od tvari ili materijala dobiva se otpresak koja se najčešće može rabiti odmah ili uz malu naknadnu obradu. [4], a zbog visokog stupnja automatiziranosti sustava omogućena je neprekinuta proizvodnja. Postupak omogućuje proizvodnju otpresake u više boja, kombinacije krutog i savitljivog dijela otpreska, integralne pjenaste tvorevine itd.

Za ostvarivanje injekcijskog prešanja plastomera potreban je sustav za injekcijsko prešanje plastomera koji se sastoji od nužne i dopunske opreme. Pod nužnom opremom ubrajaju se ubrizgavalica, kalup i temperiralo, dok dopunsku opremu predstavlja oprema za manipulaciju materijalom i otprescima. [2] Iako se većina injekcijskog prešanja odnosi na konvencionalne procese injekcijskog prešanja, postupke injekcijskog prešanja tvari moguće je podijeliti prema različitim kriterijima. Postoje nekoliko važnih varijacija injekcijskog prešanja, uključujući [3]:

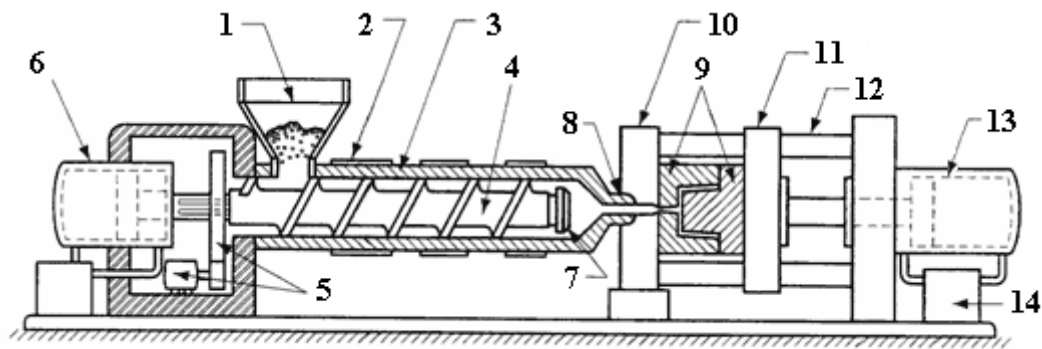
- nereakcijsko injekcijsko prešanje,
- višekomponentno injekcijsko prešanje,
- injekcijsko povezivanje,
- injekcijsko ukrašavanje,
- injekcijsko prešanje šupljikavih otpresaka.

U radu su prikazane posebnosti postupka injekcijskog prešanja tankostjenih otpresaka, koji pripada nereakcijskom injekcijskom prešanju.

### 4.1. Elementi sustava za injekcijsko prešanje

Osnovni elementi sustava za injekcijsko prešanje su ubrizgavalica, kalup i temperiralo, a dopunska oprema je oprema za manipulaciju materijalom i otprescima.





Slika 4.1 Sustav za injekcijsko prešanje [5]

Na slici 4.1 prikazani su: 1 lijevak za polimerni granulat, 2 grijala, 3 cilindar za taljenje, 4 pužni vijak, 5 pogonski motor s brzinama, 6 jedinica za ubrizgavanje, 7 nepovratni ventil, 8 mlaznica, 9 kalup, 10 nepomična stezna ploča, 11 pomična stezna ploča, 12 priječnica, 13 potisna motka, 14 jedinica za otvaranje/zatvaranje kalupa

#### 4.1.1. *Ubrizgavalica*

Ubrizgavalica je element koji mora ostvariti više funkcija, a to su [6]:

- priprema taljevine za ubrizgavanje,
- ubrizgavanje taljevine u kalup,
- otvaranje i zatvaranje kalupa,
- vađenje otpreska.

Ubrizgavalica se smatra univerzalnim elementom sustava, što znači da se s njome, unutar njezinih zadanih izmjera i kapaciteta, može izrađivati beskonačan broj različitih otpresaka. Svaka ubrizgavalica sastoji se od četiri jedinice, a to su [4]:

- jedinica za pripremu i ubrizgavanje taljevine,
- jedinica za zatvaranje kalupa,
- pogonska jedinica,
- jedinica za vođenje procesa i reguliranje.

#### 4.1.1.1. *Jedinica za pripremu i ubrizgavanje taljevine*

Jedinica za pripremu taljevine i ubrizgavanje se može smatrati osnovnim dijelom ubrizgavalice. Njeni su glavni zadaci plastificiranje plastomera radi postizanja potrebne smične viskoznosti, a time i sposobnosti tečenja, a zatim da se približno jednolično zagrijana taljevina velikom brzinom, što znači djelovanjem visokog tlaka, ubrizga u kalupnu šupljinu. [7] Svaka jedinica za ubrizgavanje sastoji se od dva osnovna elementa, a to su: cilindar za taljenje i element za ubrizgavanje, pužni vijak ili ranije klip. Zadatak pužnog vijka jest prihvatiti polimernu smjesu u obliku granulata ili praha, uvući ga u cilindar za taljenje i transportirati do sabirnice. Pri tome je važno osigurati da se granulati konstantno i nesmetano uvlače u cilindar radi održavanja ponovljivosti ciklusa preradbe. Cilindar za taljenje na kraju ima mlaznicu čiji je zadatak spojiti ubrizgavalicu i kalup te omogućiti dovoljno veliku brzinu i protok taljevine. [4]

#### 4.1.1.2. *Jedinica za zatvaranje kalupa [7]*

Jedinice za zatvaranje kalupa imaju zadaću dovođenja u dodir pomičnog i nepomičnog dijela kalupa, te njihovog održavanja u dodiru tijekom ubrizgavanja i djelovanja naknadnog pritiska, otvaranje kalupa, te vađenje otpreska iz kalupne šupljine. Zatvaranje kalupa može se ostvariti izravno jednim ili sa više hidrauličkih cilindara, mehaničkim ili električnim sustavima.

#### 4.1.1.3. *Pogonska jedinica [4]*

Pogonske jedinice daju pogonsku energiju jedinicama za ubrizgavanje i jedinicama za zatvaranje kalupa koje mogu biti električne, hidrauličke i mehaničke.

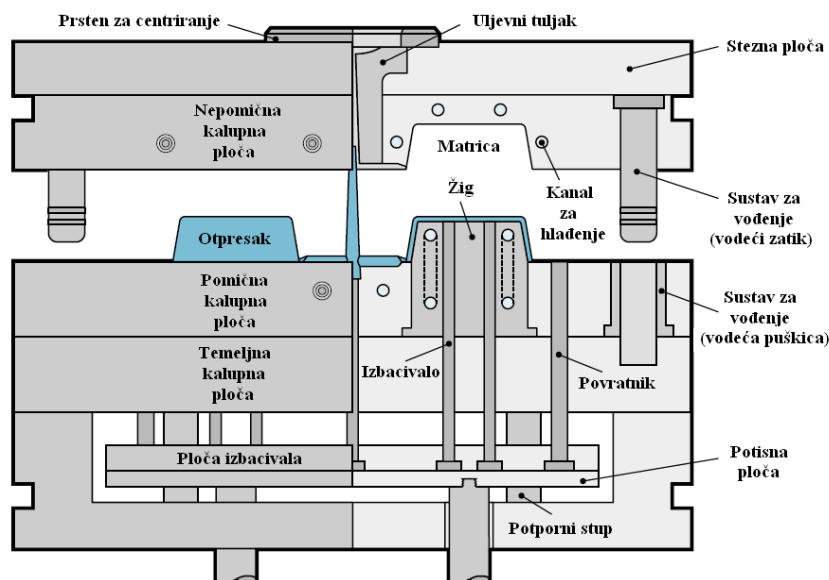
#### 4.1.1.4. *Jedinica za vođenje [4]*

Jedinice za vođenje upravljaju i reguliraju ubrizgavalicom, u nekim slučajevima i kalupom i uređajem za temperiranje.

### 4.1.2. **Kalup**

Kalup za injekcijsko prešanje polimera je središnji element linije za injekcijsko prešanje polimera. To je kompliciran sustav zbog postojanja većeg broja elemenata, te kompleksan zbog većeg broja relacija među elementima. Oblikovanje strukture kalupa postiže se oblikovanjem elemenata od kojih se kalup sastoji. [7]

Pri tome se teži što većoj funkcijskoj kompleksnosti uz što manju strukturnu kompleksnost kalupa. To znači da se teži ispunjavanju što većeg broja funkcija kalupa pri to manjem broju elemenata koji čine strukturu kalupa. Slika 4.2 prikazuje osnovne dijelove kalupa za injekcijsko prešanje. [7]



Slika 4.2 Kalup za injekcijsko prešanje [8]

Osnovni zadatci kalupa su prihvaćanje taljevine pripremljene u ubrizgavalici, snižavanjem temperature taljevine njeno očvršćivanje u željeni oblik otpreska te ciklički rad sustava za injekcijsko prešanje. Osnovni elementi kalupa su: kalupna šupljina, uljevni sustav, kućište kalupa, sustav za temperiranje kalupa, sustav za vađenje otpresaka iz kalupa, sustav za vođenje i centriranje elemenata kalupa, sustav za odzračivanje kalupa. [4]

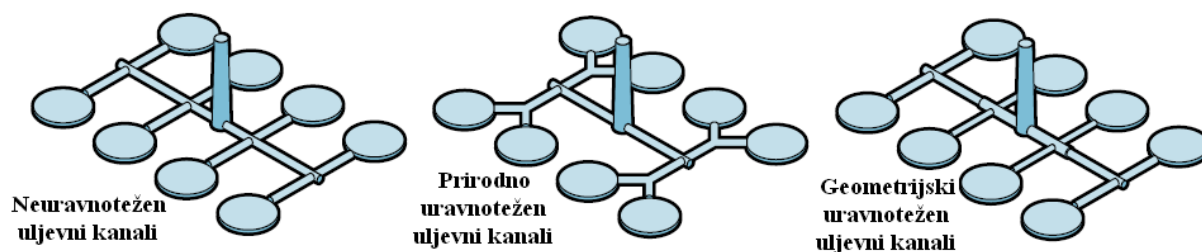
#### 4.1.2.1. Uljevni sustav

Elementi kalupa koji ispunjavaju parcijalnu funkciju razdjeljivanja plastomerne taljevine na određeni broj kalupnih šupljina u literaturi se nazivaju skupnim imenom uljevni sustav kalupa. Obzirom na vrstu, uljevni sustav se može sastojati iz nekoliko različitih dijelova, no gotovo svi uljevni sustavi završavaju ušćem prema kalupnoj šupljini. Ušće, dakle, predstavlja povezujući element kalupa između uljavnog sustava i kalupne šupljine. Utjecaj broja, položaja, oblika (vrste) i izmjera ušća na parametre preradbe (injekcijskog prešanja), konstrukciju kalupa i uporabna svojstva otpreska vrlo je velik, pa stoga valja konstrukciji ušća u kalupima posvetiti posebnu pozornost. [7]

Kod kalupa za injekcijsko prešanje razlikuju se tri temeljne vrste uljernih sustava: čvrsti (hladni) uljevni sustav i kapljeviti (vrući) uljevni sustav, te njihova kombinacija. Dodatno, pri čvrstom uljevnom sustavu moguće je načiniti daljnju podjelu prema vrsti ušća, dok se vrući uljevni sustavi razlikuje prema načinu zagrijavanja pojedinih elemenata sustava i prema vrsti ušća na vrućim mlaznicama. Pri tome, svaki uljevni sustav treba zadovoljiti kriterije koje postavljaju otpresak, vrsta plastomerne taljevine, ubrizgavalica i konstrukcija kalupa.

Mlaznica ubrizgavalice i kalupne šupljine s obličjem otpreska povezane su kanalima različitih dimenzija i oblika. Svi ti otvori između mlaznice ubrizgavalice i kalupne šupljine čine uljevnu šupljinu. Općenito, očvrnuti materijal u uljevnoj šupljini naziva se uljevni sustav. [7]

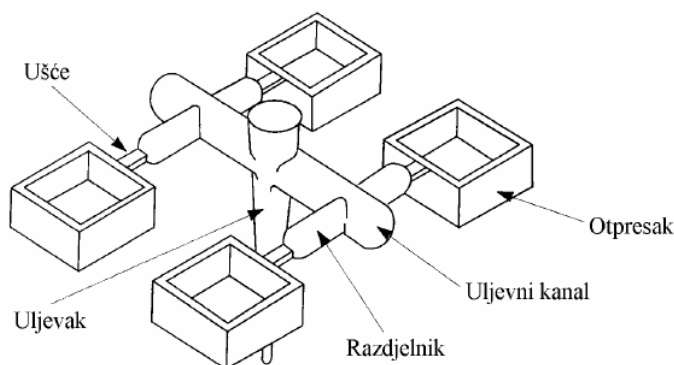
Raspored uljernih kanala, koji se susreće i primjenjuje u praksi može se prema načinu popunjavanja kalupnih šupljina svrstati u dvije osnovne skupine kao neuravnoteženi ili uravnoteženi uljevni kanali. Stoga pri definiranju rasporeda kalupnih šupljina treba težiti što kraćem i ujednačenom putu od uljevka do svake kalupne šupljine. Kod neuravnoteženih uljernih kanala putovi tečenja taljevine od uljevka do svih kalupnih šupljina nisu jednaki što dovodi do neistodobnog popunjavanja kalupnih šupljina. [9] Posljedica toga je nejednolikog temperiranja otpreska što uzrokuje različito stezanje plastomerne taljevine, nejednolike izmjere i različita uporabna svojstva otpreska. [7] Kod uravnoteženih kanala jednaka je udaljenost svih kalupnih šupljina od uljevka i istodobno se popunjavaju sve kalupne šupljine [9], dok se u kalupima gdje se ne može postići ujednačeni put tečenja do svih kalupnih šupljina taj nedostatak može umanjiti geometrijskim uravnoteženjem uljernih sustava [7], slika 4.3.



