

# Konstrukcija i izrada kalupa za injekcijsko prešanje polimera suvremenim alatima za konstruiranje

---

Kozina, Dejan

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:620478>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-18**

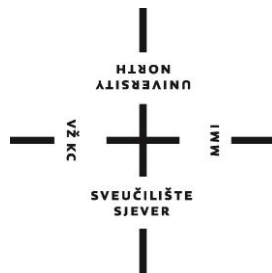


Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**



DIPLOMSKI RAD br. 070/STR/2022

**KONSTRUKCIJA I IZRADA KALUPA ZA**  
**INJEKCIJSKO PREŠANJE POLIMERA**  
**SUVREMENIM ALATIMA ZA KONSTRUIRANJE**

Dejan Kozina

Varaždin, rujan 2022



**SVEUČILIŠTE SJEVER**  
**SVEUČILIŠNI CENTAR VARAŽDIN**  
**Studij Strojарstva**



DIPLOMSKI RAD br. 070/STR/2022

**KONSTRUKCIJA I IZRADA KALUPA ZA  
INJEKCIJSKO PREŠANJE POLIMERA  
SUVREMENIM ALATIMA ZA KONSTRUIRANJE**

Student:

Dejan Kozina, 2136/336D

Mentor:

izv.prof.dr.sc. Sanja Šolić

Varaždin, rujан 2022

# Prijava diplomskog rada

## Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za strojarstvo		
STUDIJ	diplomski sveučilišni studij Strojarstvo		
PRISTUPNIK	Dejan Kozina	JMBAG	2136/336D
DATUM	13.09.2022.	KOLEGIJ	Ponašanje materijala u eksploataciji
NASLOV RADA	KONSTRUKCIJA I IZRADA KALUPA ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE POLIMERA		
NA Hrvatskom jeziku	SUVREMENIM ALATIMA ZA KONSTRUIRANJE		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	DESIGN AND MANUFACTURE OF MOLDS FOR POLYMER INJECTION PRESSING USING MODERN CONSTRUCTION TOOLS		
MENTOR	dr.sc. Sanja Šolić	ZVANJE	izvanredna profesorica
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. doc.dr.sc. Matija Bušić, član, predsjednik		
	2. izv.prof.dr.sc. Sanja Šolić, mentor, član		
	3. doc.dr.sc. Tanja Tomić, član		
	4. doc.dr.sc. Tomislav Veliki, zamjenski član		
	5. _____		

## Zadatak diplomskog rada

BRDI 070/STR/2022

OPIS

U diplomskom radu potrebno je prikazati postupak konstrukcije i izrade kalupa za injekcijsko prešanje polimera korištenjem računalnih programa za konstruiranje i simulaciju.

U teorijskom dijelu rada potrebno je dati kratki prikaz postupka injekcijskog prešanja polimernih materijala, sastavnih dijelova linije za injekcijsko prešanje polimera te pojasniti funkciju pojedinih elemenata kalupa za injekcijsko prešanje polimera.

U eksperimentalnom dijelu rada potrebno je napraviti konstrukciju kalupa pomoću računala (e. Computer Aided Design – CAD) korištenjem standardnih sastavnih elementa, odrediti strojnu obradu pojedinih segmenta pomoću računala (e. Computer Aided Manufacturing – CAM) te konstruirati postupak izrade željenog proizvoda procesom injekcijskog prešanja. Određena ograničenja kod konstrukcije kalupa biti će određena od strane naručitelja kalupa.

Na kraju diplomskog rada potrebno je usporediti rezultate dobivene računalnom simulacijom i realni proces izrade na samom stroju odnosno ubrizgavalici.

ZADATAK URUČEN

22.09.2022

POTPIS MENTORA

Sanja Šolić

SVEUČILIŠTE  
SJEVER

# Predgovor

Izjavljujem da sam diplomski rad na temu „Konstrukcija i izrada kalupa za injekcijsko prešanje polimera suvremenim alatima za konstruiranje“ izradio samostalno uz korištenje navedene literature, znanja stečenog tijekom preddiplomskog i diplomskog studije, te vlastitog iskustva stečenog kroz rad u praksi.

Zahvaljujem mentorici izv.prof.dr.sc. Sanji Šolić na pomoći, sugestijama te smjernicama tokom izrade ovog diplomskog rada.

Također, zahvaljujem se svim profesorima i asistentima odjela sveučilišnog studija strojarstva na suradnji i prenesenom znanju.

Hvala svima koji su mi na bilo koji način pomogli kroz cijeli studij, kao i pri izradi ovog diplomskog rada.

Na kraju, najveće hvala supruzi Tei na strpljenju, razumijevanju i bezuvjetnoj potpori tijekom studija i same izrade ovog rada.

Dejan Kozina

# SADRŽAJ

SAŽETAK.....	1
SUMMARY.....	2
POPIS SLIKA.....	3
POPIS TABLICA.....	5
POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I KRATICA.....	5
1. UVOD.....	6
2. INJEKCIJSKO PREŠANJE POLIMERA.....	7
2.1. LINIJA ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE POLIMERNIH MATERIJALA.....	7
2.1.1. UBRIZGAVALICA.....	8
2.1.2. TEMPERIRALO.....	9
2.1.3. KALUP.....	9
3. UKUPNA FUNKCIJA I ELEMENTI KALUPA.....	10
3.1. KUĆIŠTE.....	11
3.2. ULJEVNI SUSTAV KALUPA.....	12
3.3. KALUPNA ŠUPLJINA.....	12
3.4. SUSTAV ZA VAĐENJE OTPRESAKA.....	13
3.5. SUSTAV ZA VOĐENJE I CENTRIRANJE.....	13
3.6. SUSTAV ZA TEMPERIRANJE KALUPA.....	13
3.7. SUSTAV ZA ODZRAČIVANJE KALUPA.....	14
4. EKSPERIMENTALNI DIO.....	15
4.1. OPIS EKSPERIMENTALNOG DIJELA RADA.....	15
4.2. OPIS PROIZVODA.....	16
4.3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE REFERENTNOG OTPRESKA.....	17
4.4. IZRADA 3D MODELA ZADANOG OTPRESKA.....	17
4.5. KARAKTERISTIKE UBRIZGAVALICE.....	20
4.6. ODABIR STANDARDNIH ELEMENTA KALUPA.....	20
4.6.1. KUĆIŠTE KALUPA.....	22
4.6.1.1. RAZDJELNA LINIJA KALUPA.....	23
4.6.2. KALUPNA ŠUPLJINA.....	24
4.6.3. ULJEVNI SUSTAV KALUPA.....	25
4.6.4. SUSTAV ZA TEMPERIRANJE KALUPA.....	26
4.6.5. SUSTAV ZA VAĐENJE OTPRESKA IZ KALUPA.....	28
4.6.6. SUSTAV ZA VOĐENJE I CENTRIRANJE ELEMENATA KALUPA.....	30

4.6.7.	SUSTAV ZA ODZRAČIVANJE KALUPA.....	31
4.6.8.	3D MODEL KALUPA.....	31
4.7.	SIMULACIJA INJEKCIJSKOG PREŠANJA .....	33
4.7.1.	DEFINIRANJE PARAMETARA ODABRANOG MATERIJALA .....	33
4.7.2.	DEFINIRANJE POLOŽAJA UŠĆA.....	34
4.7.3.	PREGLED ULAZNIH PARAMETARA.....	34
4.8.	REZULTATI SIMULACIJE I INTERPRETACIJA REZULTATA .....	35
4.8.1.	VRIJEME POPUNJAVANJA KALUPNE ŠUPLJINE.....	35
4.8.2.	VJEROJATNOST POPUNJAVANJA KALUPNE ŠUPLJINE .....	35
4.8.3.	PREDVIĐANJE KVALITETE OTPRESKA .....	36
4.8.4.	TLAK U KALUPNOJ ŠUPLJINI PRILIKOM POPUNJAVANJA .....	37
4.8.5.	TEMPERATURA ČELA TALJEVINE.....	38
4.8.6.	VRIJEME HLAĐENJA DO TEMPERATURE IZBACIVANJA.....	39
4.8.7.	ZAOSTALI ZRAČNI MJEHURI .....	40
4.8.8.	LINJE SPAJANJA .....	41
4.8.9.	SIMULACIJA PROCESA NA UBRIZGAVALICI .....	42
4.9.	STROJNA OBRADA ELEMENATA KALUPA .....	43
4.9.1.	PLOČE KUĆIŠTA KALUPA.....	43
4.9.2.	PLOČE KALUPNE ŠUPLJINE.....	45
4.9.2.1.	PLOČA NA NEPOMIČNOM DIJELU KALUPA.....	45
4.9.2.2.	PLOČA NA POMIČNOM DIJELU KALUPA .....	46
4.9.3.	PLOČE IZBACIVAČKOG PAKETA KALUPA .....	48
4.9.3.1.	PLOČA VOĐENJA IZBACIVALA.....	48
4.9.3.2.	PLOČA IZBACIVALA .....	49
4.9.3.3.	STEZNA PLOČA IZBACIVALA .....	50
4.10.	INJEKCIJSKO PREŠANJE NA REALNOM STROJU.....	51
5.	USPOREDBA REZULTATA REALNOG PROCESA I SIMULACIJE .....	55
5.1.	KVALITETA PROIZVODA.....	55
5.2.	VRIJEME CIKLUSA .....	56
6.	ZAKLJUČAK.....	57
7.	LITERATURA .....	60
8.	PRILOZI.....	61



# SAŽETAK

U ovom diplomskom radu prikazan je proces konstruiranja i izrade kalupa za injekcijsko prešanje kalupa pomoću računalnih programa i simulacija.

U teorijskom dijelu ukratko je pojašnjen postupak injekcijskog prešanja polimera, sastavni dijelovi linije za injekcijsko prešanje polimera, te ukupna funkcija i elementi kalupa za injekcijsko prešanje polimera.

U eksperimentalnom dijelu prikazana je konstrukcija kalupa pomoću računala (e. *Computer Aided Design* – CAD) korištenjem standardnih sastavnih elementa, određena je strojna obrada pojedinih segmenta pomoću računala (e. *Computer Aided Manufacturing* – CAM) te izrada željenog proizvoda procesom injekcijskog prešanja. Određena ograničenja kod konstrukcije kalupa određena su od strane naručitelja kalupa.

Na kraju diplomskog rada prikazana je usporedba rezultata danih računalnom simulacijom i realnog procesa na samom stroju odnosno ubrizgavalici.

KLJUČNE RIJEČI: dizajn proizvoda, standardni elementi kalupa, računalna simulacija, realni procesi.

## **SUMMARY**

In this master's thesis is shown how to construct and make a mold for polymer injection pressing using modern construction tools and simulations.

In the theoretical part of this thesis, briefly is explained how process of injection pressing of polymers functions, key parts of injection pressing line, main function and elements of mold for injection pressing of polymers.

In the practical part of this thesis is shown how to construct a mold by computer (*Computer Aided Design*) using standard parts of the molds, decision of manufacture for mold parts (*Computer Aided Manufacture*), and at last, process of injection pressing for specific product. Specific limitations of mold construction are decided by the buyer of the mold.

At the end of this master's thesis, results of the computer simulations and the real process on the injection pressing machine are compared one to another.

**KEY WORDS:** product design, standard elements of the mold, computer simulation, real process.

## POPIS SLIKA

Slika 2.1. linija za injekcijsko prešanje polimernih materijala [1] .....	8
Slika 3.1. kalup za injekcijsko prešanje polimera sa osnovnim dijelovima [2].....	10
Slika 3.2. parcijalne funkcije kalupa prikazane po presjeku kalupa na pojedinim elementima kalupa [3].....	11
Slika 4.2.1. odstojnik za armaturnu mrežu [4] .....	16
Slika 4.2.2. upotreba odstojnika armaturne mreže [5].....	16
Slika 4.4.1. 3D model proizvoda – izometrijski pogled gornjeg dijela [6] .....	18
Slika 4.4.2. 3D model proizvoda – izometrijski pogled donjeg dijela [7].....	18
Slika 4.4.3. masa izrađenog 3D modela proizvoda [8].....	19
Slika 4.6.1.1. odabrano kućište iz baze standardnih elemenata kalupa [9] .....	23
Slika 4.6.1.1.1. prikaz površine proizvoda prema kojoj je određena sljubnica kalupa [10].....	24
Slika 4.6.3.1. standardna ploča kalupa u kojoj se nalazi kalupa šupljina [11] .....	25
Slika 4.6.4.1. mlaznica sa jednim uljevnim ušćem [12] .....	26
Slika 4.6.5.1. krug za temperiranje ploče kalupa u koju je ugrađena mlaznica [13].....	27
Slika 4.6.5.2. krug za temperiranje ploče u kojoj se nalazi kalupna šupljina [14] .....	28
Slika 4.6.5.2. okrugla gumena brtva okruglog presjeka promjera 3 mm [15].....	28
Slika 4.6.6.1. izbacivalo okruglog oblika presjeka [16] .....	29
Slika 4.6.6.2. sustav za vađenje otpreska iz kalupa [17] .....	29
Slika 4.6.6.3. standardne odstoje letve [18].....	30
Slika 4.6.7.1. prsten za vanjsko centriranje kalupa [19].....	30
Slika 4.6.7.2. vodeći zatik, vodeća puškica i centrirna puškica za unutrašnje centriranje i vođenje ploča kalupa [20] .....	31
Slika 4.6.9.1. 3D model kalupa sa svim sastavnim dijelovima [21].....	32
Slika 4.6.9.2. 3D model kalupa u CAD programu [22].....	32
Slika 4.7.1.1. odabrani materijal iz baze definiranih materijala [23] .....	33
Slika 4.7.2.1. definirana pozicija ušća [24] .....	34
Slika 4.7.3.1. ulazni parametri za simulaciju procesa [25].....	34
Slika 4.8.1.1. vrijeme punjenja taljevinom [26] .....	35
Slika 4.8.2.1. vjerojatnost popunjavanja kalupne šupljine [27].....	36
Slika 4.8.3.1. predviđena kvaliteta otpreska [28] .....	37
Slika 4.8.4.1. tlak u kalupnoj šupljini prilikom popunjavanja [29] .....	38
Slika 4.8.5.1. temperatura čela taljevine [30] .....	38
Slika 4.8.6.1. vrijeme hlađenja do temperature izbacivanja [31] .....	40

Slika 4.8.7.1. područja zaostalog zraka u kalupnoj šupljini [32].....	40
Slika 4.8.8.1. linije spajanja [33] .....	41
Slika 4.8.9.1. simulacija procesa injekcijskog prešanja zadanog otpreska [34] .....	42
Slika 4.9.1. uvećanje 3D modela proizvoda [35] .....	43
Slika 4.9.1.1. ploča kućišta kalupa pomičnom dijelu kalupa [36] .....	44
Slika 4.9.1.2. ploča kućišta kalupa prije i poslije strojne obrade [37] .....	45
Slika 4.9.2.1.1. priključak za crijevo [38] .....	45
Slika 4.9.2.1.2. utor u koji se ugrađuje mlaznica [39] .....	46
Slika 4.9.2.2.1. krug za temperiranje ploče kalupne šupljine na pomičnom dijelu kalupa [40]....	47
Slika 4.9.2.2.2. ploča kalupne šupljine na pomičnom dijelu kalupa [41].....	48
Slika 4.9.3.1.1. ploča vođenja [42] .....	49
Slika 4.9.3.2.1. ploča izbacivala [43] .....	50
Slika 4.9.3.3.1. povratnik izbacivanja [44].....	51
Slika 4.9.3.3.2. stezna ploča izbacivala [45] .....	51
Slika 4.10.1. temperaturne zone cilindra ubrizgavalice [46] .....	52
Slika 4.10.2. parametri izbacivanja [47].....	52
Slika 4.10.3. sila držanja kalupa [48] .....	53
Slika 4.10.5. faza ubrizgavanja i djelovanja naknadnog tlaka [49] .....	53
Slika 4.10.6. vrijeme hlađenja [50].....	54
Slika 5.1.1. proizvod dobiven procesom injekcijskog prešanja [51].....	55
Slika 5.2.1. stvarna vremena ciklusa [52].....	56

## POPIS TABLICA

Tablica 4.3.1. izmjere osnovnih značajki otpreska [1] .....	17
Tablica 4.3.2. svojstva PP (BD310MO) [2] .....	17
Tablica 4.5.1. karakteristike korištene ubrizgavalice [3].....	20
Tablica 4.6.1. standardni elementi kalupa za injekcijsko prešanje polimera [4].....	20
Tablica 4.8.5.1. temperaturni raspon taljevine prilikom popunjavanja kalupne šupljine [5] .....	39

## POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I KRATICA

Kratica	Značenje
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacture
PP	polipropilen
L	dužina kućišta kalupa u horizontalnom smjeru
B	dužina kućišta kalupa u vertikalnom smjeru

## 1. UVOD

Injekcijsko prešanje najvažniji je ciklički postupak preradbe polimera. Pri tome, kalup za injekcijsko prešanje predstavlja specifični i središnji dio sustava za injekcijsko prešanje polimera. Konstrukcija kalupa od iznimne je važnosti za visokokvalitetnu proizvodnju i racionalno vođenje postupka injekcijskog prešanja. Suvremeni je postupak konstruiranja kalupa opterećen vremenski, te zahtjevnošću kalupa. Vrlo često je taj proces temeljen uglavnom na iskustvu konstruktora. Kako mnoge odluke tijekom definiranja detalja u kalupu mogu imati međusobnog utjecaja, konstruktori kalupa trebali bi imati opsežno znanje s tog područja u svrhu pravilnog prosuđivanja. Kako bi se prevladao nedostatak iskusnih konstruktora, mladim i neiskusnim konstruktorima kalupa potrebno je omogućiti maksimalnu podršku pri konstruiranju kalupa. Primjena računala i odgovarajućih računalnih programa, kao inženjerske pomoći, bitni su u ostvarivanju tih nastojanja. [1]

U radu, prikazana je konstrukcija kalupa pomoću računalnog programa *Autodesk Fusion360*, koji sadrži i analizu tečenja, odnosno dodatak pomoću kojeg možemo postaviti određene uvjete i na temelju toga predvidjeti nedostatke kod konstrukcije kalupa te ih korigirati prije same izrade kalupa.

## 2. INJEKCIJSKO PREŠANJE POLIMERA

Injekcijsko prešanje polimera je ciklički postupak praoblikovanja ubrizgavanjem polimerne taljevine potrebne smične viskoznosti iz jedinice za pripremu i ubrizgavanje u temperiranu kalupnu šupljinu. Nakon polimerizacije i/ili umreživanja, geliranja i/ili hlađenja proizvod (otpresak) postaje pogodan za vađenje iz kalupne šupljine. Prešanjem se u jednom ciklusu od materijala oblikuje proizvod koji se može primijeniti odmah ili uz minimalnu naknadnu obradu. U većini slučajeva se izrađuju pojedinačni proizvodi, osim kada njihove dimenzije dopuštaju da se u kalup smjesti dva ili više njih i da se odjednom proizvodi više proizvoda (otpresaka). Ciklus se ponavlja ovisno o zahtijevanoj količini proizvoda koja se proizvodi. Kod postupaka prešanja se općenito radi o većim količinama proizvoda kako bi strojevi i kalupi, prilično visokih cijena, bili isplativi. Injekcijsko prešanje pogodno je za izradu dijelova od materijala iz skupine plastomera, duromera i elastomera. Mogu se izrađivati vrlo mali proizvodi visoke složenosti, kao što su dijelovi računala, ali i vrlo veliki proizvodi kao što su kante za otpad. Ostvaruje se vrlo velika točnost oblika i izmjera, a moguće je postići vrlo visoku kvalitetu površine ( $R_a = 0,02 - 0,04 \mu\text{m}$ ). [1]

### 2.1. LINIJA ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE POLIMERNIH MATERIJALA

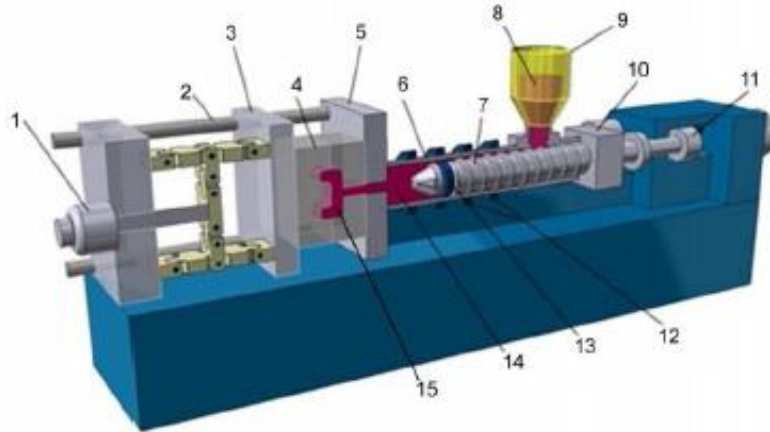
Sustav za injekcijsko prešanje mora ispuniti sljedeće funkcije: pripremu tvari potrebne smične viskoznosti, ubrizgavanje i stvaranje praoblaka pri propisanoj temperaturi kalupne šupljine. Za ispunjavanje tih funkcija sustav injekcijskog prešanja sastoji se od osnovne opreme za postupak injekcijskog prešanja koju čine:

1. ubrizgavalica,
2. uređaj za temperiranje kalupa – temperiralo,
3. kalup.

Linija može još sadržavati i dopunsku opremu koja uglavnom služi za transport i manipulaciju otprescima. Bitno je napomenuti da dopunska oprema ne utječe na sam proces injekcijskog prešanja u smislu izrade proizvoda, ali uvelike povećava efikasnost procesa. U dopunsku opremu spadaju:

1. uređaji za pripremu sirovine (sušare, miješalice, dozatori...),
2. uređaji za brže postizanje potrebne temperature kalupa (komore),
3. uređaji za transport i manipulaciju otprescima (roboti, trake, transportne cijevi),
4. oprema za regranulaciju (mlinovi). [2]

Na slici 2.1. prikazan je linija za injekcijsko prešanje polimernih materijala sa osnovnom opremom. [1]



Slika 2.1. linija za injekcijsko prešanje polimernih materijala [1]

1 - cilindar za stezanje kalupa, 2 - vodilica, 3 - pomični dio kalupa, 4 - kalup, 5 - nepomični dio kalupa, 6 - cilindar za taljenje, 7 - pužni vijak, 8 - granulati, 9 - lijevak, 10 - pogonska jedinica, 11 - jedinica za ubrizgavanje, 12 - pojasno grijalo, 13 - nepovratni ventil, 14 - taljevina, 15 - otpresak

### 2.1.1. UBRIZGAVALICA

Ubrizgavalica je element sustava za injekcijsko prešanje čiji su glavni zadaci:

1. priprema polimerne taljevine,
2. njezino ubrizgavanje u kalupnu šupljinu,
3. otvaranje i zatvaranje kalupa,
4. izbacivanje otpreska.

Ubrizgavalicom se može izraditi beskonačan broj različitih otpresaka, uzimajući u obzir njene dimenzije i kapacitete kao i redovite preventivne i korektivne servise. Sastoji se od četiri jedinice:

1. jedinica za pripremu i ubrizgavanje taljevine,
2. jedinica za zatvaranje kalupa,
3. upravljačka jedinica,
4. pogonska jedinica.

Jedinica za ubrizgavanje osnovni je dio ubrizgavalice zbog svoje zadaće plastificiranja plastomera radi dobivanja potrebne smične viskoznosti. Ubrizgavanje se ostvaruje pužnim vijkom. [2]



### 2.1.2. TEMPERIRALO

Temperiranje vodom iz vodovodne mreže je najjednostavnije, a i još uvijek ima najčešću primjenu. Međutim postoji nekoliko glavnih nedostataka: problem s taloženjem kamenca u kanalima, cijena vode neprestano raste, nepovratno se troši, nije moguće postići vrlo niske ili vrlo visoke temperature medija za temperiranje, kakve zahtijeva preradba konstrukcijskih plastomera. Stoga su se razvili posebni uređaji koji se upotrebljavaju za takve vrste preradbi. Za niske temperature koriste se rashladni strojevi, dok se za ostale temperature upotrebljavaju temperirala s vodom, mješavinom vode i etilenglikola ili s uljem. [3]

### 2.1.3. KALUP

Kalup za injekcijsko prešanje jest središnji, specifični i vitalni dio sustava za injekcijsko prešanje. Vitalni je dio iz razloga što ukoliko u sustavu injekcijskog prešanja dođe do kvara na kalupu cijela proizvodnja staje dok se ne popravi postojeći ili napravi novi kalup. Za razliku od ubrizgavalice i temperirala, koji su univerzalno primjenjivi elementi sustava za injekcijsko prešanje, kalup ima točno određenu namjenu za određenu vrstu otpreska. Moguće su vrlo male preinake i to na samo određenim tipovima otpresaka. Vrlo rijetko se u proizvodnji izrađuje više komada istih kalupa (što zbog kompliciranosti, a što zbog cijene) pa se upravo zbog tih razloga pri konstrukciji kalupa pridodaje najveća pozornost kako bi imao što duži proizvodni vijek dajući otpreske jednake kvalitete. [1]

### 3. UKUPNA FUNKCIJA I ELEMENTI KALUPA

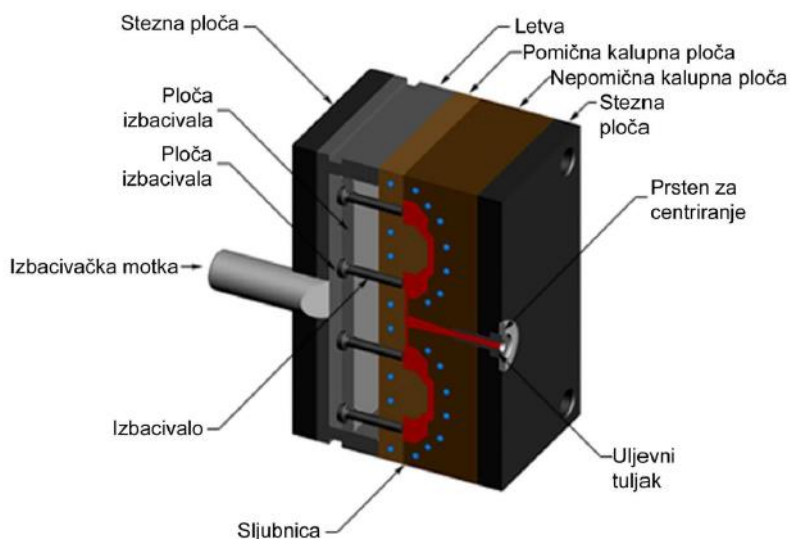
Osnovne uloge kalupa su:

- prihvaćanje taljevine iz ubrizgavalice,
- očvršćivanje taljevine u željeni oblik otpreska i
- ciklički rad sustava za injekcijsko prešanje.

Kalup mora sniženjem temperature dati oblik ubrizganoj taljevini i omogućiti da se otpresak dovoljno ohladi kako bi mogao biti izbačen iz kalupne šupljine. Kako bi kalup mogao opravdati ove uloge mora imati sljedeće elemente:

- kućište,
- kalupnu šupljinu,
- uljevni sustav,
- sustav za temperiranje,
- sustav za vađenje otpresaka,
- sustav za vođenje i centriranje,
- sustav za odzračivanje. [1]

Pojedini elementi kalupa vidljivi su na slici 3.1.



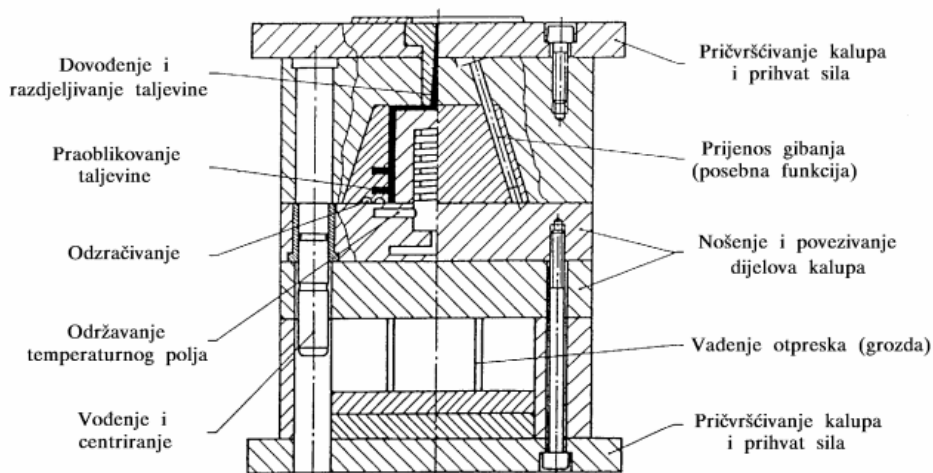
Slika 3.1. kalup za injekcijsko prešanje polimera sa osnovnim dijelovima [2]

Ukupna funkcija kalupa je praoblikovanje i restrukturiranje plastomera u zadani oblik otpreska zahtijevanih svojstva i kvalitete. Međutim, ukupna funkcija kalupa ne obuhvaća sve njegove

radnje, stoga se sve funkcije koje kalup za injekcijsko prešanje mora obavljati nazivaju parcijalne funkcije kalupa. Parcijalne funkcije kalupa su:

- razdijeliti taljevinu,
- oblikovati taljevinu,
- održavati propisano temperaturno polje u kalupu,
- odzračiti kalupnu šupljinu,
- izvaditi grozd (otpresak i uljevni sustav) iz kalupa,
- voditi i centrirati elemente kalupa,
- pričvrstiti kalup na ubrizgavalicu,
- prihvatiti i prenijeti sile,
- povezati elemente kalupa. [1]

Parcijalne funkcije kalupa prikazane su na slici 3.2.



Slika 3.2. parcijalne funkcije kalupa prikazane po presjeku kalupa na pojedinim elementima kalupa [3]

### 3.1. KUĆIŠTE

Kućište je skup određenog broja ploča koje čine nosivu konstrukciju kalupa. U njemu se nalaze svi ostali elementi kalupa. Kućište kao cjelina ispunjava tri funkcije:

- povezivanje dijelova kalupa,
- pričvršćivanje kalupa na ubrizgavalicu i
- prihvat i prijenos sila.

U kućište se ugrađuju svi dijelovi koji oblikuju kalupnu šupljinu, te svi elementi koji su potrebni za ispravan rad 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.).

Na temelju analize i pregleda postojećih standardnih kućišta kalupa za injekcijsko prešanje polimera, moguće je načiniti grubu sistematizaciju kućišta kalupa:

- pravokutna kućišta,
- okrugla kućišta,
- kućišta s postranim otvaranjem kalupnih ploča,
- kućišta sa školjkastim kalupnim pločama,
- posebna kućišta. [1]

### 3.2. ULJEVNI SUSTAV KALUPA

Uljevni sustav sastoji se od elemenata kalupa koji raspodjeljuju polimernu taljevinu prema kalupnim šupljinama. Može se sastojati iz nekoliko različitih dijelova, no svi uljevni sustavi završavaju ušćem prema kalupnoj šupljini. Razlikuju se čvrsti (hladni) i kapljeviti (topli ili vrući) uljevni sustavi, a mogu se i međusobno kombinirati.

Cilj svake proizvodnje je proizvesti što manje otpada, tj. proizvoditi sa što manje gubitaka. Pri injekcijskom prešanju nastoji se na dijelu od mlaznice ubrizgavalice do kalupne šupljine "izgubiti" što manje materijala. Kako bi se omogućio minimalni gubitak polimernog materijala u uljevnom sustavu, rabe se vrući uljevni sustavi. [3]

### 3.3. KALUPNA ŠUPLJINA

Kalupna šupljina je prostor kojeg zatvaraju pomični i nepomični dio kalupa. Kalupna šupljina ima oblik jednak obliku otpreska, ali izmjere moraju biti uvećanje za iznos skupljanja materijala nad kojim se vrši preradba. Kalupi se prema broju kalupnih šupljina dijele na:

1. kalupi s jednom kalupnom šupljinom te
2. kalupi sa više kalupnih šupljina.

Kalupna šupljina ima nekoliko funkcija:

- razdioba plastomerne taljevine do svake šupljine,
- definiranje izmjera otpreska,
- prijenos tlaka taljevine,
- definiranje kvalitete površine otpreska.

Kalupna šupljina ima više mogućih rasporeda i u ovisnosti o otpresak/otpreske konstruktor mora odrediti najpovoljniji raspored poznavajući njihove prednosti i mane. 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 uljavnog sustava (u slučaju čvrstog uljavnog sustava). [3]

### 3.4. SUSTAV ZA VAĐENJE OTPRESAKA

Sustav za vađenje otpreska obavlja otvaranja kalupa i vađenja otpreska iz kalupne šupljina bez oštećivanja i uz ostavljanje što manjih vidljivih otisaka na samom otpresku. Također, zahtijeva se da vađenje otpreska iz kalupne šupljine bude jednoliko i u pravilnoj koordinaciji sa ostalim elementima kalupa. Prema načinu djelovanja sustavi za vađenje otpresaka mogu se podijeliti na: mehaničke, pneumatske, hidrauličke i mješovite.

Sustav za vađenje otpreska čine:

- potisna ploča,
- potiskivala,
- povratna opruga,
- izvlačilo,
- izbacivala i
- povratnici.

Tijekom gibanja pomičnog dijela kalupa potisna ploča ubrizgavalice djeluje na potiskivalo koje potiskuje izbacivalo, izvlačilo i povratnike. Izbacivala mogu biti okruglog ili pravokutnog presjeka i oni imaju zadaću potiskivanja otpreska iz kalupne šupljine ili skidanja otpreska s žiga. [3]

### 3.5. SUSTAV ZA VOĐENJE I CENTRIRANJE

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 točnog pozicioniranja kalupa na nosače kalupa ubrizgavalice, a izvodi se s pomoću prstena za centriranje, odnosno razdijeljenog prstena za centriranje u slučaju kada na steznim pločama kalupa postoji izolacija. Sustav za unutrašnje vođenje i centriranje kalupa služi za vođenje i centriranje kalupnih ploča i ostalih elemenata kalupa pri otvaranju i zatvaranju kalupa. [1]

### 3.6. SUSTAV ZA TEMPERIRANJE KALUPA

Temperiranjem se ostvaruje postizanje potrebnog temperaturnog polja u kalupu i propisane temperature ulja ubrizgavalice kako bi se proces injekcijskog prešanja izvršavao na pravilan

način. Postignute temperature potrebno je precizno regulirati što se ostvaruje odgovarajućim regulacijskim krugovima. Vrijeme hlađenja i kvaliteta otpreska izravno ovise o temperaturnom polju u kalupu. Kako bi otpresci bili što bolje kvalitete poželjno je da razlika između temperatura taljevine i temperature stijenke kalupne šupljine bude što manja, dok proizvodnost zahtijeva što veću temperaturnu razliku pa je potrebno pronaći odgovarajući optimum temperaturnih razlika. Najčešće upotrebljavani mediji za temperiranje su:

- voda,
- ulje i
- impulsno temperiranje kalupa. [3]

### 3.7. SUSTAV ZA ODZRAČIVANJE KALUPA

Sustav za odzračivanje kalupa potreban je stoga, što prilikom ubrizgavanja polimerne taljevine u zatvorenu kalupnu šupljinu, u njoj zaostaju zrak i plinovi. Oni ometaju potpuno popunjavanje kalupne šupljine i mogu utjecati na lošu kvalitetu otpreska. Odzračivanje kalupne šupljine naročito je važno tijekom faze ubrizgavanja, jer povišenje temperature zbog snižene viskoznosti taljevine uzrokuje veću brzinu ubrizgavanja. Pri definiranju elemenata sustava za odzračivanje potrebno je osigurati što je moguće veće elemente za odzračivanje, ali ne prevelike, te ih predvidjeti na kraju svih putova tečenja taljevine u kalupnoj šupljini, kao i na mjestima linija spajanja čela taljevine.

Odzračivanje kalupne šupljine moguće je ostvariti na više načina. Najčešće je odzračivanje kroz provrte za vođenje izbacivala. [3]

## 4. EKSPERIMENTALNI DIO

### 4.1. OPIS EKSPERIMENTALNOG DIJELA RADA

Cilj ovog diplomskog rada je prikazati cjelokupan proces izrade određenog proizvoda injekcijskim prešanjem od početne izrade 3D modela proizvoda do samog procesa injekcijskog prešanja proizvoda.

Zbog dotrajalosti i istrošenosti postojećeg kalupa, kupac se odlučio na nabavu novog kalupa uz tri postavljena zahtjeva koji se moraju poštivati kod konstrukcije samog kalupa:

1. vizualni izgled, dimenzije, materijal i masa samog proizvoda moraju ostati u najvećoj mjeri nepromijenjeni u odnosu na postojeći otpresak,
2. kapljeviti (topli ili vrući) uljevni sustavi – postojeći kalup sadrži čvrsti (hladni) uljevni sustav i u svrhu optimizacije proizvodnog procesa potrebno je u kalup ugraditi vrući uljevni sustav,
3. ubrizgavalica – zbog ograničenosti izbora samog stroja mora se poštivati konstrukcija kalupa tako da je moguće korištenje samog kalupa na unaprijed određenom stroju čiji su parametri i mogućnosti unaprijed poznate.

Prvi dio eksperimentalnog rada sastojao se od izmjera postojećeg otpreska te izrade 3D modela proizvoda u CAD programu. Nakon izrade 3D modela, izvršena je provjera postojanosti određenih karakteristika proizvoda koje je bilo potrebno zadovoljiti.

Drugi dio eksperimentalnog rada sastojao se od konstrukcije kalupa korištenjem standardnih elemenata jednog od najpoznatijih proizvođača standardnih elemenata kalupa na našim prostorima. Konstrukcija alata potpomognuta je računalnim simulacijama te su prema rezultatima simulacija poduzete određene mjere kojima su otklonjeni problemi koji su se mogli pojaviti u samoj proizvodnji injekcijskim prešanjem.

Treći dio eksperimentalnog rada sastojao se od izrade nestandardnih elemenata kalupa te dorade odnosno dodavanja specifičnih oblika i elemenata na standardne elemente kalupa. Sama izrada i dorada uključuje tehnologije glodanja, tokarenja, bušenja, brušenja te poliranja u svrhu izrade pojedinih elemenata kalupa.

Četvrti dio eksperimentalnog rada sastojao se od usporedbe rezultata računalnih simulacija te realnog procesa. Također, izvršena je usporedba dimenzija proizvoda izrađenog na novom kalupu u odnosu na referenti proizvod.

#### 4.2. OPIS PROIZVODA

Proizvod za koji je potrebno konstruirati kalup je odstožnik za armaturnu mrežu koja se koristi kod određenih građevinskih radova. Postojeći proizvod prikazan je na slici 4.2.1.