Slika 4.3 Uljevni kanali [8]

#### 4.1.2.2. Hladni uljevni sustav [7]

Hladni (čvrsti) uljevni sustavi se sastoje od jednog ili više uljernih kanala koji povezani omogućuju brzo, lakše i laminarnije provođenje plastomerne taljevine do kalupne šupljine. Uljevni sustav sastoji se od uljevka, uljernog kanala, razdjelnog kanala, ušća i zdenca. On povezuje mlaznicu ubrizgavalice i kalupnu šupljinu kanalima različitih dimenzija i oblika. slika 4.4.



**Slika 4.4 Hladni uljevni sustav (grozd) [2]**

Nedostatak ovog postupka je to da se sa svakim ciklusom troši materijal na uljevni sustav koji se ili baca u otpad, ili regranulira i ponovo koriste u mješavini sa novim materijalom.

Usprkos nedostacima, ima i mnogo prednosti hladnog uljernog sustava. Konstrukcija kalupa je vrlo jednostavna i mnogo jeftinija od vrućeg uljernog sustava. Kalup zahtjeva manje održavanja i manje vještine za sklapanje, postavljanje i održavanje. Promjene boje su vrlo jednostavne pošto se sav polimer iz kalupa izbacuje sa otpreskom.

#### 4.1.2.3. Vrući uljevni sustav [7]

Trendovi na tržištu injekcijski prešanih proizvoda nalažu proizvodnju uz što manje gubitaka, odnosno proizvodnju sa što manje otpada. Vrući uljevni sustavi omogućavaju da se na dijelu od mlaznice ubrizgavalice do kalupne šupljine izgubi što manje plastomernog materijala.

Uporaba ovih sustava predstavlja prednost posebice pri izradbi vrlo malih otpresaka, jer u tom slučaju količina materijala u uljernom sustavu može predstavljati veliki udio ukupno ubrizgane plastomerne taljevine.

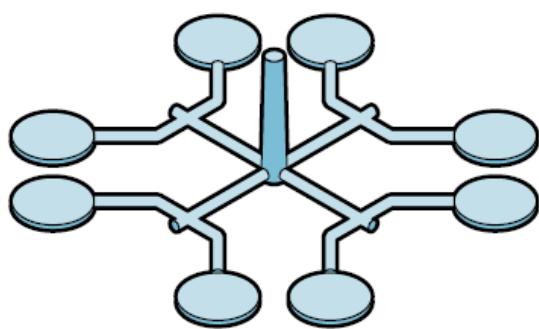
Pri preradbi velikih otpresaka, obično se rabe dugački uljevni kanali, što pri uporabi čvrstog uljavnog sustava predstavlja veće gubitke plastomernog materijala. Vrući uljevni sustavi zahtijevaju dulje vrijeme konstruiranja i izradbe kalupa, te više troškove izradbe od kalupa s čvrstim uljevnim sustavom. S druge strane, cijena izradbe otpresaka u kalupima s vrućim uljevnim sustavom znatno je snižena. Uporabom vrućih uljavnih sustava omogućuje se i bolje tečenje taljevine kroz uljevni sustav, čime se omogućuje minimiranje debljine stjenke sa stajališta tečenja. Otpresci izrađeni u kalupima s vrućim uljevnim sustavima ne zahtijevaju naknadnu obradbu odvajanjem otpresaka od uljavnog sustava, a otisak ušća sveden je na vrlo malu površinu. Pri izboru vrućeg uljavnog sustava, potrebno je poznavati neke od prednosti i nedostataka uporabe ovog sustava u odnosu na čvrsti uljevni sustav, što je prikazano u tablici 4.1.

**Tablica 4.1 Gospodarske i tehničke prednosti i nedostaci vrućih uljavnih sustava [7]**

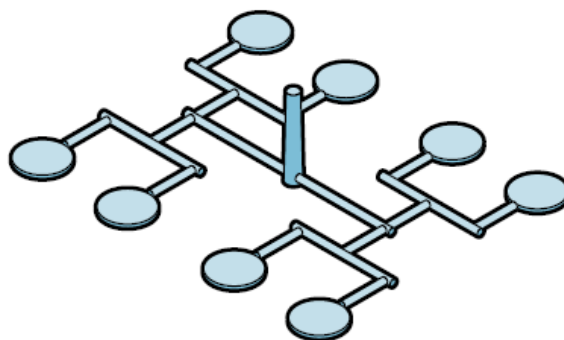
Prednosti	Nedostaci
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ušteda materijala i manji troškovi preradbe (nema otpada)</li> <li>- ušteda energije (moguća preradba pri nižim temperaturama)</li> <li>- kraće vrijeme ubrizgavanja</li> <li>- nema negativnog utjecaja grozda na vrijeme hlađenja otpreska</li> <li>- kraće vrijeme vađenja otpreska iz kalupa</li> <li>- kraći ciklus injekcijskog prešanja</li> <li>- manje opterećenje ubrizgavalice</li> <li>- uporaba standardnih elemenata kalupa</li> <li>- povišenje kvalitete otpresaka</li> <li>- nema potrebe za naknadnim odvajanjem uljavnog sustava od otpreska</li> <li>- moguće ostvariti dulji put tečenja taljevine</li> <li>- jednostavnija je automatizacija ciklusa injekcijskog prešanja</li> <li>- manji pad tlaka u uljevnom sustavu</li> <li>- moguće podesiti dulje djelovanje naknadnog pritiska (manje stezanje)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dulje vrijeme konstruiranja kalupa</li> <li>- dulje vrijeme izradbe kalupa</li> <li>- viša cijena kalupa</li> <li>- potrebno je školovano i osposobljeno osoblje</li> <li>- veća vjerojatnost zastoja u radu kalupa</li> <li>- potrebno je dodatno usklađivanje vrućih elemenata temperaturnim regulatorom</li> <li>- dodatni uređaji osjetljiviji su na neispravno rukovanje</li> <li>- smanjena mogućnost brtvljenja uljavnog sustava</li> <li>- poteškoće u odvajanju toplijeg i hladnijeg dijela kalupa</li> <li>- lošija izmjena topline u kalupu</li> <li>- opasnost od toplinske razgradnje plastomerne taljevine</li> <li>- opasnost od nejednolikog punjenja kalupnih šupljina zbog lošeg temperiranja kalupa</li> <li>- nemogućnost upravljanja tijekom tlaka u području ušća</li> </ul>

#### 4.1.2.4. Kalupna šupljina

Kalupna šupljina je definirana kao prostor kojeg zatvaraju pomični i nepomični dijelovi kalupa. Oblik kalupne šupljine je identičan obliku otpreska, a izmjere su joj uvećane za iznos stezanja plastomernog materijala kojeg se prerađuje. Na temelju broja kalupnih šupljina kalupe je moguće podijeliti na kalupe s jednom kalupnom šupljinom i kalupe s više kalupnih šupljina. Pri tome, kalupi s više kalupnih šupljina mogu biti namijenjeni izradbi jedne vrste otpresaka ili izradbi više vrsta otpresaka istovremeno (kalup s različitim kalupnim šupljinama). Nakon određivanja broja kalupnih šupljina potrebno je definirati njihov pravilan raspored. [7] Slika prikazuje pravilni raspored kalupnih šupljina u zvjezdastom i rednom obliku. Zvjezdasti raspored se primjenjuje kod manjeg broja malih otpresaka, a povećanje broja otpresaka i/ili veličine otpresaka efikasniji je redni raspored, slika 4.5. [8]



Zvjezdasti raspored kalupnih šupljina



Redni raspored kalupnih šupljina

Slika 4.5 Raspored kalupnih šupljina [8]

Osnovna pravila pri definiranju rasporeda kalupnih šupljina su: [7]

- ostvarenje optimalnog rasporeda kalupnih šupljina radi postizanja minimalnih izmjera kalupa,
- osiguranje pravilnog rasporeda kalupnih šupljina radi simetričnosti zatvaranja kalupa.

Osnovna pravila za konstruiranje uljevnih kanala [9]:

- trebaju biti što kraći, a promjene smjera kretanja što manje,
- put taljevine do svake kalupne šupljine treba biti isti,
- na dugačkim kanalima treba izvesti produžetke za prihvat hladne taljevine,
- presjek uljevnih kanala mora biti proporcionalan uljevku.

Teži se za takvim rasporedom kalupnih šupljina kojim će se najbolje iskoristiti korisni obujam kalupa, s time da putovi tečenja do svih kalupnih šupljina budu ujednačeni i što kraći, kako bi se osigurao što manji otpad materijala zbog uljevnog sustava (u slučaju čvrstog uljevnog sustava). Iz zahtjeva na kvalitetu otpresaka, izravno proizlaze zahtjevi na kvalitetu kalupne šupljine.

#### 4.1.2.5. Kućište kalupa [7]

Kućište kalupa kao cjelina ispunjava tri parcijalne funkcije: povezivanje dijelova kalupa, pričvršćivanje kalupa na ubrizgavalicu i prihvaćanje i prijenos sila.

Kućište kalupa je slog ploča koji zajedno čine noseću konstrukciju kalupa. U njemu su ugrađeni žigovi, matrice i ostali dijelovi sklopova neophodnih za dobro i ispravno funkcioniranje kalupa. Na oblik i konstrukcijsku izvedbu kućišta najveći utjecaj imaju oblik i izmjere otpreska, njihova predviđena količina proizvodnje, te predviđeni stupanj automatiziranosti rada kalupa. Pri izboru materijala kućišta kalupa potrebno je izabrati najkvalitetnije raspoložive materijale koji će udovoljiti postavljenim zahtjevima (mogućnost obradbe, toplinska, mehanička i kemijska postojanost, i sl.).

Kalup se dijeli na pomični i nepomični dio. Nepomični dio kalupa nalazi se na strani jedinice za ubrizgavanje taljevine u kalup, dok se pomični dio kalupa nalazi na strani jedinice za otvaranje i zatvaranje kalupa. Linija (površina) koja dijeli te dvije polovice kalupa naziva se sljubnicom. Uglavnom se izrađuju kalupi s jednom sljubnicom, no nisu rijetki kalupi s više sljubnica. Tada se govori o glavnoj i pomoćnim sljubnicama.

Jedan od kriterija pri izradbi kalupa je i samo kućište, tj. vrsta kućišta. Kriterij svrstavanja u skupine prema vrsti kućišta je različitost načina vađenja otpresaka iz kalupa i vrste uljevnog sustava. Budući da je unutar svake skupine moguće razlikovati cijeli niz kalupa prema upotrijebljenim konstrukcijskim rješenjima pojedinih elemenata, potrebno je uvesti dodatne kriterije. Za oznaku vrste kućišta kalupa predviđena je jedna znamenka. Na temelju analize i pregleda postojećih standardnih kućišta kalupa za injekcijsko prešanje plastomera, moguće je načiniti grubu sistematizaciju kućišta kalup: pravokutna kućišta, okrugla kućišta, kućišta s postranim otvaranjem kalupnih ploča, kućišta sa školjkastim kalupnim pločama, posebna kućišta.



#### 4.1.2.6. Sustav za vađenje otpreska iz kalupne šupljine [7]

Sustav za vađenje otpreska iz kalupa obavlja parcijalnu funkciju otvaranja kalupa i vađenja otpreska iz kalupne šupljine. Pri tome on treba udovoljiti sljedećim zahtjevima:

- vađenje otpresaka bez oštećivanja,
- ostavljanje što je moguće manje vidljivih otisaka na otpresku,
- jednoliko vađenje otpresaka,
- pravilno postavljeni i koordinacija elementi za vađenje otpresaka.

Na temelju analize postojećih poznatih sustava i načina njihovog funkcioniranja, svi se sustavi za vađenje otpreska mogu podijeliti u one koji su sustavni dio kalupa (elementi kalupa) i u one koji djeluju izvan kalupa kao dio dopunske opreme (manipulatori, roboti ili ručno vađenje otpreska). Prema načinu djelovanja sustavi za vađenje otpresaka mogu se podijeliti na: mehaničke, pneumatske, hidrauličke i mješovite. Kod kalupa za injekcijsko prešanje plastomera danas se najčešće upotrebljavaju sustavi s mehaničkim načinom vađenja, a rjeđe ostali načini kod posebnih otpresaka ili posebnih konstrukcija kalupa.

#### 4.1.2.7. Sustav za vođenje i centriranje elemenata kalupa [7]

Kako bi se osiguralo točno nalijeganje jednog dijela kalupa na drugi, rabe se različiti sustavi za vođenje i centriranje elemenata kalupa. Pri tome valja razlikovati vanjsko i unutrašnje centriranje.

Vanjsko centriranje kalupa potrebno je radi točno g pozicioniranja kalupa na nosače kalupa ubrizgavalice, a izvodi se pomoću prstena za centriranje, odnosno razdijeljenog prstena za centriranje u slučaju kada na steznim pločama kalupa postoji izolacija. Prsten za centriranje omogućuje lako postavljanje kalupa na ubrizgavalicu, tako da se od uljevnog tuljca kalupa i os mlaznice ubrizgavalice podudaraju.

Sustav za unutrašnje vođenje i centriranje kalupa služi za vođenje i centriranje kalupnih ploča i ostalih elemenata kalupa pri otvaranju i zatvaranju kalupa, a najčešće se sastoji od vodeće puškice, vodećeg zatika i centrirne puškice.

### **4.1.3. Temperiralo [7]**

Sustav za temperiranje uljevne šupljine kalupa i kalupne šupljine ispunjava parcijalnu funkciju reguliranja temperature u kalupnoj i uljevnoj šupljini. Pod temperiranjem se podrazumijeva postizanje propisane temperature stjenke kalupne šupljine, a način njena postizanja ovisi o stvarnim uvjetima, što dovodi do potrebe zagrijavanja ili hlađenja kalupa.

Pravilna izmjena topline u kalupu odlučujuće utječe na uspješno odvijanje i trajanje ciklusa injekcijskog prešanja. Osnovno načelo, koje određuje uspješnost preradbe plastomera injekcijskim prešanjem je optimiranje temperaturne razlike između temperature taljevine i temperature stjenke kalupne šupljine. Sa stajališta kvalitete otpresaka poželjno je da razlika između tih temperatura bude što manja, a proizvodnost zahtjeva što veću temperaturnu razliku.

Općenito moguće je razlikovati predtlačno i podtlačno temperiranje kalupa. Obzirom na elemente sustava za temperiranje razlikuju se:

- temperiranje s pomoću medija za temperiranje,
- elektrootporno temperiranje,
- indukcijsko temperiranje,
- poluvodičko temperiranje.

Pri kalupima za injekcijsko prešanje plastomera najčešće se rabi temperiranje s pomoću medija. Na izbor medija i opreme za temperiranje utječu potrebna svojstva otpreska i željena proizvodnost. Potrebna temperatura stjenke kalupne šupljine posredna je veličina, koja određuje brzinu i temperaturu medija.

## **4.2. Faze injekcijskog prešanja**

Injekcijsko prešanje plastomera dinamički je, nelinearni proces koji se sastoji od 4 temeljne faze: pripreme plastomerne taljevine (plastificiranja), punjenja kalupne šupljine, djelovanja naknadnog tlaka i vađenja otpreska iz kalupne šupljine. [2]

#### **4.2.1. Priprema taljevine (plastificiranje) [4]**

Plastomeri u čvrstom stanju, u obliku granula, dobavljaju se uvlačnoj zoni pužnog vijka koji ih zahvaća i potiskuje prema naprijed. Toplina potrebna za postizanje potrebne smične viskoznosti plastomerne taljevine dovodi se grijalima, medijem za temperiranje i pretvaranjem mehaničkog rada trenja pužnog vijka u toplinsku energiju uslijed smicanja materijala duž površine pužnog vijka i stjenke cilindra.

Vrtnjom pužnog vijka pri plastificiranju čvrsti se plastomer transportira prema sabirnici. Pritom se kao posljedica javlja sila reakcije na pužni vijak, koja ga nastoji pomaknuti prema natrag. Zbog toga je potrebno u hidrauličkom cilindru ubrizgavalice ostvariti usporni pritisak. Veličina uspornog pritiska podešava se na upravljačkom uređaju ubrizgavalice. Povišenjem uspornog pritiska mora se povisiti i frekvencija vrtnje pužnog vijka, što rezultira povišenjem temperature taljevine i skraćanjem ciklusa.

#### **4.2.2. Ubrizgavanje taljevine u kalupnu šupljinu**

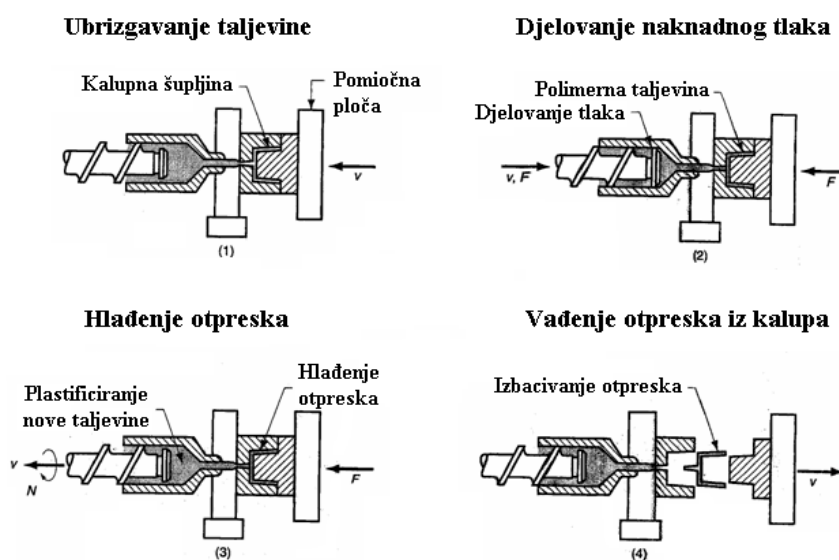
Kada se u sabirnici pripremi dovoljno plastomerne taljevine, rotacija pužnog vijka se zaustavlja. [2] Prije nego započne ubrizgavanje pripremljene taljevine u zatvoreni kalup, potrebno je primaknuti mlaznicu jedinice za pripremu taljevine i ubrizgavanje tako da nalegne na otvor uljevnog tuljca kalupa. Pužni vijak u toj fazi djeluje kao klip, te aksijalnim pomicanjem prema naprijed ubrizgava taljevinu u kalupnu šupljinu. Tijekom ubrizgavanja pužnom se vijku mora blokiranjem spriječiti vrtnja. [4]

#### **4.2.3. Djelovanje naknadnog tlaka [2,4]**

Završetkom ubrizgavanja, kad su sve kalupne šupljine po mogućnosti istodobno popunjene, snižava se pritisak ubrizgavanja na naknadni pritisak. Pritisak ubrizgavanja definira se kao omjer sile ubrizgavanja i ploštine pužnog vijka u smjeru ubrizgavanja. Naknadni pritisak sprječava povratak taljevine iz kalupa i nastoji se nadoknaditi stezanje materijala. Pri injekcijskom prešanju plastomera naknadni pritisak djeluje do trenutka kad se spojno mjesto između kalupne šupljine i uljevnog sustava, ušće, toliko hladi i očvrsne da više nije moguć protok taljevine, nakon čega tlak u kalupnoj šupljini pada na okolišni tlak. Nakon isteka naknadnog pritiska, pužni vijak se ponovno počinje okretati i uvlačiti plastomer u uvlačnu zonu cilindra za teljenje pripremajući taljevinu za sljedeći ciklus. Sljedeća operacija je vraćanje jedinice za ubrizgavanje u početni položaj.

#### 4.2.4. Hlađenje i vađenje otpreska iz kalupne šupljine

U trenutku očvršćivanja ušće otpresak poprima svoj konačni oblik u kalupu, no temperatura otpreska je još uvijek previsoka da bi se otpresak mogao sigurno izvaditi iz kalupne šupljine. Stoga je otpresaku potrebno osigurati nužno vrijeme hlađenja do postizanja temperature postojanosti oblika. [2] Vrijeme hlađenja plastomernog otpreska i vrijeme očvršćivanja plastomernog otpreska često je dulje od vremena držanja naknadnog pritiska, pripreme taljevine i vraćanja jedinice za ubrizgavanje. Zato je tijekom dopunskog vremena hlađenja ili očvršćivanja jedinica za pripremu taljevine i ubrizgavanje zaustavljena, čekajući početak slijedećeg ciklusa. [4] Nakon što otpresak dovoljno očvrstne za sigurno vađenje iz kalupne šupljine, nastupa faza vađenja grozda (otpresaka i uljevnog sustava) iz kalupne šupljine. [2] Slika 4.6 prikazuje navedene faze injeksijskog prešanja plastomernog otpreska.



Slika 4.6 Ciklus injeksijskog prešanja plastomernog otpreska [5]

## 5. TANKOSTJENO INJEKCIJSKO PREŠANJE

Tankostjeno injekcijsko prešanje je proces injekcijskog prešanja sa specifičnim parametrima kao što su visoke brzine ubrizgavanja i visoki tlakovi ubrizgavanja. Takvi uvjeti bitno sužuju raspon optimalnih parametara preradbe, te zahtijevaju posebne materijale, preciznije strojeve i pažljivije vođenje procesa injekcijskog prešanja. Unatoč tome, postupci tankostjenog injekcijskog prešanja postaju sve važnijima uslijed ekonomičnosti (ušteda materijala, kratki ciklusi) i rastućeg tržišta tankostjenih proizvoda, te trendovima na tim tržištima.

### 5.1. Definiranje pojma tankostjenih proizvoda

Postupak injekcijskog prešanja tankostjenih plastomernih proizvoda u pravilu se ne razlikuje od klasičnog postupka injekcijskoga prešanja plastomernih taljevina. [10] Kod tankostjenog injekcijskog prešanja plastomernih otpresaka dolazi do izražaja oblik, odnosno debljina stjenke otpreska. Debljina stjenke izravno utječe na uvjete preradbe, izbor ubrizgavalice i temperirala. Postoje dva osnovna kriterija podjele: prema debljini stjenke i prema omjeru puta tečenja i debljini stjenke. Nekoć je konvencionalno bilo definirano da debljina stjenke za tankostjeno injekcijsko prešanje ne smije prelaziti 1 mm ukoliko je površina otpreska najmanje 50 cm<sup>2</sup> ili da je omjer duljine toka taljevine i debljine stjenke otpreska veći od 100 ili 150. No, s obzirom da svaki polimerni materijal posjeduje vlastita svojstva tečenja, teško je govoriti o konvencionalnoj granici tankostjenog injekcijskog prešanja ne uzimajući u obzir svojstva pojedinih polimernih materijala. Tablica 5.1 prikazuje omjere debljine i duljine toka taljevine nekih polimernih materijala, pri čijim vrijednostima se smatra da počinje tankostjeno injekcijsko prešanje. [11]

**Tablica 5.1 Omjer debljine i duljine toka taljevine tankostjenog injekcijskog prešanja [11]**

Materijal	Omjer debljine i duljine toka taljevine
ABS	1:170
SAN	1:120
PA	1:150
PC	1:100
PE-HD	1:225
PE-LD	1:275
PP	1:250
PMMA	1:130
POM	1:150
PS	1:200

## 5.2. Izbor materijala

Pri razvoju tankostjenoga proizvoda, od ideje do prototipa, jedan od kritičnih koraka je izbor materijala. Pogrešan materijal može značiti neuspjeh proizvoda na tržištu ili stvoriti velike teškoće tijekom proizvodnje. Materijal se izabire izlučivanjem (eliminacijom). Na osnovi traženih uporabnih svojstava otpreska izabire se materijal koji optimalno zadovoljava postavljene zahtjeve proizvodnih svojstva materijala i uporabna svojstva otpreska. To zahtijeva detaljno poznavanje karakteristika materijala i njegovoga ponašanja u okolini za koju je namijenjen otpresak. Zadatak je tim teži što u bazama podataka postoji gotovo 30 tisuća tipova plastičnih materijala. [10]

Debljina stjenke otpreska i zahtjevi koji se postavljaju na materijal tog otpreska obrnuto su proporcionalne veličine. To znači što je tanja stjenka to su zahtijevane vrijednosti pojedinih svojstava materijala više. Materijali iz skupine plastomera koji se rabe za tankostjeno injekcijsko prešanje odlikuju se visokim vrijednostima žilavosti, čvrstoće, zadovoljavajuće postojanosti pri povišenoj temperaturi i dimenzijske točnosti i preciznosti. Uz to, bitna su i njihova preradbena svojstva. [2]

## 5.3. Uvjeti preradbe

Za tankostjeno injekcijsko prešanje plastomernih otpresaka svojstveno je usko polje preradbenih parametara. Uz uvjet da su otpresak i kalup optimirani za tankostjeno prešanje, još uvijek postoje poteškoće pri određivanju svojstvenih veličina. Za izradbu tankostjenih otpresaka mogu se iskoristiti vrijednosti preporučenih temperatura stjenke kalupne šupljine i polimerne taljevine kao i kod klasičnih postupaka. Razlika je samo u tome da se kod tankostjenih otpresaka izabiru vrijednosti bliže gornjoj granici temperaturnoga polja u svrhu smanjenja potrebnoga tlaka ubrizgavanja. [10]

Pri tankostjenom injekcijskom prešanju obujam ubrizgavanja smanjen je u usporedbi s klasičnim otprescima. Na taj način se smanjuje vrijeme boravka taljevine u cilindru za taljenje čime se izbjegava nepotrebno pregrijavanje materijala i opasnost od razgradnje materijala. Uslijed visokih brzina ubrizgavanja i visokih smičnih brzina, orijentacija molekula tankostjenih otpresaka je jače izražena. Kako bi se minimiralo anizotropno stezanje tankostjenih otpresaka, važno je ostvariti optimalno stlačivanje taljevine u kalupnoj šupljini.