*Slika 4.2.1. odstožnik za armaturnu mrežu [4]*

Zahvaljujući svojem obliku i veličini, odstožnik omogućava optimalno prodiranje betona do same podloge, a armaturna mreža zadržava svoju predviđenu poziciju iznad podloge. Primjer upotrebe prikazan je na slici 4.2.2.



*Slika 4.2.2. upotreba odstožnika armaturne mreže [5]*



#### 4.3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE REFERENTNOG OTPRESKA

Ulazni parametri za izradu 3D modela u ovom diplomskom radu bili su dimenzije otpreska: duljina, širina, visina i promjer te masa otpreska. Ulazni parametri otpreska određeni su mjerenjem pomičnim mjerilom, mikrometarskim vijkom te mjerenjem mase na preciznoj vagi. Osnovne karakteristike referentnog otpreska koje se po zahtjevu kupca moraju u najbližoj mjeri poštivati prikazane su u tablici 4.3.1.

Tablica 4.3.1. izmjere osnovnih značajki otpreska [1]

IZMJERE OTPRESKA	
ULAZNI PARAMETRI OTPRESKA	IZMJERENA VRIJEDNOST
DULJINA, mm	246
ŠIRINA, mm	246
VISINA, mm	24
PROMJER, mm	246
MASA OTPRESKA, g	51

Materijal izrade referentnog otpreska bio je polipropilen (PP). Pri tome je korišten PP proizvođača *Borealis* pod trgovačkom oznakom BD310MO. Svojstva odabranog materijala bitna kod same konstrukcije kalupa i prerade odabranog materijala prikazana su u tablici 4.3.2.

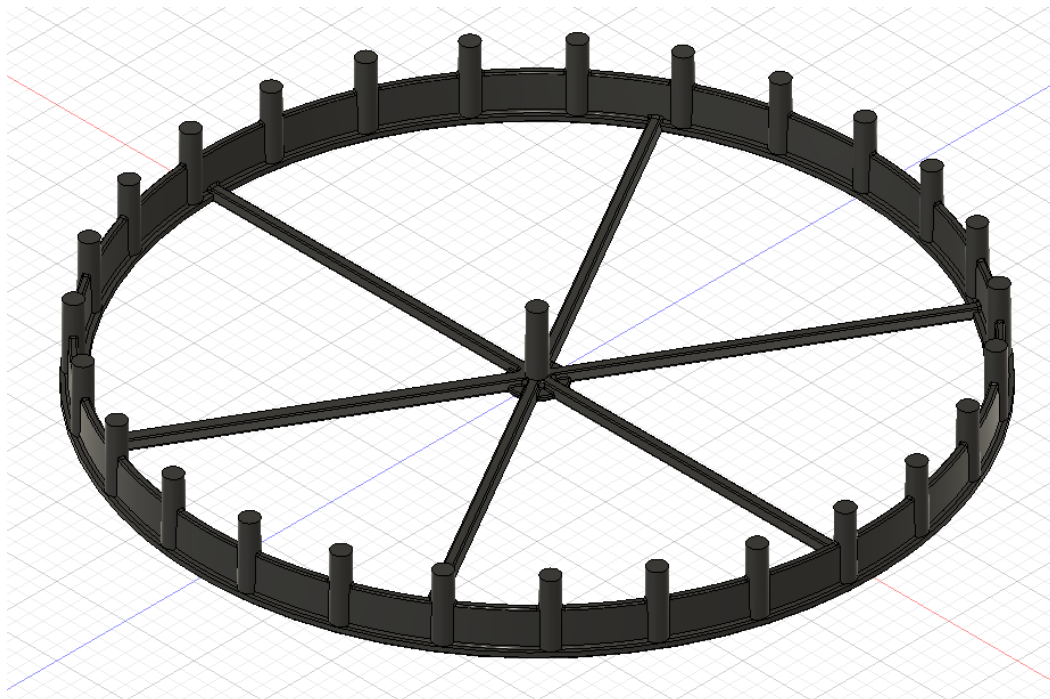
Tablica 4.3.2. svojstva PP (BD310MO) [2]

Svojstvo	Oznaka	Jedinica	Vrijednost
Gustoća	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	905
Temperatura taljevine	$\vartheta_T$	°C	230 ... 260
Temperatura stijenke kalupne šupljine	$\vartheta_K$	°C	10 ... 30
Volumno skupljanje (svi smjerovi)	$S$	%	1 ... 2

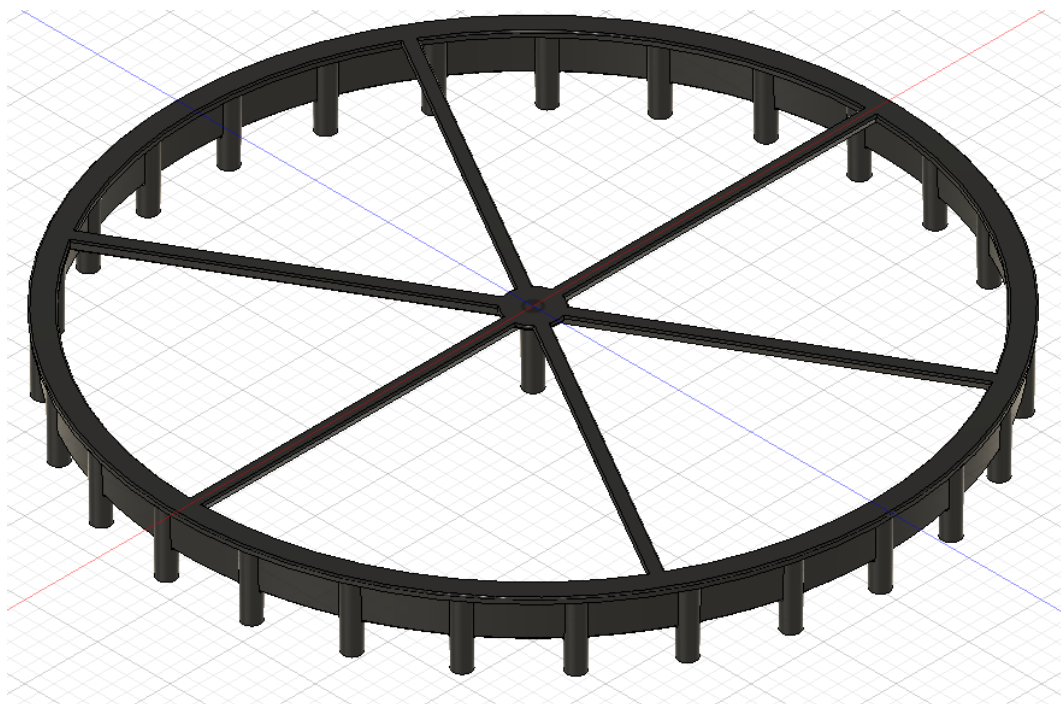
Detaljniji prikaz specifikacija odabranog materijala nalazi se u prilogu 1.

#### 4.4. IZRADA 3D MODELA ZADANOG OTPRESKA

Nakon utvrđivanja osnovnih dimenzija, pristupilo se izradi računalnog 3D modela proizvoda u za to predviđenom računalnom programu. U ovom diplomskom radu korišten je program pod nazivom *Autodesk Fusion360*. Na slici 4.4.1., te 4.4.2. prikazan je 3D model proizvoda u dva različita pogleda.



*Slika 4.4.1. 3D model proizvoda – izometrijski pogled gornjeg dijela [6]*

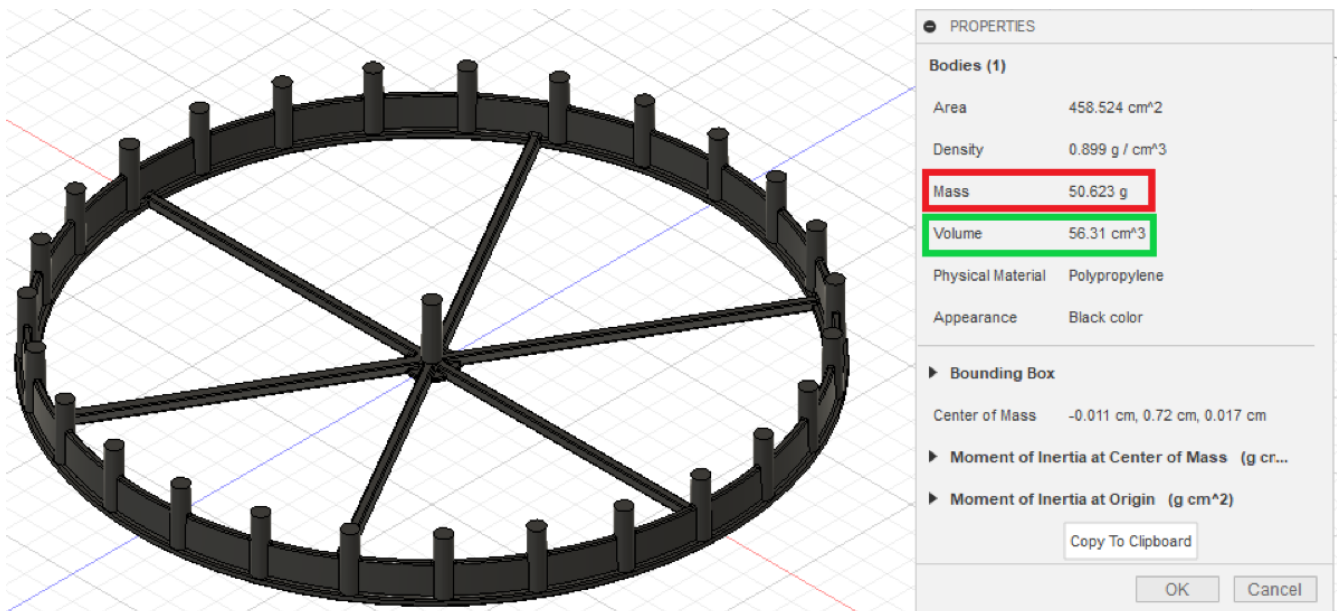


*Slika 4.4.2. 3D model proizvoda – izometrijski pogled donjeg dijela [7]*

Prilikom izrade samog 3D modela proizvoda poželjno je slijediti određena opća pravila oblikovanja s obzirom na postupak injekcijskog prešanja:

- postizanje što tanjih stijenki,
- postizanje stijenke ujednačene debljine,
- pravilno oblikovanje rebrastih ukrućenja za poboljšanje krutosti,
- izbjegavati oštre rubove i bridove,
- izbjegavati nagle promjene debljine stijenke,
- izbjegavati gomilanje mase na jednu ili drugu stranu,
- osigurati potrebna skošenja u smjeru vađenja otpreska iz kalupne šupljine,
- izbjegavati podreze. [4]

Nakon izrade 3D modela proizvoda, potrebno je provjeriti masu istog definiranjem materijala koji će se koristiti u proizvodnom postupku prema podacima iz priloga 1.



Slika 4.4.3. masa izrađenog 3D modela proizvoda [8]

Usporedbom mjerene mase otpreska (tablica 4.3.1.) te mase dobivene izračunom računalnim programom (označeno crvenim pravokutnikom) može se utvrditi da se mjere izrađenog 3D modela proizvoda poklapaju sa zadanim otpreskom.

#### 4.5. KARAKTERISTIKE UBRIZGAVALICE

Ubrizgavalica na kojoj se izrađivao zadani otpresak je ubrizgavalica proizvođača *Krauss Maffei*, oznake 80 – 390 C1 . Važniji podatci o korištenoj ubrizgavalici su dani u tablici 4.5.1.

Tablica 4.5.1. karakteristike korištene ubrizgavalice [3]

KARAKTERISTIKA	JEDINICA	VRIJEDNOST
Promjer pužnog vijka	mm	40
Kapacitet plastificiranja	g/s	29
Brzina ubrizgavanja	cm <sup>3</sup> /s	131
Maksimalni obujam ubrizgavanja	cm <sup>3</sup>	204
Maksimalni pritisak ubrizgavanja	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	186
Sila držanja kalupa	kN	800
Minimalna visina kalupa	mm	250
Razmak između vodilica steznih ploča	mm	405x405
Maksimalna masa ubrizgavanja	g	185
Dužina	m	4,1
Širina	m	1,4
Visina	m	2,02

#### 4.6. ODABIR STANDARDNIH ELEMENTA KALUPA

Na temelju ulaznih parametara otpreska iz tablice 4.3.1., te poznatih karakteristika ubrizgavalice na kojoj se bazirala proizvodnja injekcijskim prešanjem iz tablice 4.5.1., pristupilo se odabiru standardnih elemenata kalupa koji su preuzeti iz baze poznatog proizvođača elemenata kalupa naziva *Meusburger*. Svi odabrani standardni elementi mogu se preuzeti u formatu koji podržava i odabrani CAD program te se na taj način znatno smanjuje vrijeme konstrukcije samog kalupa. Prilikom odabira određenog standardnog elementa morali su se poštivati uvjeti koje određuje naručitelj kalupa.

Standardni elementi kalupa koje nudi većina proizvođača elemenata kalupa prikazani su u tablici 4.6.1.

Tablica 4.6.1. standardni elementi kalupa za injekcijsko prešanje polimera [4]

Podsustav kalupa	Naziv elementa
Kućište	Stezna ploča kalupa
	Kalupna ploča
	Među ploča (temeljna ploča)

	Odstojna letva
Uljevni sustav	Uljevni tuljac
	Sidreni tuljac
	Vruća mlaznica (s i bez igličastog ventila)
	Vrući razdjelni blok
	Zaporni vijak
	Filtarski uložak
	Grijalo (torpedo)
Sustav za vođenje i centriranje	Vodeći stup
	Vodeća puškica
	Centrirna puškica
	Element konusnog centriranja
	Centrirni prsten
Sustav za temperiranje	Priključak za crijevo
	Obujmica za crijevo
	Crijevo
	Brtva
	Spiralna jezgra
	Izolacijska ploča
Sustav za vađenje otpreska iz kalupa	Izbacivalo valjkastog oblika
	Izbacivalo u obliku puškice
	Ploča izbacivala
	Potisna ploča
	Vodeća puškica potisnog sustava
	Ploča potiskivala
	Navojna jezgra
	Zupčanik
	Ležaj
	Opruga
	Dvostupnjevito izbacivalo
	Povratno-vodeći uređaj
	Povlačna kotva
Elementi pribora	Vijak
	Cilindrični zatic
	Opružni prsten
	Okasti vijak
	Potporanj

	Dosjedni zatik i ploča
	Odstojni prsten
Sustav za stezanje kalupa na ubrizgavalicu	Mehanički sustav pritezanja kalupa
Sustav kliznika	Kliznik
	Vodeća pločica (samo podmazujuća)
	Potisna pločica
	Brava kliznika
	Koso izvlačilo
	Vodilica kosog izvlačila
Mjerni i regulacijski uređaji	Osjetilo temperature
	Mikro sklopka
	Priključak
Kalupni umetci	Jezgra

#### 4.6.1. KUĆIŠTE KALUPA

Prilikom odabira kućišta kalupa, bilo je potrebno zadovoljiti dva osnovna parametra:

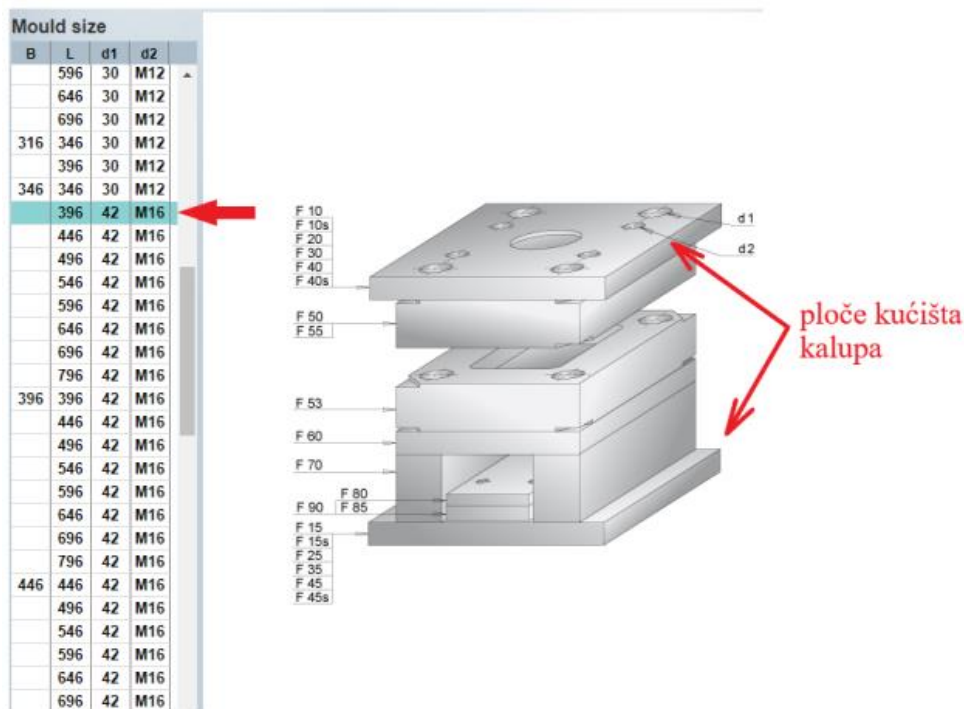
- da odabrano kućište odgovara dimenzijama proizvoda, odnosno da dimenzije proizvoda nisu veće od samih dimenzija kućišta kalupa
- da odabrano kućište odgovara dimenzijama ubrizgavalice, odnosno da dimenzije kućišta kalupa nisu veće od mjere razmaka između vodilica ubrizgavalice.

Uz zadane parametre i ponudu standardnih dimenzija kućišta kalupa, odabrano je kućište dimenzija:

- dužina ( u horizontalnom smjeru):  $L = 396$  mm,
- visina ( u vertikalnom smjeru):  $B = 346$  mm.

Standardno kućište ima predviđene dimenzije elemenata za unutrašnje i vanjsko vođenje i centriranje kao i veličinu vijaka za povezivanje ostalih elemenata kalupa.

Odabrano kućište kalupa prikazano je na slici 4.6.1.1.



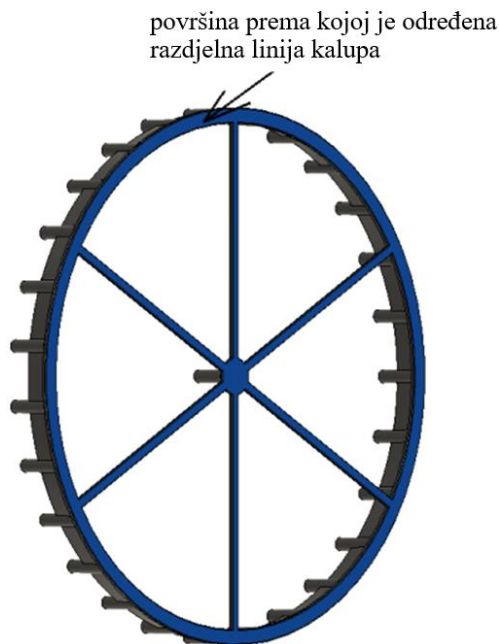
Slika 4.6.1.1. odabrano kućište iz baze standardnih elemenata kalupa [9]

Pri izboru materijala potrebno je izabrati materijal koji zadovoljava parcijalne funkcije kućišta kalupa. Odabrani materijal kućišta bio je: alatni čelik oznake *40 CrMnMoS 8-6* prema DIN-u. Specifikacije odabranog čelika prikazane su u prilogu 2.