Prekomjerno zadržavanje taljevine u cilindru za taljenje, previsoke temperature taljevine ili preveliko smicanje potrebno je izbjegavati radi sprječavanja degradacije materijala. [2] Kako bi se izbjeglo prijevremeno očvršćivanje polimerne taljevine poželjne su velike brzine ubrizgavanja i izuzetno visok tlak ubrizgavanja (2 000 – 2 500 bar). Zbog tanke stijenke otpreska, hlađenje je brzo. Kombinacija brzog hlađenja i visoke brzine taljevine (kratko vrijeme punjenja kalupne šupljine) značajno smanjuje vrijeme ciklusa. [12]

Već prije spomenuti, visoki tlak ubrizgavanja uzrokuje da ubrizgavalice rade na svojim gornjim granicama tehničkih mogućnosti. Stoga je kod ovog postupka potrebno posvetiti posebnu pažnju preradbenim parametrima, a i samomu izboru ubrizgavalica za tankostjeno injekcijsko prešanje. Pri ubrizgavanju taljevine hod pužnoga vijka treba biti u optimalnom području od jednoga do tri promjera pužnoga vijka. U protivnome može doći do degradacije polimernoga materijala zbog dugoga vremena provedenoga u cilindru pri visokoj temperaturi. Posljedica toga je uporaba ubrizgavalica koje nisu standardnih karakteristika, te su znatno skuplje.

#### **5.4. Ubrizgavalica za tankostjeno injekcijsko prešanje [10]**

Velike brzine ubrizgavanja koje moraju postići ubrizgavalice za tankostjeno injekcijsko prešanje osiguravaju da taljevina ne očvrsne prije nego se ispuni cijela kalupna šupljina. Ubrizgavalice sa silom držanja kalupa manjom od 1 500 kN postižu brzine ubrizgavanja u vrijednostima oko 100 mm/s. Moguća su tri načina povećanja brzine ubrizgavanja:

- izborom pumpe većeg kapaciteta,
- rekonstrukcijom i izborom opreme s promjenljivim promjerom cilindra za ubrizgavanje,
- dodavanjem tlačnoga akumulatora.

Brzina i protok ubrizgavanja karakteristične su veličine ubrizgavalice koje pokazuju može li se neka ubrizgavalica rabiti za tankostjeno injekcijsko prešanje. Obje veličine, ili jedna od njih redovito se nalaze na popisu karakteristika koje daje proizvođač strojeva, no pri usporedbi ubrizgavalica pravilnije je kao kriterij koristiti brzinu ubrizgavanja jer ona ne ovisi o promjeru pužnog vijka.

U svrhu povećanja brzine ubrizgavanja pojedini proizvođači ubrizgavalica povećavaju snagu hidraulične pumpe. Veća pumpa zahtijeva i veći pogonski motor kako ne bi došlo do njegova preopterećenja.

Rekonstrukcijom ubrizgavalice preusmjerava se radni medij iz stražnjeg dijela cilindra u prednji, čime se ubrzava gibanje klipa. Kod ubrizgavalica se regeneracija, odnosno rekonstrukcija često rabi za ubrzavanje zatvaranja kalupa. Drugi način uporabe regeneracije je za optimiranje brzine ubrizgavanja. Kod tih ubrizgavalica postoji mogućnost i isključenja funkcije regeneracije. Postupkom regeneracije obično se postiže rast brzine ubrizgavanja do 60 %.

Postupak promjenljive veličine cilindra za ubrizgavanje temeljen je na sličnim načelima kao i regeneracija. Na račun sniženja tlaka ubrizgavanja povećava se brzina ubrizgavanja. Međutim, za razliku od regeneracije, postupak promjenljive veličine cilindra ima veći broj različitih kombinacija, a samim time i izbor većeg broja brzina ubrizgavanja. Uporabom triju različitih veličina cilindra dobije se sedam mogućih kombinacija. Primjena toga postupka ovisi o tome zadovoljava li kombinacija vrijednosti brzine ubrizgavanja i tlaka ubrizgavanja potrebe tankostjenog injekcijskog prešanja.

Za povećanje brzine ubrizgavanja najčešće se rabi tlačni akumulator. Za razliku od regeneracije i postupka promjenljive veličine cilindra za ubrizgavanje, kod akumulatora ne dolazi do sniženja tlaka ubrizgavanja na račun rasta brzine ubrizgavanja. Tijekom faze hlađenja otpreska, kada nema gibanja dijelova ubrizgavalice, tok radnoga medija iz pumpe puni akumulator stlačenim radnim medijem. Tako pohranjena tlačna energija oslobađa se tijekom ubrizgavanja. Moguće je i upotreba odvojene pumpe kojoj je zadatak punjenje akumulatora radnim medijem. Pri ubrizgavanju dolazi do sjedinjavanja tokova iz pumpe i iz akumulatora u jedan kombinirani tok.

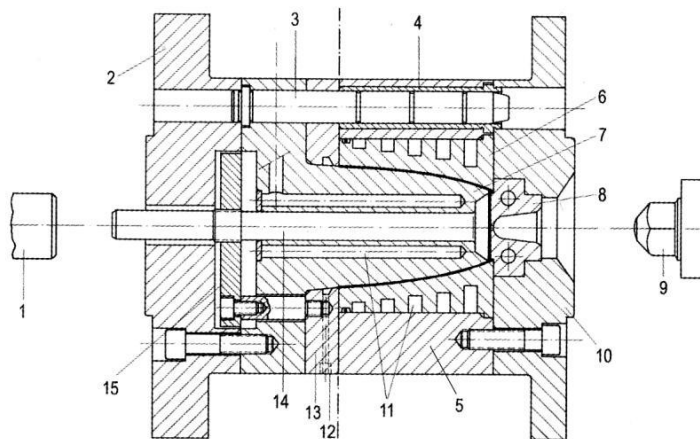
### **5.5. Kalup za tankostjeno injekcijsko prešanje**

Pri konstruiranju kalupa za tankostjeno injekcijsko prešanje treba imati na umu dvije vrlo važne činjenice. Tlak ubrizgavanja taljevine, a samim time i tlak u kalupnoj šupljini mogu biti vrlo visoki, isto kao i brzina ubrizgavanja, odnosno brzina cijelog procesa može biti vrlo brza. Ta dva parametra mogu izazvati savijanje ploča kalupa i dovesti do odvajanje pomičnog od nepomičnog dijela kalupa što će uzrokovati pogreške na otpresku.

Zbog toga u tankostjenom injekcijskom prešanju odlučujući faktori, o kojima ovisi vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja, su čvrstoća kalupa, sustav za izbacivanje, vrsta i raspored ušća i kanala za temperiranje.[10] Kako se kod injekcijskog prešanja radi o velikim ili masovnim serijama mala ušteda na vremenu ciklusa može ostvariti veliki ekonomski učinak. [13]



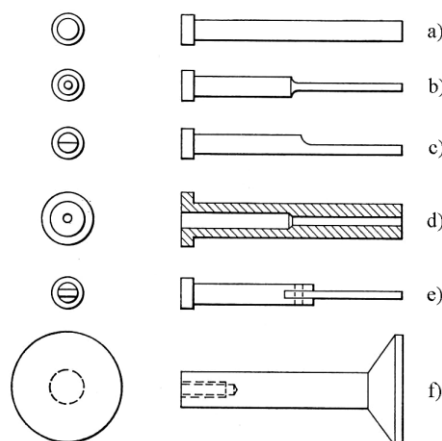
Zbog viših vrijednosti tlakova u kalupnoj šupljini kalup treba biti krući i čvršći od klasičnih. Velike brzine ubrizgavanja mogu dovesti do pojačanoga trošenja stjenki kalupne šupljine, stoga treba uzeti u obzir pri konstruiranju kalupa i izbor odgovarajućeg materijala za dijelove u dodiru s taljevinom. Smanjenje dimenzija otpreska i zahtijevana povišena preciznost i točnost otpreska također utječu na konstrukciju kalupa. Problemi zbog deformiranja kalupa, odzračivanja kalupne šupljine, nužne uporabe specijalnih materijala za izradbu dijelova kalupne šupljine, problema sa sastavom za izbacivanje otpresaka, izbora pravilne vrste uljavnog sustava, broja i rasporeda ušća, kanala i medija za temperiranje bitno produljuju vrijeme izradbe kalupa i povisuju njegovu cijenu. Na slici 5.1 je prikazan presjek kalupa za tankostjeno injekcijsko prešanje.



**Slika 5.1 Kalup za tankostjeno injekcijsko prešanje [14]**

Pravilni izbor vrste uljavnog sustava i sam položaj kalupnih šupljina bitno utječu na pravilno punjenje kalupne šupljine i na vrijednost skupljanja. Broj ušća određuje e za svaki otpresak posebno. Veći broj ušća znači i niži tlak ubrizgavanja. Ušća treba tako smjestiti da se izbjegne nejednoliko punjenje kalupnih šupljina i neujednačenost toka taljevine zbog koje nastaje linija spoja u otpresku. Naime, zbog visokoga tlaka ubrizgavanja kod tankostjenih otpresaka nejednolikost punjenja i poteškoće koje iz toga proizlaze dolaze još više do izražaja. Kod otpresaka koji imaju stjenke različitih debljina problemi najranije nastaju kod najtanjih stjenki. Sa stajališta punjenja kalupne šupljine poželjno je da ušća imaju što je mogući veći presjek. Time se izbjegava nepotpuno punjenje kalupa. Uporabom vrućih uljavnih sustava omogućuje se i bolje tečenje taljevine kroz uljevni sustav, čime se debljina stjenke smanjuje na najmanju moguću mjeru sa stajališta tečenja (radi postizanja odgovarajuće popunjenosti kalupne šupljine). Otpresci izrađeni u kalupima s vrućim uljavnim sustavima ne zahtijevaju naknadnu obradbu nakon odvajanja otpresaka od uljavnog sustava.

Potrebno je koristiti više izbacivala zbog smanjene krutosti i uske grupiranosti otpresaka kako ne bi došlo do njihovog oštećivanja. [10] Postoje različiti oblici izbacivala za izbacivanje otpresaka iz kalupa, te se svaki odabire kao optimalno rješenje za pojedinu vrstu otpresaka, slika 5.2.



**Slika 5.2 Oblici izbacivala [17]**

Na slici 5.2 prikazani su oblici izbacivala: a) štapičasto, b) stanjeno, c) D-oblik, d) oblik puškice, e) nožasto, f) tanjurasto izbacivalo

Kako bi se izbjegnula deformacija otpreska obično se koriste izbacivala većeg promjera. Stoga pri izbacivanju tankostjenih otpresaka treba voditi računa o promjeru štapičastog izbacivala, jer on izravno utječe na nosivu površinu izbacivala. Ukoliko je površina izbacivala premala, uslijed sile izbacivanja, moguće je oštećenje otpreska.

Štapičasti oblik izbacivala je najčešći i najjednostavniji način izbacivanja otpreska, ali ne preporuča se za izbacivanje kutijastih oblika otpresaka zbog mogućih grešaka. Stanjeni oblik izbacivala koristi se za podupiranje izbacivanja otpreska iz kalupne šupljine i to na izdancima ili rebrima na otpresku. Duljina stanjenog dijela izbacivala treba biti što manja. D – oblik izbacivala se koristi prvenstveno za tankostjene kutijaste otpreske. Glavna prednost ovog oblika izbacivala je u tome što je povećana efektivna površina izbacivanja. Izbacivala u obliku puškice se koriste općenito za cilindrične oblike otpresaka ili izdanaka otpresaka. Unutar izbacivala moguće je postaviti jezgru koja može služiti kao jezgra za otpresak. Nožasta izbacivala se koriste za izbacivanje tankostjenih otpresaka ili izdanaka (poput rebara) na otpresku. Odabirom tih izbacivala dobiva se velika površina izbacivanja. Tanjurasti oblik izbacivala se koristi kada postoji velika ravna površina na otpresku koja omogućuje tanjurastom izbacivalu da iskoristi veliku površinu izbacivanja. [15]

## 5.6. Greške kod injekcijskog prešanja

Kod postupka injekcijskog prešanja rješenjem jednog problema može se izazvati pojava drugih problema, stoga se kod svake promjene treba uzeti u obzir sve relevantne aspekte konstrukcije kalupa. [16]

### 5.6.1. *Srh (eng. Flash)* [16]

Srh se pojavljuje kada tanki sloj materijala izađe iz kalupne šupljine na sljubnici ili mjestu izbacivala. Taj dio materijala ostaje pričvršćen za otpresak i uobičajeno se mora ručno otkloniti, slika 5.3.



**Slika 5.3 Srh na otpresku [17]**

Uzroci:

- Istrošenost ili loše zatvaranje (pozicioniranje) kalupnih ploča, kao i deformacija ploča.
- Nedovoljna sila zatvaranja kalupa. Sila zatvaranja kalupa mora biti veća od sile koju proizvodi tlak pri prešanju otpreska.
- Suboptimalni uvjeti kalupljenja kao što su niska viskoznost taljevine, brzina ubrizgavanja i konstrukcija uljevnog sustava te slabo otplinjavanje kalupne šupljine.

Koraci poboljšanja:

- Osigurati pravilno pozicioniranje (brtvljenje) kalupnih ploča, u slučaju deformacija dodati potporni stup ili povećati debljinu kalupnih ploča.
- Koristiti ubrizgavalicu s većom silom zatvaranja. Smanjiti tlak i količinu ubrizgavanja na minimalnu potrebnu vrijednost. Optimirati uvjete preradbe.
- Izbjegavati prenapunjenost otpreska i osigurati propisno otplinjavanje kalupne šupljine.

### 5.6.2. *Nepotpunost otpreska (eng. Short shot) [16]*

Nepotpuno punjenje kalupne šupljine uzrokuje očvršćivanje toka taljevine prije nego što se sve šupljine kalupa popune.

Uzroci:

- Suženje toka zbog skrućivanja uljevnog kanala ili loše konstrukcije kanala.
- Zbog predugog ili složenog puta tečenja.
- Zbog lošeg otplinjavanja zarobljeni zrak može uzrokovati nepotpunost otpreska.
- Niska temperatura taljevine i/ili kalupa, te premalo materijala u kalupnoj šupljini.
- Kvar ubrizgavalice što uključuje prazan lijevak za materijal ili istrošenost nepovratnog ventila što uzrokuje gubitak tlaka ili propuštanje materijala.

Koraci poboljšanja:

- Kako bi se spriječilo zarobljavanje zraka ta mjesta treba preseliti tako da se omogući njihovo pravilno otplinjavanje ili gdje je to moguće postaviti izbacivalo.
- Povećati temperaturu taljevine i kalupa čime se snižava viskoznost taljevine i olakšava popunjavanje kalupne šupljine.
- Promijeniti geometriju otpreska kako bi se izjednačili putovi tečenja i postiglo istovremeno punjenje svih uz isti tlak.
- Odabrati materijal s manjom viskoznosti (veća tecljivost), stoga će trebati manji tlak kako bi se ispunila kalupna šupljina.

### 5.6.3. *Vitoperenje (eng. Warpage) [16]*

Vitoperenje je posljedica postojanja razlike unutrašnjih naprežanja materijala zbog stezanja. Vitoperenje proizvoda narušava funkcionalnost otpreska.

Uzroci:

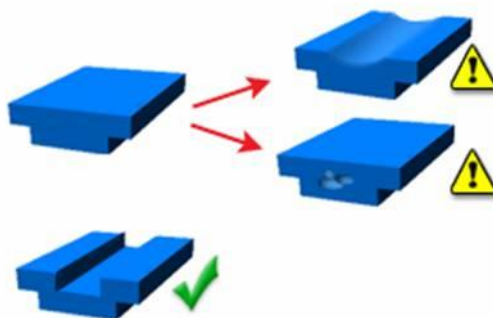
- Nejednoliko hlađenje uzrokuje temperaturne razlike u kalupu što dovodi do različitog skrućivanja i stezanja dijela otpreska stvarajući unutarnja naprežanja.
- Nejednoliko stezanje uzrokuje:
  - varijacijama u materijalu ( razlika u razini vlage, temperaturi i pigmentaciji)
  - varijacija u preradbi (nejednoliki protok i temperatura taljevine i kalupa)

Koraci poboljšanja:

- Smanjiti razliku stezanja i efekta orijentiranosti. Postaviti ušće za jednosmjerni tok i promijeniti geometriju (smanjiti debljinu stjenke) otpreska.
- Smanjiti temperaturu taljevine, ali produljiti vrijeme djelovanja naknadnog tlaka i hlađenja.
- Dodati rebrasta ojačanja na konstrukciju otpreska.
- Ako nije moguće drugačije, promijeniti materijal.

#### 5.6.4. Uleknuća i usahline (eng. Sink marks i Voids) [16]

Uleknuća i usahline uzrokovane su lokaliziranim stezanje materijala kod debljeg presjeka bez naknadnog nadomještanja materijala, slika 5.4.



Slika 5.4 Uleknuća i usahline u otpersku [16]

Uzroci:

- Uleknuća nastaju kao udubine u površini materijala. Te udubine su većinom male, ali dosta vidljive jer reflektiraju drugačije svjetlo od ostatka otpreska. Premda uleknuća na utječu na čvrstoću i funkcionalnost dijela, smatraju se ozbiljnom greškom u kvaliteti.
- Usahline su rupe zatvorene u otpresku. To može biti jedna rupa ili grupa manjih rupica. Usahline nastaju kada se vanjski sloj površine dijela dovoljno očvrstne da se odupre sili stezanja materijala i stvaranju uleknuća. Umjesto toga steže se jezgra materijala što stvara šupljine u dijelu. Usahline mogu imati značaj utjecaj na strukturu otpreska.
- To su lokalizirane pojave jer se pojavljuju kod debljeg presjeka u otpresku kao što su rebra i unutarnja zaobljenja. Također mogu nastati i zbog: ranog skrućivanja ušća ili niskog naknadnog tlaka, kratkog djelovanja naknadnog tlaka ili kratkog vremena hlađenja.

Koraci poboljšavanja:

- Optimirati djelovanje naknadnog tlaka uz sniženje temperature taljevine i kalupa.
- Premjestiti ušća u problematična područja tako da se deblji presjeci prije popune od tanjih.
- Promijeniti geometriju otpreska ili promijeniti materija.

#### **5.6.5. Izgorine (eng. Burn marks) [16]**

Izgorine su male, tamne ili crne točke na površini dijela nastale degradacijom materijala.

Uzroci:

- Zarobljeni zrak u otpresku se može adijabatski komprimirati, te zbog temperature uzrokovati degradaciju materijala.
- Izgorina može biti uzrokovana i prevelikom brzinom ubrizgavanja taljevine, predugog vremena boravka taljevine u cilindru ili previsoke temperature taljenja.

Koraci poboljšanja:

- Kako bi se spriječilo zarobljavanje zraka ta mjesta treba preseliti tako da se omogući njihovo pravilno otplinjavanje ili gdje je to moguće postaviti izbacivalo.
- Optimiranjem konstrukcije uljevnog sustava, tako da se izbjegnu suženja koja mogu dovesti do pretjeranog zagrijavanja taljevine uslijed smičnog naprezanja i njene degradacije.
- Odabrati ubrizgavalicu s manjim volumenom ubrizgavanja ili zamijeniti pužni vijak.
- Optimirati temperaturu taljenja, brzinu okretanja pužnog vijka i brzinu ubrizgavanja.

#### **5.6.6. Stezanje otpreska (eng. Shrinkage) [16]**

Stezanje je posljedica promjene temperature polimera od temperature taljevine do sobne temperature. tj. skrućivanja otpreska.

Uzroci:

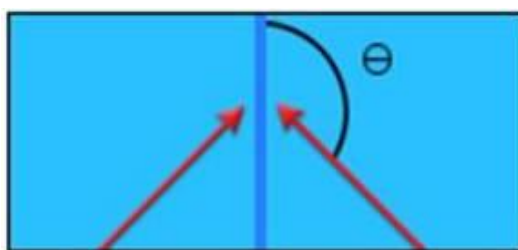
- Stezanje je nepoželjna pojava, ali može uzrokovati i ostale negativne promjene kao npr. vitoperenje.
- Velika debljina stjenke i prekratko trajanje naknadnog tlaka mogu doprinijeti stezanju otpreska.

Koraci poboljšanja:

- kako bi se stezanje smanjilo može se mijenjati konstrukcija otpreska (smanjenje debljine stijene), konstrukcije kalupa (pozicija ušća) ili uvjeti preradbe (povećati naknadni tlak).

#### 5.6.7. Linija spajanja (eng. *Weld i Meld lines*) (Linija zavora i mješanja) [16]

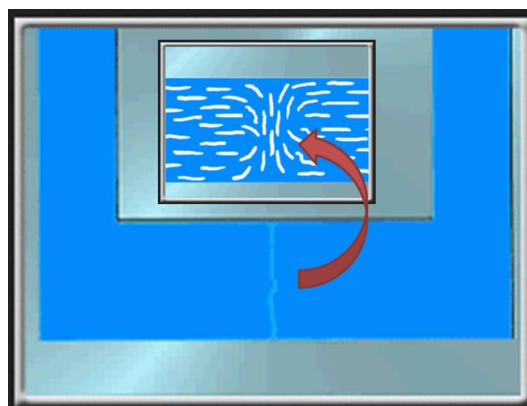
Linija spajanja na plastičnim otprescima mogu uzrokovati strukturne probleme i biti vizualno neprihvatljivi. Razlika između linije zavora i mješanja određena je kutom između dviju konvergirajućih fronti toka. Na slici 5.5, mjesto spoja dviju fronti prikazano je strelicama. Ako je kut  $\theta$  veći od  $135^\circ$  nastaje linija mješanja, ako je kut  $\theta$  manji od  $135^\circ$  nastaje linija zavora.



Slika 5.5 Spajanje dviju fronti tokova [16]

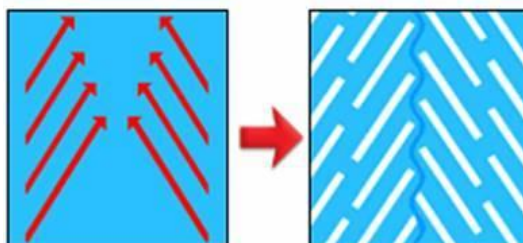
Uzroci:

- Linija zavora nastaje kada se tanki sloj očvrstnutog polimera na čelima dviju fronti toka spoje, te se zbog topline toka ponovo rastale, a tokovi spoje uzrokujući promjenu u orijentaciji molekula u tom području. Zbog razlike u orijentiranosti molekula na mjestu spoja čvrstoća dijela je smanjena. Na slici 5.6 bijele crtice predstavljaju orijentaciju molekula polimera.



Slika 5.6 Linija zavora na otpresku [16]

- Linija miješanja nastaje kada se dvije fronte toka pomiješaju zajedno. Tada je orijentacija polimernih molekula ujednačenija nego kod linije zavora. Na slici 5.7 crvene strelice predstavljaju smjer toka materijala, a bijele crtice orijentaciju molekula polimera. Linije miješanja manje utječu na čvrstoću i manje su vidljive.



Slika 5.7 Linija miješanja na otpresku [16]

Koraci poboljšanja:

- Ako se ne može izbjeći pojava linije spajanja, linije treba pozicionirati na najmanje osjetljiva područja. Potrebno je izbjeći pojavu linija na opterećenim površinama ili površinama koje moraju biti glatke. Premještanje se vrši promjenom lokacije ušća ili promjenom debljine stjenke kako bi se ostvarilo različito vrijeme punjenja. Zbog razlike u punjenju, fronte tokova će se premjestiti na drugo mjesto. Također povećati temperaturu taljevine i kalupa.

#### 5.6.8. Listanje površine (eng. *Surface delamination*) [16]

Listanje površine je pogreška otpreska kada se površina može guliti po slojevima.

Uzroci:

- Visoko smično naprezanje, te nekompatibilni materijali u taljevini.
- Pretjerana uporaba sredstva za odvajanje otpreska od kalupa.
- Previsoka razina vlage koja se zagrijavanjem pretvara u paru i uzrokuje listanje površine.
- Degradacija materijala koja može biti uzrokovana prevelikom brzinom ubrizgavanja, predugačkim vremenom čekanja materijala u cilindru ili predugačkim vremenom taljenja.
- Također loša konstrukcija pužnog vijak i uljevnog sustava može dovesti do degradacije materijala.



Koraci poboljšanja:

- Smanjiti smična naprezanja i razinu vlage u materijalu.
- Smanjiti količinu regranulata i izbjegavati onečišćenja u materijalu.

#### 5.6.9. „Riblje oko“ (eng. *Fish eye*) [16]

Riblje oko je površinska pogreška koja nastaje kada se nerastaljeni materijal ubrizga u kalup sa strujom taljevine i ostane na površini otpreska, slika 5.8.



Slika 5.8 „Riblje oko“ na otpresku [16]

Uzroci:

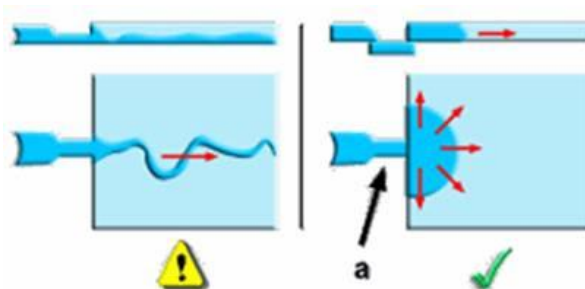
- Ako je temperatura taljenja preniska da posve rastali materijal, nerastaljeni granulat će se spojiti s tokom taljevine i pojaviti na površini otpreska.
- Također zbog prevelike količine regranulata u materijalu koji je drugačijeg oblika i dimenzija od originalnog materijala, moguće je veće zahvaćanje zraka što uzrokuje nejednoliko miješanje materijala.

Koraci poboljšanja:

- Smanjiti količinu korištenog regranulata, optimirati temperaturu taljenja i promijeniti konstrukciju puža.