#### 4.6.1.1. RAZDJELNA LINIJA KALUPA

Razdjelna linija kalupa je linija koja dijeli pomični i nepomični dio kalupa, odnosno određivanjem razdjelne linije kalupa određuju se žig i matrica kalupa. Većina kalupa za injekcijsko prešanje polimera ima jednu razdjelnu liniju, ali moguća je i izvedba kalupa sa više od jedne razdjelne linije.

Razdjelna linija kalupa određena je na način da se sa nepomične strane kalupa nalazi samo vrući uljevni sustav, a na pomičnom dijelu kalupa kalupna šupljina. Površina proizvoda koja predstavlja razdjelnu liniju kalupa prikazana je na slici 4.6.2.1.



*Slika 4.6.1.1.1. prikaz površine proizvoda prema kojoj je određena sljubnica kalupa*

[10]

#### 4.6.2. KALUPNA ŠUPLJINA

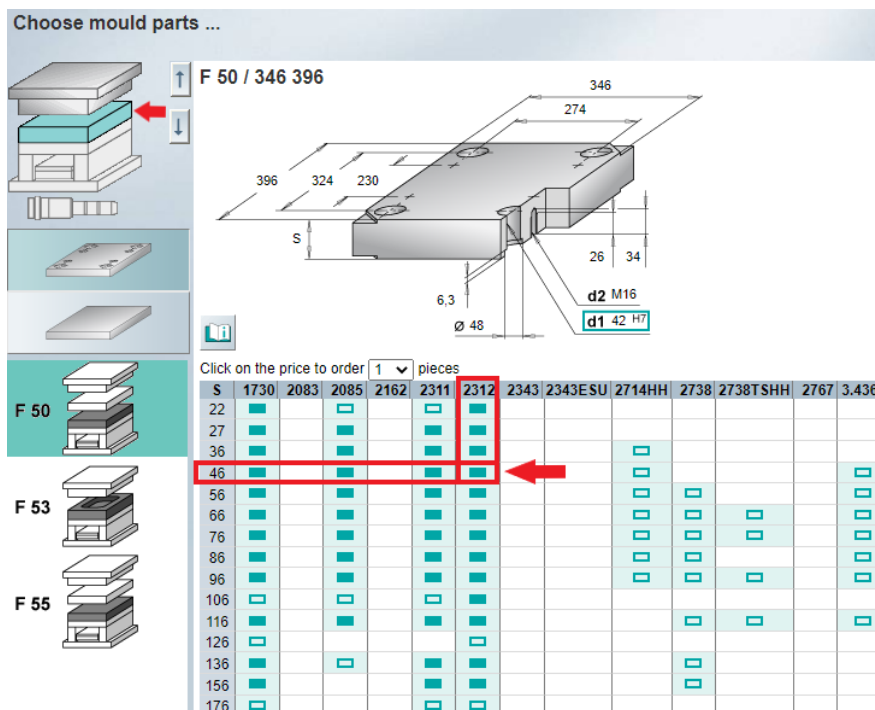
Broj kalupnih šupljina kalupa određen je iz karakteristika ubrizgavalice. Iz tablice 4.5.1. vidljivo je da razmak između vodilica steznih ploča iznosi 405 milimetara i vertikalno i horizontalno, a iz slike 4.6.1.1. mogu se pročitati dimenzije kućišta kalupa. Iz navedenih parametara lako je zaključiti će kalup imati jednu kalupnu šupljinu jer za dvije ili više kalupnih šupljina proizvodni proces ne bi mogli izvršiti na zadanoj ubrizgavalici.

Kalupna šupljina je oblikom jednaka zadanom otpresku, ali dimenzijski je uvećana za određeni postotak stezanja polimernog materijala koji se prerađuje. Prema tome, kalupna šupljina je „negativ“ zadanog otpreska uvećana za određeni dodatak za toplinsko stezanje materijala pri skrućivanju. [1]

Postotak stezanja materijala koji se koristio u proizvodnom procesu moguće je pročitati iz tablice 4.3.2. Prema tablici, volumno stezanje za zadani PP iznosi između 1% i 2%, te se uzima srednja vrijednosti između zadanog kao mjera volumnog stezanja.

Debljina ploče kalupa u kojoj se nalazi kalupna šupljina mora biti veća od same visine proizvoda. Također, bitno je i temperiranje ploče u kojoj se nalazi kalupna šupljina pa se zbog toga povećava debljina ploče kalupne šupljine. Odabrana standardna debljina ploče u kojoj se nalazi kalupna šupljina prikazana je na slici 4.6.3.1.



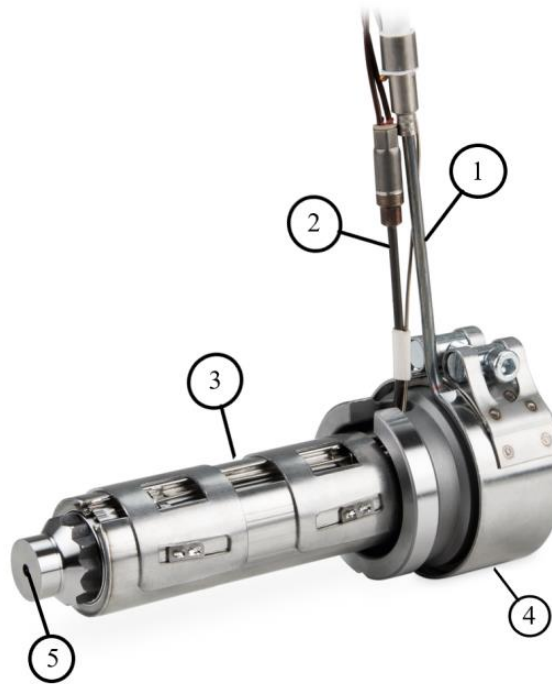


Slika 4.6.3.1. standardna ploča kalupa u kojoj se nalazi kalupa šupljina [11]

#### 4.6.3. ULJEVNI SUSTAV KALUPA

Prije određivanja uljavnog sustava kalupa, potrebno je odrediti položaj uljavnog sustava kalupa. Određeno je da će kalup imati jednu kalupnu šupljinu, a pri odabiru položaja ušća potrebno je paziti da su putovi tečenja od položaja ušća do svih dijelova kalupne šupljine jednaki i što kraći. Analizom zadanog proizvoda zaključilo se da se radi o rotacijsko simetričnom obliku proizvoda i o jednoj kalupnoj šupljini, te je položaj uljavnog sustava određen u centru rotacije zadanog proizvoda. Prema tome, u centar rotacije zadanog proizvoda, po nalogu naručitelja kalupa, konstruirana se ušće vrućeg uljavnog sustava.

Na temelju poznatih parametara, odabrana se je mlaznica sa jednim uljavnim ušćem. Odabrana mlaznica, sa pojedinim segmentima, prikazana je na slici 4.6.4.1.



*Slika 4.6.4.1. mlaznica sa jednim uljevnim ušćem [12]*

*1 – dovod električne energije, 2 – termočlanak, 3 – pojasno grijalo, 4 – izolacijska zaštita, 5 – vrh mlaznice kroz koji se istiskuje materijal*

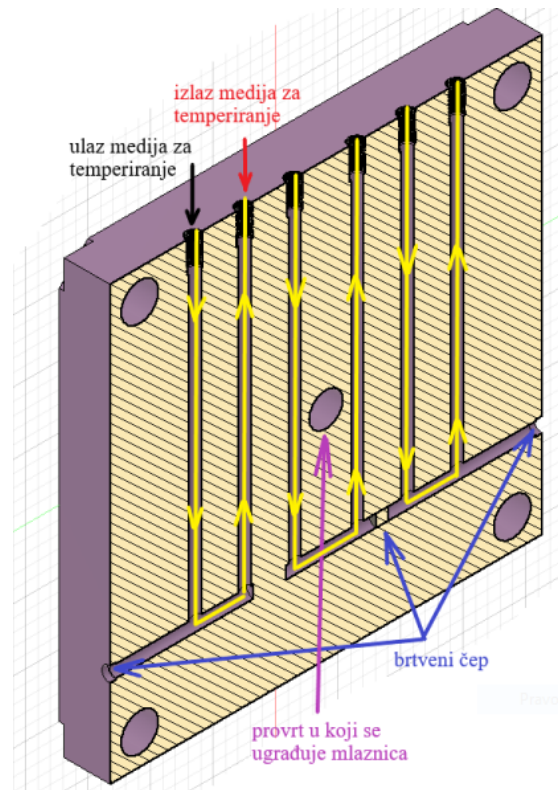
Dimenzije mlaznice zajedno sa uputama za ugradnju u ploču kalupa moguće je preuzeti iz kataloga proizvođača. Duljina mlaznice određuje debljinu ploče u koju se ugrađuje. Kombiniranjem standardnih debljina ploča i duljina mlaznica određena je debljina kućišta kalupnih ploča.

#### 4.6.4. SUSTAV ZA TEMPERIRANJE KALUPA

Pod temperiranjem se podrazumijeva postizanje propisane temperature stijenke kalupne šupljine, bez obzira treba li se pri tome toplina kalupu dovesti ili odvesti. Cilj je postići propisanu temperaturu stijenke kalupne šupljine, a način njena postizanja ovisi o stvarnim uvjetima, što dovodi do potrebe zagrijavanja ili hlađenja kalupa. [1]

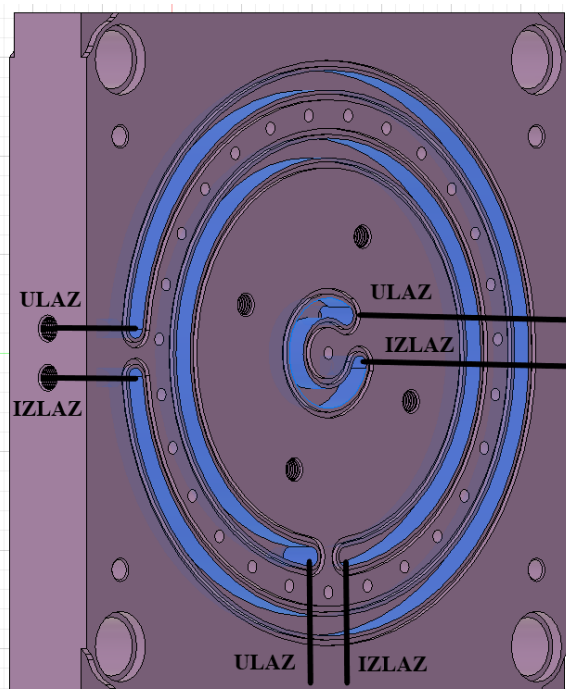
Iz tablice 4.3.2. može se iščitati poželjna temperatura stijenke kalupa ( između 10 °C i 30 °C), a voda kao medij za temperiranje kalupa se u vodovodnoj mreži nalazi na približno 20 °C, pa je na temelju navedenih parametara određena voda iz vodovodne mreže kao sustav za temperiranje stijenki kalupne šupljine. Kada se u kalupu nalazi mlaznica koja predstavlja vrući uljevni kanal, prema preporukama proizvođača poželjno je temperiranje i kalupne ploče u koju je ugrađena

mlaznica. Na slici 4.6.5.1. prikazan je izvedeni krug za temperiranje ploče kalupa u koju je ugrađena mlaznica (tzv. „U“ krug temperiranja).



Slika 4.6.5.1. krug za temperiranje ploče kalupa u koju je ugrađena mlaznica [13]

Ploča kalupa u kojoj se nalazi kalupna šupljina, zbog svog rotacijsko simetričnog oblika, ima i posebnu izvedbu kanala za temperiranje. Takav oblik kanala za temperiranje naziva se „Contura“ i omogućuje bitno skraćanje ciklusa injekcijskog prešanja, jednoliko temperiranje kalupne šupljine, te postizanje poboljšane kvalitete otpreska. Izvedeni krug za temperiranje ploče u kojoj se nalazi kalupna šupljina prikazan je na slici 4.6.5.2.



Slika 4.6.5.2. krug za temperiranje ploče u kojoj se nalazi kalupna šupljina [14]

Osnovna karakteristika „Contura“ sustava za temperiranje kalupne šupljine je da kanali prate oblik kalupne šupljine. Svaki kanal ima svoj ulaz i izlaz medija kojim se temperira kalupna šupljina, dok se brtvljenje osigurava odgovarajućom brtvom okruglog presjeka koja se ugrađuje u predviđeni kanal na način da prati kanal za temperiranje. Ugrađena brtva prikazana je na slici 4.6.5.2.



Slika 4.6.5.2. okrugla gumena brtva okruglog presjeka promjera 3 mm [15]

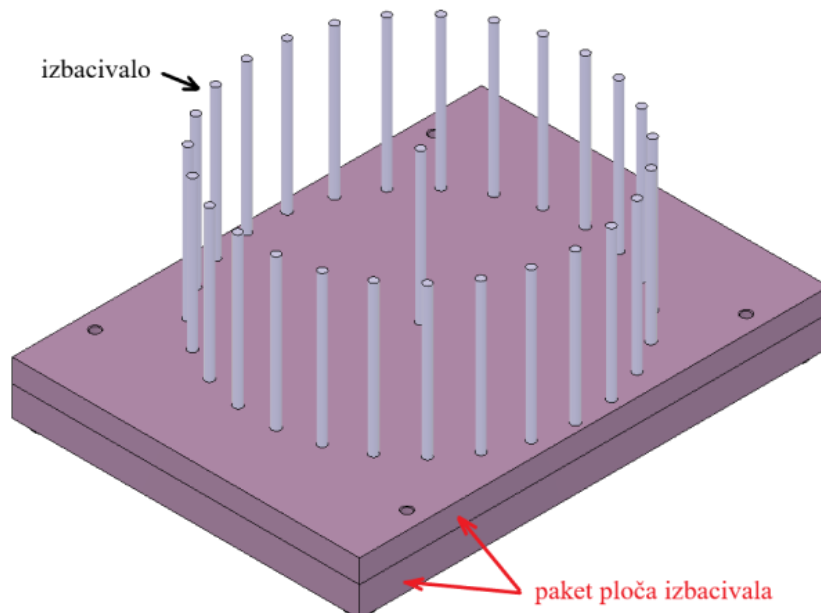
#### 4.6.5. SUSTAV ZA VAĐENJE OTPRESKA IZ KALUPA

Za vađenje otpreska iz kalupne šupljine izabrana su standardna izbacivala okruglog oblika presjeka (slika 4.6.6.1.) koja su fiksirana na ploči izbacivala te se zajedno sa njom gibaju.



Slika 4.6.6.1. izbacivalo okruglog oblika presjeka [16]

Sklop ploče izbacivala zajedno sa izbacivalima prikazan je na slici 4.6.6.2. Hod odnosno put gibanja potisne ploče određen je između ploče kućišta i ploče vođenja do ploče gdje se nalazi kalupna šupljina, a duljina se određuje jednostavnim mjerenjem prilikom konstruiranja kalupa.



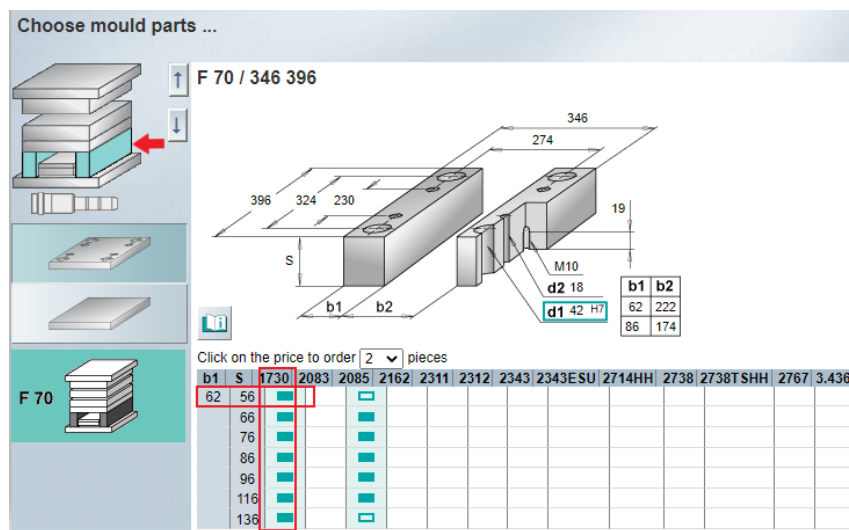
Slika 4.6.6.2. sustav za vađenje otpreska iz kalupa [17]

Kod konstruiranja pozicija izbacivala bitno je udovoljiti sljedeće zahtjeve:

- vađenje otpresaka bez oštećivanja
- ostavljanje što manje vidljivih otisaka na otpresku
- što ujednačenije vađenje otpresaka
- pravila koordinacija elemenata sustava za vađenje otpresaka sa sustavom za temperiranje kalupnih ploča. [1]

Uz paket ploča izbacivanja poželjno je koristiti i odstojne letve koje služe za centriranje ploča izbacivanja, a ujedno sprječavanju kretanje ploča izbacivanja u nepoželjnom smjeru. Kod

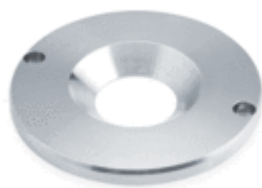
odabira standardnih elemenata kalupa, proizvođači također nude i odstojne letve. Odabrane odstojne letve prikazane su na slici 4.6.6.3.



Slika 4.6.6.3. standardne odstojne letve [18]

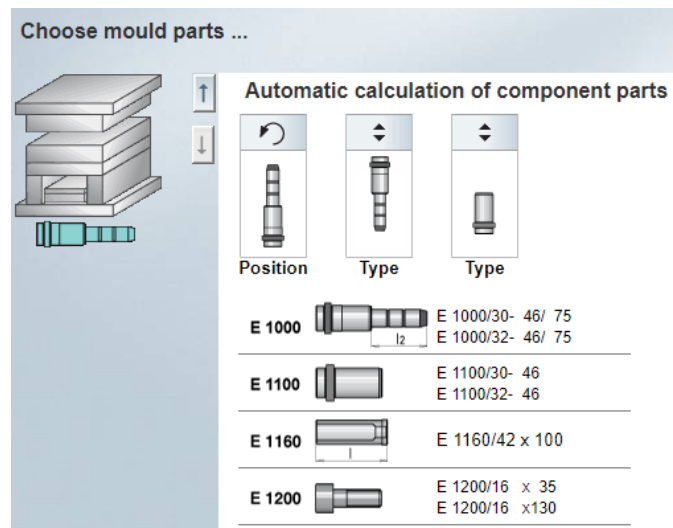
#### 4.6.6. SUSTAV ZA VOĐENJE I CENTRIRANJE ELEMENATA KALUPA

Vanjsko centriranje kalupa izvedeno je pomoću prstena za centriranje čiji promjer određuje promjer središnjeg provrta na steznim pločama ubrizgavalice i promjer provrta na pločama kućišta kalupa. Odabrani prsten za vanjsko centriranje prikazan je na slici 4.6.7.1.



Slika 4.6.7.1. prsten za vanjsko centriranje kalupa [19]

Za unutrašnje vođenje i centriranje odabran je sustav koji se sastoji od vodećeg zatika, vodeće puškice i centrirne puškice. Prilikom odabira standardnih elemenata bitno je izabrati odgovarajući promjer i duljinu. Standardni sustav za unutrašnje vođenje i centriranje prikazan je na slici 4.6.7.2.



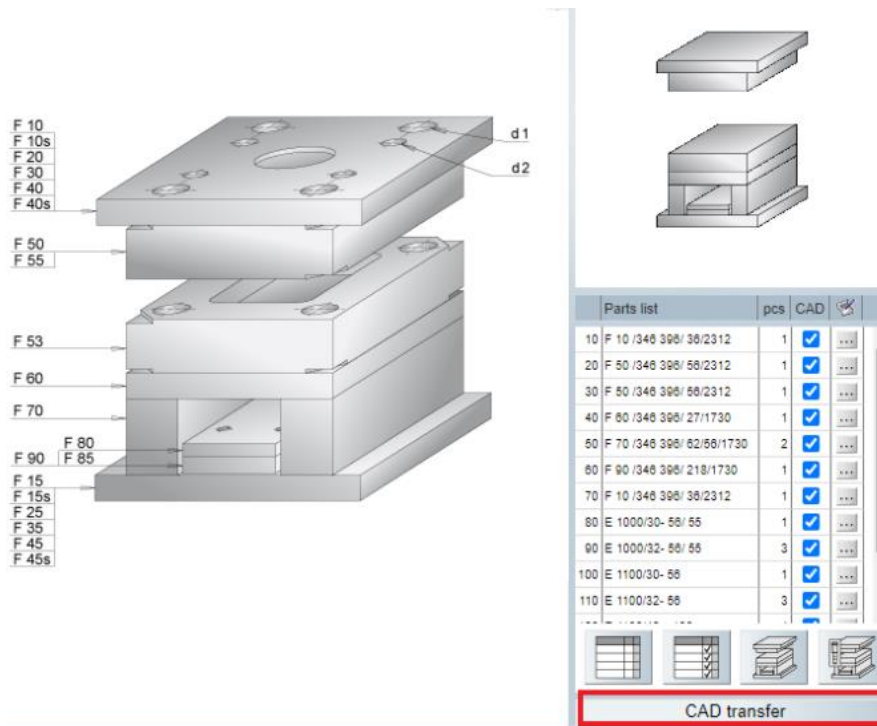
*Slika 4.6.7.2. vodeći zatik, vodeća puškica i centrirna puškica za unutrašnje centriranje i vođenje ploča kalupa [20]*

#### 4.6.7. SUSTAV ZA ODZRAČIVANJE KALUPA

Odzračivanje kalupne šupljine ostvareno je najčešćim oblikom odzračivanja: kroz provrte za vođenje izbacivala. Otvori za izbacivala se nalaze na kraju svih putova tečenja taljevine, ali se ne nalaze na mjestima linija spajanja čela taljevine. Zbog toga bilo je potrebno dodati dodatno odzračivanje na ta specifična mjesta. Vrlo je važno i čišćenje kanala za odzračivanje, jer prilikom zapunjenosti taljevinom odzračivanje ne izvršava svoju zadaću te se pojavljuju izgorine.

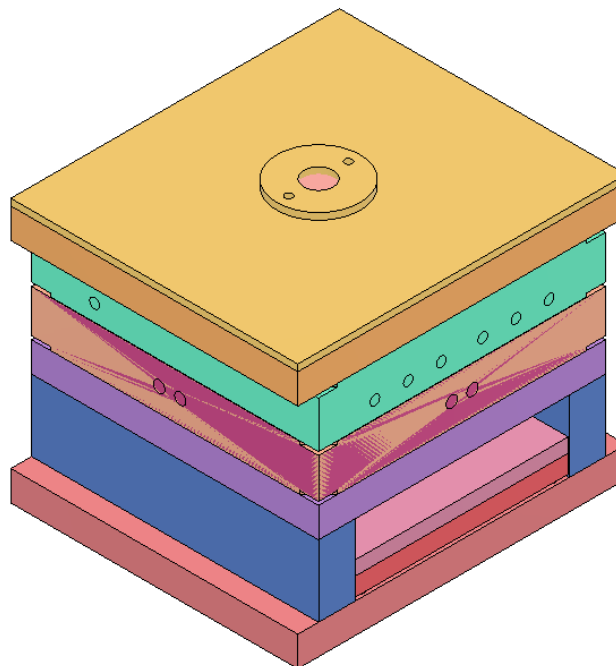
#### 4.6.8. 3D MODEL KALUPA

Prilikom odabira svih standardnih elemenata kalupa, proizvođač standardnih elemenata omogućava preuzimanje u obliku prihvatljivom za odabrani CAD program. Pripadajući izbornik koji je korišten prilikom preuzimanja prikazan je na slici 4.6.9.1.



Slika 4.6.9.1. 3D model kalupa sa svim sastavnim dijelovima [21]

Nakon preuzimanja 3D modela svih standardnih elemenata kalupa, sastavljeni kalup se učitao u odabrani CAD program te se moglo započeti sa zadnjom fazom konstrukcije. Na slici 4.6.9.2. prikazan je kalup u odabranom CAD programu.



Slika 4.6.9.2. 3D model kalupa u CAD programu [22]



## 4.7. SIMULACIJA INJEKCIJSKOG PREŠANJA

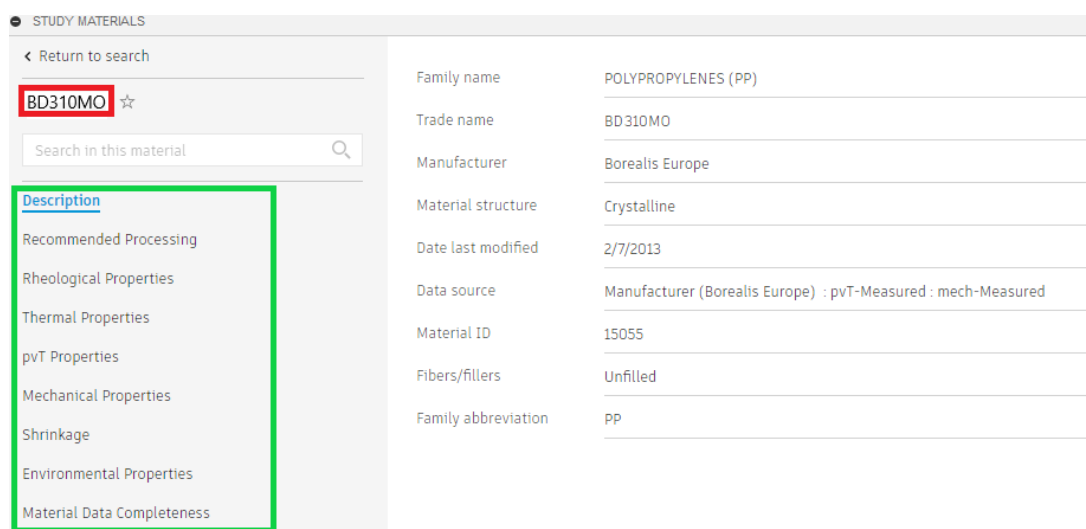
Program u kojem je izvršena konstrukcija kalupa, *Autodesk Fusion360*, ima i mogućnost analize injekcijskog prešanja te simulacije postupka. Neki od parametara koje je moguće simulirati su:

- vrijeme popunjavanja kalupne šupljine (e. *Fill time*)
- vjerojatnost popunjavanja kalupne šupljine (e. *Fill confidence*)
- predviđanje kvalitete otpreska (e. *Quality prediction*)
- tlak u kalupnoj šupljini prilikom popunjavanja (e. *Injection pressure*)
- temperatura čela taljevine (e. *Flow-front temperature*)
- vrijeme hlađenja do temperature izbacivanja (e. *Time to ejection temperature*)
- zaostali zračni mjehuri (e. *Air traps*)
- linije spajanja (e. *Weld lines*)...

Kao i kod svake druge računalne simulacije, potrebno je definirati ulazne parametre prema kojima računalni program na temelju algoritama računa određena stanja koja će se desiti tijekom realnog procesa.

### 4.7.1. DEFINIRANJE PARAMETARA ODABRANOG MATERIJALA

Budući da je materijal određen bilo ga je potrebno samo iz baze gotovih materijala u programu odabrati. Na slici 4.7.1.1. prikazan je odabrani materijal.

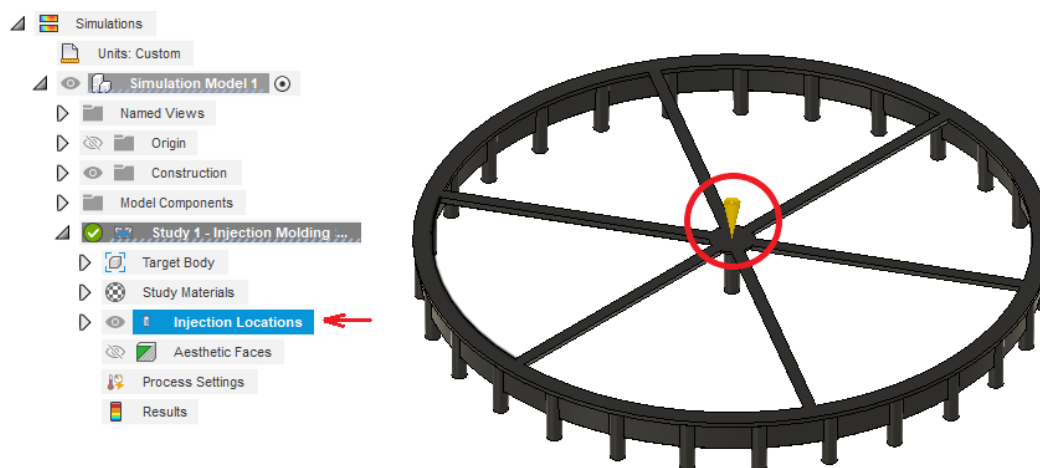


Slika 4.7.1.1. odabrani materijal iz baze definiranih materijala [23]

Svi parametri bitni za proces injekcijskog prešanja označeni su sa zelenim pravokutnikom i mogu se očitati jednostavnim klikom na parametar koji nas zanima.

#### 4.7.2. DEFINIRANJE POLOŽAJA UŠĆA

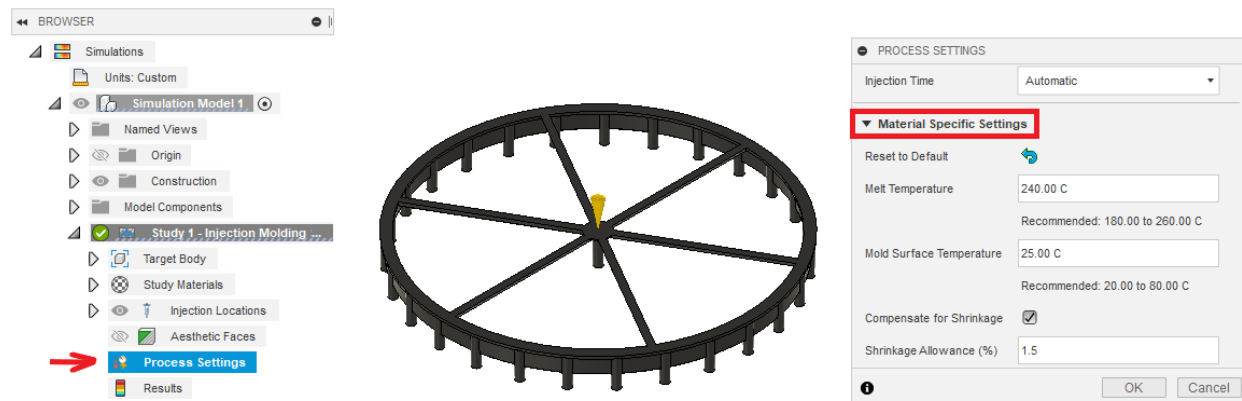
Prije nego je započela simulacija na modelu je bilo potrebno i definirati položaj ušća. Pošto je položaj ušća već određen, bilo ga je potrebno samo definirati na 3D modelu. Definirana pozicija ušća na 3D modelu prikazana je na slici 4.7.2.1.



Slika 4.7.2.1. definirana pozicija ušća [24]

#### 4.7.3. PREGLED ULAZNIH PARAMETARA

Prije same simulacije poželjno je provjeriti ulazne parametre, te ih usporediti sa parametrima koje možemo pročitati u tablici 4.3.2. Jednostavnom usporedbom vidimo da se parametri iz baze podataka simulacijskog programa podudaraju sa preporučenim parametrima proizvođača materijala.



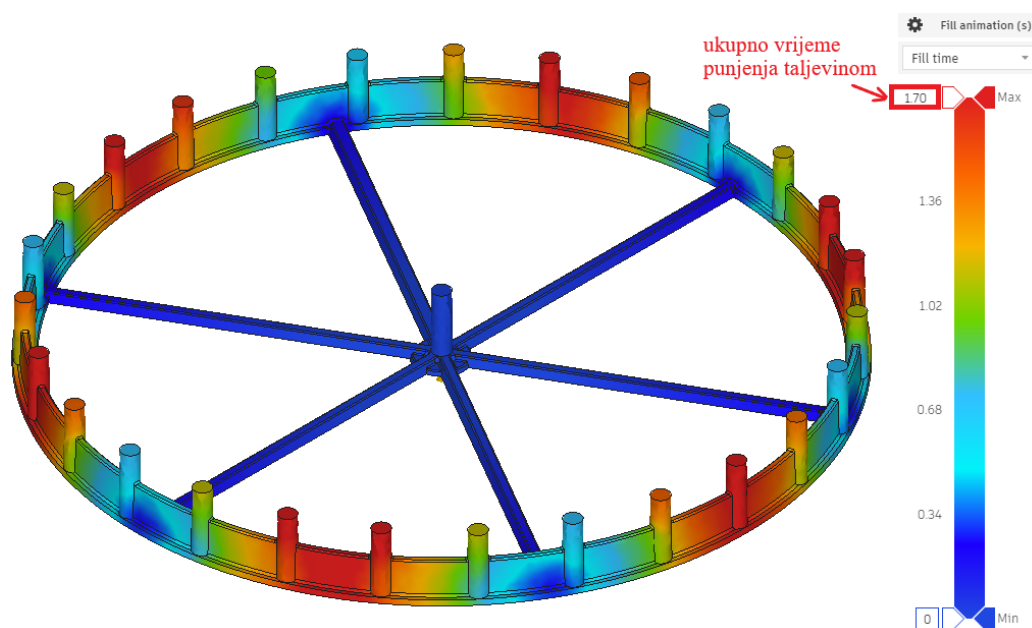
Slika 4.7.3.1. ulazni parametri za simulaciju procesa [25]

Ulazni parametri prikazani su na slici 4.7.3.1.

## 4.8. REZULTATI SIMULACIJE I INTERPRETACIJA REZULTATA

### 4.8.1. VRIJEME POPUNJAVANJA KALUPNE ŠUPLJINE

Simulacija pokazuje koji se dijelovi kalupne šupljine popunjavaju u isto vrijeme. Područja koja se prva pune prikazana su plavom bojom, a ona koja se pune posljednja crvenom bojom (slika 4.8.1.).



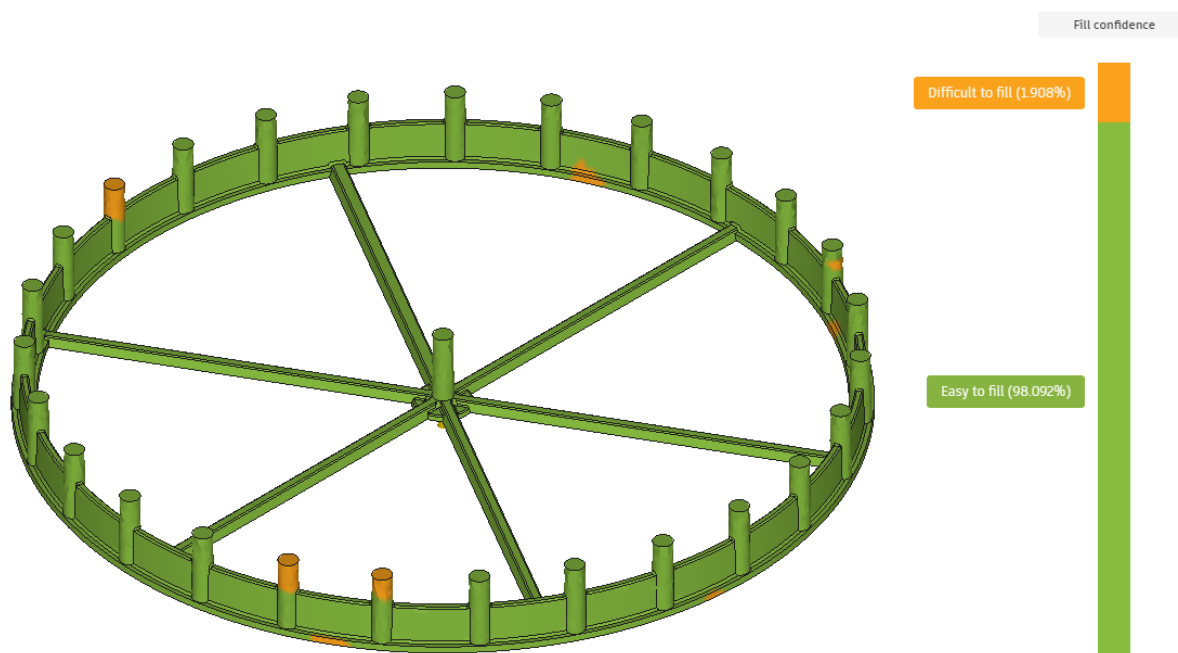
Slika 4.8.1.1. vrijeme punjenja taljevinom [26]

Ovaj parametar nam pokazuje realno vrijeme punjenja kalupnih šupljina. Kod kalupa sa dvije ili više kalupnih šupljina možemo provjeriti da li je uljevni sustav uravnotežen odnosno da li se sve kalupne šupljine jednoliko popunjavaju.

### 4.8.2. VJEROJATNOST POPUNJAVANJA KALUPNE ŠUPLJINE

Ova analiza nam govori o mogućnosti potpunog popunjavanja kalupnih šupljina. Predviđanje se temelji na temperaturi tečenja taljevine i tlaku postignutom u kalupnoj šupljini, pa je zbog toga bitno kod definiranja ulaznih parametara uzeti preporučene vrijednosti proizvođača materijala ili u programu odabrati zadani materijal iz baze koja se nalazi u samom programu. Vjerojatnost popunjavanja kalupne šupljine prikazana je na slici 4.8.2.1.

Zelenom bojom prikazano je koji dio će se lako popuniti, narančastom koji dio će se teže popuniti taljevinom, a crvenom bojom se označava dio koji se neće popuniti taljevinom.

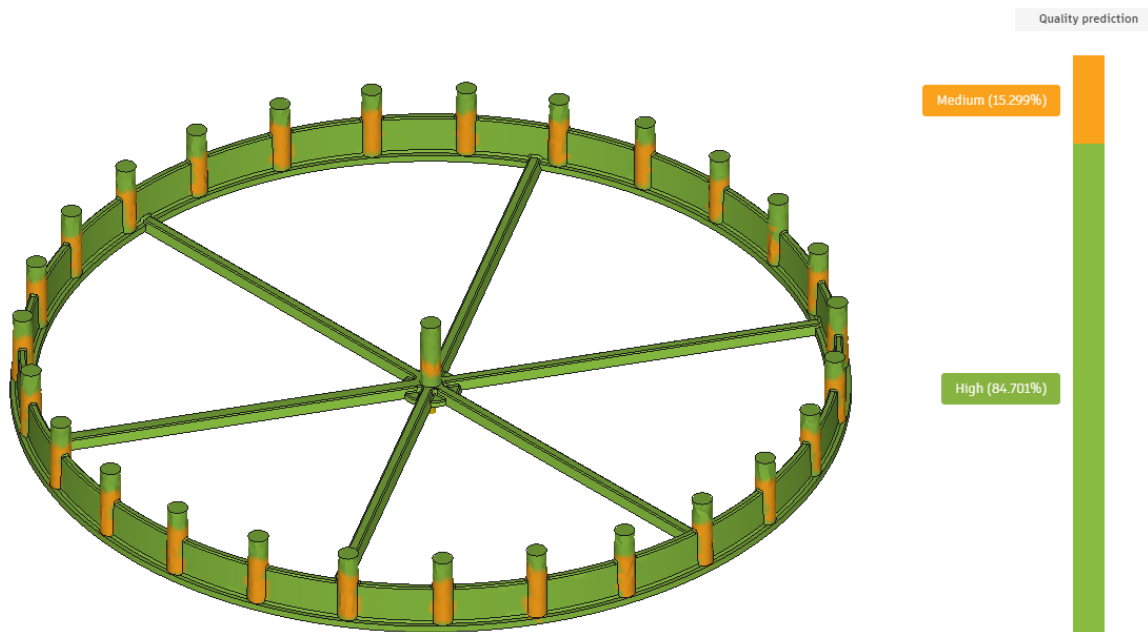


Slika 4.8.2.1. vjerojatnost popunjavanja kalupne šupljine [27]

Iz slike 4.8.2.1. je vidljivo da će taljevina u potpunosti popuniti kalupnu šupljinu, i to 98,092% volumena kalupne šupljine lako, a svega 1,908% teže.

#### 4.8.3. PREDVIĐANJE KVALITETE OTPRESKA

Predviđanje kvalitete se provodi sa namjerom saznanja vizualnog izgleda otpreska. Tijekom eksploatacije, ukoliko je dozvoljeno od strane naručitelja kalupa, proizvodi koji su izrađeni postupkom injekcijskog prešanja mogu imati hrapavije površine ako su one „nevidljive“. U slučaju odstojnika armaturne mreže, prihvatljivo je da i vanjske i unutarnje površine otpreska nemaju ujednačenu kvalitetu površine. Predviđena kvaliteta otpreska prikazana je na slici 4.8.3.1.

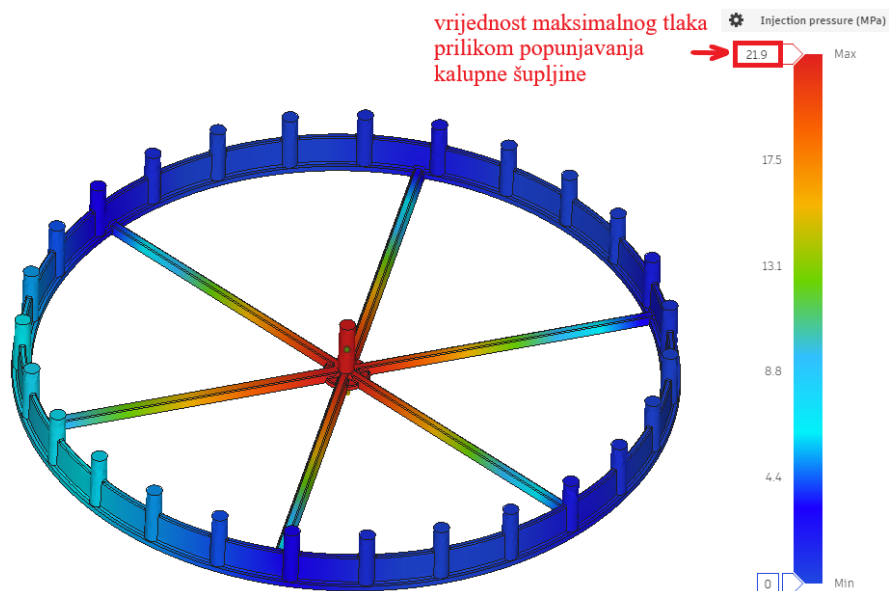


Slika 4.8.3.1. predviđena kvaliteta otpreska [28]

Iz rezultata simulacije je vidljivo da 84,701% ukupnog volumena zadovoljava kriterij kvalitete.

#### 4.8.4. TLAK U KALUPNOJ ŠUPLJINI PRILIKOM POPUNJAVANJA

Ukoliko se dogodi da je vrijednost tlaka prilikom popunjavanja veća od nazivnog tlaka ubrizgavanja, dolazi do problema nepopunjenosti kalupne šupljine. Usporedbom parametara iz tablice 4.3.2. i rezultata simulacije prikazanih na slici 4.8.4.1. vidljivo je da vrijednost tlaka u kalupnoj šupljini prilikom popunjavanja nije veća od nazivnog tlaka ubrizgavalice.

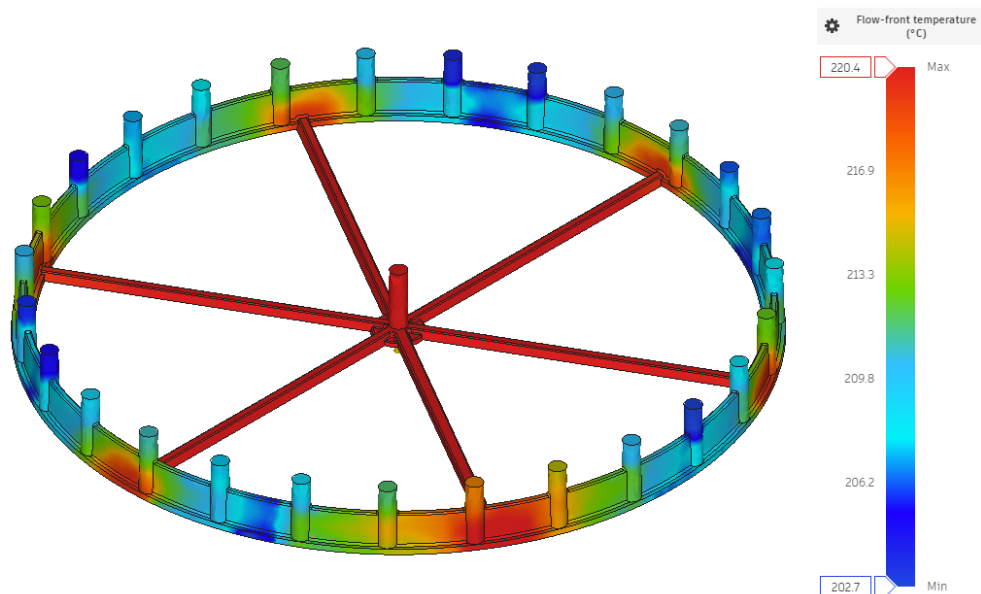


Slika 4.8.4.1. tlak u kalupnoj šupljini prilikom popunjavanja [29]

Maksimalni tlak prilikom popunjavanja iznosi 21,9 MPa, dok nazivni tlak ubrizgavalice iznosi 186 MPa.

#### 4.8.5. TEMPERATURA ČELA TALJEVINE

Temperatura čela taljevine pokazuje pad temperature taljevine prilikom popunjavanja kalupne šupljine, odnosno raspon temperature taljevine prilikom popunjavanja kalupne šupljine. Raspon temperatura taljevine prikazan je na slici 4.8.5.1.



Slika 4.8.5.1. temperatura čela taljevine [30]

Na slici 4.8.5.1. vidljiv je pad temperature u smjeru toka taljevine u smjeru popunjavanja kalupne šupljine što je i očekivano.

Po fazama punjenja kalupne šupljine, raspon temperatura taljevine bi se trebao kretati između 2 - 5 °C da bi se degradacija materijala i deformacije površina svele na minimum. [5]

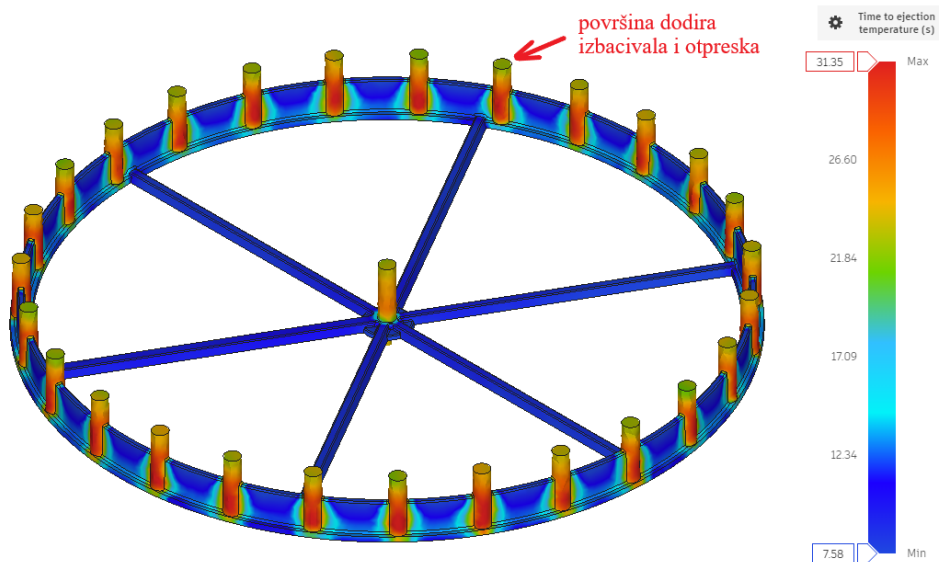
*Tablica 4.8.5.1. temperaturni raspon taljevine prilikom popunjavanja kalupne šupljine [5]*

TEMPERATURA ČELA TALJEVINE	
VRIJEDNOST, °C	RAZLIKA, °C
220,4	
	3,5
216,9	
	3,6
213,3	
	3,5
209,8	
	3,6
206,2	
	3,5
202,7	

Iz tablice 4.8.5.1. je vidljivo da su temperaturni rasponi taljevine prilikom popunjavanja kalupne šupljine u dozvoljenim granicama.

#### 4.8.6. VRIJEME HLAĐENJA DO TEMPERATURE IZBACIVANJA

Ovaj parametar pomaže kod određivanja pozicija izbacivala. Izbacivala je poželjno postaviti na mjesta gdje je otpresak najbrže ohlađen jer na tim mjestima se najprije očvrstne te su oštećenja otpreska najmanja. Ako zbog bilo kakvih konstrukcijskih ili tehnoloških razloga izbacivala nisu postavljena na takva mjesta, simulacijom možemo saznati vrijeme potrebno za očvrstnuće na pozicijama gdje se nalaze izbacivala te na taj način odrediti minimalno vrijeme hlađenja za minimalno oštećenje otpreska. Na slici 4.8.6.1. prikazana je površina dodira izbacivala i otpreska te se na skali može očitati približno vrijeme hlađenja do temperature izbacivanja.

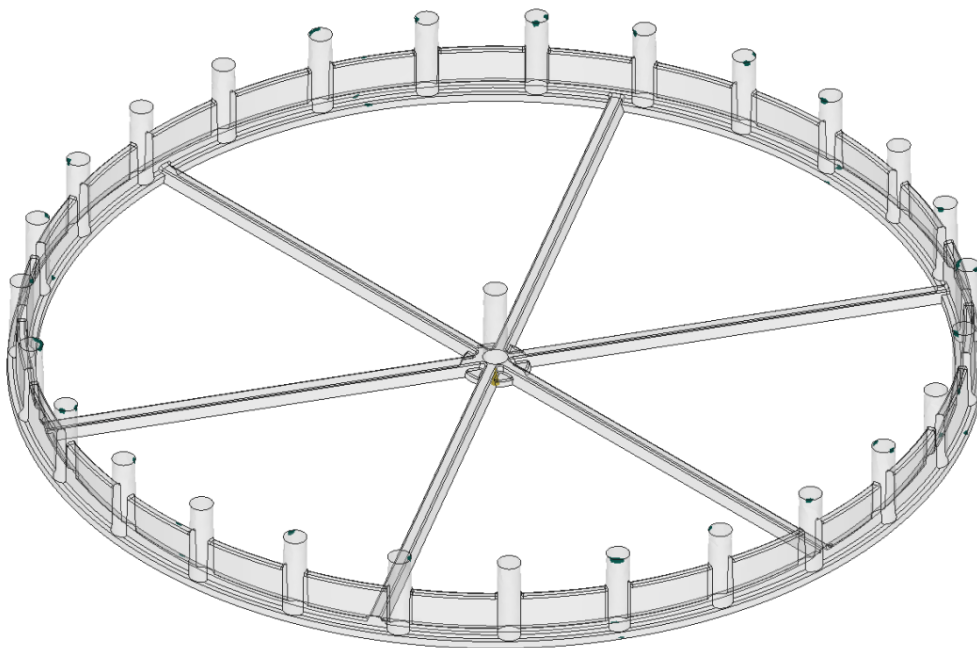


Slika 4.8.6.1. vrijeme hlađenja do temperature izbacivanja [31]

Prema legendi, vrijeme hlađenja do temperature izbacivanja za odabranu površinu iznosi približno 22 sekunde.

#### 4.8.7. ZAOSTALI ZRAČNI MJEHURI

Ovom analizom moguće je utvrditi područja u kalupnoj šupljini gdje je moguće zaostajanje zraka. Ta područja prikazana su na slici 4.8.7.1. (označena zelenim točkama).



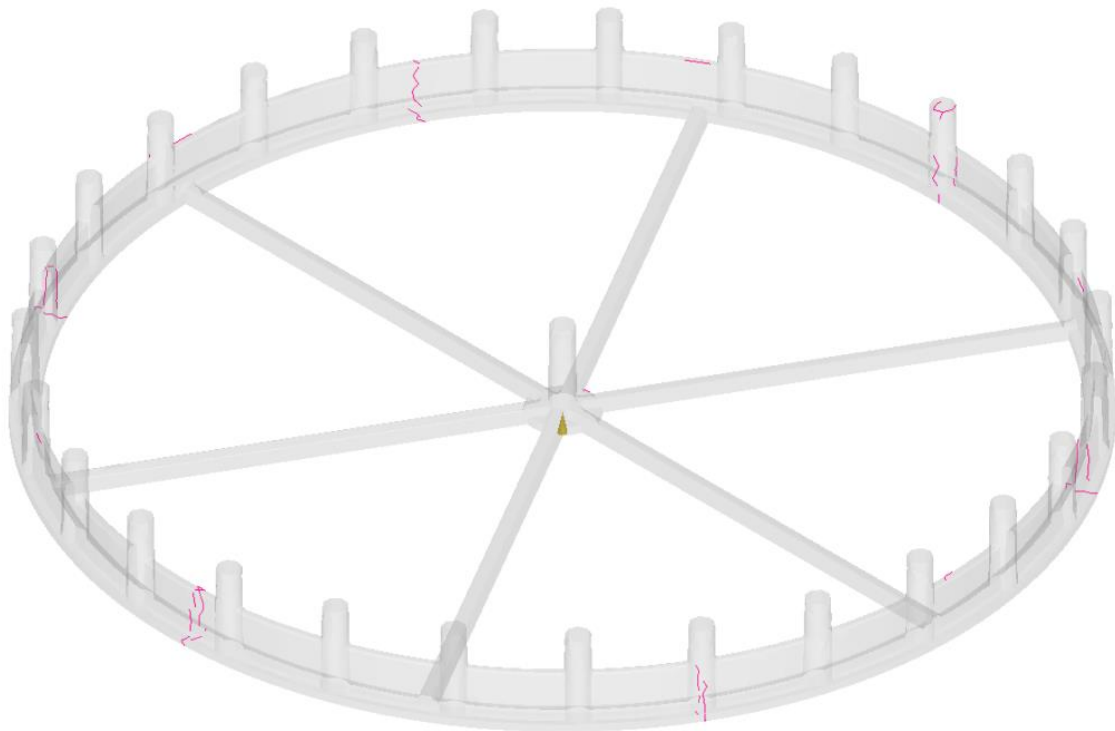
Slika 4.8.7.1. područja zaostalog zraka u kalupnoj šupljini [32]



Kod velikih brzina strujanja taljevine te visokom temperaturom taljevine, u kombinaciji sa visokim pritiskom dolazi do izgaranja zaostalog zraka i pri tome do oštećenja proizvoda i kalupne šupljine. Ovom analizom možemo predvidjeti mjesta sustava za odzračivanje te na taj način izbjeći moguća oštećenja otpreska i kalupne šupljine.

#### 4.8.8. LINIJE SPAJANJA

Linije spajanja nastaju na mjestima gdje se spajaju dva ili više toka taljevine. Linije spajanja prikazane su na slici 4.8.8.1.

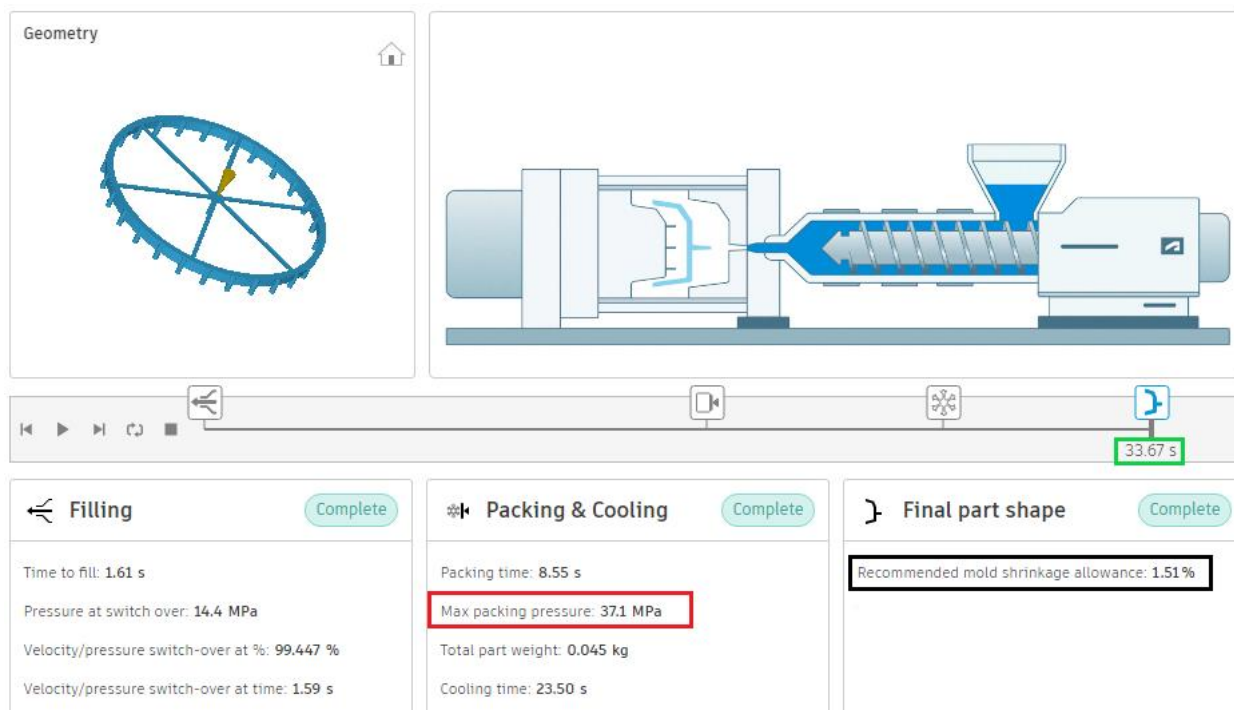


*Slika 4.8.8.1. linije spajanja [33]*

Na linijama spajanja često dolazi do pada mehaničkih svojstava materijala i nisu estetski prihvatljive, pa ih se nastoji što izbjeći. Ukoliko linije spajanja nije moguće izbjeći treba ih pokušati smjestiti u područja gdje imaju što manji utjecaj. Linije spajanja su opasne kod otpresaka sa više od jednog uljevnog sustava i kod otpresaka sa dužim vremenom punjenja jer taljevini koja puni kalupnu šupljinu pada temperatura i na linijama spajanja dolazi do hladnog spoja.

#### 4.8.9. SIMULACIJA PROCESA NA UBRIZGAVALICI

Uz simulaciju pojedinih parametara bitnih za konstrukciju kalupa, u računalnom programu možemo provesti i simulaciju procesa koji se odvija na ubrizgavalici. Slika 4.8.9.1. prikazuje simulaciju injekcijskog prešanja na zadanoj ubrizgavalici.



Slika 4.8.9.1. simulacija procesa injekcijskog prešanja zadanog otpreska [34]

Iz simulacije procesa injekcijskog prešanja možemo saznati nekoliko parametara, od kojih možemo izdvojiti:

1. sila držanja kalupa,
2. dodatak na dimenzije zbog volumnog stezanja materijala i
3. vrijeme ciklusa.

Sila držanja kalupa je parametar koji je vezan uz ubrizgavalicu. Ukoliko ubrizgavalica ne može ostvariti proračunatu silu držanja kalupa kao reakcija pojaviti će se srh koji nije moguće ukloniti nikakvim dodatnim radnja osim izbora odgovarajuće ubrizgavalice. Usporedbom podataka iz tablice 4.5.1. te slike 4.8.9.1. vidljivo je da odabrana ubrizgavalica ima dovoljnu silu držanja kalupa. (označeno crvenim pravokutnikom).

Preporučeni dodatak za volumno stezanje materijala (označeno crnim pravokutnikom) iznosi 1,51%, te se poklapa sa određenim postotkom volumnog stezanja od strane proizvođača materijala iz tablice 4.3.2.

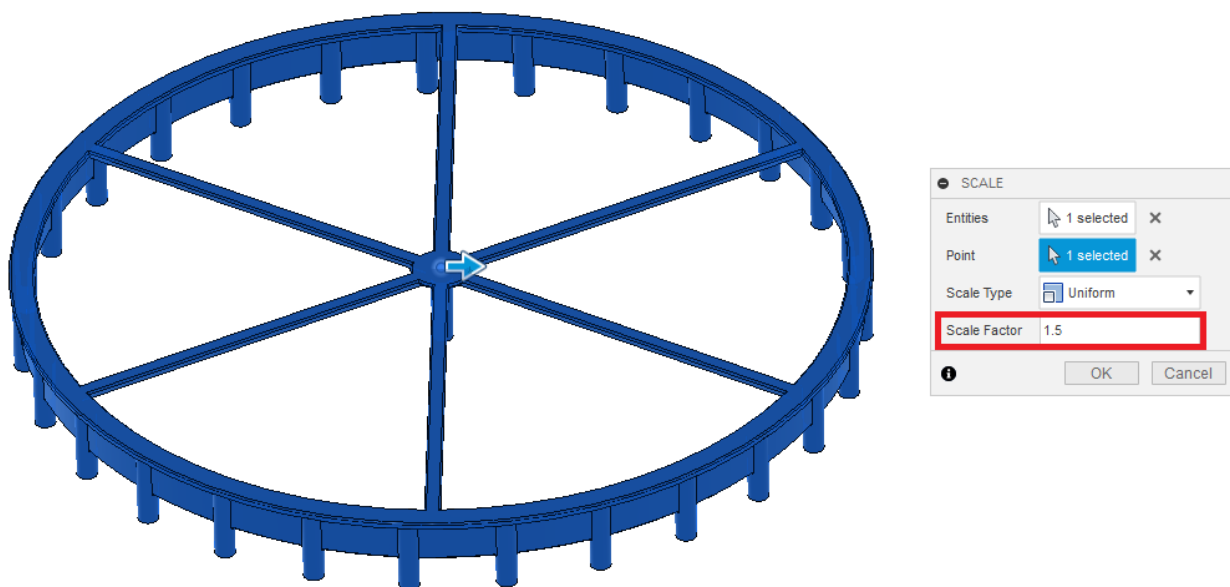
Vrijeme ciklusa je parametar koji nam olakšava određene kalkulacije oko cijene proizvoda, ali i drugih varijabli (npr. zauzeće stroja ovisno o kapacitetu proizvodnje). Predviđeno vrijeme ciklusa iznosi 33,67 sekundi. (označeno zelenim pravokutnikom)

#### 4.9. STROJNA OBRADA ELEMENATA KALUPA

Kod strojne obrade pojedinih elemenata kalupa podrazumijeva se tehnologijama glodanja, tokarenja i brušenja:

- na standardne elemente kalupa dodati predviđene provrte, navoje, oblik kalupne šupljine kako bi kalup bio funkcionalna cjelina,
- izrada nestandardnih elemenata kalupa.

Prije bilo kakvih radnji, potrebno je uvećati postojeći 3D modela proizvoda zbog dodatka za volumno stezanje materijala prema tablici 4.3.2. U računalnom programu je to jednostavno izvršiti naredbom uvećanje (e. *Scale*). Postupak uvećanja 3D modela proizvoda prikazan je na slici 4.9.1.

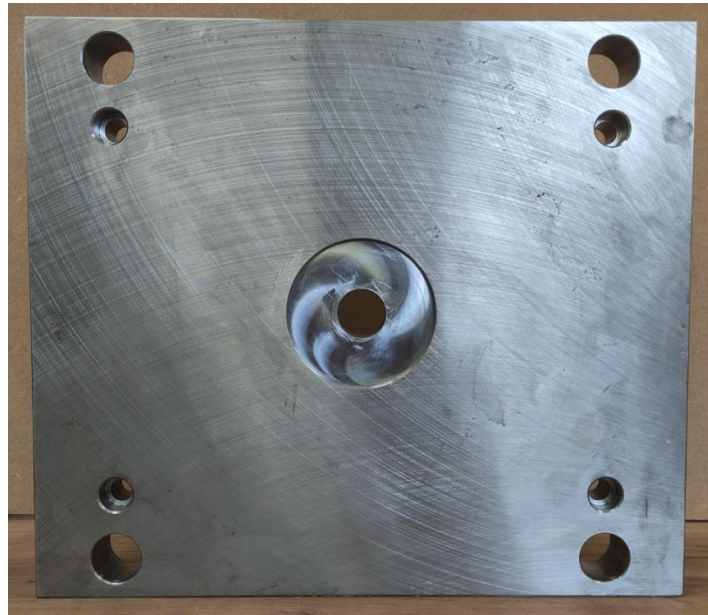


Slika 4.9.1. uvećanje 3D modela proizvoda [35]

##### 4.9.1. PLOČE KUĆIŠTA KALUPA

Ploče kućišta kalupa nalaze se na pomičnom i na nepomičnom dijelu kalupa. Na pomičnom dijelu kalupa se nalazi sustav za izbacivanje, a na nepomičnom dijelu kalupa vrući uljevni

sustav. Na pomičnom dijelu kalupa nije potrebna nikakva strojna obrada ploče kućišta jer standardne ploče dolaze sa svim potrebnim provrtima. Ploča kućišta kalupa na pomičnom dijelu prikazana je na slici 4.9.1.1.



*Slika 4.9.1.1. ploča kućišta kalupa pomičnom dijelu kalupa [36]*

Kroz ploču kućišta kalupa na nepomičnom dijelu prolazi mlaznica te je potrebno proširi središnji provrt kako bi omogućili prolaz mlaznice kroz ploču. Mlaznica ima izvode za priključak električne energije i termočlanak te se mora osigurati da izvodi ne budu priklješteni pločama kalupa. Zbog toga se na ploči kućišta kalupa izrađuje kanal kroz koji izvodi sigurno prolaze, bez opasnosti od prekida i oštećenja. Za izradu kanala koristi se tehnologija glodanja. Na slici 4.9.1.2. prikazana je ploča kućišta kalupa na nepomičnom dijelu prije i nakon strojne obrade.



*Slika 4.9.1.2. ploča kućišta kalupa prije i poslije strojne obrade [37]*

## 4.9.2. PLOČE KALUPNE ŠUPLJINE

### 4.9.2.1. PLOČA NA NEPOMIČNOM DIJELU KALUPA

Ploče kalupne šupljine su razdvojene razdjelnom linijom kalupa. Sa nepomične strane kalupa u ploči kalupne šupljine nalazi se samo mlaznica. Utor za mlaznicu izrađuje se tehnologijom glodanja, a dimenzije utora određene su od strane proizvođača mlaznice. Također, kalupna ploča u kojoj se nalazi mlaznica trebala bi biti temperirana te se tehnologijom bušenja izrađuju kanali kroz koje prolazi medij za temperiranje. Krug za temperiranje ploče kalupne šupljine u kojoj se nalazi mlaznica prikazan je na slici 4.6.5.1. Na početak i kraj svakog kanala za temperiranje ugrađuje se priključak za crijevo na koji se spaja crijevo kroz koje cirkulira medij za temperiranje. Priključak za crijevo prikazan je na slici 4.9.2.1.



*Slika 4.9.2.1.1. priključak za crijevo [38]*

Utor u koji se ugrađuje mlaznica prikazan je na slici 4.9.2.1.2.

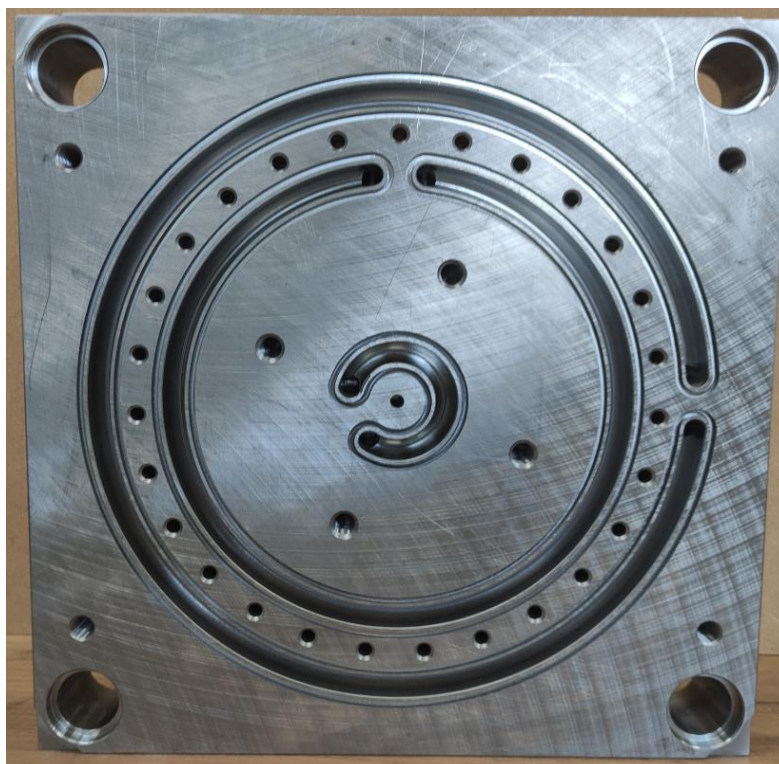


Slika 4.9.2.1.2. utor u koji se ugrađuje mlaznica [39]

#### 4.9.2.2. PLOČA NA POMIČNOM DIJELU KALUPA

Na pomičnom dijelu kalupa se nalazi sustav za izbacivanje otpreska iz ploče u kojoj se nalazi kalupa šupljina. Ploča u kojoj se nalazi kalupna šupljina mora biti temperirana zbog bržeg skrućivanja otpreska u kalupnoj šupljini na temperaturu pogodnu za izbacivanje iz kalupne šupljine. Krug za temperiranje ploče u kojoj se nalazi kalupna šupljina na pomičnom dijelu kalupa prikazan je na slici 4.9.2.2.1.

Kao što je prije navedeno, prikazani krug za temperiranje naziva se *Contura*, a izrađuje se tehnologijom glodanja kanala koji se na svojim završetcima spajaju provrtima. Oko svakog kanala za temperiranje obavezno se izrađuje utor za brtvu koja osigurava da medij za temperiranje cirkulira kroz kanale bez propuštanja.



*Slika 4.9.2.2.1. krug za temperiranje ploče kalupne šupljine na pomičnom dijelu kalupa [40]*

Budući da se u ovoj kalupnoj ploči nalaze provrti kroz koje prolaze izbacivala, kao i kalupna šupljina, potrebno je tehnologijama bušenja i glodanja izraditi navedeno. Kod same konstrukcije, pozicije izbacivala moraju biti pravilno određene da ne dolaze u koliziju sa kanalima za temperiranje. Prema slici 4.8.7.1. kroz provrte kroz koje prolaze izbacivala ostvareno je i odzračivanje kalupne šupljine. Kalupna šupljina prikazana je na slici 4.9.2.2.2.



*Slika 4.9.2.2.2. ploča kalupne šupljine na pomičnom dijelu kalupa [41]*

### 4.9.3. PLOČE IZBACIVAČKOG PAKETA KALUPA

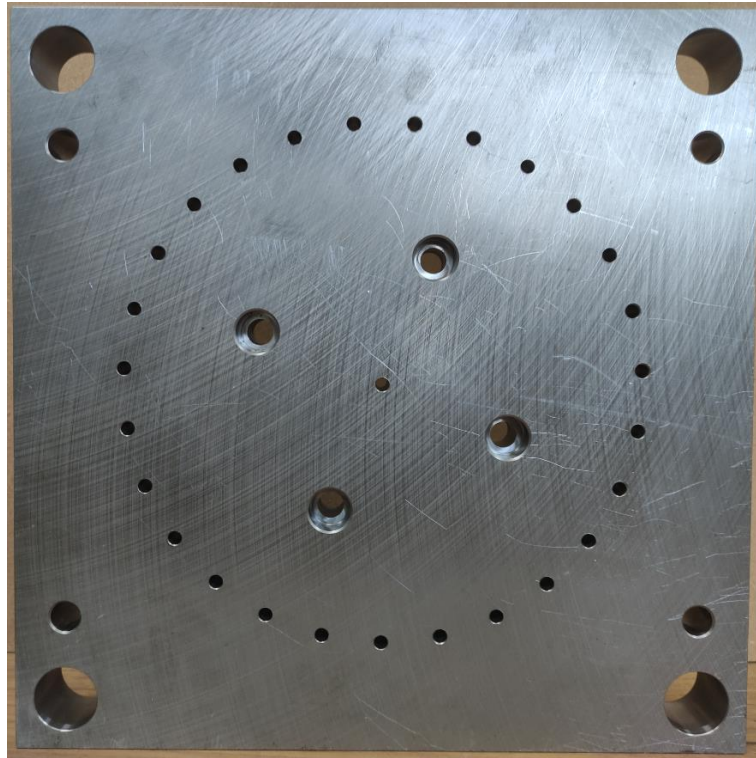
Izbacivački paket sastoji se ukupno od tri različite ploče:

- ploča vođenja izbacivala do ploče kalupne šupljine,
- ploča u kojoj su smještena izbacivala i
- ploča kojom se stežu izbacivala.

#### 4.9.3.1. PLOČA VOĐENJA IZBACIVALA

Ploča vođenja izbacivala je ploča koja usmjerava izbacivala do ploče kalupne šupljine, a upravo ova ploča predstavlja krajnju granicu gibanja izbacivala prilikom izbacivanja otpreska iz kalupne šupljine. Također, ploča vođenja izbacivala se pričvršćuje vijcima za ploču u kojoj se nalazi kalupna šupljina te osigurava brtvljenje kruga za temperiranje smještenog u ploči kalupne šupljine. Provrti na ploči vođenja se izrađuju tehnologijom bušenja, a utori predviđeni za glave vijka tehnologijom glodanja. Ploča vođenja prikazana je na slici 4.9.3.1.1.

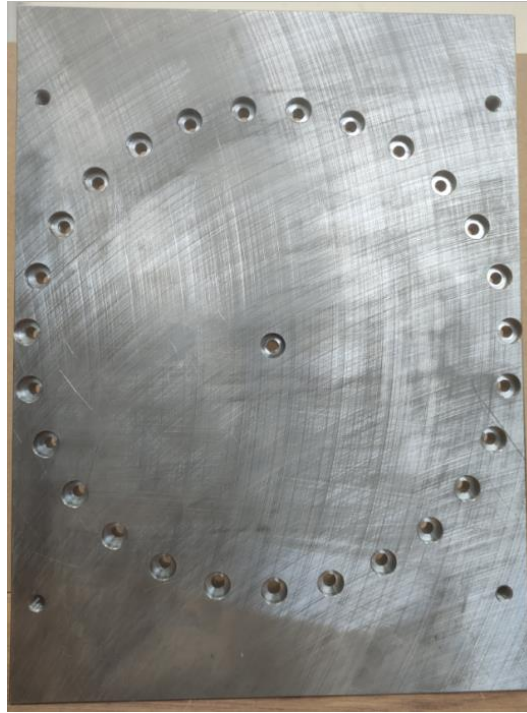




*Slika 4.9.3.1.1. ploča vođenja [42]*

#### 4.9.3.2. PLOČA IZBACIVALA

Ploča izbacivala je ploča u kojoj su izbacivala fiksirana pomoću stezne ploče izbacivala. Ploča izbacivala sadrži utore u kojima su smještene glave izbacivala i provrte kroz koje prolaze izbacivala. Utori se izrađuju tehnologijom glodanja, a provrte tehnologijom bušenja. Ploča izbacivala prikazana je na slici 4.9.3.2.1.



*Slika 4.9.3.2.1. ploča izbacivala [43]*

#### 4.9.3.3. STEZNA PLOČA IZBACIVALA

Stezna ploča izbacivala je ploča koja se steže na ploču izbacivala i na taj način osigurava ispadanje izbacivala prilikom rada. Stezna ploča izbacivala je ujedno i ploča poveznica između izbacivačkog paketa kalupa i izbacivačke motke ubrizgavalice. Prilikom procesa injekcijskog prešanja, za vrijeme faze punjenja kalupne šupljine taljevinom te hlađenja otpreska, stezna ploča izbacivala se nalazi u zadnjem položaju odnosno naslonjena na ploču kućišta kalupa te na taj način predstavlja i krajnju granicu gibanja izbacivala. Stezna ploča kalupa prikazana je na slici 4.9.3.3.2.

Stezna ploča izbacivala povezana je sa izbacivačkom motkom ubrizgavalice pomoću nestandardnog elementa koji se naziva povratnik izbacivanja. Povratnik izbacivanja je element kojeg je potrebno izraditi tehnologijom tokarenja. Povratnik izbacivanja prikazan je na slici 4.9.3.3.1.



*Slika 4.9.3.3.1. povratnik izbacivanja [44]*

Na steznoj ploči izbacivala potrebno je tehnologijom glodanja izraditi utor za povratnik izbacivanja.



*Slika 4.9.3.3.2. stezna ploča izbacivala [45]*

#### 4.10. INJEKCIJSKO PREŠANJE NA REALNOM STROJU

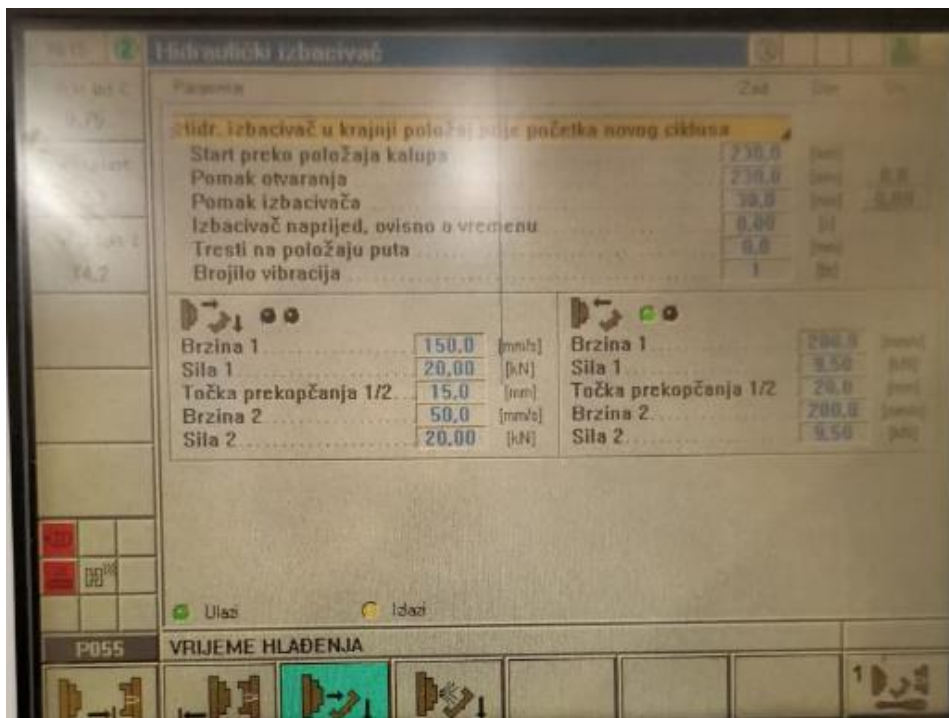
Nakon izvršenih svih radnji konstrukcije, strojne obrade te ručne dorade i sastavljanja elemenata kalupa, kalup je spreman za montažu na ubrizgavalicu kojom će se izvršiti proizvodni proces. Pravilnim podešavanjem parametara na ubrizgavalici, kalup je spreman za testiranje.

Na slici 4.10.1. prikazane su temperaturne zone grijanja cilindra ubrizgavalice (crveni pravokutnik) koje zadajemo ovisno o materijalu koji se koristi u proizvodnom procesu.



Slika 4.10.1. temperaturne zone cilindra ubrizgavalice [46]

Na slici 4.10.2. prikazani su parametri izbacivanja otpreska iz kalupne šupljine.



Slika 4.10.2. parametri izbacivanja [47]

Na slici 4.10.3. prikazani su parametri zatvaranja kalupa, a crvenim pravokutnikom označena je sila držanja kalupa.



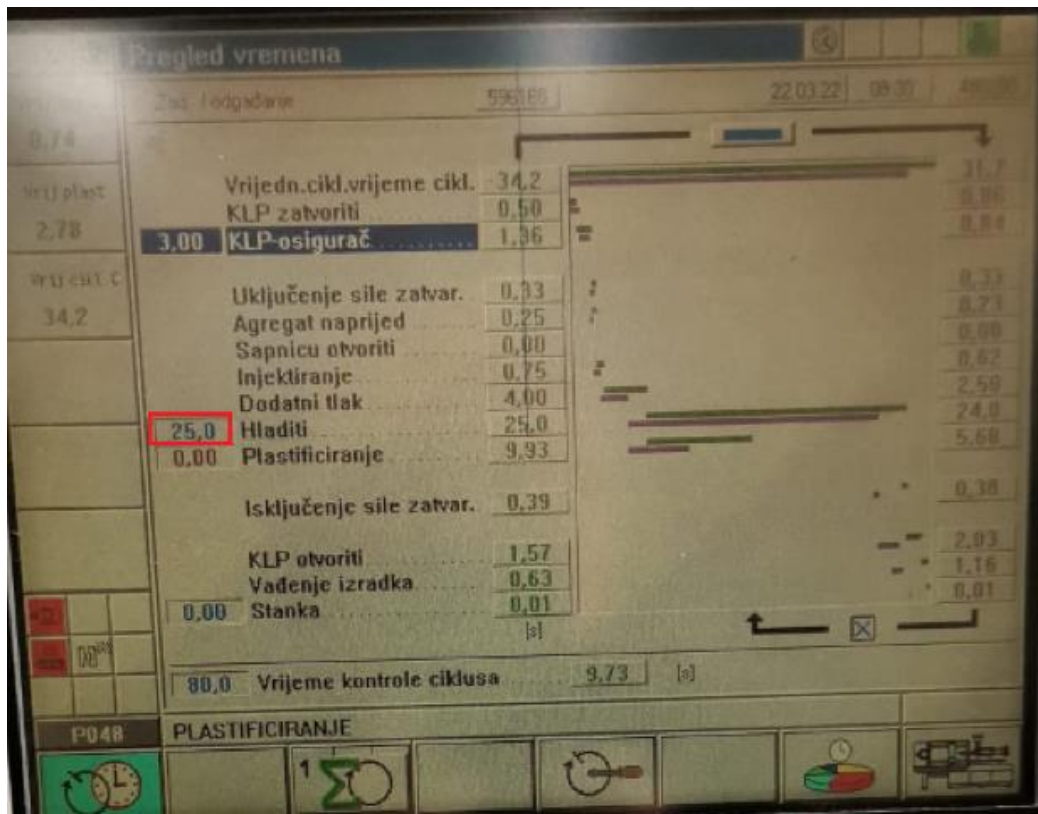
Slika 4.10.3. sila držanja kalupa [48]

Na slici 4.10.4. prikazani su parametri u fazi ubrizgavanja i djelovanja naknadnog tlaka.



Slika 4.10.5. faza ubrizgavanja i djelovanja naknadnog tlaka [49]

Na slici 4.10.6. prikazano je vrijeme hlađenja otpreska prije izbacivanja iz kalupne šupljine. (označeno crvenim pravokutnikom)



Slika 4.10.6. vrijeme hlađenja [50]

Bitno je naglasiti da je većina parametra postavljena prema rezultatima odrađene simulacije u svrhu usporedbe kvalitete otpreska i konačnog vremena ciklusa.

## 5. USPOREDBA REZULTATA REALNOG PROCESA I SIMULACIJE

Budući da su parametri procesa na ubrizgavalici postavljeni prema rezultatima dobivenih pomoću simulacije, možemo usporediti kvalitetu proizvoda i vrijeme ciklusa.

### 5.1. KVALITETA PROIZVODA

Na slici 5.1.1. prikazan je proizvod dobiven procesom injekcijskog prešanja na realnom stroju.



*Slika 5.1.1. proizvod dobiven procesom injekcijskog prešanja [51]*

Rezultatom simulacije kvalitete proizvoda (slika 4.8.3.1.), predviđeno je da će otprilike 85% proizvoda zadovoljiti kriterij kvalitete. Vizualnom usporedbom proizvoda sa slike 5.1.1. i rezultata simulacije na slici 4.8.3.1., može se zaključiti da je simulacija uspješno predvidjela krajnju kvalitetu otpreska.

Također, vizualnim pregledom otpreska možemo uočiti da nema pojave srha ni na kojem dijelu. Ukoliko bi imali srh morali bi povećati silu držanja kalupa koja je postavljena prema rezultatu simulacije. Možemo zaključiti da je simulacijom određena ispravna sila zatvaranja kalupa.

## 5.2. VRIJEME CIKLUSA

Na slici 5.2.1 prikazana su stvarna vremena trajanja jednog ciklusa za desetak otpresaka u nizu. (označeno crvenim pravokutnikom)

Datum	Vrij.	Ciklusi	Vrij. ciklusa [s]	Vrij. otv. [s]	Vrij. zatv. [s]	Uje Z14 [°C]	Vrij. ciklusa [s]	Pakop. [s]	Prih. [s]	Uje [s]
21.09.22	10:03	596157	34,2	0,75	9,46	45	34,2	645	36	18,7
21.09.22	10:07	596158	34,6	0,78	9,49	46	34,6	647	36	18,4
21.09.22	10:08	596159	34,2	0,74	9,77	45	34,2	600	36	9,6
21.09.22	10:08	596160	34,2	0,75	9,30	45	34,2	620	36	6,8
21.09.22	10:09	596161	34,2	0,75	9,13	45	34,2	619	36	7,8
21.09.22	10:09	596162	34,2	0,75	9,20	45	34,2	630	36	7,9
21.09.22	10:10	596163	34,2	0,75	9,31	45	34,2	630	36	8,7
21.09.22	10:10	596164	34,2	0,75	9,26	45	34,2	621	36	8,4
21.09.22	10:11	596165	34,2	0,74	9,27	45	34,2	635	36	8,9
21.09.22	10:11	596166	34,2	0,74	9,38	45	34,2	634	35	18,8
21.09.22	10:12	596167	34,2	0,74	9,31	45	34,2	629	36	8,7
21.09.22	10:12	596168	34,2	0,74	9,47	45	34,2	634	35	9,3

Zadana vrijednost	0,00	0,00	1,00	45	0,00	519	35	5,0
gornje odstupanje	3191	20,0	755	26	3191	2016	52	141,6
+Tolerancija	1,00	1,00	1,00		1,00	104	20	2,0
-Tolerancija	1,00	1,00	1,00		1,00	104	20	2,0
Tol. kontrola isključeno	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Slika 5.2.1. stvarna vremena ciklusa [52]

Pregledom podataka na slici 5.2.1. možemo uočiti da vrijeme jednog ciklusa iznosi 34,2 sekunde. Na slici 4.8.9.1. prikazano je vrijeme jednog ciklusa dobiveno simulacijom, a iznosi 33,76 sekunde. (označeno zelenim pravokutnikom)

Usporedbom ta dva podatka možemo zaključiti da se stvarno vrijeme jednog ciklusa i simulacijsko vrijeme jednog ciklusa razlikuju u vremenu manjem od jedne sekunde što je praktički zanemarivo.



## 6. ZAKLJUČAK

U radu su prikazane aktivnosti koje su potrebne za dobivanje proizvoda postupkom injekcijskog prešanja. Postavljena su određena ograničenja kod konstrukcije kalupa, određena od strane naručitelja kalupa.

U teorijskom dijelu pojašnjen je sam proces injekcijskog prešanja, zajedno sa elementima od kojih se sastoji proces. Detaljnije su pojašnjeni elementi od kojih se sastoji kalup.

U eksperimentalnom dijelu rada prikazano je više faza procesa, koristeći računalne programe kao glavni alat u svakoj od tih faza. Eksperimentalni dio rada započinje sa izradom 3D modela proizvoda. Kod izrade 3D modela potrebno je poštivati određena pravila kojima kasnije pojednostavimo konstrukciju kalupa. Nakon izrade 3D modela proizvoda, slijedi konstrukcija kalupa. Fokus je usmjeren na korištenje standardnih elemenata kalupa. Korištenjem standardnih elemenata kalupa znatno smanjujemo vrijeme konstruiranja, povećavamo ekonomičnost, osiguravamo brzu i jednostavnu izmjenu pojedinih elemenata u slučaju kvara. Nakon odabira standardnih elemenata kalupa, slijedi numerički proračun kalupa koristeći jedan od mnogobrojnih računalnih programa na tržištu, *Autodesk Fusion360*. Budući da je proces punjenja kalupne šupljine kompliciran, analitičke metode su za konstruktore zamorne, a i mogućnost pogreške je vrlo velika. Također, podatke za proračun treba uzimati iz više različitih literaturnih izvora što predstavlja problem velikog broja različitih podataka što doprinosi pogreški u proračunu. Ovi nedostaci su otklonjeni korištenjem računalnih programa jer oni sadržavaju baze podataka sa već određenim podacima potrebnim za proračun. Numeričke metode su također lakše za predočenje rezultata jer svaki proračunati parametar sadrži i simulaciju koja prikazuje rezultate uz pomoć velikog raspona boja i animacija. Numeričke metode imaju i određenih nedostataka. Zahtjevnost korištenja, tržišna cijena, poznavanje prirode ciklusa injekcijskog prešanja, nemogućnost definiranja svih potrebnih parametara spadaju u neke od najznačajnijih nedostataka.

Nakon odrađenog simulacijskog dijela, dimenzioniranje kalupa koje obuhvaća proračune je znatno lakše. Također, u eksperimentalnom dijelu ovog rada prikazani su elementi kalupa nakon odabrane strojne obrade. Cilj strojne obrade je postizanje dimenzijskih točnosti u granicama tolerancija prema zadanom 3D modelu elementa. Na kraju eksperimentalnog dijela rada prikazan je realni proces injekcijskog prešanja na zadanoj ubrizgavalici. Bitno je naglasiti da su se kod

realnog procesa koristile vrijednosti dobivene numeričkim proračunom u svrhu moguće usporedbe realnog procesa sa simulacijskim dijelom.

Usporedbom simulacijskog i realnog procesa utvrđena su neznatna odstupanja. Moguće je zaključiti da pravilnim definiranjem parametara procesa u simulacijskom sučelju možemo točno odrediti zbivanja kod realnog procesa, što je vrlo bitno jer za simulacijski program ne trošimo jednako resurse kao i za realni proces. Najvažniji resurs koji trošimo u najvećoj mjeri i najmanje je vrijeme.

Numeričke metode danas su nužne i neizbježne u proračunima zbog jednostavnosti i brzine korištenja u odnosu na analitičke metode, a u eksperimentalnom dijelu je dokazano da rezultati numeričkih metoda imaju minimalna odstupanja u odnosu na realne procese.

U Varaždinu, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Potpis

Sveučilište  
Sjever

MARK  
ALIFBAJINA



SVEUČILIŠTE  
SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

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

Ja, Dejan Kozina pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor diplomskog rada pod naslovom KONSTRUKCIJA I IZRADA KALUPA ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE POLIMERA SUVREMENIM ALATIMA ZA KONSTRUIRANJE te da u navedenom radu nisu na nezovoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:

(Upisati ime i prezime)

Dejan Kozina

(vlastoručni potpis)

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

Ja, Dejan Kozina (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom diplomskog rada pod naslovom KONSTRUKCIJA I IZRADA KALUPA ZA INJEKCIJSKO PREŠANJE POLIMERA SUVREMENIM ALATIMA ZA KONSTRUIRANJE (upisati naslov) čiji sam autor.

Student/ica:

(upisati ime i prezime)

Dejan Kozina

(vlastoručni potpis)


## 7. LITERATURA

- [1] Godec, D.: Magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2000.
- [2] doc.dr.sc. Sanja Šolić: Tehnologija II predavanja, 2019/2020
- [3] Godec, D.: Kalup za injekcijsko prešanje : podloge za predavanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2008.
- [4] Henrik Privšek, Matjaž Rot, Umjetnost injekcijskog prešanja, Zagreb, 2016
- [5] D.M.Nuruzzaman, et al 2016 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 114 012043

## 8. PRILOZI

Kao prilog, ovom diplomskom radu prilaže se:

- Prilog 1 - specifikacije polipropilena Borealis BD310MO str. 1/3
- Prilog 1 - specifikacije polipropilena Borealis BD310MO str. 2/3
- Prilog 2 – specifikacije čelika *40 CrMnMoS 8-6*



# Polypropylene BD310MO

## Description

**BD310MO** is a heterophasic copolymer. This grade is characterized by an optimum combination of good impact strength and very high stiffness.

This grade is mildly nucleated to maximize the mechanical stiffness. This grade contains antistatic and demoulding additives which, together with enhanced nucleation, create a high potential for cycle time reduction.

## Applications

General packaging  
Technical parts

Crates

## Special features

Good impact strength  
High stiffness

Shows excellent antistatic performance

## Physical Properties

Property	Typical Value	Test Method
Density	905 kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183
Melt Flow Rate (230 °C/2, 16 kg)	8 g/10min	ISO 1133
Tensile Modulus (1 mm/min)	1.400 MPa	ISO 527-2
Tensile Strain at Yield (50 mm/min)	6 %	ISO 527-2
Tensile Stress at Yield (50 mm/min)	28 MPa	ISO 527-2
Heat Deflection Temperature (0,45 N/mm <sup>2</sup> ) <sup>1</sup>	92 °C	ISO 75-2
Instrumented Falling Weight	Max Force	ISO 6603-2
(0 °C)	Total Penetration Energy	13 J
Instrumented Falling Weight	Max Force	ISO 6603-2
(-20 °C)	Total Penetration Energy	10 J
Charpy Impact Strength, notched (23 °C)	9 kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Charpy Impact Strength, notched (-20 °C)	4,5 kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Hardness, Rockwell (R-scale)	91	ISO 2039-2

<sup>1</sup> Measured on injection moulded specimens acc. to ISO 1873-2

## Processing Techniques

This product is easy to process with standard injection moulding machines.


Following moulding parameters should be used as guidelines:

Melt temperature	230 - 260 °C
Holding pressure	200 - 500 bar
Mould temperature	10 - 30 °C

Minimum to avoid sink marks.

Borealis AG | Wagramerstrasse 17-19 | 1220 Vienna | Austria  
Telephone +43 1 224 00 0 | Fax +43 1 22 400 333  
FN 269656a | CCC Commercial Court of Vienna | Website [www.borealisgroup.com](http://www.borealisgroup.com)





# Polypropylene BD310MO

Injection speed As high as possible.

Shrinkage 1 - 2 %, depending on wall thickness and moulding parameters

## Storage

BD310MO should be stored in dry conditions at temperatures below 80°C and protected from UV-light. Improper storage can initiate degradation, which results in odour generation and colour changes and can have negative effects on the physical properties of this product.

## Safety

The product is not classified as a dangerous preparation.

## Recycling

The product is suitable for recycling using modern methods of shredding and cleaning. In-house production waste should be kept clean to facilitate direct recycling.

Please see our Safety Data Sheet for details on various aspects of safety, recovery and disposal of the product, for more information contact your Borealis representative.

## Related Documents

The following related documents are available on request, and represent various aspects on the usability, safety, recovery and disposal of the product.

Safety Data Sheet  
Recovery and disposal of polyolefins  
Information on emissions from processing and fires  
Statement on compliance to food contact regulations

MATERIAL NO.:		1.2312						
<b>DESIGNATION:</b>	<b>DIN:</b> 40 CrMnMoS 8-6 <b>AFNOR:</b> 40 CMD 8.5 <b>UNI:</b> - <b>AISI:</b> P20 + S	<b>TECHNICAL TIP:</b>						
<b>INDICATORY ANALYSIS:</b>	C 0.40 Si 0.40 Mn 1.50 Cr 1.90 Mo 0.20 S 0.06	» For increased surface quality requirements use material grade 1.2311.						
<b>STRENGTH:</b>	280 - 325 HB (≈ 950 - 1100 N/mm <sup>2</sup> )							
<b>THERMAL CONDUCTIVITY AT 100°C:</b>	35 $\frac{W}{m K}$							
<b>COEFFICIENT OF THERMAL EXPANSION [10<sup>-6</sup>/K]</b>		100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C
		12.1	12.8	13.3	13.6			
<b>CHARACTER:</b>	» Alloyed and pre-toughened tool steel with excellent machinability in the hardened condition because of the sulphur additive; high dimensional stability							
<b>APPLICATION:</b>	» Plates for mould bases and dies with increased requirements on strength; high-tensile machine parts							
<b>TREATMENT BY:</b>	» Polishing: technical polishing possible; for higher surface requirements we recommend 1.2311 or 1.2738 » Etching, EDM: not recommended » Nitriding: increases the steel's wear resistance							
<b>HEAT TREATMENT:</b>	Already pre-toughened; usually no heat treatment required » Soft annealing: 720 to 740°C for about 2 to 4 hours slow controlled cooling inside the furnace » Nitriding: before nitriding, stress-relieving heat treatment at 580°C (Meusburger standard) is recommended. » Hardening: 840 to 860°C quenching in oil/hot bath (180 to 220°C) obtainable hardness: 52 HRC » Tempering: slow heating to tempering temperature immediately after hardening; minimum time in furnace: 1 hour per 25 mm part thickness							

**TEMPERING CHART:**