### 5.6.10. Trag ubrizgavanja (eng. *Jetting*) [16]

Trag ubrizgavanja se pojavljuje kada se taljevina ubrizga velikom brzinom kroz ušće u kalupnu šupljinu stvarajući zmijoliki trag mlaza. Naknadnim uspostavljanjem toka kalupna šupljina se popunjava i stvara liniju spoja s prvotnim mlazom. Taj spoj dovodi do oslabljenja otpreska, površinskih mrlja i multipliciranja unutarnjih grešaka, slika 5.9.



Slika 5.9 Trag ubrizgavanja na otpresku [16]

Uzroci:

- Prevelika brzina potiska puža, loša pozicija ušća, loša konstrukcija vrućeg uljavnog sustava.

Koraci poboljšanja:

- Optimirati položaj i konstrukciju ušća, koristiti lepezasto ušće kako bi se usporila taljevina.
- Optimirati brzinu potiskivanja puža, tako da je brzina fronte kroz ušće spora, a nakon uspostavljanja šire fronte ubrzava.

### 5.6.11. Mjehuričavost (eng. *Bubbles i Silver streaks*) (unutrašnja i vanjska) [17]

Kada se vodena para i nusprodukti plinova pomiješaju s taljevinom materijala, te ubrizgaju u kalupnu šupljinu nastaje unutarnja mjehuričavost. U usporedbi s usahlinama, rupice su manje i učestalije. Ako se vodena para i plinovi izdvoje iz materijala u kalupu, tada oni odvajaju tok materijala i stjenku kalupne šupljine i nastaje površinska mjehuričavost.

Uzroci:

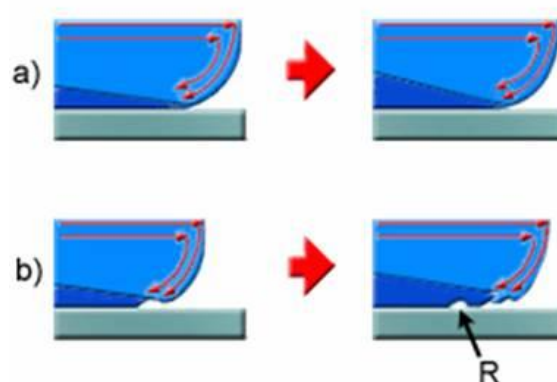
- Zbog povišene razine vlage i visoke temperature taljevine razvijaju se plinovi.
- Velika brzina ubrizgavanja i loše otplinjavanje kalupne šupljine.

Koraci poboljšavanja:

- Smanjiti razinu vlage u materijalu i osigurati otplinjavanje kalupne šupljine.
- Smanjiti brzinu ubrizgavanja, te sniziti temperaturu taljevine uz povećanje djelovanja naknadnog tlaka.
- Povećati temperaturu kalupa, ali produljiti vrijeme hlađenja.

### 5.6.12. Linije tečenja (eng. Flow lines) [16]

Trag tečenja ili vijenac je površinska greška kod koje se pojavljuju kružni valovi u blizini ušća. Valovi slični otisku prsta pojavljuju se blizu ruba ili na kraju linije tečenja, slika 5.10.



Slika 5.10 Linije tečenja na otpresku [16]

Uzroci:

- Djelomično očvrstnut materijala blizu ušća zbog niske temperature taljevine i kalupa te male brzine potiska puža ulazi u kalupnu šupljinu i poprima oblik uzorka tečenja.

Koraci poboljšanja:

- Optimirati konstrukciju uljevnog sustava tako da hladan materijal ne završi u kalupnoj šupljini izradom produžetka za prihvat hladne taljevine.
- Povećati temperaturu taljevine i kalupa, te optimirati djelovanje naknadnog tlaka.

## 6. USPOREDBA POSTUPAKA PROIZVODNJE AMBALAŽE

Toplo oblikovanje najčešći je postupak preoblikovanja polimera kojim se teži postizanje potrebnog oblika, pri čemu su očuvane fizičke veze među molekulama. Za toplo oblikovanje prikladni su mnogi plastomeri. Filmovi, folije ili ploče isječene iz ekstrudiranih ili kalandriranih trakova ili svitaka služe kao pripremci za toplo oblikovanje.

Osnovni parametri postupka toplog oblikovanja su temperatura preoblikovanja i stupanj preoblikovanja. Stupanj preoblikovanja je omjer izmjera izratka i početnih izmjera priprema, pri čemu se pod izmjerom podrazumijeva debljina stjenke, površina, duljina i širina traka.

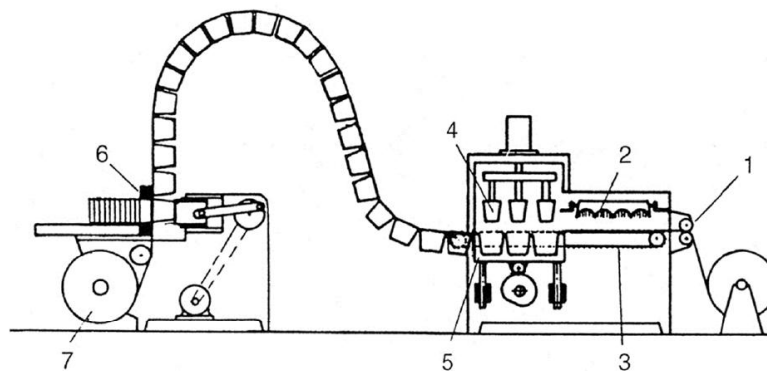
Temperatura preoblikovanja označuje radnu temperaturu priprema na početku procesa preoblikovanja. Ovisi o vrsti plastomera, potrebnom stupnju preoblikovanja i postupku toplog oblikovanja. Optimalna temperatura preoblikovanja jest ona pri kojoj je čvrstoća priprema najniža, a deformabilnost najviša. To je karakteristika gumastog stanja. Pripremak se prevodi u gumasto stanje zagrijavanjem, najčešće obasjavanjem infracrvenim zrakama ili dodirrom sa zagrijanim dijelom uređaja. Međutim, taj se nepotrebn gubitak energije nastoji izbjeći, pa se još neohlađeni trak nastoji izravno dovesti do linije za toplo oblikovanje.

Dva su osnovna oblika kalupa namijenjenih toplom oblikovanju. Pripremak se obično oblikuje preko žiga ili matrice (gnijezda). U nekim slučajevima pripremak se oblikuje između žiga i matrice što se naziva dvodijelnim kalupljenjem, ili mehaničkim djelovanjem pomoću žiga.

Zagrijavanje priprema provodi se jednim od tri uobičajena načina. Dodirnim zagrijavanjem gdje se grijaća ploča stavlja iznad priprema. Taj se postupak rabi samo za posebno područje toplog oblikovanja. Ploče se zagrijavaju u pećima prisilnim strujanjem vrućeg zraka. Folije se uobičajeno zagrijavaju prolazom između grijalica s infracrvenim zračenjem. Temperatura grijaćeg tijela određuje se na temelju optimalne količine topline potrebne za zagrijavanje priprema u jedinici vremena. Trajanje ciklusa grijanja ovisi o vrsti plastomera, njegovoj debljini i boji.

Postupci toplog oblikovanja dijele se u četiri skupine: savijanje, pritiskanje, razvlačenje i mješoviti postupci. A prema metodi oblikovanja na: oblikovanje podtlakom, oblikovanje predtlakom, mehaničko oblikovanje i mješoviti postupci. [2]

Potrebnu opremu za toplo oblikovanje čine oblikovalica, kalup i temperiralo. Oblikovalica mora osigurati ove funkcije: učvršćenje priprema u okvir, njegovo zagrijavanje i dovođenje u vezu s kalupom te njegovo oblikovanje stlačenim i/ili isanim zrakom. Oblikovalice su stoga opremljene grijalima, sustavom za dovođenje priprema u dodir s kalupom te brtvljenje, uređajem za mijenjanje položaja kalupa, ulazak žiga u priprema ili navlačenje priprema na žig, sustavom za podtlak i stlačeni zrak, sustavom za temperiranje oblikovalice te zaštitnim uređajima. Osnovna konstrukcija rješenja linije za toplo oblikovanje prikazana se na slici 6.1.



**Slika 6.1 Izvedba oblikovalice s odvojenim štanjanjem [2]**

Na slici 6.1 na poziciji 1 vrši se uvlačenje folije u oblikovalicu, gdje se ona zagrijava 2 i pomiče transpornom vrpcom 3 do kalupa 5. Nakon oblikovanja u kalupu pomoću žiga za razvlačenje 4, preoblikovana folija se hladi i nakon odrezivanja izratka iz folije na štanci 6, ostatak folije se namotava na kolut. Kalupi za toplo oblikovanje prave se od metala (legura aluminija i silicija, legura cinka i aluminija i čelika), polimera (laminati i polimerne smole najčešće epoksidi), te ostalih materijala gipsa, drva, itd.) Potrebno temperaturno polje u kalupu postiže se uporabom temperirala. Procesi izmjene topline su zamršeni. [2]

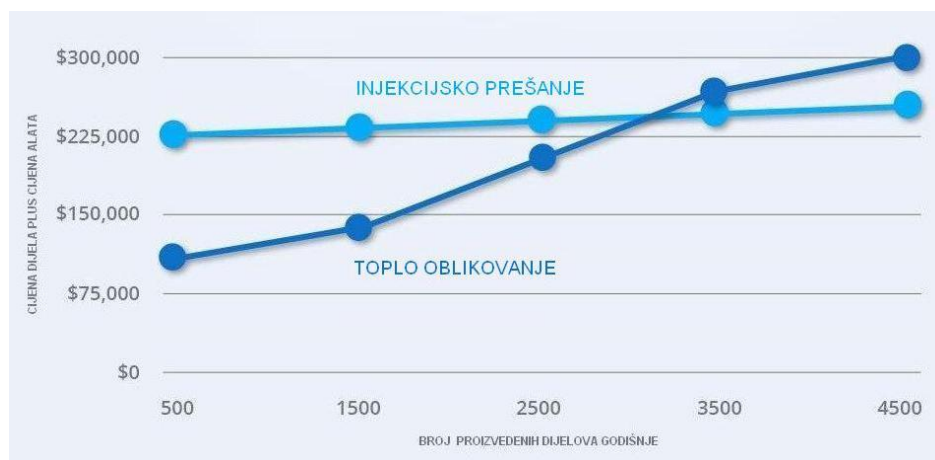
Prednosti toplog oblikovanja pred injekcijskim prešanjem [18]:

- ista kvaliteta izratka kao i kod injekcijskog prešanja,
- brža izradba kalupa,
- niži troškovi izradbe kalupa,
- idealan za manje serije (250 – 3000 komada),
- veliki izbor tekstura, boja i uzoraka,
- mogućnost izradbe velikih dijelova.

Prednosti injekcijskog prešanja pred toplim oblikovanjem [18]:

- visoka kvaliteta otpreska,
- brža izrada otpresaka (visoka produktivnost),
- niži troškovi po proizvodu,
- idealan za velike serije ( 2000+),
- potreban je samo jedan uređaj (ubrizgavalica),
- izradba malih dijelova, kompleksne geometrije,
- izradba otpreska s različitim debljinama stjenke.

Na slici 6.2 je prikazana usporedba troškova za izradbu dijela dimenzija. Mjesto presijecanja pravca varira ovisno o vrsti i dimenzijama dijela tj. projekta, ali obično se pravci sijeku negdje između 2000 i 5000 komada godišnje. Za manje dijelove mjesto presijecanja pravaca je obično niže, a za veće dijelove mjesto presijecanja pravaca je više. [18]



Slika 6.2 Usporedba troškova u ovisnosti o veličini serije [18]

## 7. RAZVOJ TANKOSTJENE AMBALAŽE ZA PREHRAMBENU INDUSTRIJU

Najvažnija zadaća ambalaže je čuvanje sadržaja u njoj, odnosno sprečavanje oštećenja, gubitka i kvarenja sadržaja tijekom transporta, skladištenja i prodaje. Važan zadatak ambalaže je i informiranje potrošača o njenom sadržaju, masi, količini, sastojcima i vijeku trajanja. Ambalaža olakšava transport i skladištenje te omogućava atraktivno predstavljanje proizvoda kojim će se privući pažnju krajnjih korisnika tj. kupaca. [2]

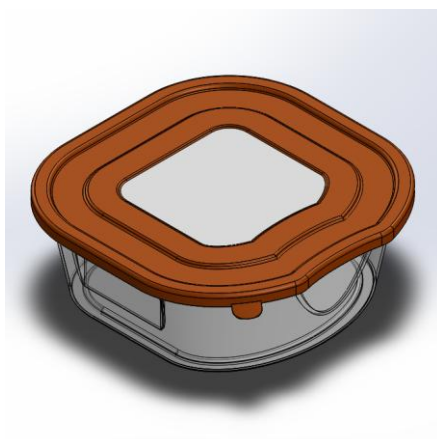
Kod razvoja polimerne ambalaže za prehrambenu industriju, potrebno je obratiti veliku pažnju i provesti sistematizaciju aktivnosti kako bi se odgovorilo na sve zahtjeve koje taj proizvod traži. Tijekom konstruiranja ambalaže nastoji se zadovoljiti estetske, funkcionalne i ergonomske zahtjeve uz što veću jednostavnost oblika proizvoda zbog smanjenja troškova izrade kalupa i samog otpreska. Ergonomske zahtjevi postavljeni na otpresak odnose se prvenstveno na zaobljenost bridova, te meke prijelaze između ploha.

U radu cilj je bio razviti novu ambalažu za postupak tankostjenog injekcijskog prešanja za već postojeći proizvod. Ambalaža tog proizvoda izvedena je toplim oblikovanjem posude od folije debljine 0,8 mm i zatvorena filmom na kojem se nalaze informacije o proizvodu. Za posudu je korištena prozirna plastika kako bi se dao uvid u proizvod i to će biti jedan od uvjeta koji će se zadržati kod razvoja novog proizvoda. Cijelo pakovanje prikazano je slikom 7.1.

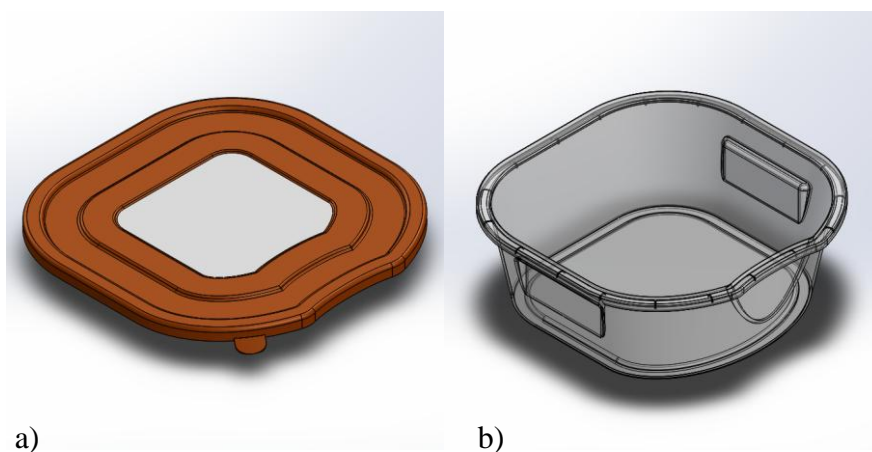


Slika 7.1 Predložak ambalaže [19]

Pridržavajući se smjernica za tehnologijsko konstruiranje proizvoda, konstruirana je posuda i poklopac koji čine ambalažnu cjelinu, slika 7.2. Debljina stjenke ambalaže je po čitavom presjeku 0,8 mm, a posebna pozornost pri konstruiranju posvećena je izbjegavanju mjesta gomilanja mase i oštih bridova. Otpresak je blago skošen kako bi se olakšalo njegovo vađenje iz kalupne šupljine. Utori na bočnim stranama posude oblikovani su tako da omogućuju ergonomično korištenje ambalaže. Vodeći računa pri oblikovanju proizvoda da konstrukcija kalupa bude što jednostavnija, utori i „prozor“ s prednje strane tako su oblikovani da kod izvedbe kalupa nisu potrebni klizajući elementi, tj. nema podreza. Kako ne bi došlo do vitoperenja plohe spoja s donje strane posude konstruirana su rebrasta ojačanja prema konstrukcijskim preporukama danima u literaturi [1]. Na poklopcu kutije, slika 7.3 a), izrađeni su podrezi kako bi se osigurao njegov prihvat i onemogućilo slučajno otvaranje kutije, slika 7.3 b), i kontaminacija sadržaja. Izdanak na poklopcu izrađen je za lakše otvaranje ambalaže, a geometrija gornje strane poklopca omogućuje naslagivanje ambalaže i sprječava klizanje posude po poklopcu.



**Slika 7.2 Posuda s poklopcem**



**Slika 7.3 Ambalaža: a) poklopac, b) posuda**



Kod proizvoda koji se primjenjuje u prehrambenoj industriji pri izboru materijala moraju se zadovoljiti svi uvjeti za taj proizvod uzevši u obzir izabrani postupka izradbe ambalaže, njen izgled, oblik, namjenu i načina uporabe. Većini polimera se u svrhu poboljšanja ili mijenjanja kemijskih, mehaničkih i fizičkih svojstava polimera dodaju se različiti dodatci. Dodatci štite polimere od utjecaja topline, okolišnih uvjeta i starenja i imaju niz drugih korisnih funkcija (antimikrobnu, antistatičku, djeluju kao antioksidanti, apsorbiraju UV zračenje, itd.).








Migracije komponenata i ambalažnog materijala u hranu posljedica su sastava ambalažnog materijala i njegovog potencijalnog utjecaja na kvalitetu i sigurnost zapakirane hrane. Migracija potencijalno toksičnih spojeva iz ambalažnog materijala u hranu od najvažnijeg je značaja pri odabiru i primjeni plastičnih materijala za pakiranje hrane. Također intrinzička svojstva zapakirane hrane (npr. pH, sadržaj masti, miris) mogu utjecati na apsorpcijske karakteristike ambalažnog materijala, a okolišni faktori kao što su temperatura (kod nekih polimera i relativna vlažnost), mogu utjecati na njihova barijerna svojstva. [2]

Iz tablice 7.1 sa oznakama materijala za polimernu ambalažu te opisom njihove najvažnije primjene u ambalaži izabran je polipropilen. Za ambalažu će se koristiti polipropilen tvrtke Borealis zbog optimalne kombinacije svojstava tecljivosti, žilavosti i tvrdoće, slika 7.4.

Naziv materijala	Prerađiva	MFR [g/10 min] PP:230 °C/2.16 kg	Modul elastičnosti [MPa]	Charpy 23°C [kJ/m <sup>2</sup> ]	Charpy -20°C [kJ/m <sup>2</sup> ]	HDT B [°C]	Karakteristike	Tankostijena ambalaža	Kućanske posude
<b>PP heterophasic (block) copolymers</b>									
BH381MO	IM	35	1,700	6.5	3.5	105	BNT, AS	•	•
BH345MO	IM	45	1,400	6	3.5	85	AS, NU	•	•
BH374MO	IM	45	1,500	6	3.5	95	BNT, AS	•	•
BH348MO	IM	50	1,150	10	5	85	BNT, AS	•	•
BJ368MO	IM	70	1,500	5.5	3.5	100	BNT, AS	•	•
<b>BJ380MO</b>	<b>IM</b>	<b>80</b>	<b>1,300</b>	<b>5</b>	<b>3.5</b>	<b>90</b>	<b>CR, AS, NU</b>	<b>•</b>	<b>•</b>
BJ356MO	IM	100	1,600	4	2.5	105	AS, NU	•	•
BJ998MO	IM	100	1,400	5	3	100	BNT, AS	•	•

Slika 7.4 Izbor materijala otpreska [20]

Tablica 7.1 Oznake materijala i njihova primjena u ambalaži [2]

Materijal	Oznaka	Ambalažna primjena
1. PET poli(etilen- tereftalat)	 PET	<b>Ambalaža:</b> boce za bezalkoholna pića i vodu, boce za pivo, spremnici za začine za salatu, ambalaža za kozmetiku, toplinski postojani poslužavnici i filmovi za hranu za uporabu u mikrovalnim pećnicama
2. PE-HD polietilen visoke gustoće	 PE-HD	<b>Ambalaža:</b> vrećice za smeće i maloprodaju, boce za tekući deterdžent i šampon, spremnici za destiliranu vodu, posudice za jogurt i margarin, puhani i lijevani filmovi za pakiranje hrane, čepovi za boce
3. PVC poli(vinil-klorid)	 PVC	<b>Ambalaža:</b> prozirni omoti za hranu, boce za kozmetičke proizvode, mjehurasta pakovanja za medicinske i farmaceutske proizvode, filmovi za maslac, meso, ribu i ostalu svježnu hranu
4. PE-LD polietilen niske gustoće	 PE-LD	<b>Ambalaža:</b> vrećice za kruh, vrećice za smrznutu hranu, gnjetljive bočice (za med ili senf), stezljivi omoti, spremnici i vrećice za hranu i odjeću
5. PP polipropilen	 PP	<b>Ambalaža:</b> bočice za kečap, čašice za jogurt, posudice za margarin, medicinske bočice, poklopci za boce, spremnici za čuvanje u hladnjacima, filmovi postojani na masti
6. PS polistiren	 PS	<b>Ambalaža:</b> poslužavnici za svježe meso, kutije za jaja, tankostjene čaše, tanjuri i pribor za jedenje, toplo oblikovani spremnici za mljekarske proizvode, zaštitna ambalaža za elektroničku robu
7. ostali materijali	 7	<b>Ambalaža:</b> višekratne boce za vodu velikog obujma (više od 10 l), boce za sok od citrusa, boce za kečap

BJ 380 MO je heterofazni kopolimer osmišljen za brze cikluse injekcijskog prešanja te uz svojstva visoke tecivosti, krutosti i žilavosti i pri niskim temperaturama dodano je nukleacijsko i antiseptičko sredstvo. Ovaj polimer ima kontroliranu reologiju s uskim rasponom molekulne mase što daje točnost oblika i snižava vitoperenje. Dijelovi otprešani ovim materijalom imaju dobra kalupna svojstva u kombinaciji s dobrom površinskom kvalitetom i sjajem. Najčešća uporaba je za tankostjeno injekcijsko prešanje spremnika. [20]

Tablični prikaz mehaničkih i preradbenih svojstava materijala dana su u tablici 7.2 i 7.3.

Tablica 7.2 Mehanička svojstva materijala BJ 380 MO [20]

Svojstva	Vrijednost	Jedinica	Uvjeti ispitivanja	Metoda ispitivanja
Gustoća	905,0	kg/m <sup>3</sup>	-	ISO 1183
Faktor tečenja	80,0	g/10min	230°C/2,16kg	ISO 1133
Granica naprezanja	1300,0	MPa	50 mm/min	ISO 527-2
Granično naprezanje	5,0	%	50 mm/min	ISO 527-2
Granica razvlačenja	25,0	MPa	50 mm/min	ISO 527-2
Udarni rad loma	5,0	kJ/m <sup>2</sup>	+23 °C	ISO 179/1eA
	3,5	kJ/m <sup>2</sup>	-20 °C	ISO 179/1eA
Temp. postojanosti oblika	90	°C	0,45 N/mm <sup>2</sup>	ISO 75-2

Tablica 7.3 Preradbeni svojstva materijala BJ 380 MO [20]

Svojstva	Vrijednost	Jedinica	Komentar
Toplinska provodnost, $\lambda$	0,16	W/mK	-
Temperatura taljenja	210 - 260	°C	-
Temperatura kalupa	20 - 50	°C	-
Brzina ubrizgavanja	-	-	Najveća moguća.
Naknadni tlak	200 - 500	bar	Maksimalan kako bi se izbjegle usahline.
Skupljanje	1 - 2	%	Ovisi o parametrima preradbe i deblini stjenke
Skladištenje	< 50	°C	Zaštiti od UV zračenja

## 8. PROVJERA TEHNIČNOSTI OTPRESKA

Svaki otpresak moguće je izraditi u većem broju kalupa različitih konstrukcija. Međutim, uvijek postoji jedna konstrukcija koja najbolje odgovara postavljenim tehničkim, gospodarstvenim i ostalim zahtjevima na izradbu otpreska. Kod provjere tehničnosti otpreska ne smiju se zanemariti razni utjecaji materijala kao što su npr. skupljanje materijala, te oblikovanje otpresaka prema pravilima konstruiranja proizvoda za injekcijsko prešanje.

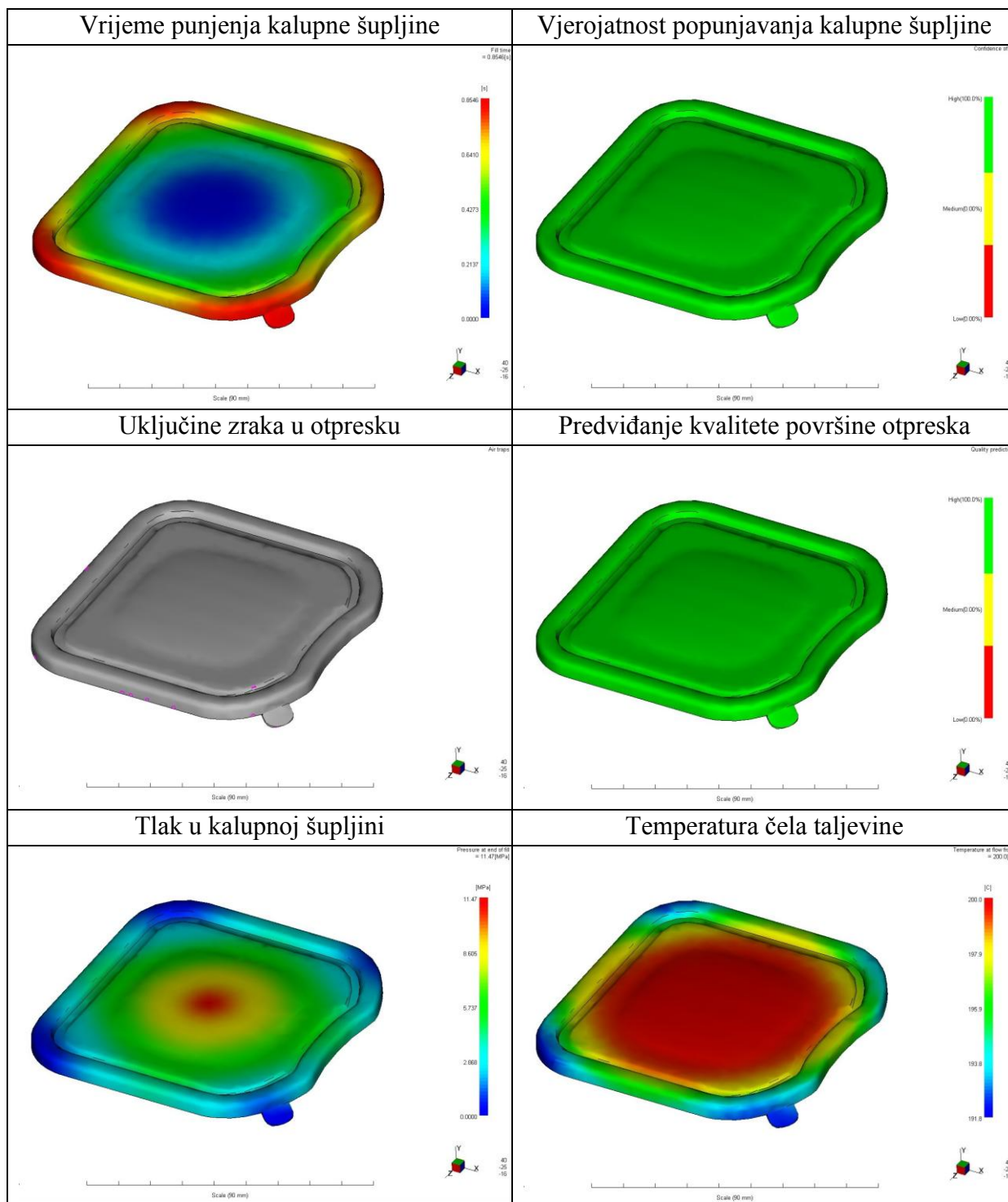
Provjeru tehničnosti otpresaka izvest će se nizom simulacija u računalnom programu *Moldflow Adviser 2014*. Program na temelju oblika otpreska, zadanog materijala i mjesta ubrizgavanja plastomerne taljevine grafički prikazuje važne rezultate injekcijskog prešanja otpreska. Rezultate treba promatrati kao preporuku prilikom konstruiranja kalupa, jer se u analizi nisu koristili podaci kao što su položaj kanala za temperiranje, materijal kalupnih ploča, te brzina i temperatura medija za temperiranje.

U tablicama 8.1 i 8.2 prikazani su rezultati simulacije za otpreske poklopca i posude. Iz prve slike u tablicama moguće je vidjeti da je vrijeme punjenja obaju otpresaka oko 0,85 sekundi premda je volumen posude oko dva puta veći od poklopca. To znači da će taljevina u kalupu posude biti ubrizgana pod većim tlakom (tlak kod prešanja poklopca je 11,47 MPa dok je kod prešanja posude 17,08 MPa), što će imati za posljedicu višu temperaturu taljevine u kalupu zbog viskoznog trenja. Do takvih zaključaka može se doći i usporedbom slika tlaka u kalupnoj šupljini i temperature čela taljevine oba otpreska.

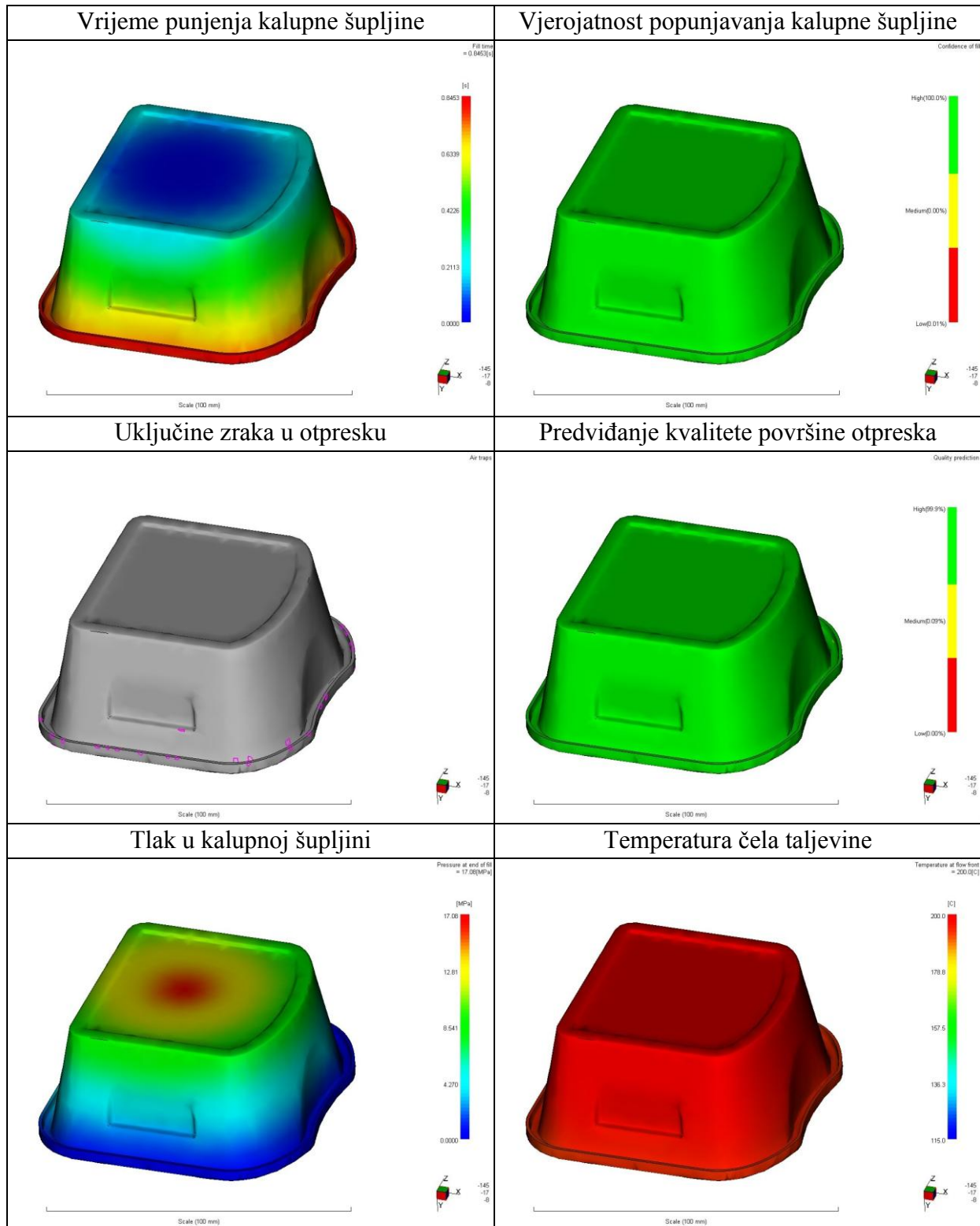
Bitno je postići kratko vrijeme punjenja kalupne šupljine zbog specifičnosti tankostjenog prešanja kod kojeg zbog brzog hlađenja postoji opasnost od prijevremenog i neželjenog skrućivanja otpreska prije nego li se kalupna šupljina popuni do kraja.

Na slikama se također može vidjeti da će konstrukcija otpresaka omogućiti potpuno popunjavanje kalupne šupljine i dobru kvalitetu otpreska, premda treba uzeti u obzir da parametri u simulaciji ne predstavljaju stvarno stanje. Slike koje prikazuju mjesta uključina zraka u otpresku mogu biti smjernice za konstrukciju kalupa i sustava za odzračivanje kalupne šupljine, kako bi se takve greške izbjegle u stvarnosti. Odzračivanje otpreska može se izvršiti i pogodnim pozicioniranjem izbacivala kao što je spomenuto u podpoglavlju 5.6.2 (nepotpunost otpreska).

**Tablica 8.1** Rezultati simulacije otpreska poklopca



**Tablica 8.2** Rezultati simulacije otpreska posude



## 9. ZAKLJUČAK

U današnje vrijeme su sve veći zahtjevi za kvalitetom, funkcionalnosti, brzinom i ekonomičnosti razvoja i proizvodnje injekcijski prešanih proizvoda. Suvremeni pristup i naponi da se za proizvod iste namjene potroši manje materijala, a time i energije utječu na razvoj novih tehnologija i postupaka preradbe kao što je postupak tankostjenog injekcijskog prešanja.

Na temelju teorijskih spoznaja i pravila tehnologijskog konstruiranja, te objedinjavanjem zahtjeva na ambalažu, razvijena je tankostjena polimerna ambalaža za prehrambenu industriju. Ona ispunjava zahtjeve s obzirom na proizvod koji se u nju pakira, ali također udovoljava ciljevima ergonomičnosti, funkcionalnosti i estetike koja je u današnje vrijeme jedna od ključnih čimbenika pri stvaranju prepoznatljivosti na tržištu.

U radu su također opisane posebnosti postupka injekcijskog prešanja tankostjenih otpresaka u usporedbi s klasičnim postupkom injekcijskog prešanja plastomera. Također dana je usporedba postupka injekcijskog prešanja s postupkom toplog oblikovanja koji se često koristi za proizvodnju sličnih ambalaža. Tankostjeno injekcijsko prešanje odlikuje se kombinacijom brzog hlađenja i visoke brzine taljevine, što bitno smanjuje vrijeme ciklusa injekcijskog prešanja i povećava proizvodnost. Materijali za tankostjeno injekcijsko prešanje odlikuju se visokim vrijednostima žilavosti i čvrstoće, te daju visoku dimenzijsku točnost. U ovom slučaju za ambalažu je izabran materijal koji, uz već navedena svojstva, zadovoljava i uvjete primjene ambalaže na niskim temperaturama. Za kraj provedena je provjera tehničnosti otpresaka simulacijom u računalnom programu Moldflow Adviser 2014, te prokomentirani rezultati dobiveni simulacijom.

## LITERATURA

- [1] Raos, P., Čatić, I.: Razvoj injekcijski prešanih polimernih tvorevina, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1992.
- [2] Rujnić-Sokele, M.: Plastična ambalaža, podloge za predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2011.
- [3] Čatić, I. : Uvod u proizvodnju polimernih tvorevina, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1990.
- [4] Rogić, A., Čatić, I.: Injekcijsko prešanje polimera, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 1996.
- [5] Internet : Sinotec, <http://www.sinotech.com/injectionMolded.html>, 2016.
- [6] Šercer, M.: Proizvodnja gumenih tvorevina, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 1999.
- [7] Godec, D.: Doprinis sustavnom razvoju kalupa za injekcijsko prešanje plastomera, Magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2000.
- [8] Internet : Bayer, Part and mold design, 2015.
- [9] Godec, D.: Kalup za injekcijsko prešanje, podloge za predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2008.
- [10] Čatić, I., Johannaber, F. : Injekcijsko prešanje polimera i ostalih materijala, Društvo plastičara i gumaraca, Zagreb, 2004.
- [11] Internet : Thin Wall Moulding, [http://www.mastip.com/ENG/Downloads/TA001\\_ThinWallMoulding\\_V1.00.pdf](http://www.mastip.com/ENG/Downloads/TA001_ThinWallMoulding_V1.00.pdf), 2016.
- [12] Guojung, X.: Study of thin-wall injection molding, The Ohio State University, 2004.
- [13] Šercer, M., Barić, G.: Postupci primjene polimernih tvorevina zanimljivi za primjenu u hrvatskoj industriji, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
- [14] Čatić, I.: Proizvodnja polimernih tvorevina, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 2006.
- [15] Pye, R.C.W.: Injection moulding design, The Plastics and Rubber Institute, London, 1983.
- [16] Internet : Viewmold, 2016. [http://www.viewmold.com/Injection\\_Mold\\_Management/Injection\\_molding\\_defects.html](http://www.viewmold.com/Injection_Mold_Management/Injection_molding_defects.html)
- [17] Internet : FIMMTECH, <http://www.fimmtech.com/index.php?id=6&subid=64>, 2016.
- [18] Internet : RAY Products, 2016. <http://www.rayplastics.com/learn-about-thermoforming/thermoforming-vs-injection-molding/>



[19] Internet : PIK, 2016.

[http://www.idea.rs/var/plain\\_site/storage/images/proizvodi/hrana/delikatesi-mesne-preradevine/sunka-i-polutrajne-kobasice/sunke-i-prsa/pik-sunka-u-omotu-200g-pik/35815529-1-cro-HR/Pik-sunka-u-omotu-200g-Pik\\_product\\_full.gif](http://www.idea.rs/var/plain_site/storage/images/proizvodi/hrana/delikatesi-mesne-preradevine/sunka-i-polutrajne-kobasice/sunke-i-prsa/pik-sunka-u-omotu-200g-pik/35815529-1-cro-HR/Pik-sunka-u-omotu-200g-Pik_product_full.gif)

[20] Internet : Borealis, <http://www.borealisgroup.com/en/>, 2016.

## **PRILOZI**

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija