

Projektiranje tehnološkog procesa kalupa za injekcijsko prešanje

Husain, Dominik

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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:235:745098>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-09**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Projektiranje tehnološkog procesa alata za injekcijsko prešanje

Dominik Husain

Zagreb, 2023. godina

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

Projektiranje tehnološkog procesa alata za injekcijsko prešanje

Mentori:

Doc. dr. sc. Miho Klaić

Student:

Dominik Husain

Zagreb, 2023. godina

Izjavljujem da sam ovaj rad napravio sam pomoću znanja stečenog kroz fakultet.

Zahvaljujem obitelji, djevojci i svim prijateljima koji su mi barem u jednom trenutku studiranja pružili podršku. Također zahvaljujem mentoru Mihi Klaiću i profesoru Damiru Ciglaru na uloženom vremenu i pomoći potrebnoj da se ovaj rad kvalitetno izradi.

Dominik Husain



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
Proizvodno inženjerstvo, inženjerstvo materijala, industrijsko inženjerstvo i menadžment,
mehatronika i robotika, autonomni sustavi i računalna inteligencija

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa: 602 - 04 / 23 - 6 / 1	
Ur.broj: 15 - 23 -	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Dominik Husain** JMBAG: 0035214091

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projektiranje tehnološkog procesa alata za injekcijsko prešanje**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Design of technological process for an injection moulding tool**

Opis zadatka:

Značajke suvremenog tržišta predstavljaju sve veće izazove u pogledu dizajna, funkcionalnosti te izrade različitih proizvoda. Imajući u vidu navedeno, razvoj tih alata sve je kompleksniji. Centralni dio alata za injekcijsko prešanje svakako jest kalup koji ima ključnu ulogu u proizvodnji mnogih polimernih proizvoda, od igračaka do dijelova u automobilske industriji.

U radu je potrebno projektirati kompletan tehnološki proces obrade odabranog kalupa, uzimajući u obzir dostupan strojni park.

Također, u radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

28. rujna 2023.

Zadatak zadao:

Doc.dr.sc. Miho Klaić

Datum predaje rada:

30. studenoga 2023.

Predviđeni datumi obrane:

4. – 8. prosinca 2023.

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Ivica Garašić

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD	1
1.1. Polimeri i njihova podjela	1
1.2. Prerada polimera	2
1.2.1. <i>Praoblikovanje</i>	3
1.2.1.1. <i>Kontinuirani postupci</i>	3
1.2.1.2. <i>Ciklički postupci</i>	4
1.2.2. <i>Preoblikovanje</i>	4
1.2.2.1. <i>Oblikovanje</i>	4
1.2.2.2. <i>Puhanje šupljih tijela</i>	5
2. INJEKCIJSKO PREŠANJE.....	7
2.1. Princip rada stroja za injekcijsko prešanje	7
2.2. Parametri injekcijskog prešanja	8
2.3. Kalup za injekcijsko prešanje [12]	9
2.3.1. <i>Žig i matrica kalupa</i>	10
3. KONSTRUKCIJA PROIZVODA.....	11
3.1. Elektronika	12
3.2. Modeliranje kutije	14
3.3. Simulacija injekcijskog prešanja	16
3.3.1. <i>Postavljanje parametara simulacije</i>	16
3.3.2. <i>Rezultati simulacije</i>	18
3.3.3. <i>Rekonstrukcija</i>	22
3.3.4. <i>Simulacija rekonstruirane verzije</i>	23
4. KONSTRUKCIJA KALUPA	25
4.1. Matrica	26
4.1.1. <i>Umetci matrice</i>	26
4.1.2. <i>Sklop umetaka i nepomične stezne ploče</i>	28
4.1.3. <i>Nepomična stezna ploča</i>	30
4.1.4. <i>Žig</i>	31

4.1.5.	Sklop temeljne ploče, odstoynih letvi i pomične stezne ploče	33
4.1.6.	Ploča izbacivača i potisna ploča	35
5.	IZRADA POZICIJA	38
5.1.	Izrada vodećeg zatika	38
1)	Rezanje	38
2)	Tokarenje.....	38
3)	Toplinsku obradu i tvrdo tokarenje	38
5.1.1.	Rezanje.....	38
5.1.2.	Tokarenje	39
5.1.3.	Toplinska obrada i tvrdo tokarenje	42
5.2.	Izrada umetka matrice	43
5.2.1.	Glodanje negativa.....	44
5.2.2.	Toplinska obrada i erodiranje	47
5.3.	Izrada umetka žiga	50
5.3.1.	Glodanje	50
5.3.2.	Erodiranje.....	50
6.	GOTOVI PROIZVOD	53
7.	ZAKLJUČAK	56
	LITERATURA.....	57

POPIS SLIKA

Slika 1 Podjela prema obliku makromolekule [4].....	2
Slika 2 Shema ekstrudiranja [5]	3
Slika 3 Alat za utiskivanje vanjskog navoja [7].....	5
Slika 4 ekstruzijsko puhanje [5]	6
Slika 5 Postupci prerade polimera [5]	6
Slika 6 Stroj za injekcijsko prešanje [9].....	7
Slika 7 Dijelovi stroja za injekcijsko prešanje [11].....	8
Slika 8 Žig i matrica	10
Slika 9 Vanjska cijev uređaja	11
Slika 10 Utori za pozicioniranje i mjesto za stezni vijak	12
Slika 11 Zalivena elektronička ploča	13
Slika 12 Poprečni presjek kvadratne cijevi za bolji prikaz potpornja i otvora za M4 vijak.....	13
Slika 13 Druga verzija zaštitne kutije	14
Slika 14 Poprečni presjek vanjske cijevi, hot melt-a i kutije	14
Slika 15 Vijak ISO10642 M4 x 16 [13]	15
Slika 16 CAD model treće verzije zaštitne kutije prikazane na vanjskoj cijevi	15
Slika 17 Mjesto ušća	17
Slika 18 Osnovne postavke simulacije.....	18
Slika 19 Mogućnost punjenja	19
Slika 20 Predviđena kvaliteta gotovog proizvoda.....	19
Slika 21 Tlak punjenja.....	19
Slika 22 Prikaz temperatura-protok.....	20
Slika 23 Vizualni prikaz skupljanja	20
Slika 24 Mjesto zaostalog zraka.....	20
Slika 25 Spojne linije	21
Slika 26 Deformacija.....	21
Slika 27 Rekonstruirana unutrašnjost kutije.....	22
Slika 28 Povećano ušće	23
Slika 29 Vjerojatnost punjenja izvorne verzije (A) i rekonstruirane verzije (B i C)	23
Slika 30 Estimacija kvalitete	24
Slika 31 Deformacija izvorne verzije (lijevo) i nove (desno)	24
Slika 32 Površine koje izlaze iz tolerancije (0,5 mm lijevo i 0,3 mm desno).....	24
Slika 33 Tip kalupa Hasco 190 246 [14].....	25
Slika 34 Gnijezda na nepomičnoj kalupnoj ploči.....	26

Slika 35 Alat „Combine“ u programskom paketu Fusion 360.....	26
Slika 36 Formirani provrti na umetcima	27
Slika 37 Izbacivači za formiranje provrta signalne lampice i upuštenja za vijak	27
Slika 38 Prikaz ušća i uljevnog kanala.....	28
Slika 39 Provrt za hlađenje.....	28
Slika 40 Poprečni presjek uljevnog tuljka.....	28
Slika 41 Gornja strana matrice	29
Slika 42 Umetci na ploči matrice	29
Slika 43 Donja strana matrice	30
Slika 44 Nepomična stezna ploča (donja strana lijevo, gornja strana desno)	30
Slika 45 Komponente nepomičnog dijela kalupa.....	30
Slika 46 Izgled sklopa nepomičnog dijela kalupa.....	31
Slika 47 Alat Combine na umetku žiga.....	31
Slika 48 Lokacije izbacivača na umetku žiga	32
Slika 49 Kut između nasuprotnih stranica ojačanja	32
Slika 50 Gornji dio pomične kalupne ploče	33
Slika 51 Donji dio pomične kalupne ploče	33
Slika 52 Sklop pomičnog dijela kalupa (bez potisne ploče i ploče izbacivača).....	34
Slika 53 Komponente sklopa pomičnog dijela kalupa (bez potisne ploče i ploče izbacivača).....	34
Slika 54 Presjek graničnih naslona.....	35
Slika 55 Spoj jezgri na pomičnu steznu ploču	36
Slika 56 Poprečni presjek izbacivača u početnom položaju	36
Slika 57 Poprečni presjek izbacivača u krajnjem položaju	37
Slika 58 Cijeli alat za injekcijsko prešanje kutije.	37
Slika 59 Tračna pila Forte SB340	38
Slika 60 Tokarski centar Index G300.....	39
Slika 61 Pločica za tokarenje Taegutec CNMG 120408 RT [15].....	39
Slika 62 Operacija grube obrade	40
Slika 63 Pločica za tokarenje Taegutec VNMX 130404 FM [15].....	41
Slika 64 Fina obrada.....	41
Slika 65 Tokarski centar Prvomajska Vega	42
Slika 66 Pločica za tokarenje Taegutec DCGW 11T304 LS2 [15].....	42
Slika 67 Tvrdo tokarenje zakaljenog vodećeg zatika.....	43
Slika 68 Referentna točka obratka [16].....	44
Slika 69 Obradni centar Romi D800	44

Slika 70 Obradak nakon bušenja prvog provrta (A); Obradak nakon obrade vanjske kontrue i zaravnavanja (B); Obradak nakon grube obrade šupljine (C).....	45
Slika 71 Obradak nakon završnog glodanja šupljine (A); Obradak nakon bušenja provrta Ø3 mm i glodanja uljevnog kanala (B)	46
Slika 72 Bakrena elektroda	47
Slika 73 Obradni centar Cinvinnati Lamb CFV800.....	48
Slika 74 Obradak umetka žiga nakon grube obrade (A); Obradak umetka nakon fine obrade strmih površina (B); Obradak na kraju glodanja (C).....	49
Slika 75 Umetci na kalupnoj ploči nakon erodiranja	49
Slika 76 Umetak žiga nakon glodanja.....	50
Slika 77 Eroziomat žicom Agie Agiecut 100.....	51
Slika 78 Elektroda za erodiranje utora za ojačanja	51
Slika 79 Gotovi umetci žiga sa izbacivačima u početnoj poziciji (A) i krajnjoj poziciji (B)	52
Slika 80 CNC stroj za injekcijsko prešanje Haitian MA600 2S 130eco.....	53
Slika 81 Parametri prešanja.....	53
Slika 82 Izbačeni otpresci	54
Slika 83 Slika gotovog proizvoda	55

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
t	°C	temperatura
v_f	mm/min	posmična brzina
n	1/min	broj okretaja
p	bar	tlak
v_c	m/min	brzina rezanja
f_z	mm	posmak po oštrici
a_e	mm	širina odvojene čestice
a_p	mm	dubina rezanja

SAŽETAK

U modernom svijetu bilježi se značajan porast uporabe polimera koji sve više postaju neizostavnim u različitim sektorima. Tehnologije obrade, od kojih je jedna injekcijsko prešanje, ključne su u njihovoj primjeni. Te tehnologije neprestano napreduju te ih danas odlikuju visoka preciznost, kvaliteta, pouzdanost i brzina u proizvodnji, čime odražavaju trend rasta upotrebe ovih materijala.

Uzimajući to u obzir, tema ovog rada usmjerena je na injekcijsko prešanje gdje se kroz simulaciju detaljno analizira ponašanje taljevine kako bi se konstruirao funkcionalan i kvalitetan kalup. Konstrukciju slijedi i izrada komponenti kalupa gdje se primjenjuje Fusion 360 kao softver za CAM simulaciju.

Ključne riječi: polimeri, injekcijsko prešanje, simulacija, kalup, CAM

SUMMARY

In the modern world there is a significant increase in the use of polymers, which are increasingly becoming indispensable in various sectors. Processing technologies, one of which is injection molding, are crucial in their application. These technologies are constantly advancing and today they are characterized by high precision, quality, reliability and speed in production, thus reflecting the growing trend in the use of these materials.

Taking this into account, the topic of this paper is focused on injection molding, where the behavior of the melt is analyzed in detail through simulation in order to construct a functional and high-quality mold. The construction is followed by the production of mold components where Fusion 360 is applied as software for CAM simulation.

Key words: polymers, injection molding, simulation, mold, CAM

1. UVOD

1.1. Polimeri i njihova podjela

Riječ polimer polazi iz grčkog jezika gdje se izvorna riječ dijeli na „poly“ što znači „mnogo“ i na „meros“ što znači „jedinica“. Svaka molekularna jedinica naziva se monomer te njihovim povezivanjem nastaju makromolekule od kojih su građene polimerne tvari [1].

Prema nastanku postoje prirodni (biopolimeri) i umjetni (sintetski) polimeri. Biopolimeri sudjeluju u ključnim životnim procesima te izgrađuju osnovne strukturne materijale (npr. celuloza, guma, drvena smola, proteinin škrob, vuna, svila itd.). Osim u prirodi polimeri se uvelike pojavljuju i u svim ostalim dijelovima života ljudi, od prehrambene industrije, automobilske industrije, zrakoplovne industrije, pa sve do kućanstva. Većina tih polimera su sintetski polimeri nastali umjetnim reakcijama, polimerizacijom monomera, gdje broj monomernih jedinica u lancu predstavlja stupanj polimerizacije.

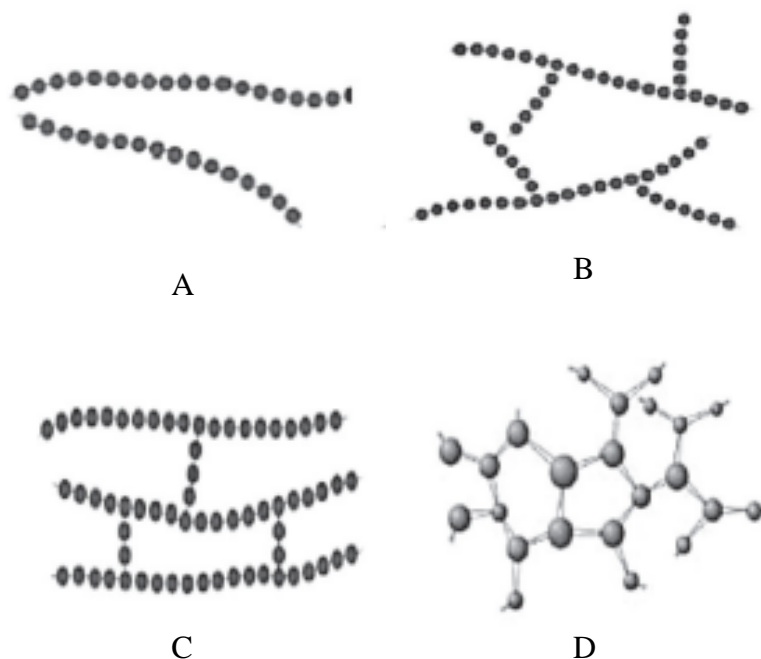
Ovisno o vrsti ponavljajućih jedinica polimeri se dijele na kopolimere, polimere koji su izgrađeni od dvije ili više vrsta monomera (npr. stiren-butadien) i na homopolimere koji su izgrađeni od samo jedne vrste monomera (npr. poliester, polikarbonat, najlon 6 i 11 itd.) [2].

Polimeri se različito ponašaju kada su izloženi višim temperaturama pa se prema tom kriteriju mogu podijeliti na duromere, elastomere i plastomere. Duromeri (duroplasti) su polimeri koji se nakon skrućivanja više ne mogu dovesti u prvobitni oblik (stanje) odnosno naknadnim zagrijavanjem više nemaju mogućnosti mekšanja. Elastomeri su polimeri koji pri sobnoj temperaturi imaju svojstva gume odnosno koji se nakon izrazitog rastezanja mogu vratiti u originalno stanje. Plastomeri (termoplasti) treća su vrsta polimera u ovoj podjeli, a oni posjeduju karakteristike elastomera i plastike što i indicira sami naziv. Oni mekšaju kada se zagriju te se skrućuju kada se hlade što im daje visok nivo recikličnosti i oblikovljivosti (polietilen, polikarbonat) [3].

Četvrta podjela polimera odnosi se na oblik makromolekule (slika 1).

- Polimeri sastavljeni od duljih lanaca povezanih kovalentnim vezama nazivaju se linearni polimeri (slika 1A).
- Polimeri s određenim brojem bočnih lanaca vezanih uz linearni lanac nazivaju se granati polimeri (slika 1B).

- Polimeri kojima su molekule povezane u mrežu kovalentnim vezama nazivaju se mrežasti polimeri (slika 1C).
- Poprečno vezani polimeri su vrsta polimernih materijala gdje se isti međusobno povezuju između molekula poprečnim vezama koje se formiraju između funkcionalnih skupina na bočnim lancima (slika 1D).



Slika 1 Podjela prema obliku makromolekule [4]

Prema reakcijskom mehanizmu polimerizacije polimere dijelimo na lančane, kojima pri polimerizaciji pucaju dvostruke veze i stupnjevite pri čijem nastanku nastaju nusprodukti.

Posljednja podjela polimera odnosi se na stupanj uređenosti makromolekularne strukture pri čemu se mogu podijeliti na kristalne, kristalaste, kapljevite kristalne i amorfne. Kristalni su polimeri visoke geometrijske pravilnosti, dok su amorfni potpuna suprotnost odnosno to su polimeri izgrađeni kao niz isprepletenih makromolekula. Kristalasti su polimeri oni koji imaju i kristalna i amorfna područja, a kapljeviti kristalni polimeri, poznati i kao „tekući kristali“ kombiniraju karakteristike tekućina i kristala. Kapljeviti kristalni polimeri imaju široku primjenu u elektronici i proizvodnji zaslona, od kuda i potječe naziv LCD zaslon (Liquid Crystal Display).

1.2. Prerada polimera

Postupci prerade polimera (slika 5) dijele se na praoblikovanje i preoblikovanje koji se dalje dijele na kontinuirane postupke i cikličke postupke te oblikovanje i puhanje šupljih tijela.

1.2.1. Praoblikovanje

Praoblikovanje podrazumijeva pretvorbu polimera iz početnog oblika poput granulata ili praha u željeni krajnji oblik, proizvod ili poluproizvod. Uključuje zagrijavanje i topljenje početnog materijala kako bi se u kalupu ili nekom drugom metodom dobio krajnji oblik.

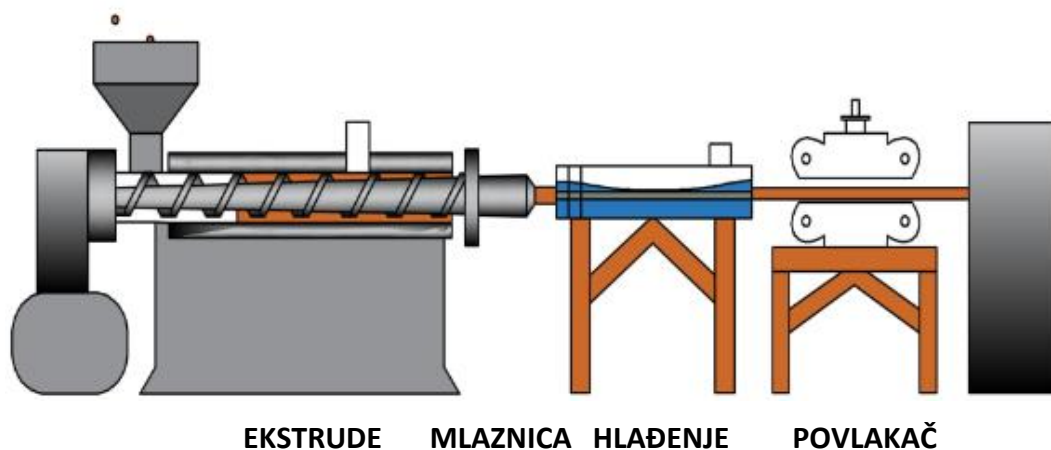
1.2.1.1. Kontinuirani postupci

- Kalandriranje

Postupak provlačenja polimera kroz niz valjaka kako bi se dobila tražena debljina ili oblik, a često se primjenjuje u proizvodnji filmova ($s < 0,2$ mm), folija ($s = 0,2...2$ mm) i ploča ($s > 2$ mm).

- Ekstrudiranje (slika 2)

Postupak kojim se dobivaju polimerni materijali u obliku cijevi, šipki, filamenti za 3D printere i različiti drugi profili. Granulat ulazi u ekstruder te se počinje tlačiti i zagrijavati. Kako materijal omekšava tako ga pritisak gura kroz mlaznicu željenog oblika. Nakon toga materijal izlazi i hladi te ga povlakač polako povlači dalje po liniji gdje se ekstrudat reže ili namata na kolut. Ovaj je proces i vrlo raširen zbog visoke efikasnosti proizvodnje dugih proizvoda.



Slika 2 Shema ekstrudiranja [5]

- Prevlačenje

Kontinuirani postupak gdje se omekšani polimerni materijal (elastomer ili PVC) nanosi na traku koja može biti metalna, papirnata ili tekstilna. Polimerni se materijal može nanositi lijevanjem, valjcima, uranjanjem, ekstrudiranjem i višeslojno.

1.2.1.2. Ciklički postupci

- Injekcijsko prešanje

Granulat se zagrijava i omekšava te se pod pritiskom ubrizgava u čvrsto stegnuti kalup gdje se pod tlakom drži još nekoliko sekundi nakon čega se kalup otvara i proizvod izbače iz kalupa jedan ili više izbacivača. Injekcijsko prešanje polimernog proizvoda dio je ovog rada i sami postupak bit će detaljnije objašnjen.

- Srašćivanje

Postupak kojim se proizvode šuplji otvoreni proizvodi poput spremnika. Postupak se započinje sipanjem polimernog praha (plastomer) u kalup koji se nakon toga zagrijava. Nakon zagrijavanja kalupa višak materijala se odstrani te se proizvod izvadi iz kalupa kako bi se ohladio.

- Lijevanje

Postoje dvije vrste lijevanja, a to su reakcijsko i fizikalno. Kod reakcijskog lijevanja istovremeno se stvara polimerni materijal i proizvod, dok se kod fizikalnog lijevanja, nakon nanošenja materijala na kalup pod utjecajem centrifuge ili rotacije, materijal skrućuje hlapljenjem omekšavala, ili hlapljenjem otapala ako je polimer uliven u otvoren kalup.

1.2.2. Preoblikovanje

Preoblikovanje se od praoblikovanja razlikuje po tome što se preoblikovanje izvodi kako bi postojeći polimerni materijal promijenio oblik, svojstva i karakteristike, dok je cilj praoblikovanja usmjeren na postizanje isključivo oblika iz sirovog materijala.

1.2.2.1. Oblikovanje

- Istezanje/razvlačenje

Proces istezanja provodi se na povišenoj temperaturi tako da se filament provlači kroz peć ili vodenu kupku te se time povećava fluidnost i poravnanje polimernih lanaca. Rezultat istezanja su gušće raspoređeni polimerni lanci u vlaknu usmjereni u smjeru istezanja stroja čime se postižu bolje karakteristike [6].

- Hladno oblikovanje

Proces koji ne zahtijeva visoke toplinske temperature i koristi se za proizvode koji ne omekšavaju pri sobnoj temperaturi. Jedan je primjer hladno duboko utiskivanje (slika 3) kod kojeg se žig utiskuje u mekši (polimerni) materijal. Postupak je spor i zahtjeva kalup od visokokvalitetnog čelika.



Slika 3 Alat za utiskivanje vanjskog navoja [7]

- Toplo oblikovanje

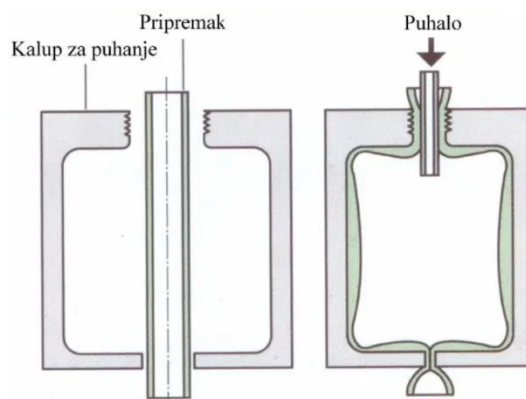
Toplim oblikovanjem oblikuju se plastomeri i elastomeri postupcima savijanja, razvlačenja u toplom stanju, pritiskivanja i mješovitim postupcima. Svima je zajedničko da se pripremi za preoblikovanje zagrijavaju nakon čega se u gumastom stanju oblikuju u traženi oblik.

1.2.2.2. Puhanje šupljih tijela

- Ekstruzijsko puhanje (slika 4)

Koristi se za izradu boca, spremnika, rezervoara i ostalih šupljih proizvoda od termoplastičnih materijala u nekoliko koraka.

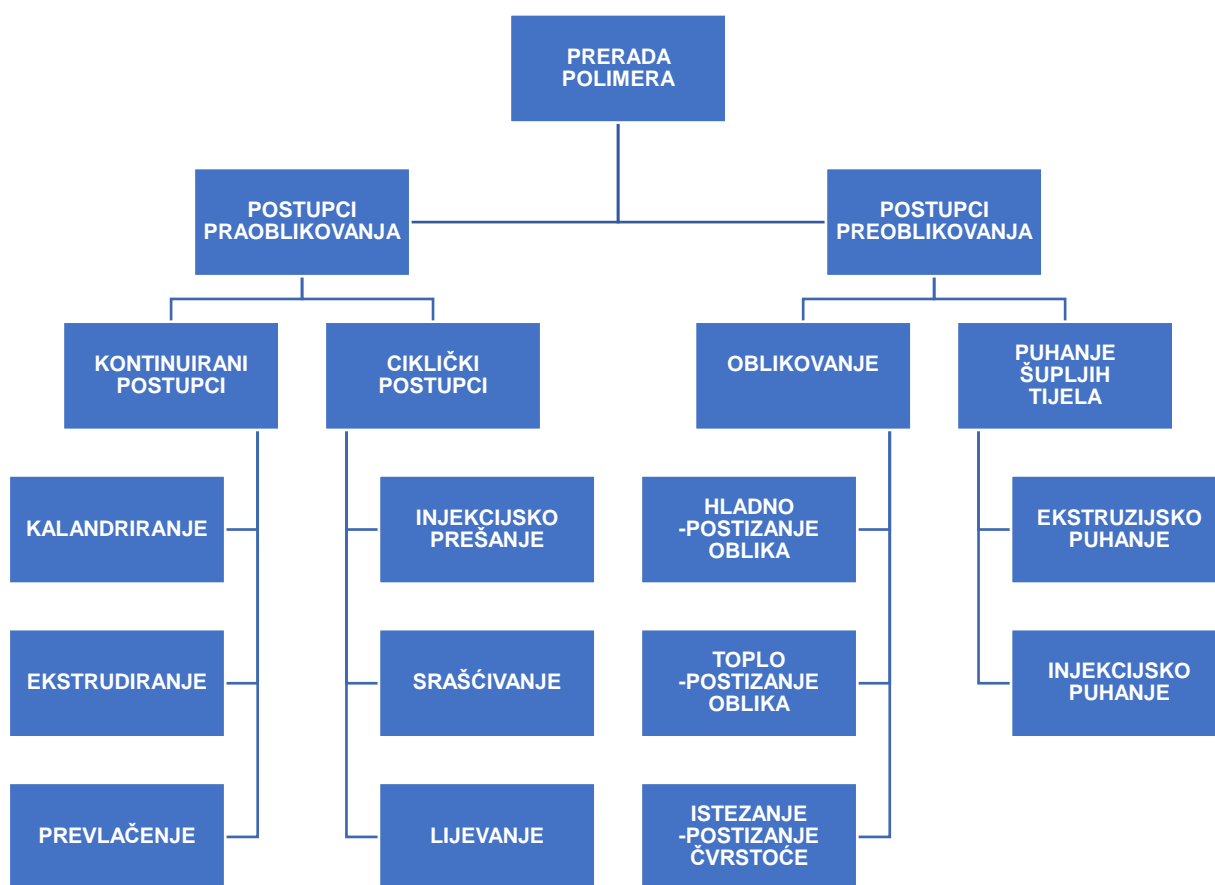
- Poluproizvod se stavlja u ekstruder gdje se na visokoj temperaturi i tlaku rastapa nakon čega se pomoću puhalo gura van ekstrudera
- Puhalo kroz cijev puše zrak čime širi materijal iz ekstrudera prema stijenkama kalupa
- Materijal se hladi, poprima oblik kalupa i otvara se kada se materijal potpuno skruti.



Slika 4 ekstruzijsko puhanje [5]

- Injekcijsko puhanje

Sličan postupak ekstruzijskom puhanju uz razliku što se materijal ne ekstrudira već se injekcijski preša u kalup. Nakon oba postupa može se proizvod doraditi kako bi se postigla tražena kvaliteta. Oba su postupka vrlo pouzdana i koriste za proizvodnju malih do velikih šupljih proizvoda.



Slika 5 Postupci prerade polimera [5]

2. INJEKCIJSKO PREŠANJE

Kao što je već navedeno, injekcijsko je prešanje jedan od cikličkih postupaka praoblikovanja polimera gdje je kalup ključan element ovog postupka. Preciznost i ponovljivost ovog postupka omogućuje preradu proizvoda od elastomera, duromera i plastomera složenih oblika velikih ili malih dimenzija, u velikim ili malim serijama. Strojevi za injekcijsko prešanje (slika 6) imaju visoki stupanj automatiziranosti i mogu raditi 24 sata na dan [8].

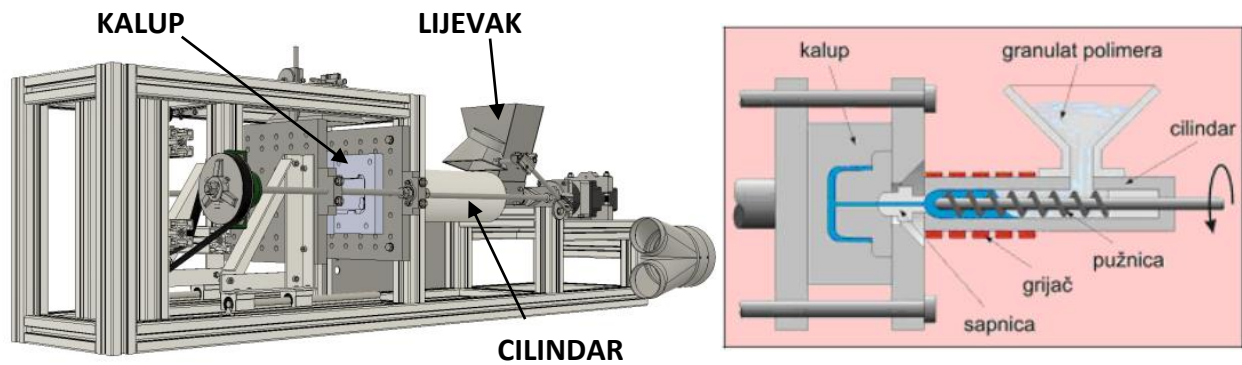


Slika 6 Stroj za injekcijsko prešanje [9]

2.1. Princip rada stroja za injekcijsko prešanje

Prije nasipanja polimerne sirovine (granulata) u lijevak stroja (slika 7) ista se može (ali ne mora) predgrijati u peći kako bi lakše omekšala u stroju.

- Proces započinje paljenjem stroja pri čemu se zatvaraju dvije polovice kalupa koje skupa čine zatvorenu šupljinu oblika proizvoda koji se treba proizvesti. Nakon toga uključuju se grijači postavljeni oko cilindra i temperiralo koje održava temperaturu kalupa.
- Lijevak stroja se otvara i predgrijani granulati ulazi u cilindar. Oko cilindra su postavljeni grijači koji ga drže na temperaturi pogodnoj za ravnomjerno ubrizgavanje i kontrolirano omekšavanje granulata. Vijak u cilindru (pužnica/ubrizgavalica) gura materijal kroz cilindar prema sapnici za vrijeme dok se tali.
- Definirana količina rastaljenog materijala ubrizgava se kroz sapnicu pod konstantnom temperaturom u temperirani kalup unaprijed definiranom brzinom, a nakon toga tlači također unaprijed definiranim tlakom (i do 10000 bara).
- Kalup se otvara tek u trenutku kada je obradak potpuno skrućen kako ga izbacivači pri izbacivanju iz kalupa ne bi deformirali.
- Obradak izlazi iz stroja, kalup se zatvara čime se ciklus dalje ponavlja [10].



Slika 7 Dijelovi stroja za injekcijsko prešanje [11]

2.2. Parametri injekcijskog prešanja

Svaki je materijal drugačiji i ima drugačija svojstva kako bi se osigurala visoka kvaliteta proizvoda. Ovakvi strojevi omogućuju inženjeru definiranje svih parametara o kojima ovisi kvaliteta i izgled krajnjeg polimernog proizvoda. Vrijednosti parametara ovise o mnogo faktora poput vrste polimera, veličine i oblika proizvoda i kalupa, a na kraju i samog stroja.

Parametri koji su dostupni programeru ovise o tipu stroja i modelu njegove upravljačke jedinice no oni parametri koji su ključni za proces većinom nude svi proizvođači. Neki od njih su:

- Temperatura temperiranja kalupa

Preniska temperatura može uzročiti slabo punjenje kalupa dok previsoka predugo vrijeme skrućivanja.

- Temperatura grijanja cilindra

O ovoj temperaturi ovisi hoće li zadani materijal kontrolirano mekšati i ravnomjerno se ubrizgati pa time kvalitetno popuniti kalup. Temperature se kreću između 150°C i 350°C.

- Brzina ubrizgavanja kalupa

Pogrešna brzina punjenja kalupa može dovesti do pojave deformacija i pora.

- Tlak stlačivanja

Također utječe na ispunu kalupa i krajnju kvalitetu proizvoda. Tlak može iznositi i do 10000 bara.

- Tlak stiskanja dvije polovice kalupa

Stiskanje prevelikim tlakom može dovesti do oštećenja kalupa kojeg je skupo proizvesti.

- Brzina otvaranja kalupa i izbacivanja proizvoda

Prerano otvaranje i izbacivanje kada proizvod još nije do kraja skrućen može dovesti do deformiranja obratka čime se dobiva škart. S druge strane prekasno otvaranje dovodi to nepotrebnog vremena trajanja ciklusa što je neekonomično za proizvođača.

- Broj ciklusa

Broj ciklusa parametar je koji je obično ekvivalentan broju naručenih komada i određenog faktora sigurnosti zbog rizika od pojave škarta bilo zbog nesavršenosti u polimernom granulatu ili samom stroju.

2.3. Kalup za injekcijsko prešanje [12]

Kalup ima mnoge zadaće u procesu injekcijskog prešanja: od primitka taljevine, definiranja razdjelne linije, definiranja dimenzija i oblika proizvoda do izbacivanja proizvoda. Ovi su kalupi obično vrlo skupi za izradu no bolja kvaliteta izrade kalupa rezultira duljim vijekom trajanja istog, konzistentnijom kvalitetom proizvoda pa dugoročno i manjim troškovima.

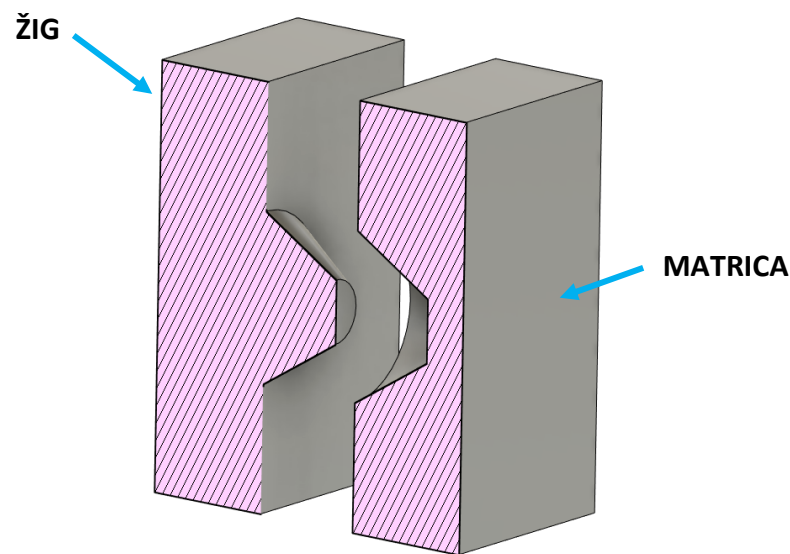
Kanali za hlađenje kalupa također su dio istog. Dobro konstruirani i izveden sistem hlađenja smanjuje rizik od deformacija te ubrzava skrućivanje taljevine nakon popunjavanja kalupa, pa time i ubrzava ciklus. Osim tih kanala na kalupu se nalaze i kanali (provrti) za odzračivanje kojima se smanjuje rizik od pojave pora u presjeku proizvoda.

Sistem izbacivanja sastoji se od jednog ili više izbacivača koji nakon skrućivanja proizvoda izbacuju isti iz kalupa. Klizanje izbacivača kroz ploče sklopa alata mora se odvijati glatko bez ikakvih zapinjanja ili grebanja kako bi se spriječilo oštećivanje alata ili samog izbacivača.

Nabrojene zadaće predstavljaju pet temeljnih funkcija kalupa u procesu injekcijskog prešanja i bit će detaljno razrađene u praktičnom dijelu ovog rada. Osim ovih funkcija kalup ima i pomoćne funkcije poput centriranja i vođenja dijelova, povezivanja elemenata sklopa kalupa, prihvat na stroj itd.

2.3.1. Žig i matrica kalupa

Kalup se generalno može podijeliti na fiksirani dio i pomični dio gdje je fiksirani dio na stacionarnom dijelu stroja pričvršćen za ubrizgavalicu, a pomični dio na pomičnom dijelu stroja i na njemu je konstruiran sustav izbacivanja. Oblik i veličinu otpreska definiraju žig (ispupčeni dio) i matrica (udubljeni dio) koji se nalaze svaki na jednoj polovici kalupa. Žig definira unutarnji oblik otpreska, a matrica vanjski (slika 8). Kada se te dvije polovice kalupa zatvore tada žig i matrica stvore kalupnu šupljinu u koju će se ulijevati polimerni materijal i nakon skrućivanja poprimiti njen oblik.



Slika 8 Žig i matrica

Kako se polimerni materijal hladi tako dolazi do skupljanja otpreska i ovisno o njegovom obliku moguće je da ostane pričvršćen na žig. Iz tog se razloga prakticira da se žig konstruira na pomičnoj strani kalupa kako bi izbacivači iz njega uklonili otpresak.

3. KONSTRUKCIJA PROIZVODA

Pozicija koja će se injekcijski prešati je jedan od dijelova uređaja za čišćenje kave. Glavni funkcionalni dio uređaja jest rotor koji svojom rotacijom čisti kavu koja nakon toga kroz uređaj pada u spremnik. Rotor je pogonjen malenim elektromotorom pozicioniranim ispod njega samog, a aktiviran je signalom induktivnog senzora koji detektira metal ručke za kuhanje kave. Sama logika uređaja nalazi se u elektronici koja se, radi visokog udjela vlage u iskorištenoj kavi nalazi s vanjske strane uređaja.

Proizvod koji se injekcijsko preša predstavlja kutiju, odnosno poklopac, koji štiti elektroniku od vanjskih uvjeta poput prašine i prskanja, a u isto vrijeme ima i estetsku funkciju. Kao dodatna mjera zaštite od vlage, elektronika je također uronjena u masu za zalijevanje elektronike unutar same kutije.

Volumen i oblik unutrašnjosti kutije definiran je oblikom i volumenom elektronike uronjene u dvokomponentnu silikonsku masu, a oblik donjeg dijela kutije, koji sjeda na vanjsku poliranu površinu cijevi od nehrđajućeg čelika, definiran je promjerom iste. Navedena kutija za elektroniku mora biti dobro zaštićena od vlage, a ujedno mora biti i dovoljno mala da ne bi bila vizualno upadljiva. Uz navedeno debljina stijenke predmetne kutije mora osigurati da ne dođe do deformacije nakon hlađenja te mora osigurati dobro brtvljenje na promjer vanjske cijevi uređaja.

(slika 9)

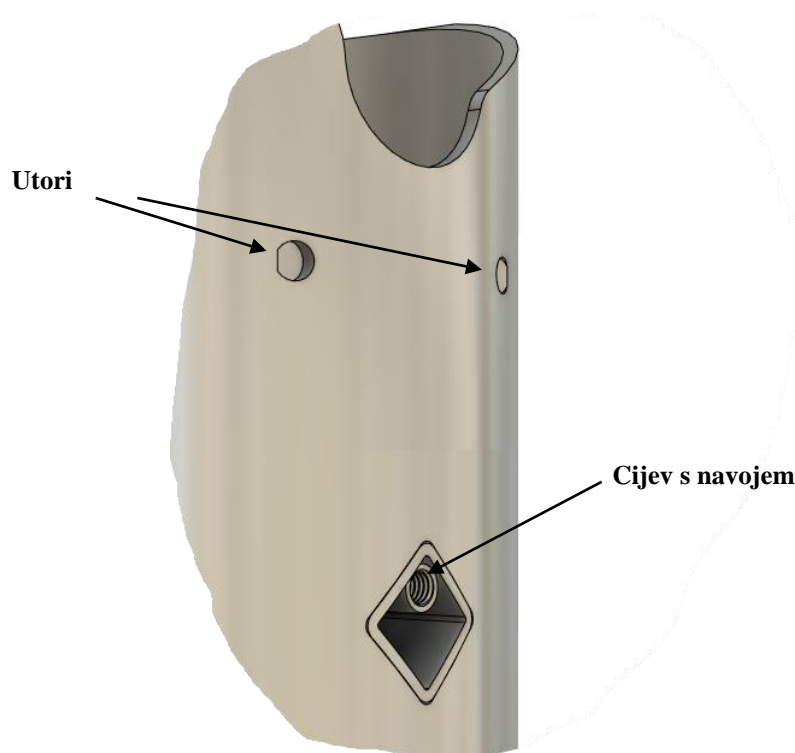


Slika 9 Vanjska cijev uređaja

3.1. Elektronika

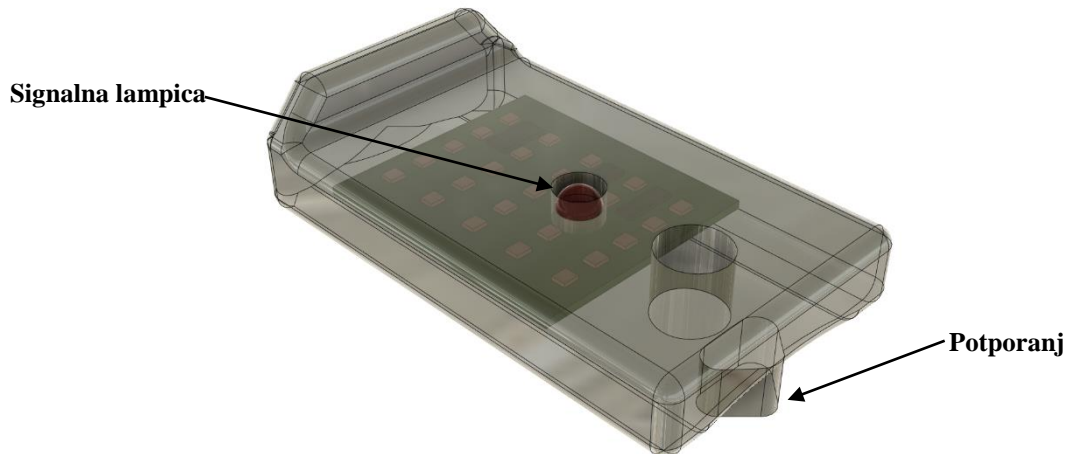
Glavni parametri u konstrukciji kutije nisu dimenzije same elektronike već dimenzije elektronike zalivene masom. Tvrtka Data-Link iz Bjelovara, koja je programirala logiku uređaja i konstruirala elektroniku u fizičkom obliku koja se spominje kroz ovaj rad, definirala je debljinu mase oko elektroničke ploče kako bi se osigurala tražena zaštita od vlage uz određeni faktor sigurnosti. Definirana je sigurna debljina stijenke mase za zalijevanje u iznosu od 3 mm sa svake strane elektroničke ploče na temelju koje je u programskom paketu Fusion 360 izrađen CAD model elektroničke ploče uronjene u masu. Sklop elektronike i mase nazvan je „Hot melt“ (hrv. „Vruće topljeno“) i u nastavku će se tako imenovati u ovome radu.

Prije same konstrukcije kutije na vanjskoj su cijevi izgledani utori pomoću kojih će se prilikom montaže olakšati pozicioniranje (slika 10). Ispod utora izgledan je kvadratni otvor u koji je umetnuta i TIG-om zavarena kvadratna cijev. U cijevi je istom metodom zavarena cijev s urezanim normalnim metričkim navojem u koji će se stezati M4 vijak za stezanje kutije na cijev.



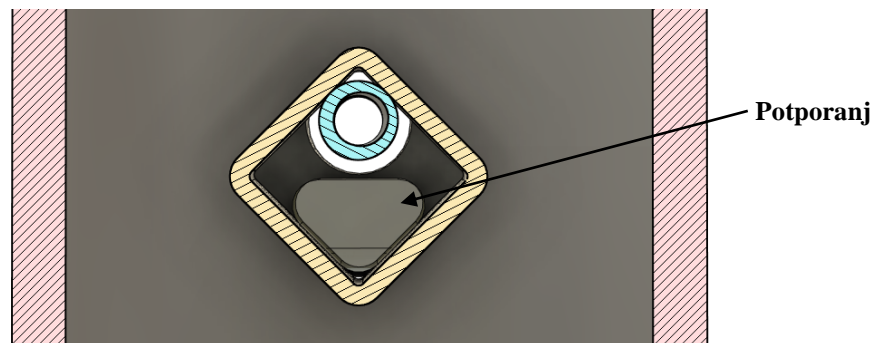
Slika 10 Utori za pozicioniranje i mjesto za stezni vijak

Elektronika je zalivena sa SFY-161 odnosno 2-komponentnom silikonskom masom za zalijevanje elektroničke ploče. Zalijevanje se izvršilo u napravi odnosno kalupu konstruiranom takoda se oslobodi prolaz za vijak i prolaz za svjetlost signalne lampice koja se aktivira prilikom rotacije rotora (slika 11).



Slika 11 Zalivena elektronička ploča

Isto tako ispod prolaza za vijak odliven je i potporanj koji se umeće unutar zavarene kvadratne cijevi što se vidi na slici 12.



Slika 12 Poprečni presjek kvadratne cijevi za bolji prikaz potpornja i otvora za M4 vijak

3.2. Modeliranje kutije

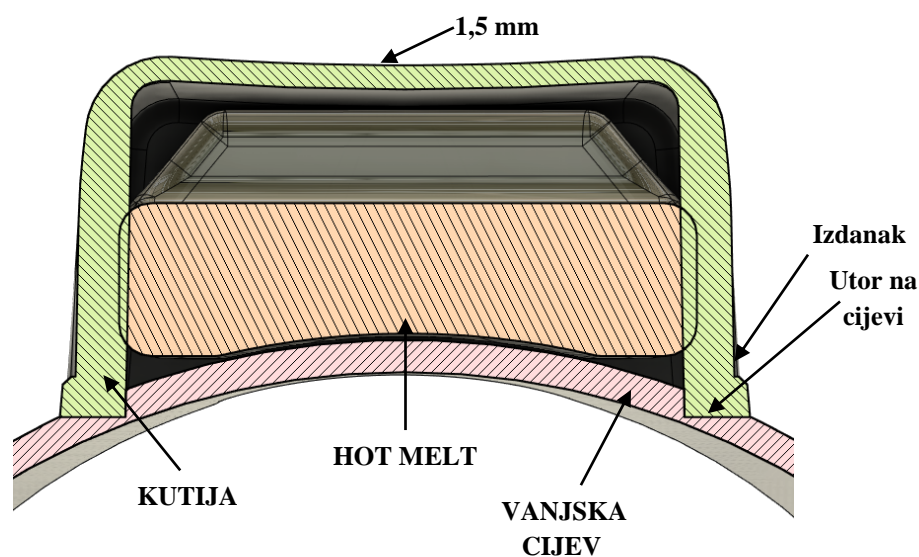
Sklop vanjske cijevi i Hot melt-a predstavljao je početak za konstrukciju zaštitne kutije. Kutija je uz minimalnu zračnost modelirana oko Hot melt-a, uzimajući u obzir promjer vanjske cijevi koji iznosi 60 mm, utore za pozicioniranje te prolaze za vijak i svjetlost signalne lampice.

U svakoj konstrukciji dijelova prototipa nerijetko se događa da prva verzija ne zadovoljava određene kriterije, bio to kriterij dizajna, funkcije, cijene izrade i sl. U konstruiranju zaštitne kutije otpisane su prve tri verzije od čega je na drugu verziju utrošeno najviše vremena. CAD model druge verzije vidi se na slici 13.



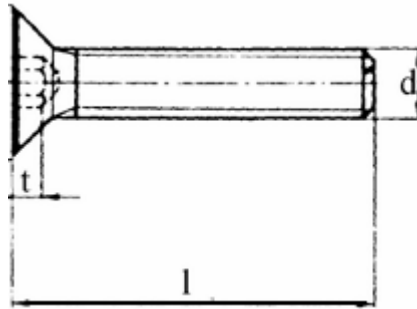
Slika 13 Druga verzija zaštitne kutije

Treća i četvrta verzija konstruirale su se tako da po cijelom obodu kutije debljina stjenke iznosi 1.5 mm (slika 14), izuzev dijelova na vrhu gdje su konstruirani izdanci za pozicioniranje čiji oblik odgovara izgledanim utorima na cijevi.



Slika 14 Poprečni presjek vanjske cijevi, hot melt-a i kutije

Vanjska je površina zaštitne kutije modelirana pomoću mnogo kontura i krivulja kako bi se izbjegla ravna generička površina koja u prošlim verzijama nije bila estetski prihvatljiva. Također je, uzimajući u obzir estetiku, na provrt za vijak dodano upuštenje za ISO10642 M4 x 16 vijak s upuštenom glavom ISO10642 kako se ne bi narušile glatke linije na vanjskoj površini kutije (slika 15).



Slika 15 Vijak ISO10642 M4 x 16 [13]

Model kutije i sklop iste s vanjskom cijevi vidi se na slici 16.



Slika 16 CAD model treće verzije zaštitne kutije prikazane na vanjskoj cijevi

3.3. Simulacija injekcijskog prešanja

Razvoj svakog prototipa proizvoda je skup. Stoga se nastoji koliko je god moguće smanjiti rizike od nezadovoljavajućih verzija. Već se u ovom radu vidi da se takve verzije pojavljuju u koraku konstruiranja na koji se potroši određena količina vremena. Cijena izrade samog alata za injekcijsko prešanje iznimno je visoka i ne može se mjeriti s cijenom vremena konstruiranja, stoga je ključno smanjiti rizik od izrade lošeg alata kako se ta visoka cijena ne bi pretvorila u visoki trošak. Loš alat ne mora nastati isključivo u njegovoj izradi, već i u koraku konstruiranja njega samog ili proizvoda koji se njime planira izrađivati. Ako se ne uzima dovoljno u obzir popunjavanje kalupa, njegovo odzračivanje, izbacivanje komada i ponašanje materijala prilikom prešanja ili hlađenja, postoji šansa da se proizvede kalup koji se u najgorem slučaju ne može doraditi, prilagoditi niti popraviti.

Alat koji se koristi kako bi se smanjio rizik od neuspjeha jest simulacija injekcijskog prešanja koja omogućuje uvid u deformacije i naprezanja, utjecaj promjena parametara prešanja na tečenje materijala, lakšu identifikaciju problema itd. Simulacija pored toga omogućuje i izbjegavanje skupocjenih testiranja prešanja na stvarnim kalupima i stvarnim komadima.

Kao što je konstruiranje zaštitne kutije rađeno u programskom paketu Fusionu 360, tako je i njena simulacija injekcijskog prešanja provedena u istom softveru.

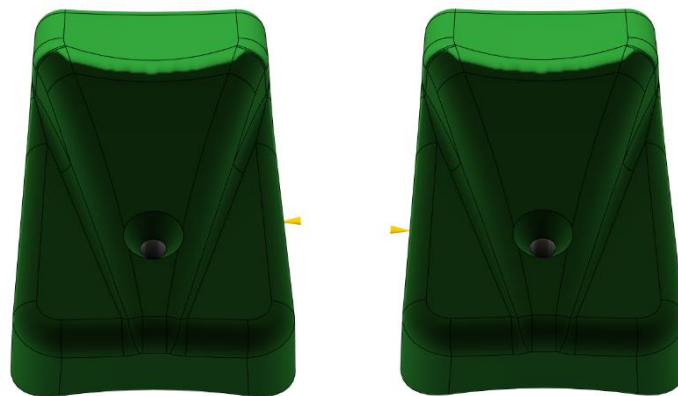
3.3.1. Postavljanje parametara simulacije

Za provođenje simulacije najprije treba postaviti osnovne parametre i informacije potrebne softveru da zna što se injekcijski preša te na koji način.

To se radi u nekoliko koraka:

- I. Prvi je korak odabiranje pozicije koja se preša. U ovome slučaju označen je CAD model zaštitne kutije.
- II. Drugi korak je odabir materijala u kojem Fusion 360 u svojoj biblioteci materijala nudi više od tisuću različitih vrsta materijala od više stotina različitih proizvođača. Osim toga, za svaki materijal mogu se pronaći preporučeni parametri za injekcijsko prešanje, reološka svojstva, odnos tlak/temperatura, mehanička svojstva, toplinska svojstva, postotak skupljanja, primjenu itd.
-za materijal kutije odabran je PA6-G30, odnosno poliamid s 30% staklenih vlakana

- III. U ovome koraku potrebno je na modelu označiti lokaciju ubrizgavanja taljevine odnosno mjesto ušća. Postoji nekoliko vrsta i oblika ušća od kojih svako ima i prednosti i mane. Kalup za injekcijsko prešanje zaštitne kutije zamišljen je tako da se u isto vrijeme prešaju dvije kutije jedna pored druge. Da bi to bilo ostvarivo, uljevak kalupa mora se nalaziti između njih, a ušće na svakoj od te dvije kutije mora biti smješteno na vanjskoj površini koja gleda prema susjednoj kutiji (slika 18). Pošto je ta površina s ušćem na vanjskoj strani kutije, koja je vidljiva na uređaju, odabrano je filmsko ušće. Filmska ušća su obično uska i ravna, s malim otvorom za ubrizgavanje što omogućava ubrizgavanje materijala u kalup na način koji smanjuje stvaranje otiska filmskog ušća na površini gotovog komada.
- IV. U četvrtom koraku označavaju se tzv. estetske površine odnosno površine koje moraju biti vizualno prihvatljive. U ovom slučaju te su površine one s vanjske strane kutije, označene zelenom bojom na slici 17.



Slika 17 Mjesto ušća

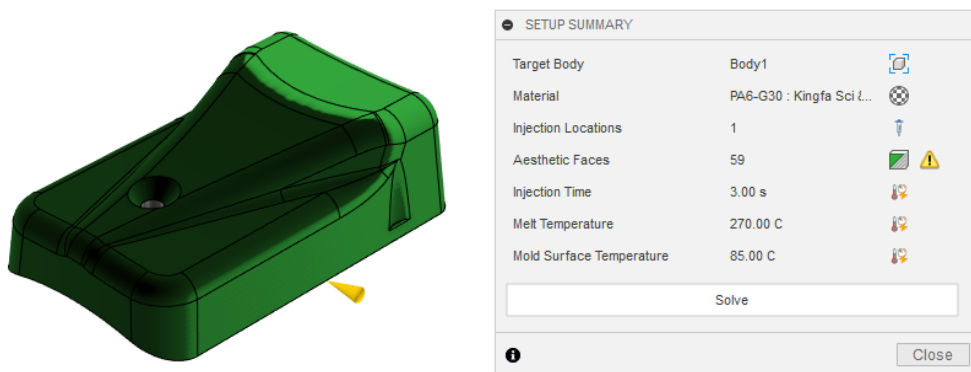
Sljedeći zadatak je odrediti specifične postavke materijala, a to su vrijeme injekcije (vrijeme punjenja kalupa taljevinom), temperatura taljevine i temperatura kalupa.

Vrijeme injekcije: s povećanjem vremena punjenja kalupa smanjuje se tlak i temperatura taljevine. Softver nudi automatski način rada gdje izračunava vrijeme injekcije koje daje najniži tlak punjenja. Definirano je vrijeme punjenja u iznosu od 3 sekunde.

Temperatura taljevine: predstavlja stvarnu temperaturu rastaljenog materijala koji prolazi kroz brizgalicu i ulazi u kalup. Definirana je temperatura u iznosu od 270 °C.

Temperatura kalupa: ima visok utjecaj na kvalitetu gotovog proizvoda i na vrijeme trajanja ciklusa. Ova temperatura obično iznosi od 50°C do 120°C. Kod visokih temperatura nešto je bolja kvaliteta površine proizvoda, no trajanje ciklusa je dulje. S druge strane previsoka temperatura kalupa može mjestimično ili potpuno rezultirati neuspjehom skrućivanja taljevine pa time i nastajanjem škarta. Temperatura kalupa u ovome slučaju iznosi 85°C.

Odabrani parametri i lokacija ušća mogu se vidjeti unutar softvera na slici 18. Valja naglasiti da je odlučeno da će se provrt za signalnu lampicu raditi tehnologijom bušenja nakon injekcijskog prešanja te iz tog razloga na slikama rezultata simulacije isti neće biti vidljiv.

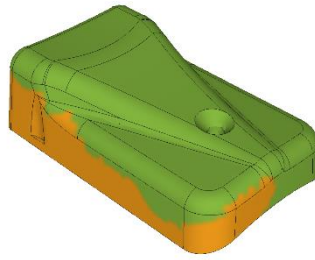


Slika 18 Osnovne postavke simulacije

3.3.2. Rezultati simulacije

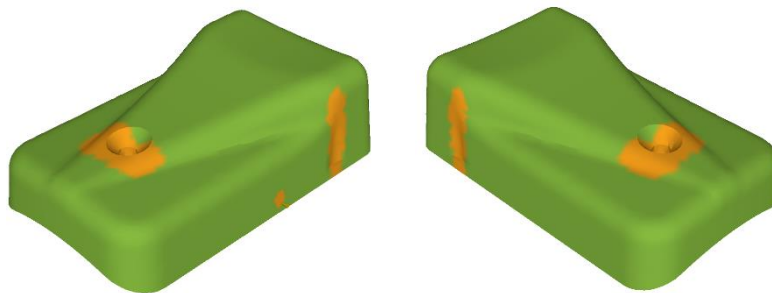
Nakon što se provede simulacija softver nizom rezultata daje uvid u ponašanje materijala tijekom ubrizgavanja, popunjavanja kalupa i hlađenja, greške u proizvodu, deformacije uzrokovane hlađenjem, daje animaciju tečenja materijala itd.

- Animacija punjenja (eng. Fill animation): Vizualni prikaz punjenja kalupa i ponašanja temperature i tlaka materijala tijekom definiranog vremena punjenja.
- Mogućnost punjenja: Prema zadanim parametrima i lokacijom ušća spektrom boja, od zelene (sigurno popunjeno) do crne (sigurno nepopunjeno), daje uvid u mogućnost popunjavanja bilo koje točke na komadu.
 - o Rezultat simulacije prikazuje da je 18,5 posto kutije težak za popunjavanje te je taj dio na slici 19 označen žutom bojom.



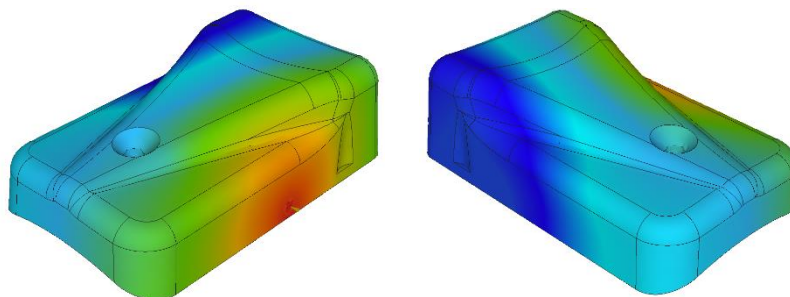
Slika 19 Mogućnost punjenja

- Estimacija kvalitete: Spektrom boja od zelene (visoka kvaliteta) do crvene (loša kvaliteta) prikazuje predviđenu kvalitetu proizvoda u svakoj točki površine.
 - o Rezultat predviđa da će 90,8 posto proizvoda ispasti visoke kvalitete (zelene površine na slici 20), a 9,2 posto srednje kvalitete (žute površine na slici 20)



Slika 20 Predviđena kvaliteta gotovog proizvoda

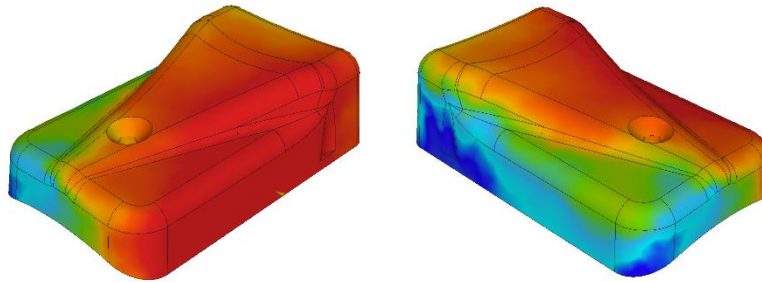
- Tlak punjenja: Spektrom boja od plave (najniži tlak) do crvene (najviši tlak) prikazuje visinu tlaka u svakoj točki kalupa tijekom punjenja.
 - o Rezultat pokazuje da je na ušću najveći tlak (na slici 21 označen crvenom bojom) koji prema simulaciji iznosi oko 25 MPa te pada kako taljevina teče sve dalje kroz alat. Može se uočiti da generalna područja koja su na slici 19 prikazana kao teško popunjiva, su na slici 21 označena tamno plavom bojom. Spomenuta boja označava područje minimalnog tlaka što može biti preduvjet za loše popunjavanje.



Slika 21 Tlak punjenja

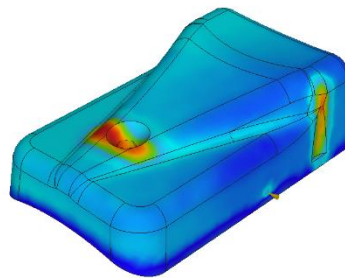
- Temperatura protoka: Prikazuje promjenu temperature taljevine polimera tijekom punjenja kalupa.

- Na slici 22 vidi se da je na ušću crvenom bojom označena najveća temperatura koja doseže 270°C, a tamno plavom bojom najniža temperatura koja iznosi 256°C.



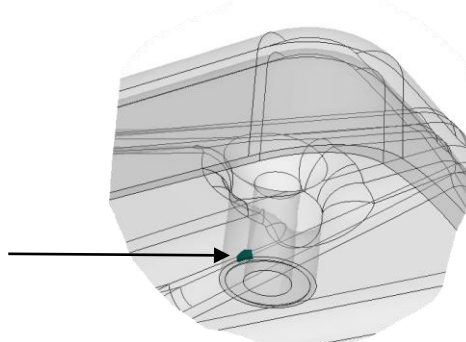
Slika 22 Prikaz temperatura-protok

- Skupljanje: Prikazuje spektrom boja od plave (neskupljeno ili skupljeno unutar tolerancije) do crvene (skupljeno van tolerancije) prikazuje deformaciju proizvoda nakon hlađenja. Ovisi o zadanoj toleranciji.
 - Slika 23 prikazuje da se na mjestu upuštenja za glavu vijka pojavljuje skupljanje u iznosu od 7 posto (označeno crvenom bojom).



Slika 23 Vizualni prikaz skupljanja

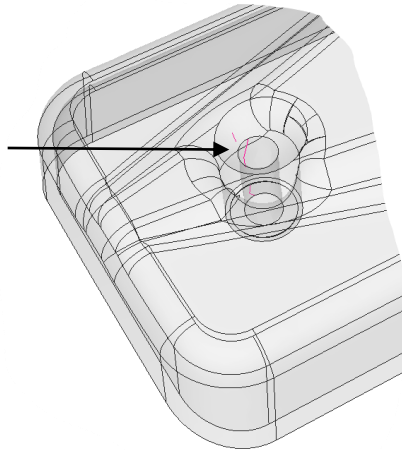
- Zaostali zrak: Prikazuje mjesta u kalupu gdje je nakon punjenja ostao zračni mjehurić.
 - Zaostali zrak pojavljuje se samo na jednom mjestu, a to je s unutarnje strane kutije te ne utječe na funkcionalnost ni estetiku (slika 24).



Slika 24 Mjesto zaostalog zraka

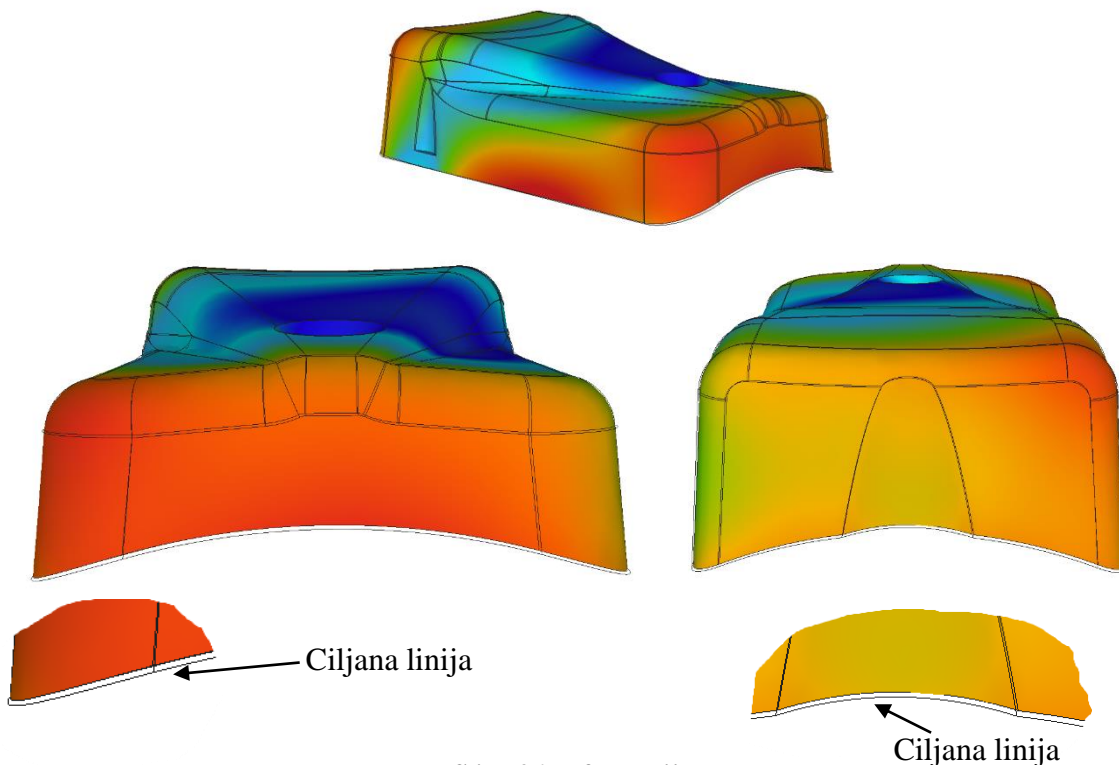
- Spojne linije: Prikazuje mjesta u kalupu gdje dolazi do spajanja dva toka taljevine iz različitih smjerova.

- Na slici 25 vidi se spoj na provrtu za vijak (ne utječe na funkcionalnost ni estetiku)



Slika 25 Spojne linije

- Udubine: Prikaz mjesta gdje se pojavljuju udubine na komadu.
 - Nisu se pojavile nikakve udubine
- Deformacija: Spektrom boja od plave (nedeformirano) do crvene (deformirano van tolerancije) prikazuje deformaciju proizvoda nakon hlađenja. Ovisi o zadanoj toleranciji (u ovome slučaju 0,5 mm).
 - Po slici 26 vidi se da su prednja i stražnja stranica kutije deformirane tako da je kutija postala bačvasta. Navedeni oblik predstavlja problem zbog radijusa koji naliže na vanjsku cijev. Prednja se stranica deformirala 0,6 mm (crveno), a stražnja 0,4 mm (žuto).



Slika 26 Deformacija

Iako je deformacija radijusa prednje strane (slika 26 lijevo) veća od stražnje, ona može biti eliminirana jačim stezanjem vijka čime bi kutija precizno sjela na radijus cijevi. S druge strane stezanje vijka neće eliminirati deformaciju stražnje stranice (slika 26 desno), stoga je odlučeno da se pristupi rekonstrukciji unutrašnjosti kutije, iako je deformacija stražnje strane unutar zadane tolerancije od 0,5 mm.

Problemi uviđeni kroz simulaciju:

- Problem deformacije
- Problem skupljanja materijala na konusnom upuštenju za glavu vijka
- Problem kvalitete proizvoda na mjestu upuštenja (iako je predviđena srednja kvaliteta teži se visokoj kvaliteti površine)
- Problem popunjavanja kalupa

3.3.3. Rekonstrukcija

U rekonstrukciji je cilj bio ukloniti probleme ukazane simulacijom. Najprije su se rješavali problemi deformacije, skupljanja i kvalitete.

U rekonstrukciji je u unutrašnjost zaštitne kutije dodano ojačanje u obliku mreže (slika 27) koja bi dodatno trebala smanjiti deformaciju. Isto tako smanjila bi skupljanje materijala na konusnom upuštenju za glavu vijka što bi automatski eliminiralo i problem s kvalitetom na istom mjestu.

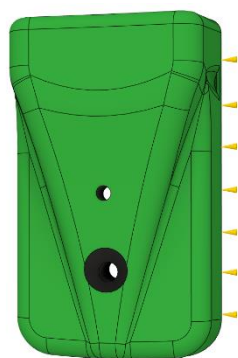
Također je odlučeno da će provrt za signalnu lampicu ipak biti izrađen tehnologijom injekcijskog prešanja kako bi se smanjila količina naknadne obrade. Taj je provrt također dodan na model za simulaciju.



Slika 27 Rekonstruirana unutrašnjost kutije

Za bolje punjenje kalupa dodatno je povećano filmsko ušće te je smanjeno vrijeme injekcije taljevine u kalup s 3 sekunde na 1,5 sekundu čime se povećava tlak ubrizgavanja.

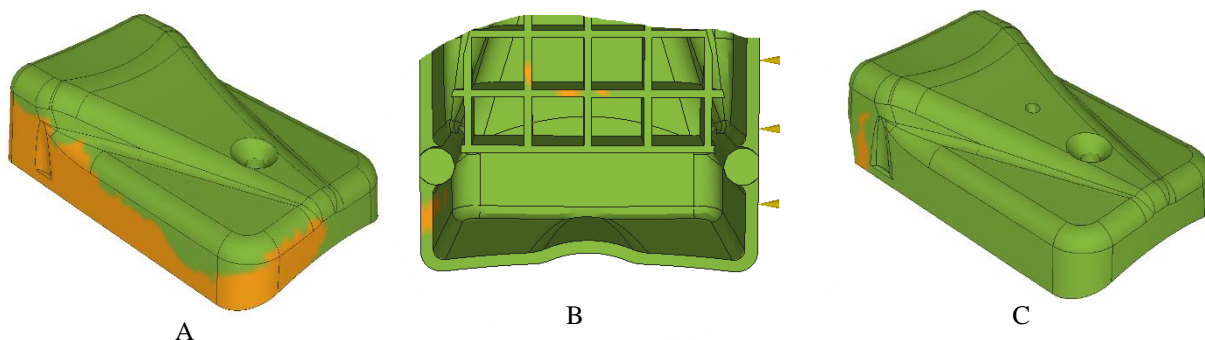
U programskom paketu Fusion 360 moguće je označiti ušća na simuliranoj poziciji samo u obliku točke kako je prikazano na slikama 17 i 18. Rekonstrukcijom je filmsko ušće povećano toliko da se proteže po gotovo cijeloj bočnoj stranici te je ono označeno kao više točaka koje se protežu tom istom duljinom (slika 28). Pri tome će programski paket u simulaciji promatrane točke gledati kao više tokova taljevine te postoji mogućnost da rezultat simulacije prikaže spojne linije između tih točki. Zbog navedenog te spojne linije mogu se zanemariti jer se radi o zapravo jednom toku taljevine.



Slika 28 Povećano ušće

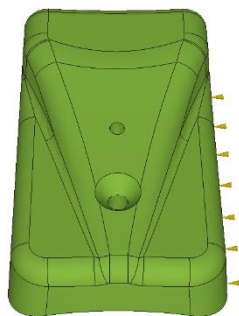
3.3.4. Simulacija rekonstruirane verzije

Uspješnost punjenja kalupne šupljine prikazuje da je povećanim ušćem i smanjenjem vremena ubrizgavanja riješen problem prijašnje verzije te je svega 0,16 posto kalupa teže popunjivo. Taj dio kalupa odnosi se na dio formiranih ojačanja unutarnje mreže koja nemaju estetsku funkciju te na maleni dio kutije pored lijevog izdanka za pozicioniranje. U razgovoru s tvrtkom Sveplast iz Svete Nedjelje, koja će injekcijski prešati ove kutije, dogovoreno je da dio pored izdanka neće predstavljati problem, a i ako bude, korekcijom parametara temperature, vremena i tlaka bit će jednostavno eliminiran. Na slici 29 može se vidjeti usporedba prijašnje (A) i rekonstruirane verzije (B i C).



Slika 29 Vjerojatnost punjenja izvorne verzije (A) i rekonstruirane verzije (B i C)

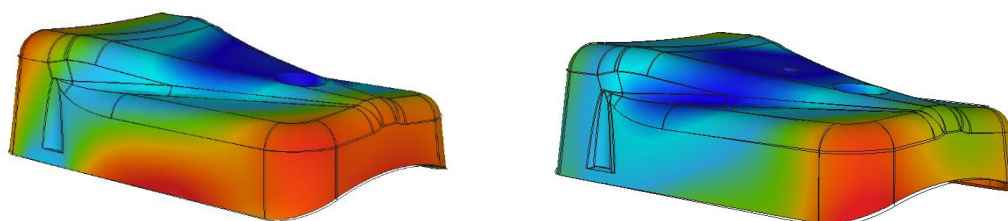
Rezultat predviđa da će sve estetske površine otpreska ispasti visoke kvalitete (slika 30).



Slika 30 Estimacija kvalitete

U rezultatima deformacije otpreska promijenjena je tolerancija s 0,5 mm na 0,3 mm te rezultati pokazuju da je mreža ostvarila očekivano ojačanje nužno da se otpresak ne deformira u mjeri kako je izvorna verzija.

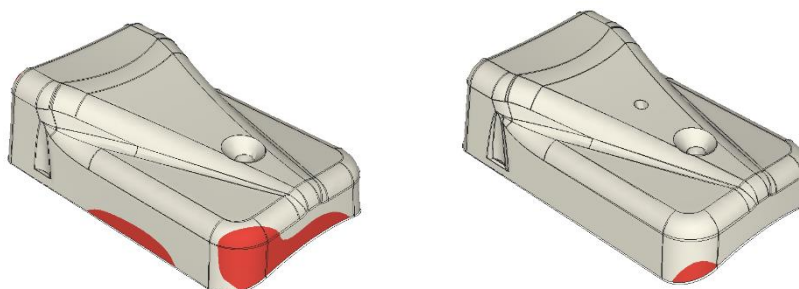
To je i vidljivo na slici 31 gdje je lijevo vidljiv rezultat deformacije u izvornoj verziji, a desno u rekonstruiranoj.



Slika 31 Deformacija izvorne verzije (lijevo) i nove (desno)

Na novom rezultatu simulacije vidi se da se stražnja i bočna strana kutije nisu deformirale, a crvene površine označavaju deformaciju u iznosu 0,4 mm te se nalaze na prednjoj strani kutije. Već je rečeno da deformacija prednjeg dijela, u ovoj mjeri ne predstavlja problem jer se ista može kompenzirati stezanjem vijka.

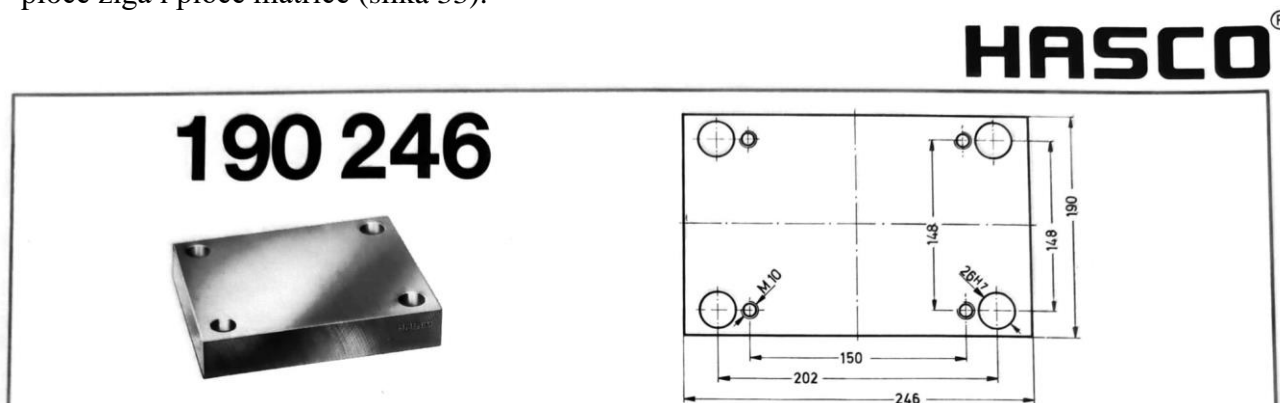
Slika 32 prikazuje dijelove površina koje izlaze iz tolerancije. Lijevo na slici prikazana je izvorna verzija kutije sa zadanom vrijednošću tolerancije iznosa 0,5 mm, a desno nova verzija tolerancije 0,3 mm.



Slika 32 Površine koje izlaze iz tolerancije (0,5 mm lijevo i 0,3 mm desno)

4. KONSTRUKCIJA KALUPA

Rekonstruirani model četvrta je verzija kutije koja će ući u proizvodnju. Konstrukcija alata za injekcijsko prešanje započela je odabirom tipa alata iz kataloga tvrtke Hasco. Hasco nudi širok spektar proizvoda uključujući standardne komponente za kalupe kao što su jezgre, šupljine i ploče. Tip kalupa iz kataloga služio je samo kao polazni primjer za izvor tolerancija i geometrijskih odstupanja. Odabrani tip je 190 246 u kojemu dva broja označavaju dimenzije ploče žiga i ploče matrice (slika 33).

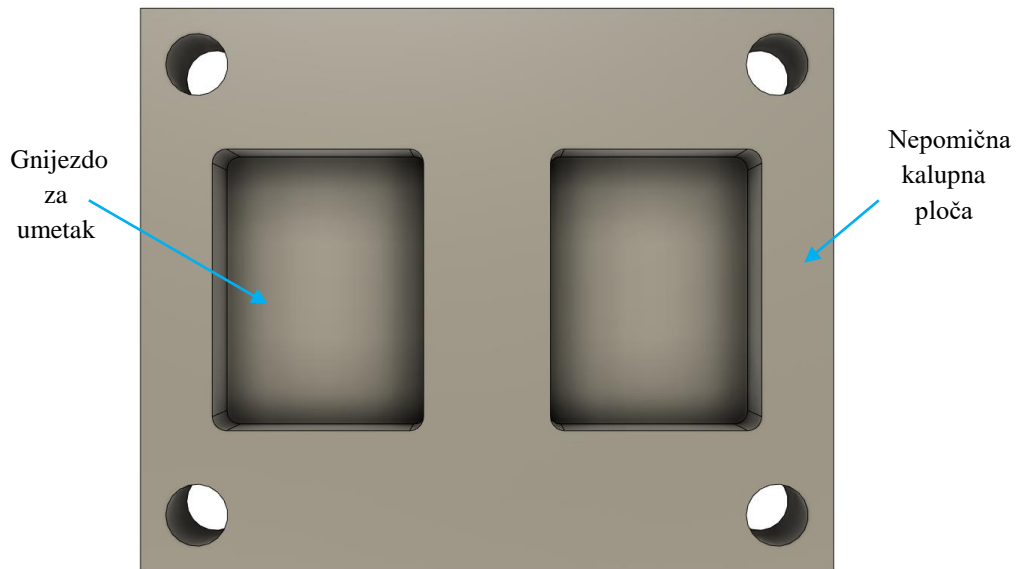


Slika 33 Tip kalupa Hasco 190 246 [14]

Dimenzije ploča kalupa u ovom radu ne prate dimenzije odabranog tipa u Hasco katalogu, no istog su materijala, a to je alatni čelik C45W3. Ovaj čelik sadrži 0,45% ugljika 0,3% silicija i 0,7% mangana. Sjajne je obradivosti te je također pogodan za toplinsku obradu pri čemu doseže tvrdoću iznosa od 55 do 58 HRC. Uglavnom se primjenjuje za dijelove kalupa za injekcijsko prešanje koji nisu kaljeni. Za materijal ploča matrice i žiga odabran je standardni čelik za kaljenje 21MnCr5. Sadrži 0,21% ugljika, 0,25% silicija, 1,25% mangana te 1,2% kroma. Uglavnom ima primjenu u izradi dijelova kalupa koji se toplinski obrađuju.

4.1. Matrica

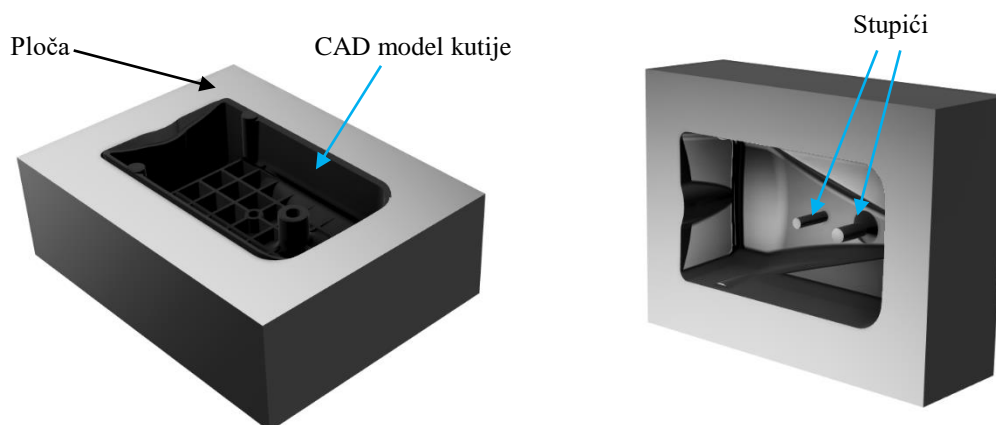
Zbog povećanja produktivnosti odlučeno je da će se u postupku injekcijskog prešanja koristiti alat s dva zasebna zakaljena umetka, jedan za svaku kutiju, koji će biti umetnuti u gnezda glodana na nepomičnoj kalupnoj ploči (slika 34).



Slika 34 Gnijezda na nepomičnoj kalupnoj ploči

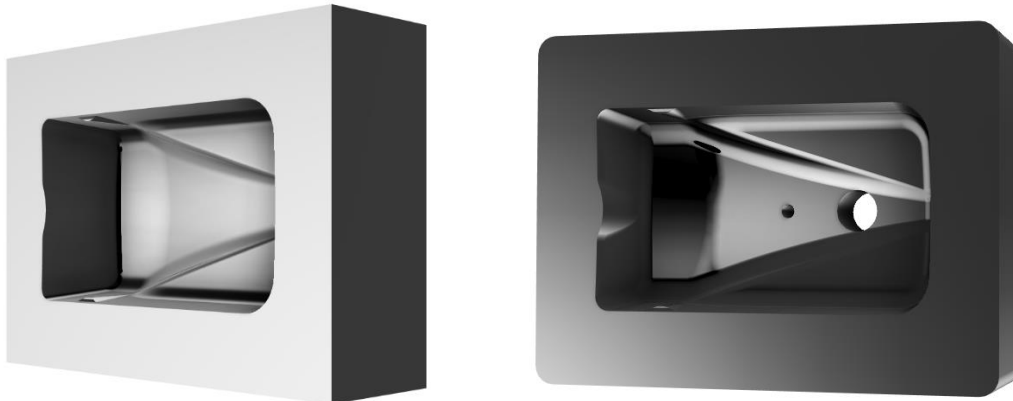
4.1.1. Umetci matrice

Konstrukcija umetaka započela je korištenjem alata „Combine“ (hrv. Spojiti) gdje se CAD modelom kutije formirala kalupna šupljina u ploči koja će kasnije biti matrica (slika 35).



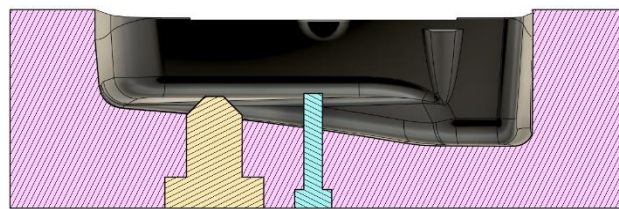
Slika 35 Alat „Combine“ u programskom paketu Fusion 360

Na slici 36 (lijevo) vidi se da su u šupljini uklonjeni stupići koji su alatom Combine formirani provrti za signalnu lampicu i vijak. Razlog njihovog uklanjanja je pojednostavljenje izrade same šupljine. Provrti su neusporedivo jednostavniji za izradu od interpolacije koja bi bila potrebna za glodanje stupića. Kao jezgre za formiranje provrta signalne lampice i vijka (zamjena za stupiće) koristit će se zakaljeni izbacivači (koji neće imati funkciju izbacivanja već samo formiranja) za koje su na matrici napravljeni provrti (slika 36 desno). Na slici se također može primijetiti da su na bridove umetaka formirani radijusi u iznosu od 5 milimetara kako bi se olakšala njihova montaža na ploču.



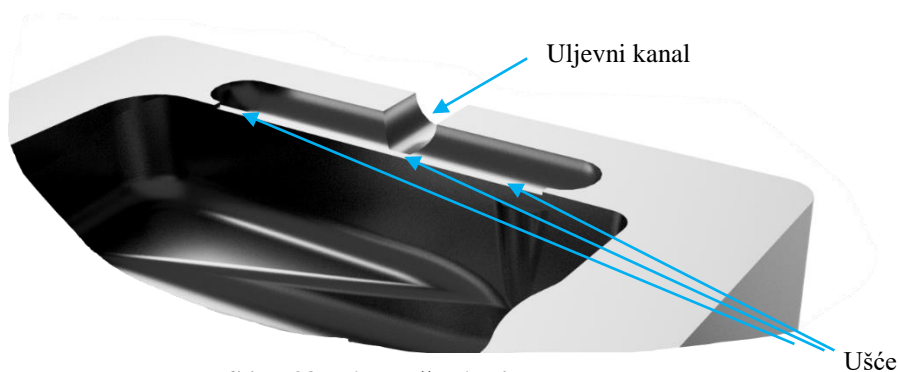
Slika 36 Formirani provrti na umetcima

Izbacivači za formiranje provrta na zaštitnoj kutiji izrađeni su po standardu DIN 1530-A/ISO 6751. Provrt za signalnu lampicu formiran je izbacivačem Z40/3 x 40 iz Hasco kataloga, a izbacivačem Z40/16 x 80 upuštenje za glavu vijka. Zbog prevelike duljine izbacivača isti su na planskoj brusilici „Prvomajska Geometrik“ brušeni na potrebnu duljinu. Isto tako, na izbacivač za formiranje upuštenja za vijak pomoću okretno-nagibnog stola brušeno je skošenje pod kutem od 45° dubine 3 mm. Na slici 37 vide se ugrađeni izbacivači.



Slika 37 Izbacivači za formiranje provrta signalne lampice i upuštenja za vijak

Ušće je, kao što je u simulaciji prikazano, formirano da se proteže 48 mm po bočnoj strani kalupne šupljine, a duboko je 0,4 mm. Uljevni kanal je formiran kao 8 mm širok i 4 mm dubok kanal koji će se dalje spajati na identičan kanal na ploči koji vodi do uljevka i uljevnog tuljka (slika 38).

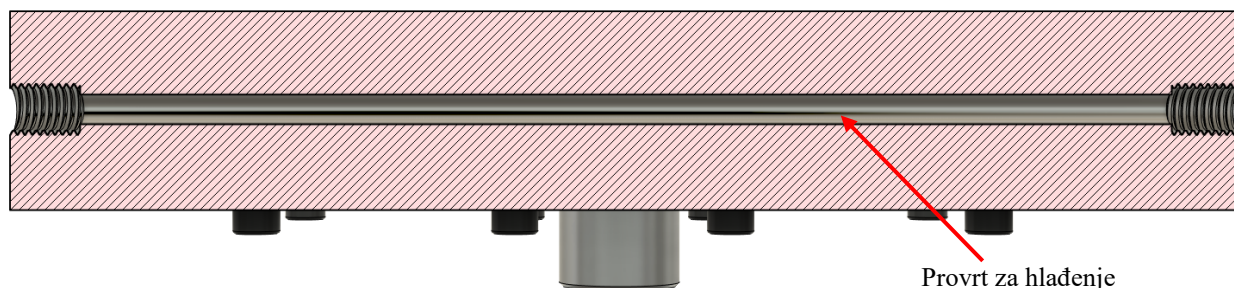


Slika 38 Prikaz ušća i uljavnog kanala

Konstruirani umetak desni je umetak na ploči pomoću čijeg se CAD modela alatom Mirror konstruirao i lijevi.

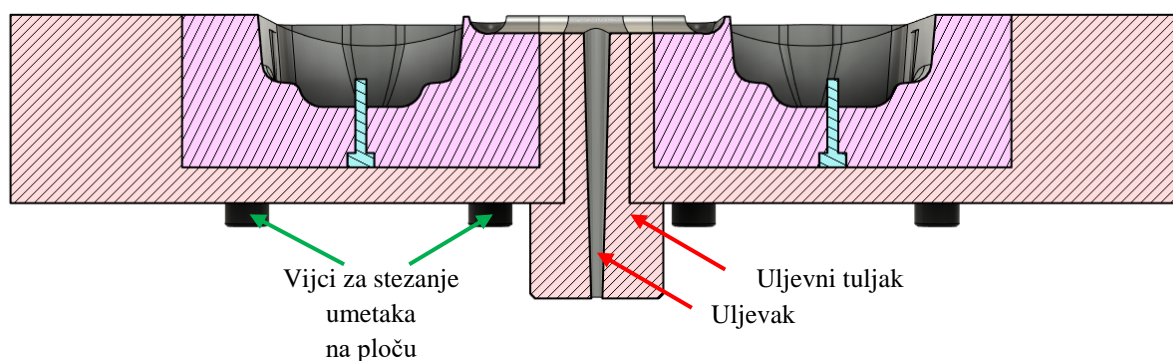
4.1.2. Sklop umetaka i nepomične stezne ploče

Sa stražnje strane na oba umetka dodani su provrti M6 gdje se vijcima M6 x 25 mm (DIN 912 ; ISO 4762) isti pritežu na nepomičnu ploču. U svakome kutu nepomične ploče nalaze se tolerirani provrti Ø22H7 za vodeće zatike, a na svakoj kraćoj stranici ploče nalaze se provrti promjera 6 mm koji služe kao sustav za hlađenje. Na ulazu i izlazu svakog provrta je navoj M10 za pritezanje priključaka (slika 39).



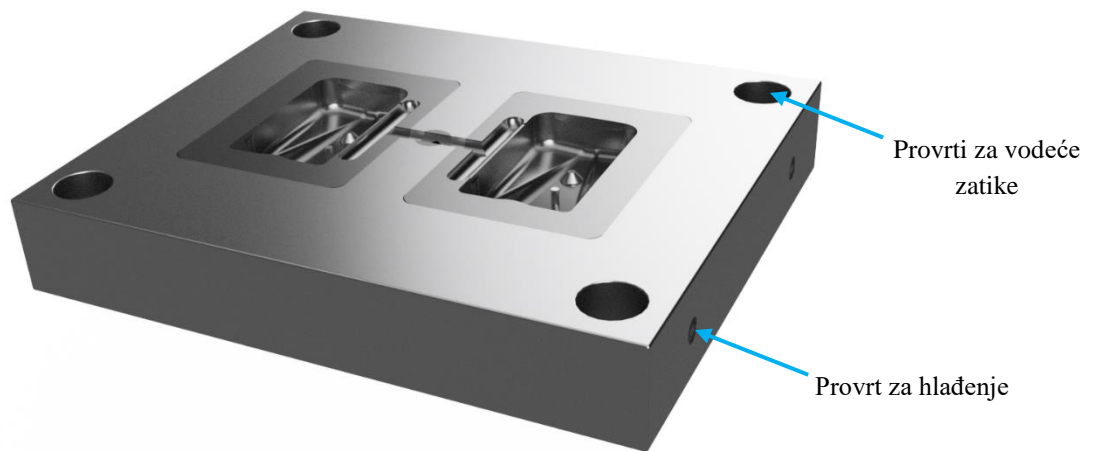
Slika 39 Provrt za hlađenje

Isto tako u sredini ploče između dva umetka nalazi se provrt u koji se uprešava uljevni tuljak (čvrsti dosjed Ø14H7/r6) te se može vidjeti na slici 40.

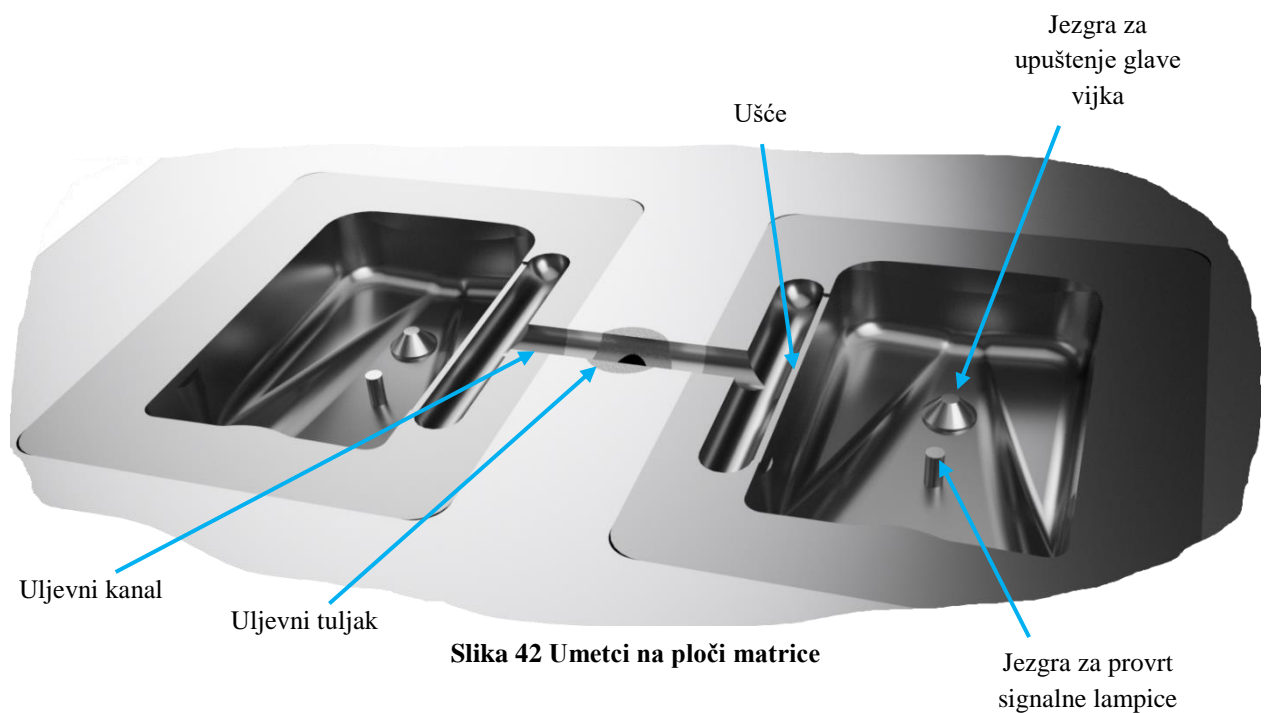


Slika 40 Poprečni presjek uljavnog tuljka

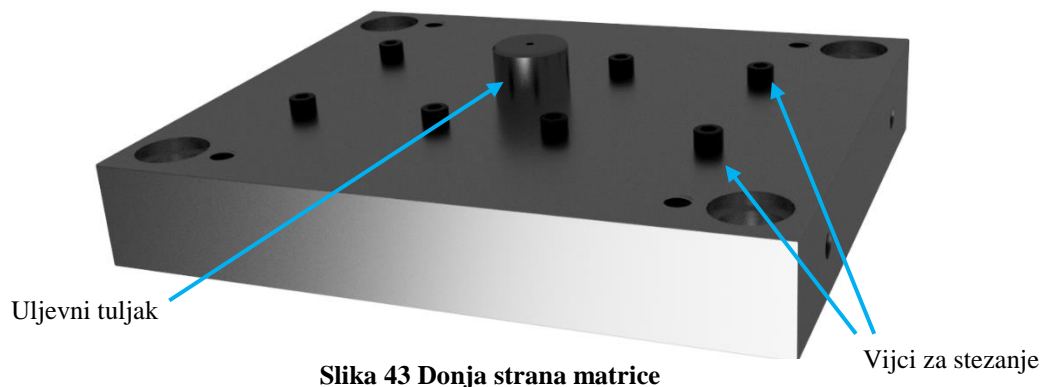
Uljevni tuljak zadnja je komponenta na ploči matrice kalupa te se ista, zajedno s metcima, steznim vijcima i drugim komponentama može vidjeti na slikama 41, 42 i 43.



Slika 41 Gornja strana matrice



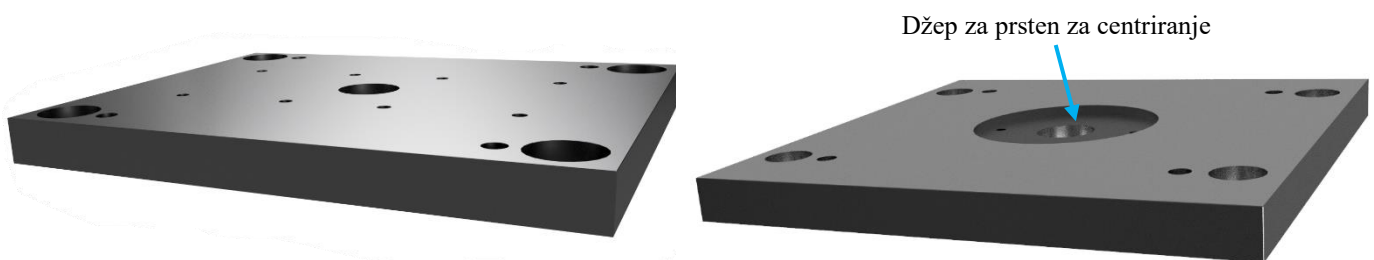
Slika 42 Umetci na ploči matrice



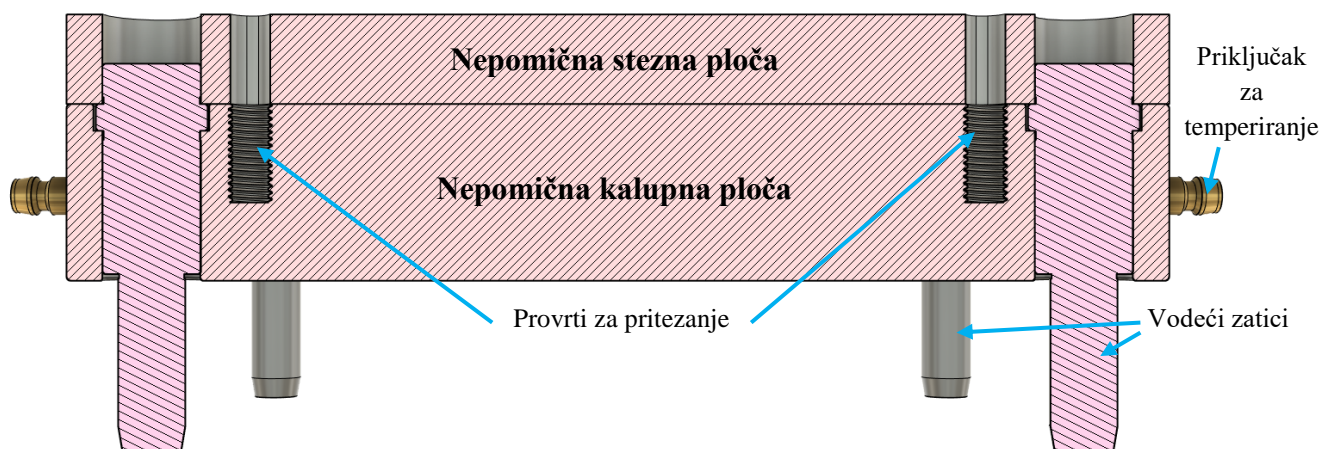
Slika 43 Donja strana matrice

4.1.3. Nepomična stezna ploča

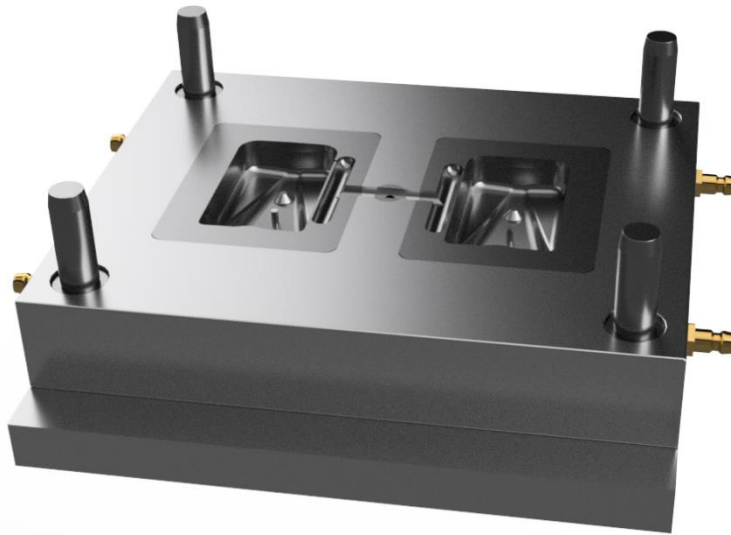
Nepomična stezna ploča dimenzija 246 x 246 mm ima funkciju pričvrstiti komponente nepomičnog dijela kalupa na nepomični dio stroja za injekcijsko prešanje. Na njoj su konstruirani provrti za zakaljane vodeće zaticke, upuštenja glava steznih vijaka za stezanje umetaka te provrt za uljevni tuljak kalupa. S gornje strane stezne ploče pozicioniran je džep i provrti za stezanje prstena za centriranje. Stezna ploča vidi se na slici 44, a cjelokupni sklop nepomičnog dijela kalupa i njegove komponente mogu se vidjeti na slici 45 i 46.



Slika 44 Nepomična stezna ploča (donja strana lijevo, gornja strana desno)



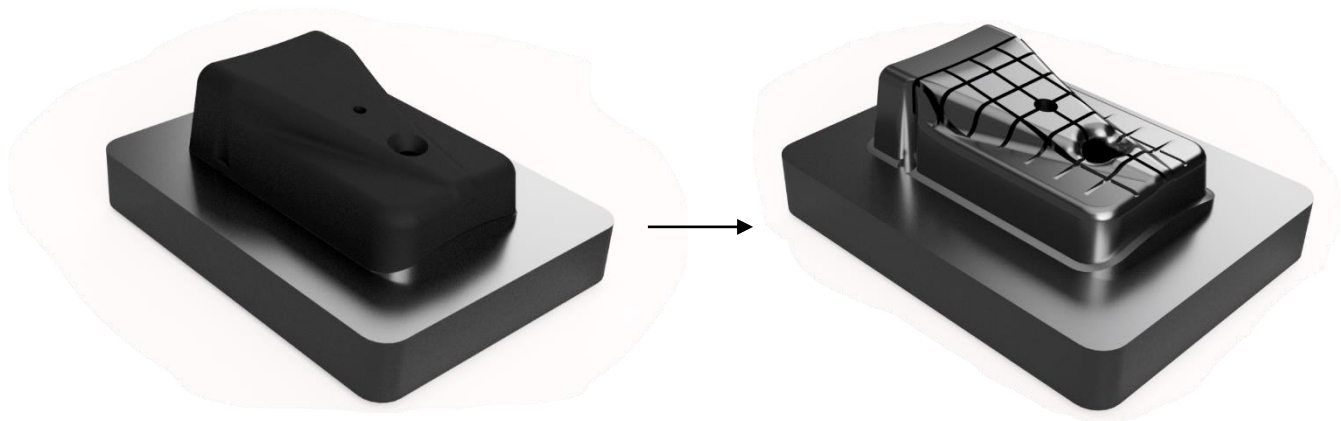
Slika 45 Komponente nepomičnog dijela kalupa



Slika 46 Izgled sklopa nepomičnog dijela kalupa

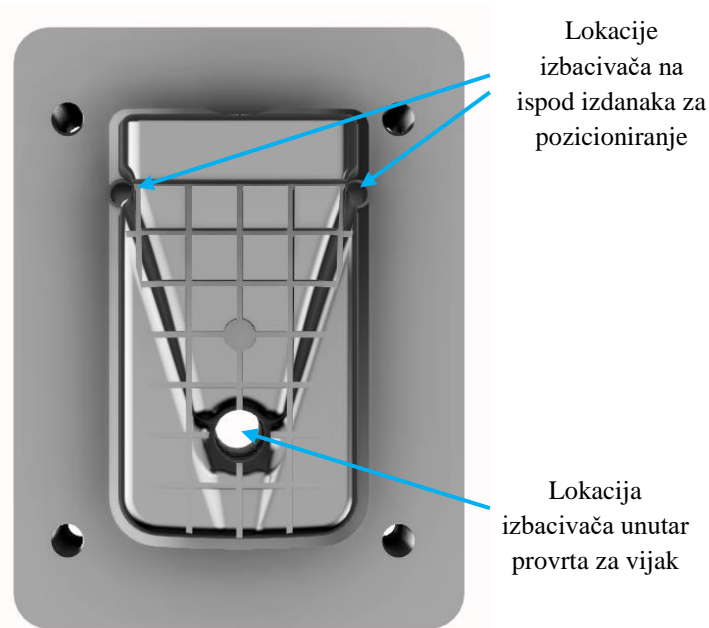
4.1.4. Žig

Žig je poput matrice također formiran u obliku umetaka ugrađenih na pomičnu kalupnu ploču. Isto tako, formiranje volumena na umetku, koji odgovara unutrašnjosti zaštitne kutije, također je formiran korištenjem alata Combine (slika 47).



Slika 47 Alat Combine na umetku žiga

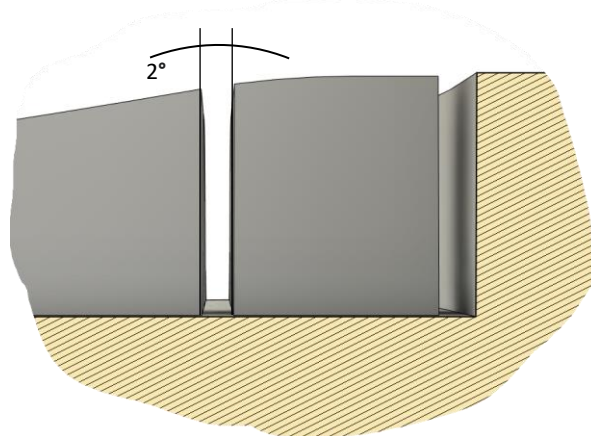
Na modelu su napravljeni provrti s M6 navojem, poput onih na umetcima matrice, za stezanje umetka na pomičnu kalupnu ploču, dok su na dnu smješteni provrti za vođenje izbacivača. Osim dva izbacivača unutar provrta za vijak smješten je i treći izbacivač konstruiran u obliku cijevi unutar koje se nalazi jezgra za formiranje provrta na kutiji (detaljnije objašnjeno u konstrukciji ploče izbacivača i potisne ploče). Lokacije izbacivača na umetku mogu se vidjeti na slici 48.



Slika 48 Lokacije izbacivača na umetku žiga

Na pomičnoj kalupnoj ploči nalazi se posljednji izbacivač koji se nalazi točno nasuprot uljevnog tuljka na nepomičnoj ploči. Zbrojivši tri izbacivača na svakome umetku i jedan na samoj ploči dobije se ukupnih 7 izbacivača na kalupu.

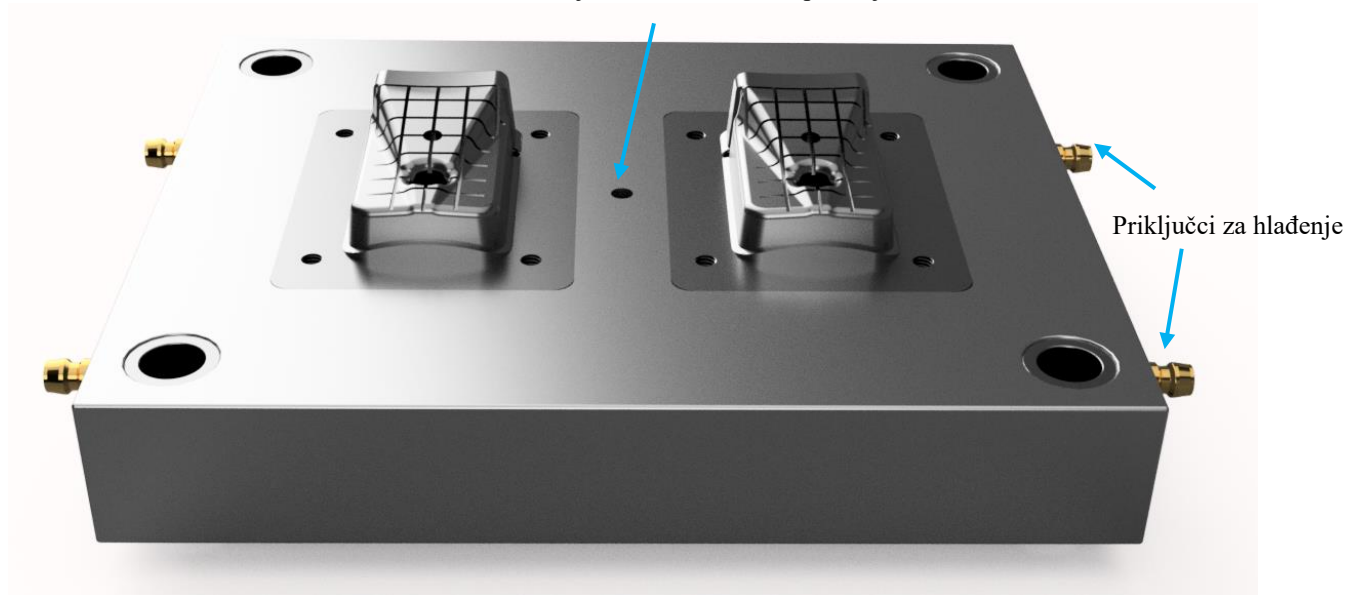
Debljina ojačanja na kutiji, shodno tome i na umetku žiga, iznose 1 mm te su duboka 8 mm na najdubljem mjestu, a 1 mm na najplićem mjestu. Za lakše izbacivanje otpresaka ojačanja su konstruirana tako da su nasuprotne stranice svakog ojačanja međusobno nagnute 2° (slika 49).



Slika 49 Kut između nasuprotnih stranica ojačanja

Sustav za temperiranje sastoji se od dva $\text{Ø}6$ mm provrta poput onih na nepomičnoj ploči. Na pomičnu kalupnu ploču formirani su provrti za vodeće puškice izrađene od nelegiranog čelika C15 (č1220). Sklop umetaka i pomične kalupne ploče, s provrtima za izbacivače, steznim vijcima, vodećim čahurama i priključcima za hlađenje vidi se na slikama 50 i 51.

Lokacija izbacivača na nasuprot uljevka



Slika 50 Gornji dio pomične kalupne ploče



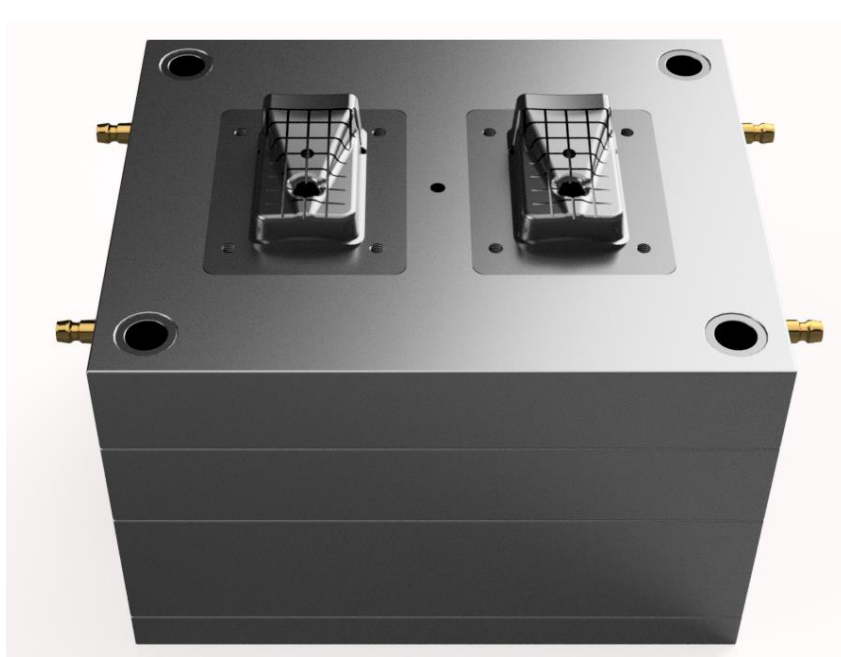
Slika 51 Donji dio pomične kalupne ploče

4.1.5. Sklop temeljne ploče, odstoynih letvi i pomične stezne ploče

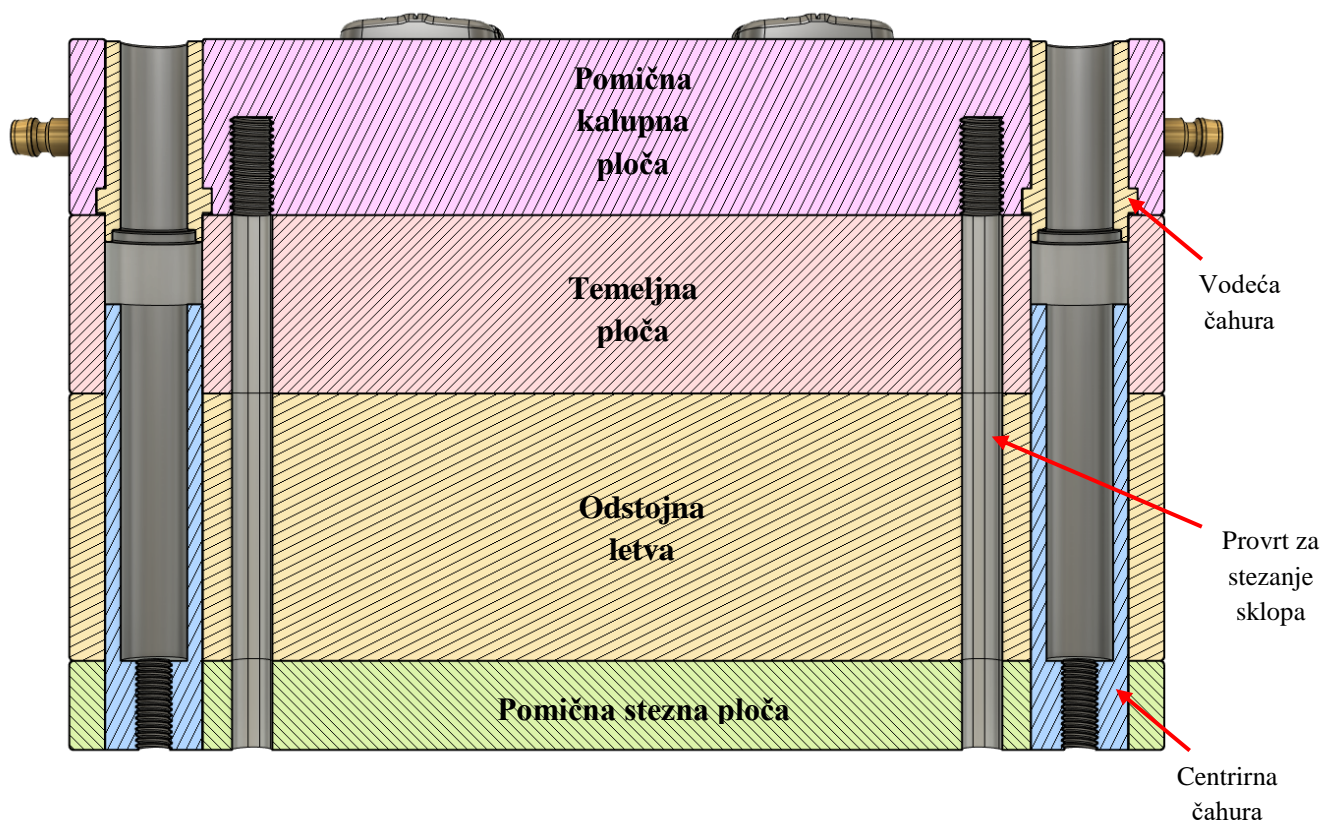
Temeljna ploča dio je kalupa koji povezuje pomičnu kalupnu ploču (ploču s umetcima žiga) i odstoynne letve. Izgledom je identična pomičnoj kalupnoj ploči izuzev umetaka. Temeljna ploča (nasuprot kalupnoj ploči) ima provrte kroz koje s gornje strane prolaze vodeće čahure, a s donje strane centrirane čahure.

Odstoynne letve odvajaju temeljnu i pomičnu kalupnu ploču od pomične stezne ploče. Visina odstoynnih letvi nagrubo definira duljinu hoda izbacivača. Kroz njih prolaze centrirne čahure koje centriraju pomični sklop alata (pomična kalupna i temeljna ploča s odstoynnim letvama) na pomičnu steznu ploču dimenzija 246 x 246 mm.

Pomična stezna ploča ukratko ima funkciju stezanja pomičnog dijela alata na pomični dio stroja. Cijeli sklop je učvršćen vijcima DIN 912 M10 x 120 u kvaliteti 12.9 koji prolaze kroz sve ploče. Navedeni sklop vidi se na slici 52, a njegove komponente na slici 53.



Slika 52 Sklop pomičnog dijela kalupa (bez potisne ploče i ploče izbacivača)

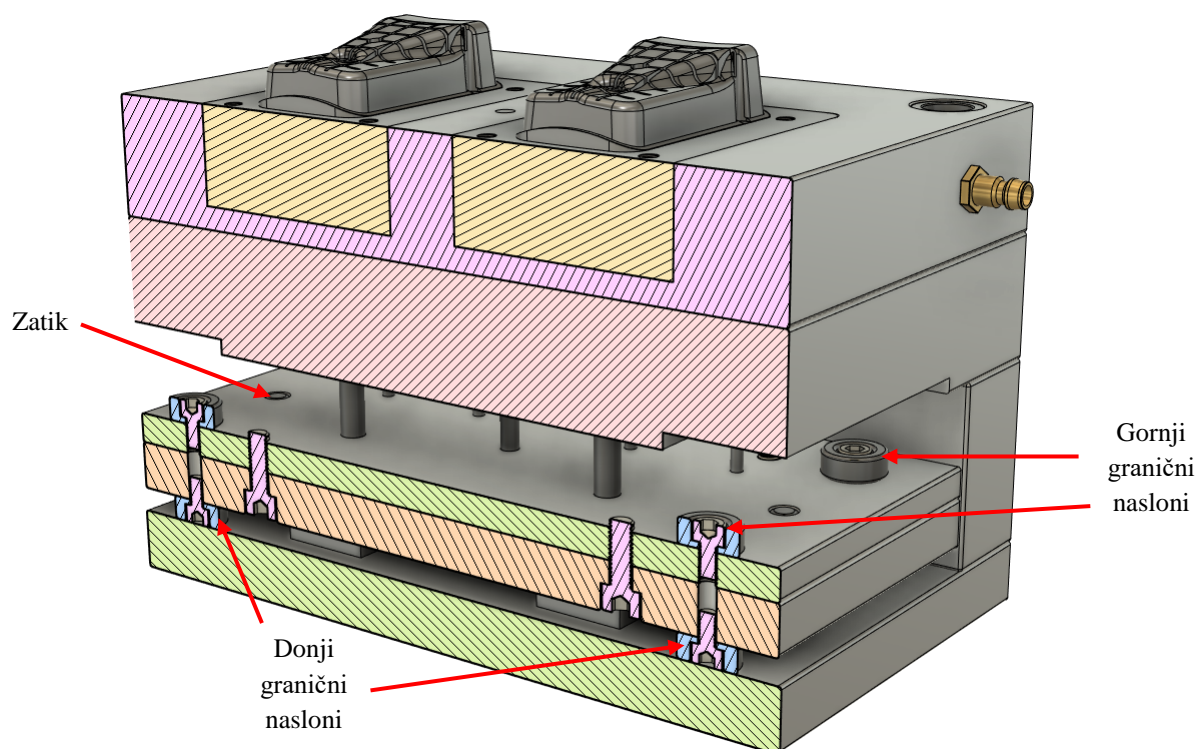


Slika 53 Komponente sklopa pomičnog dijela kalupa (bez potisne ploče i ploče izbacivača)

4.1.6. Ploča izbacivača i potisna ploča

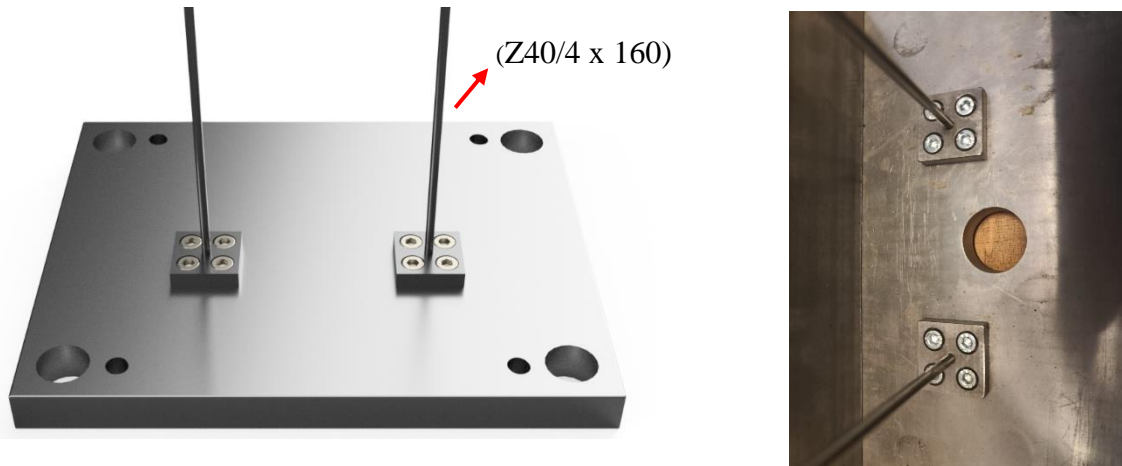
Ploča izbacivača zajedno s potisnom pločom dio je sustava za izbacivanje otpreska iz kalupa. Izbacivači prolaze kroz provrte na ploči izbacivača, a ispadanje im je s druge strane osigurano pričvršćenjem potisne ploče na ploču izbacivača (vidi se na slici 57). Ploče se međusobno centriraju pomoću dva zatika promjera 8 mm koji se vide na slici 54. Princip rada podrazumijeva spajanje cilindra stroja na potisnu ploču, a njegovom aktivacijom dobiva se gibanje sklopa potisne ploče i ploče izbacivača. Ploča izbacivača na gornjoj strani ima četiri naslona koji definiraju poziciju izbacivača u krajnjem položaju (položaju izbacivanja otpreska). Isto tako, potisna ploča s donje strane ima četiri naslona koji definiraju poziciju izbacivača u početnom položaju (slika 54). Tip naslona iz Hasco kataloga je Z56/15 x 10, a izrađen je od materijala C45U.

Već je spomenuto da se lokacije izbacivača nalaze na izdancima za pozicioniranje i na provrtu za vijak. Početna pozicija istih, definirana donjim naslonima, bitna je jer izbacivač u njoj formira dno izdanaka i dno provrta za vijak. Gibanjem potisne ploče prema temeljnoj ploči izbacivači počinju izbacivati otpresak iz kalupa i gibaju se sve do trenutka kada se gornji nasloni ne naslone na površinu temeljne ploče. Gibanje od početne do krajnje točke sveukupno iznosi 23 mm.



Slika 54 Presjek graničnih naslona

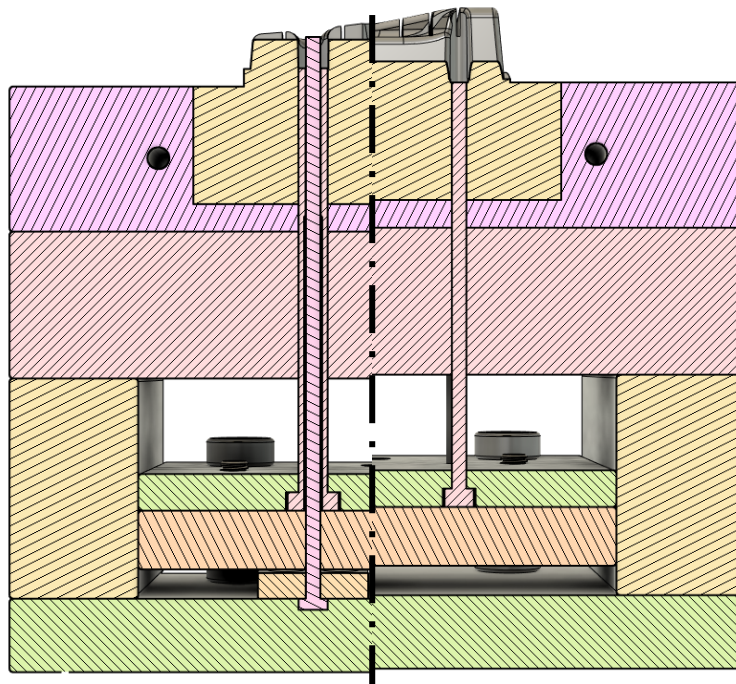
Izbacivači su odabrani iz Hasco kataloga za kalupe. Ispod svakog izdanaka na umetcima žiga postavljene su izbacivači po DIN-u 1530-A, odnosno ISO-u 6751, promjera 4 mm te duljine 125 mm (izbacivači Z40/4 x 125). Izbacivač istog tipa i promjera samo veće duljine, postavljen je unutar provrta za vijak na oba umetka te ima funkciju jezgre koja formira te provrte (Z40/4 x 160). Jezgre su stegnute na pomičnu steznu ploču vidljivo na slici 55.



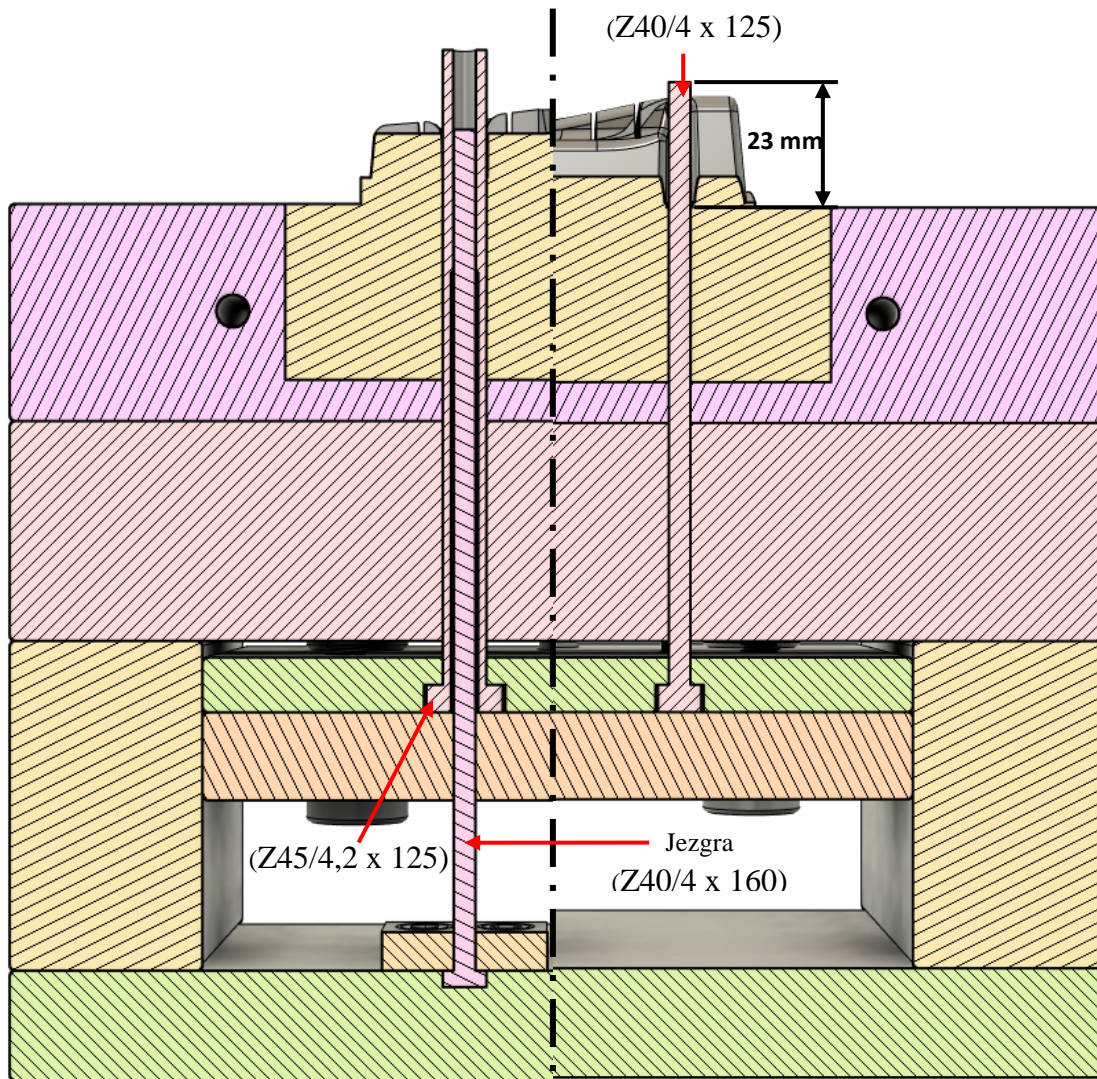
Slika 55 Spoj jezgri na pomičnu steznu ploču

Treći izbacivač (Z45/4,2 x 125) vanjskog promjera 8 mm cjevastog je oblika te se giba oko spomenutih jezgri. Kako bi se omogućilo gibanje unutarnji promjer odabranog izbacivača veći je za 0,2 mm od promjera jezgre.

Na slikama 56 i 57 prikazani su poprečni presjeci alata na kojima se vidi početna i krajnja pozicija izbacivača. Na slici 56 vidi se da u početnoj poziciji vrh desnog izbacivača formira dno izdanaka na otpresku. Također se na lijevoj strani slike vidi maloprije objašnjeno klizanje izbacivača oko jezgre.



Slika 56 Poprečni presjek izbacivača u početnom položaju



Slika 57 Poprečni presjek izbacivača u krajnjem položaju

Ovime završava konstrukcija kalupa za injekcijsko prešanje zaštitne kutije te se u cijelosti vidi na slici 58.



Slika 58 Cijeli alat za injekcijsko prešanje kutije.

5. IZRADA POZICIJA

U daljnjem radu razradit će se proces CAM tehnološke pripreme za izradu vodećeg zatika, umetka žiga i umetka matice. Također će se objasniti i obraditi sve ostale tehnologije korištene u izradi tih pozicija. Odstojna letva, temeljna ploča, nepomična i pomična kalupna i stezna ploča obrađene su na Stroju Cincinnati Lamb CFV800, a centrirne i vodeće čahure na tokarskom centru Index G300. Nabrojane pozicije neće se razraditi u ovome radu zbog jednostavnosti izrade.

5.1. Izrada vodećeg zatika

Vodeći zatik izrađen je od alatnog čelika HRN oznake Č.4150 (DIN X210Cr12) koji je karakterističan po dobroj obradivosti postupcima obrade odvajanjem čestica, dobroj zakaljivosti, prokaljivosti itd.

Proces izrade zatika uključuje:

- 1) Rezanje
- 2) Tokarenje
- 3) Toplinsku obradu i tvrdo tokarenje

5.1.1. Rezanje

Sirovac je na automatskoj tračnoj pili njemačkog proizvođača Forte (slika 59) izrezan iz čelične šipke pomjera 28 mm. Izrezan je na duljinu 120 mm pri čemu je oko 30 mm dodano za stezanje u steznu glavu stroja, a s druge strane oko 2 mm za poravnavanje čela zatika (ukupna duljina gotovog zatika iznosi 86 mm).



Slika 59 Tračna pila Forte SB340

5.1.2. Tokarenje

Druga operacija izrade vodećeg zatika izvršena je na 6-osnom tokarskom centru Index G300 s upravljačkom jedinicom Siemens Sinumerik 840D (slika 60). Opremljeno je glavnim vretenom snage 54 kW i drugim motorvretenom snage 48 kW s maksimalnim brojem okretaja $n=5000$ 1/min.



Slika 60 Tokarski centar Index G300

Gruba obrada:

Oznaka pločice koja se koristila za grubu obradu je CNMG 120408 RT proizvođača Taegutec (slika 59). Pločica je izrađena od tvrdog metala sa prevlakom za obradu alatnih čelika TT7100.

T-TURN
 Family Designation: **CNMG-RT** Negative 80° Rhombic inserts for rough machining of steels and cast irons with very strong rake geometry

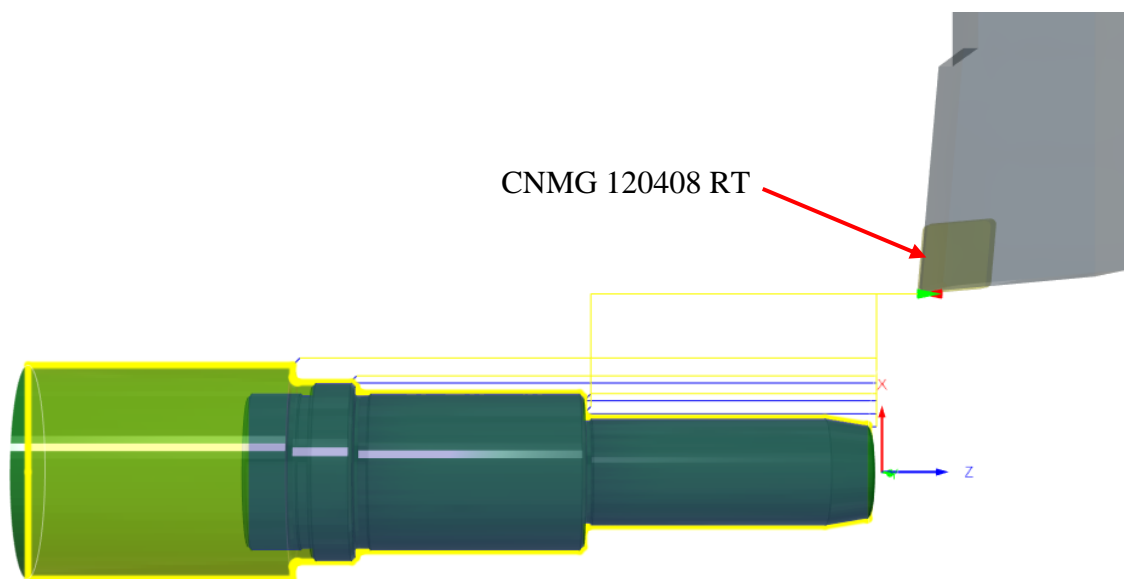
Item Designation: **CNMG 120408 RT**

IC	S	RE	ap (min)	ap (max)	ft (min)	ft (max)
12.70	4.76	0.80	2.50	6.00	0.25	0.70

Slika 61 Pločica za tokarenje Taegutec CNMG 120408 RT [15]

Od proizvođača preporučena brzina rezanja (v_c) za materijal zatika iznosi od 100 m/min do 280 m/min. Pošto se radilo samo četiri zatika nije bilo potrebno koristiti velike brzine rezanja. Iz tog se razloga pri obradi koristila konstantna brzina rezanja (naredba G96 u G-kodu) u iznosu od 120 m/min uz ograničenje maksimalnog broja okretaja (naredba G92 u G-kodu) iznosa 1500 1/min. Posmična brzina (v_f) iznosila je 0,3 mm/okr, a dubina rezanja (a_p) 2,5 mm. Gruba obrada uključivala je radijalno poravnavanje čela i aksijalno tokarenje profila zatika pri čemu je u obje dimenzije ostavljeno 0,1 mm materijala za finu obradu. Ukupno trajanje ciklusa grube obrade uz stezanje i zatvaranje vrata stroja iznosilo je 20 sekundi.

Na slici 62 vidi se operacija grube obrade, putanje alata u zahvatu (plave linije), CNMG pločicu te višak materijala s lijeve strane na kojem je sirovac stegnut u steznu glavu stroja.



Slika 62 Operacija grube obrade

Fina obrada:

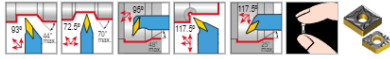
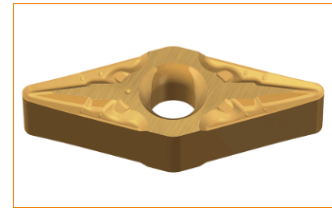
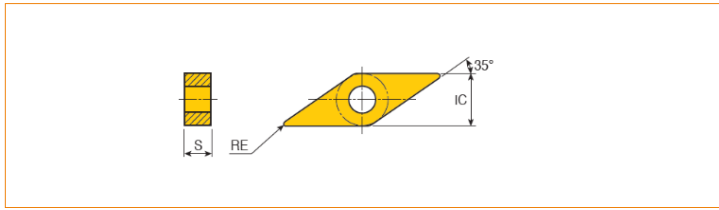
Pločice korištene za finu obradu su Taegutec VNMX 130404 FM od tvrdog metala prevučene prevlakom za obradu alatnog čelika TT8135 (slika 63). Raspon preporučene brzine rezanja je od 120 m/min do 300 m/min, a preporučenog posmaka od 0,25 mm/okr do 1,5 mm/okr.

Odabrani režimi obrade iznose:

- Brzina rezanja: $v_c= 200$ m/min; uz ograničenje broja okretaja iznosa $n= 2500$ 1/min
- Posmak: $f= 0,08$ mm/okr



Family Designation: **VNMX-FM (RHINO)** Negative 35° Rhombic RHINOTURN inserts for semi-finishing to semi-medium machining of steels



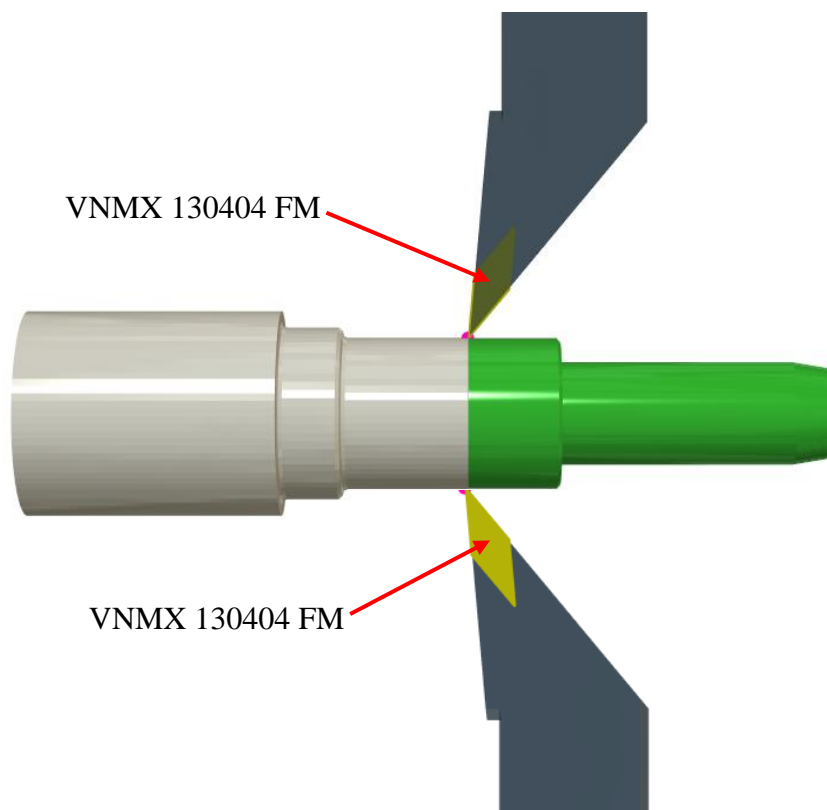
Item Designation: **VNMX 130404 FM**

IC	S	RE	ap (min)	ap (max)	ft (min)	ft (max)
7.94	4.76	0.40	0.25	1.50	0.07	0.30

Slika 63 Pločica za tokarenje Taegutec VNMX 130404 FM [15]

U finoj obradi radijalno je ostavljeno 0,04 mm materijala u promjeru kao dodatak za finu obradu nakon toplinske obrade (tvrdo tokarenje).

Na slici 64 vidi se metoda kojom se izvodio postupak tokarenja. Metoda se u upravljačkoj jedinici naziva Coupling of axes (Sprezanje osi). Koristi se kada se obradak obrađuje na velikoj udaljenosti od steznih čeljusti stezne glave. Na toj je udaljenosti obradak sklon pojavi vibracija koje rezultiraju lošom kvalitetom obrade i pogreškama u dimenzijama. Zahvat se temelji na istovremenim zahvatom oba tokarska noža jedan nasuprot drugom. Upravo takav način obrade jako smanjuje mogućnost pojavi vibracija i pozitivno utječe na točnost obrade kao i na kvalitetu obrađene površine



Slika 64 Fina obrada

Nakon stezanja obratka u nasuprotno vreteno obrađena je i druga strana obratka. S obje strane također su izbušeni provrti za šiljke koji će se koristiti prilikom tvrdog tokarenja nakon kaljenja.

5.1.3. Toplinska obrada i tvrdo tokarenje

Zatici su zakaljeni na 58 HRC i nakon toga tokareni na konačnu mjeru.

Zakaljeni zatici tokareni su na tokarskom centru Prvomajska Vega s upravljačkom jedinicom Siemens Sinumerik 820T i vretenom snage 48 kW (slika 65).

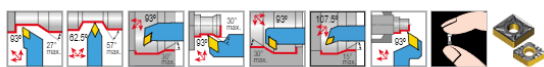
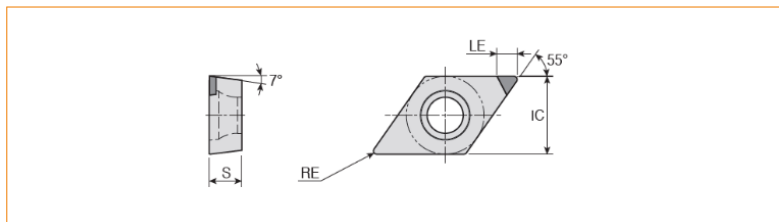


Slika 65 Tokarski centar Prvomajska Vega

Postupka tokarenja izvodio se bez hlađenja SHIP-om s CBN pločicom Taegutec DCGW 11T304 LS2 s prevlakom TB610 za zakaljene metale do 60 HRC (slika 66). Proizvođač preporučuje raspon brzine rezanja od 80 m/min do 250 m/min, a posmak od 0,05 mm/okr do 0,3 mm/okr. Parametri obrade kojima je postignuta tražena kvaliteta obrade iznose 85 m/min te 0,065 mm/okr.

T-TURN

Family Designation: DCGW-CBN Positive 55° Rhombic inserts with CBN tips for finishing of hardened steels & cast irons

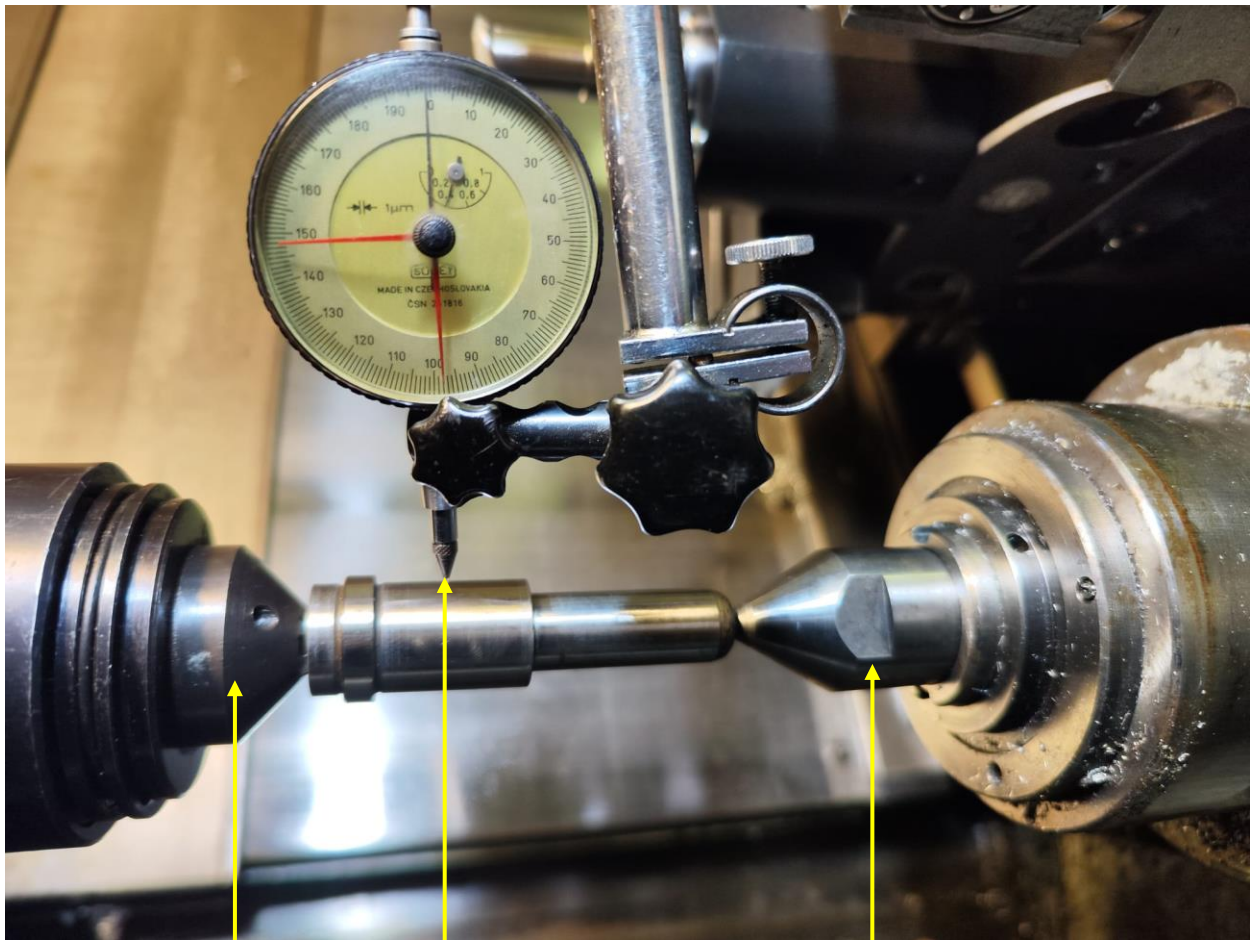


Item Designation: DCGW 11T304 LS2

IC	S	RE	LE	ap (min)	ap (max)	ft (min)	ft (max)
9.52	3.97	0.40	3.40	0.05	0.50	0.05	0.30

Slika 66 Pločica za tokarenje Taegutec DCGW 11T304 LS2 [15]

Zatici su tokareni postupkom tokarenja između šiljaka od kojih je jedan pogonski i nalazi se na strani stezne glave (osigurava moment potreban za obradu) dok se drugi nalazi u konjiću. Prije obrade zatici su postavljeni u osi rotacije pomoću mjerne ure. (slika 67).



Povodni
šiljak

Mjerna ura

Potporni
šiljak

Slika 67 Tvrdo tokarenje zakaljenog vodećeg zatika

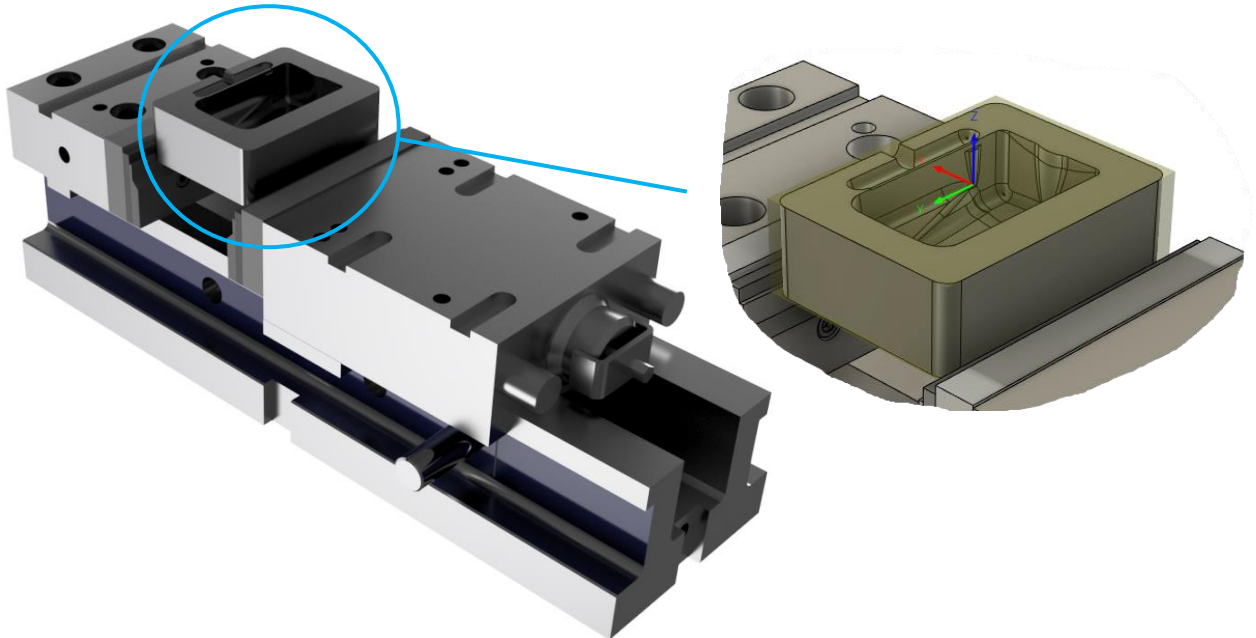
5.2. Izrada umetka matrice

Proces izrade umetka matrice uključivao je više tehnologija. Zbog valovitih površina u kalupnoj šupljini procijenjeno je da će se umjesto glodanja na finalnu mjeru postići bolja kvaliteta površine primjenom postupka elektro erozije (žigom). Iz tog je razloga kod operacije glodanja ostavljeno 0,5 mm materijala kao dodatak za erodiranje nakon toplinske obrade.

- 1) Glodanje negativa
- 2) Toplinska obrada i erodiranje

5.2.1. Glodanje negativa

Sirovac za izradu umetka izrezan je s dodatkom za obradu u iznosu od 2,8 mm na svakoj strani. Stegnut je u škripac Roemheld Hilma Stark NC125 pri čemu je referentna točka obratka postavljena na sredini obratka što se vidi na slici 68.



Slika 68 Referentna točka obratka [16]

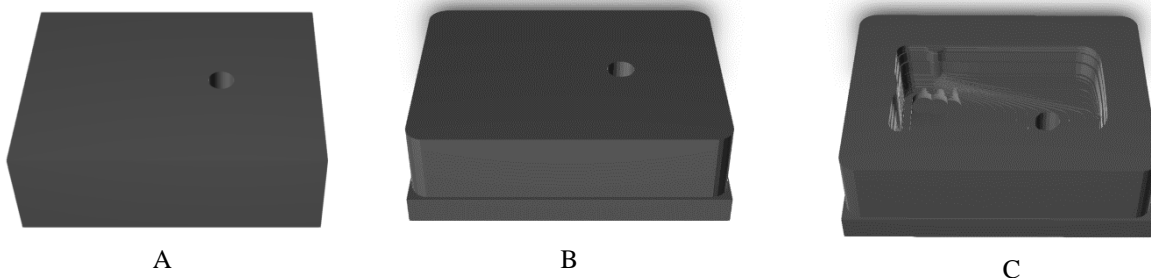
Stroj na kojem se glodao umetak je brazilski obradni centar Romi D800 s upravljačkom jedinicom Siemens Sinumerik 828D, snagom vretena 12kW i maksimalnim brojem okretaja 12000 1/min (slika 69).



Slika 69 Obradni centar Romi D800

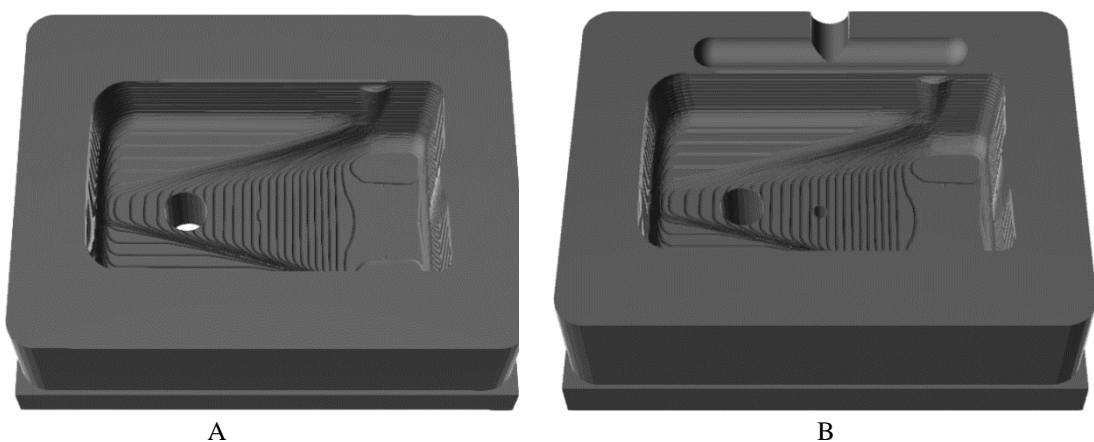
Obrada:

- Bušenje provrta za formiranje upuštenja glave vijka. Provrt u isto vrijeme služi kao ulaz za glodalo pri glodanju šupljine. Provrt Ø3 mm za signalnu lampicu bit će izbušena nakon glodanja šupljine zbog prekratke spirale svrdla (slika 70 A).
 - Alat:
 - Svrdlo od tvrdog metala Ø9 mm s 3 oštrice: Taegutec Solid3Drill 3HD 090-080-10 PI8 [17]
 - Brzina rezanja: $v_c = 80$ m/min
 - Posmak: $f = 0,35$ mm/okr
 - Vrijeme: 3 s
- Fina obrada vanjske konture i poravnavanje (slika 70 B)
 - Alat:
 - Glodalo od tvrdog metala Ø12 mm s 4 oštrice: Taegutec RhinoSolid ApexMill HES 4120XLT(55X110) TT5525 [17]
 - Broj okretaja: $n = 3200$ 1/min
 - Posmična brzina: $v_f = 1000$ mm/min
 - Dubina zahvata: $a_p = 20$ mm
 - Vrijeme: 2 min
- Gruba obrada šupljine (slika 70 C)
 - Alat:
 - Glodalo za grubu obradu od tvrdog metala Ø8 mm s 4 oštrice: Taegutec RhinoSolid StarMill REH 4080L TT5525 [17]
 - Broj okretaja: $n = 4700$ 1/min
 - Posmična brzina: $v_f = 1000$ mm/min
 - Maksimalna dubina zahvata: $a_p = 8$ mm
 - $a_e: 3$ mm
 - Vrijeme: 5 min 30 s



Slika 70 Obradak nakon bušenja prvog provrta (A); Obradak nakon obrade vanjske konture i zaravnavanja (B); Obradak nakon grube obrade šupljine (C)

- Završno glodanje šupljine (slika 71 A)
 - Alat:
 - Glodalo $\text{\O}6$ mm s zaobljenjem iznosa 1 mm od tvrdog metala (6 oštrica): Taegutec RhinoSolid HardMill HSR 6060 100 150 TT5505 [17]
 - Broj okretaja: $n = 7400$ 1/min
 - Posmična brzina: $v_f = 1750$ mm/min
 - Maksimalna dubina zahvata: $a_p = 0,8$ mm
 - Vrijeme: 12 min 30 s
- Bušenje provrta $\text{\O}3$ mm za signalnu lampicu
 - Alat:
 - Svrđlo od tvrdog metala $\text{\O}3$ mm s 2 oštrice: Taegutec HDrill NHD 030-023-06 PI5 [17]
 - Brzina rezanja: $v_c = 80$ m/min
 - Posmak: $f = 0,1$ mm/okr
 - Vrijeme: 3 s
- Glodanje uljavnog kanala (slika 71 B)
 - Alat:
 - Prstasto glodalo zaobljenog vrha $\text{\O}8$ mm od tvrdog metala s 2 oštrice: Taegutec RhinoSolid HardMill HSR 6060 100 150 TT5505 [17]
 - Broj okretaja: $n = 5600$ 1/min
 - Posmična brzina: $v_f = 80$ mm/min
 - Dubina zahvata: $a_p = 4$ mm
 - Vrijeme: 2 min



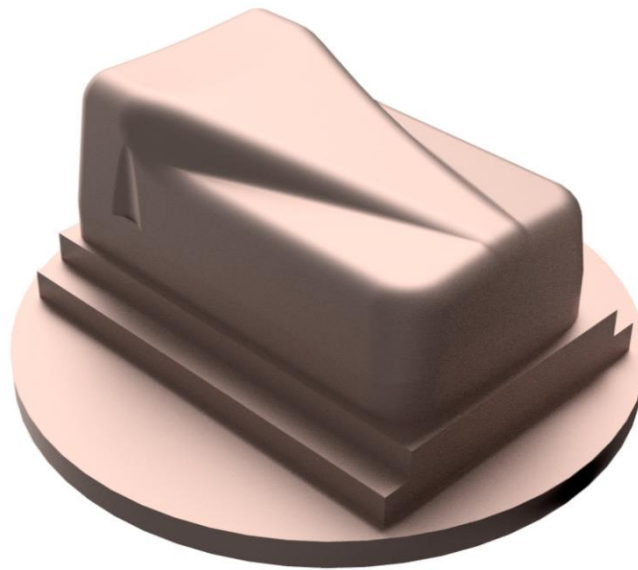
Slika 71 Obradak nakon završnog glodanja šupljine (A); Obradak nakon bušenja provrta $\text{\O}3$ mm i glodanja uljavnog kanala (B)

- Zadnje operacije uključuju glodanje ušća i fina obrada suprotne strane koja je do sada bila stegnuta u čeljustima škripca. Osim fine obrade druge strane također su dodana upuštenja za glave izbacivača što formiraju provrt za signalnu lampicu, konusno upuštenje za glavu vijka i provrte za stezanje umetka za kalupnu ploču.

5.2.2. Toplinska obrada i erodiranje

Umetak matrice zakaljen je na 58 HRC isto kao i vodeći zatik.

Bakrena elektroda je grubo obrađena iz šipke promjera 100 mm na sličan način kao i umetak matrice izuzev bušenja provrta. Alatom analize minimalnog radijusa u programskom paketu Fusion 360 utvrđeno je da je minimalni radijus glodala potrebnog za obradu umetka iznosa 2,8 mm. Iz tog je razloga elektroda na konačnu dimenziju glodana prstastim glodalom zaobljenog vrha promjera 5 mm čime su dobivene površine koje točno odgovaraju vanjskim površinama zaštitne kutije (slika 72).



Slika 72 Bakrena elektroda

Elektroda se obrađivana postupkom glodanja na obradnom centru Cincinnati Lamb CFV800 s upravljačkom jedinicom Siemens Sinumerik Powerline Shopmill 810D, vretenom snage 12kW i maksimalnim brojem okretaja 12000 1/min (slika 73).



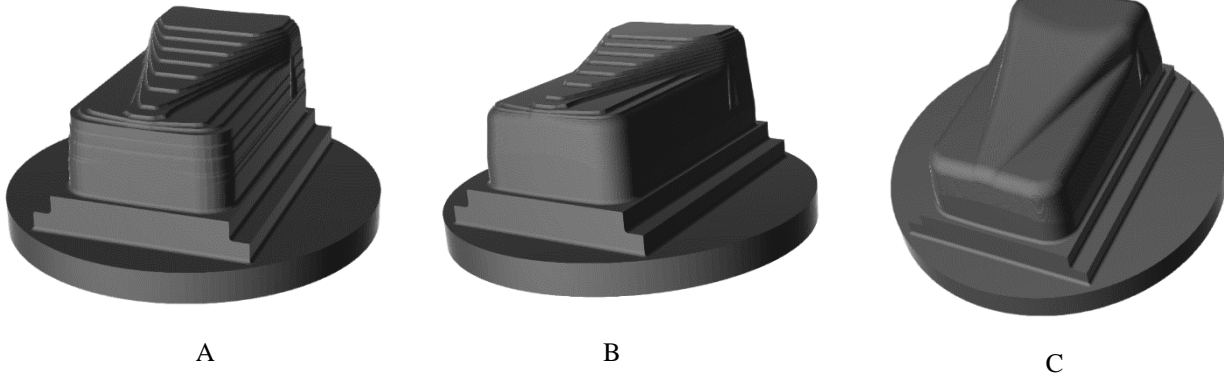
Slika 73 Obradni centar Cincinnati Lamb CFV800

- Grubo glodanje (slika 74 A)
 - Alat:
 - Glodalo $\varnothing 8$ mm za obojene metale od tvrdog metala s 3 oštrice i radijusom iznosa 1 mm: Taegutec RhinoSolid AluMill AES 3080-R1.0 UF10 [17]
 - Broj okretaja: $n = 6200$ 1/min
 - Posmična brzina: $v_f = 600$ mm/min
 - Maksimalna dubina zahvata: $a_p = 10$ mm
 - Širina odvojene čestice: $a_e = 2$ mm
 - Vrijeme: 30 min 30 s
- Fina obrada (slika 74 B)
 - Alat:
 - Glodalo za obojene metale od tvrdog metala $\varnothing 8$ mm s 3 oštrice i radijusom iznosa 1 mm: Taegutec RhinoSolid AluMill AES 3080-R1.0 UF10 [17]
 - Broj okretaja: $n = 8000$ 1/min
 - Posmična brzina: $v_f = 1500$ mm/min
 - Vrijeme: 8 min
- Fina obrada horizontalnih površina (slika 74 C)
 - Alat:

- Glodalo za obojene metale od tvrdog metala Ø8 mm s 3 oštrice i radijusom iznosa 1 mm: Taegutec RhinoSolid AluMill AES 3080-R1.0 UF10 [17]

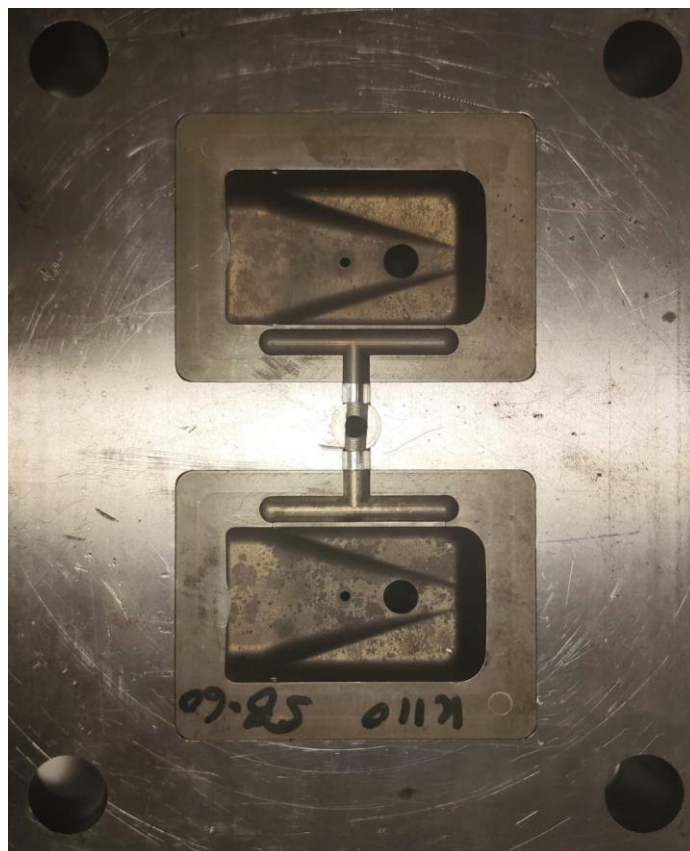
- Broj okretaja: $n = 8000$ 1/min
- Posmična brzina: $v_f = 1500$ mm/min

- Vrijeme: 14 min 30 s



Slika 74 Obradak umetka žiga nakon grube obrade (A);
Obradak umetka nakon fine obrade strmih površina (B);
Obradak na kraju glodanja (C)

Na slici 75 vidi se kalupna ploča s umetcima nakon erodiranja.



Slika 75 Umetci na kalupnoj ploči nakon erodiranja

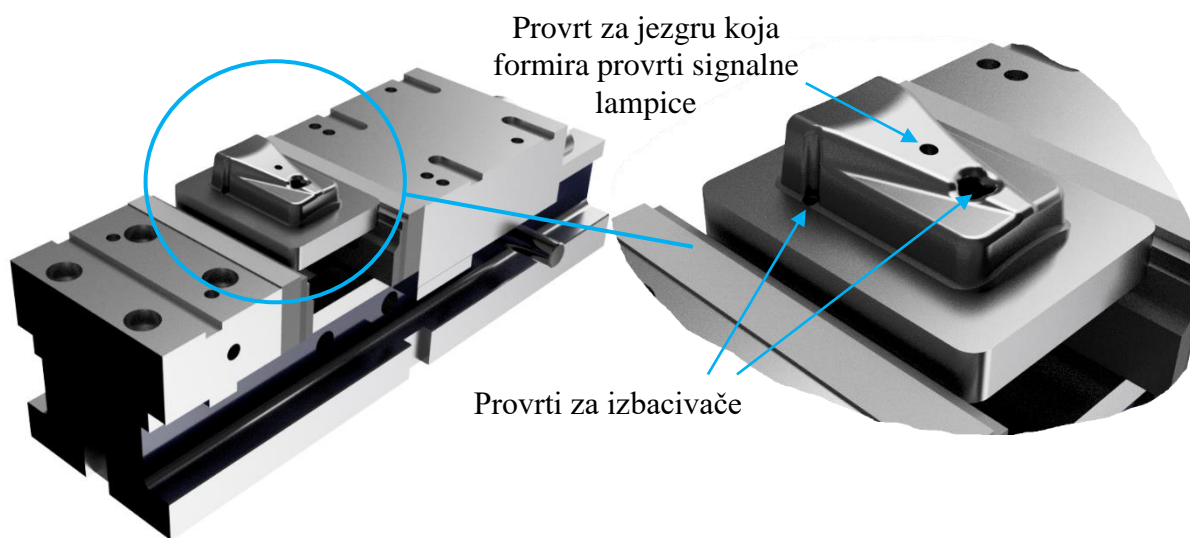
5.3. Izrada umetka žiga

Proces izrade umetka žiga uključivao je tehnologiju glodanja, erodiranja žigom i erodiranja žicom.

- 1) Glodanje
- 2) Erodiranje

5.3.1. Glodanje

Umetak žiga većinski se obradio tehnologijom glodanja gotovo identično procesu glodanja elektrode uz dodatno bušenje provrta za izbacivače i bušenje provrta koji s jezgrom formira provrt za signalnu lampicu (slika 76).



Slika 76 Umetak žiga nakon glodanja

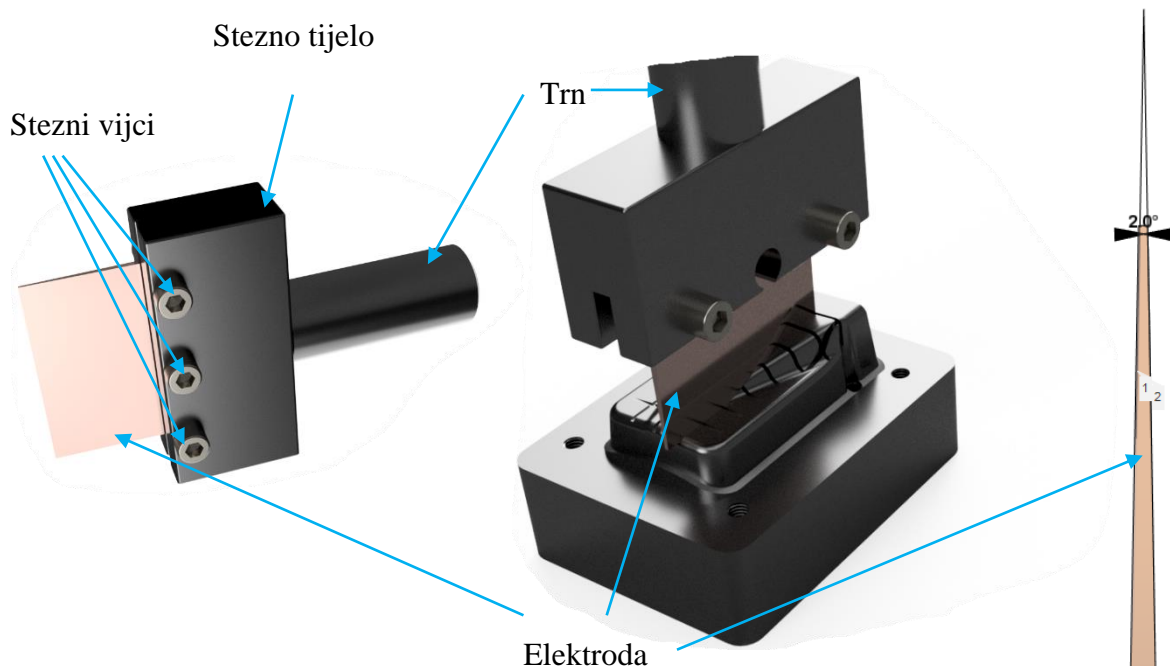
5.3.2. Erodiranje

Završno nakon kaljenja preostalo je izraditi utore koji formiraju ojačanje s unutarnje strane zaštitne kutije. Poprečni utori izrezani su odnosno erodirani tehnologijom erodiranja žicom. Erodiranje žicom postupak je koji se temelji na visokofrekventnim električnim iskrama između obratka i elektrode u obliku bakrene žice. Ta iskra topi materijal obratka i time omogućava precizno oblikovanje i rezanje materijala. Erodiranje ojačanja žicom izvršeno je na erozimatru Agie Agiecut 100 s upravljačkom jedinicom Agiematic-C (slika 77).



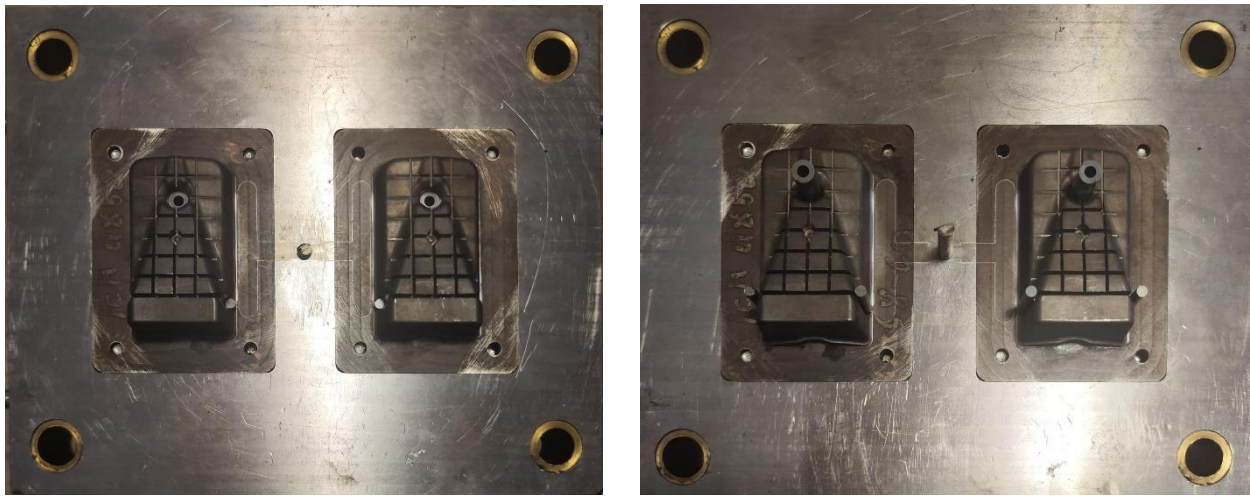
Slika 77 Eroziomat žicom Agie Agiecut 100

Uzdužni utori se ne mogu izrezati postupkom erozije žicom stoga je bilo potrebno izraditi elektrodu koja ima kutove nasuprotnih stranica u iznosu od 2 stupnja. Sklop elektrode i naprave za stezanje iste u prihvat erozimata prikazan je na slici 78.



Slika 78 Elektroda za erodiranje utora za ojačanja

Na slici 79A prikazana je pomična kalupna ploča s gotovim umetcima i izbacivačima u početnoj poziciji, a na slici 79B u krajnjoj poziciji (poziciji izbacivanja).



A

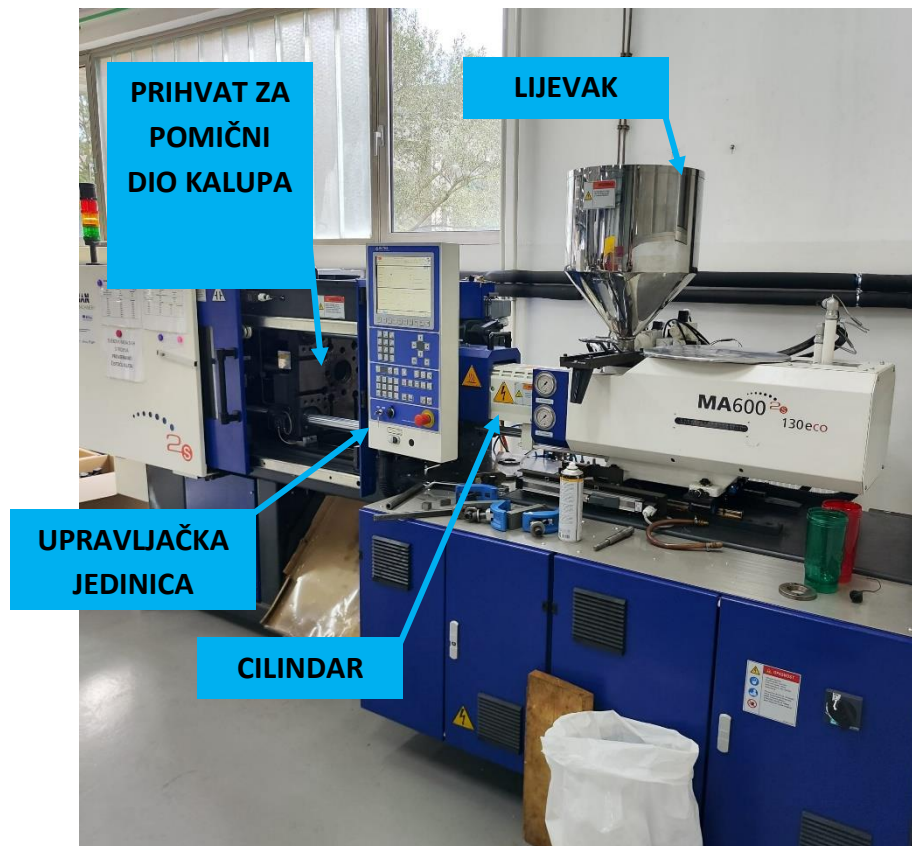
B

Slika 79 Gotovi umetci žiga sa izbacivačima u početnoj poziciji (A) i krajnjoj poziciji (B)

6. GOTOVI PROIZVOD

Tvrtka Sveplast d.o.o. iz Svete Nedjelje bila je zadužena za prešanje zaštitne kutije alatom konstruiranim kroz ovaj rad.

Stroj na kojem se prešalo naziva se CNC Haitian MA600 2S 130eco te se njegovi osnovni dijelovi mogu vidjeti na slici 80.



Slika 80 CNC stroj za injekcijsko prešanje Haitian MA600 2S 130eco

Parametri prešanja prikazani na upravljačkoj jedinici stroja vide se na slici 81.



Slika 81 Parametri prešanja

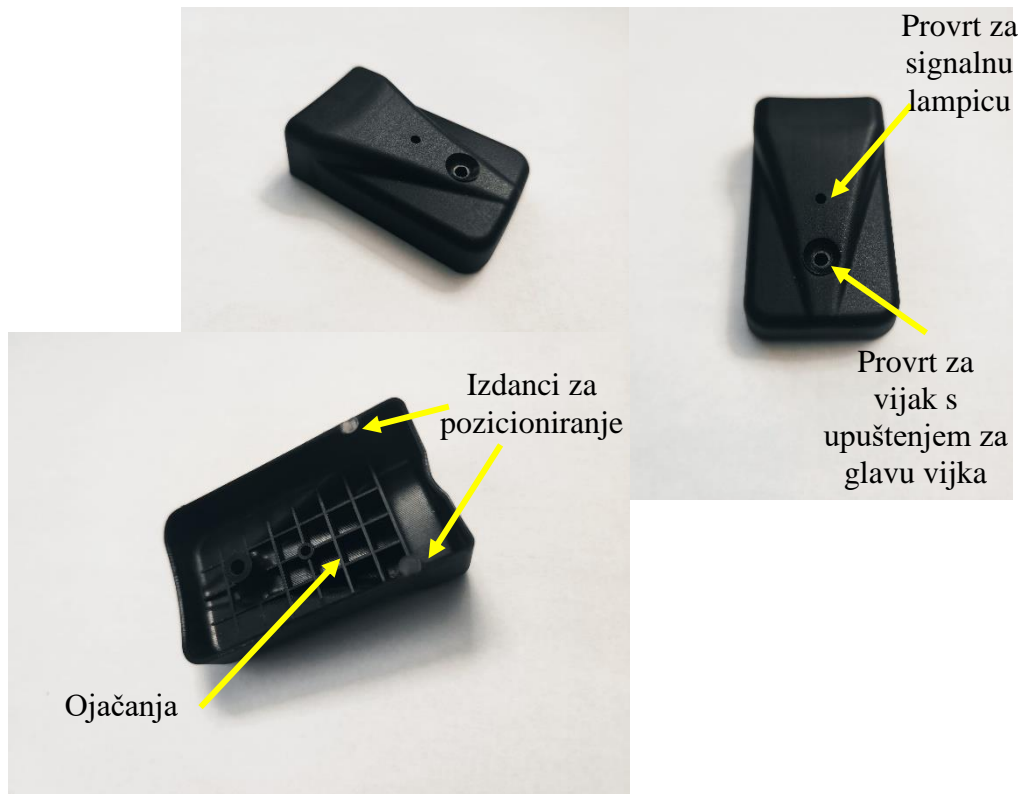
Nakon prešanja otpresci su izbačeni iz kalupa međusobno spojeni ohlađenim materijalom preostalom unutar uljevnih kanala i uljevka (slika 82).



Kutije spojene materijalom iz uljevnih kanala i uljevka

Slika 82 Izbačeni otpresci

Materijal zaostao unutar uljevnih kanala lako se odlomio od kutija, no na svakoj je ostao višak materijala na mjestu loma. Taj je višak zapravo materijal unutar samog ušća i debljine je 0,4 mm. Taj se materijal doradom uklonio pomoću noža za skidanje srha. Gotovi proizvod prikazan je u tri pozicije na slici 83.



Slika 83 Slika gotovog proizvoda

7. ZAKLJUČAK

Polimeri su postali nezaobilazni materijal modernog društva, a njihova je raširenost u proizvodnji potpomognuta tehnološki naprednim procesom injekcijskog prešanja. Primjena tog materijala pronašla se i u izradi zaštitne kutije za elektroničku ploču. Polazni korak u ovom radu bio konstruirati zaštitnu kutiju tako da bude funkcionalna, da štiti elektroničku ploču od vanjskih utjecaja, ali i da zadovolji i kriterij estetike, uzimajući u obzir tehnologije i strojeve koji su bili na raspolaganju. Na kutiji su konstruirani izdanci kojima je zadaća pozicionirati je na vanjsku cijev uređaja. Osim izdanaka za pozicioniranje konstruirana su i dva provrta od kojih jedan služi za svjetlost signalne lampice, a drugi za stezni vijak s pomoću kojeg je kutija pričvršćena na cijev. U samom postupku injekcijskog prešanja ključno je poznavati ponašanje materijala tijekom tečenja u kalup. To ponašanje ovisi, osim o karakteristikama polimera, i o obliku ušća, hlađenju alata, parametrima prešanja i mnogo drugih faktora. Centralni je dio ovog rada konstrukcija kvalitetnog, pouzdanog i dugotrajnog alata koja je ujedno bila najzahtjevniji dio. Kako bi se izbjeglo skupocjeno testiranje na stvarnim kalupima u radu se prije bilo kakve konstrukcije kalupa izvršila simulacija injekcijskog prešanja koja uzima u obzir sve spomenute faktore koji utječu na tečenje materijala pa time i na kvalitetu otpreska. Simulacija je dala uvid u popunjavanje kalupa, ponašanje tlaka i temperature, predviđenu kvalitetu otpreska, naprezanja i deformacije otpreska. Uzimajući u obzir rezultate simulacije izvršila se i rekonstrukcija modela zaštitne kutije. Nakon toga slijedila je konstrukcija i izrada ploča kalupa i njegovih ostalih komponenata (nasloni, čahure, izbacivači itd). Kako je simulacija prešanja pomogla u konstrukciji kalupa, tako su simulacije glodanja i tokarenja pomogle u odabiru prikladnih strategija obrade koje su se primijenile u izradi dijelova tog kalupa. U ovom koraku najviše se pažnje uložilo u izradu umetaka pomične i nepomične kalupne ploče odnosno umetaka matrice i žiga. Umetci matrice i žiga grubo su obrađeni tehnologijom obrade odvajanjem čestica (glodanjem). Tehnologija erodiranja također je bila primijenjena u obradi umetaka gdje je matrica obrađena na konačnu dimenziju tehnologijom erodiranja žigom, a potporna ojačanja na žigu tehnologijom erodiranja žicom. U svakoj konstrukciji, pa tako i u ovoj pojavljuju se problemi i prepreke koje treba predvidjeti i eliminirati. Neprestanim unapređenjem tehnika i programskih paketa za simulaciju, konstrukciju i obradu, proces konstrukcije i izrade kalupa uvelike se olakšava i usavršava.

LITERATURA

- [1] The editors of encyclopaedia Britannica- Polymer. <https://www.britannica.com/science/polymer> [pristupljeno dana 8. lipnja 2023.]
- [2] Monica Porter- Razlika između kopolimera i homopolimera. <https://hr.strephonsays.com/copolymer-and-vs-homopolymer-10597> [pristupljeno dana 12. lipnja 2023.]
- [3] Shanks, Robert & Kong, Ing: General Purpose Elastomers: Structure, Chemistry, Physics and Performance. Berlin: Springer, 2013.
- [4] Anđela Pustak: Svojstva i primjena polimera u oblikovanju lijekova. Zagreb: Institut „Ruđer Bošković“, 2010.
- [5] Pero Raos, Mlader Šercer: Proizvodnja i primjena polimernih proizvoda <https://www.scribd.com/presentation/391692433/Prerada-polimera#> [pristupljeno dana 1. srpnja 2023.]
- [6] Zeus Industrial Products: An Introduction to the Polymer Process and Drawn Fiber. AZoM. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=15220> [pristupljeno dana 1. srpnja 2023.]
- [7] YAMAWA: European catalogue, 2021.
- [8] Čatić, I.: Proizvodnja polimernih tvorevina, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 2006.
- [9] Ruqaiya Islam Mishi: Injection molding machine. <https://grabcad.com/library/injection-molding-machine-18> [pristupljeno dana 10. srpnja 2023.]
- [10] Vinković, D.: Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2010.
- [11] Manutechlab: Injection molding machine for recycling plastic <https://grabcad.com/library/injection-molding-machine-for-recycling-plastic-1> [pristupljeno dana 11. srpnja 2023.]
- [12] Godec, D.: Magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2000.
- [13] Branko Kovač. Praktičar 3, Strojarstvo 2. Zagreb: Školska knjiga 1973.
- [14] Hasco K-P-Z EURO; D1: Euro Katalog
- [15] TAEGUTEC: Non-rotating metalcutting tools, 2022.-2023.
- [16] SARATOOLS: Katalog alata Strojotehnika, 2019.-2020.
- [17] TAEGUTEC: Rotating metalcutting tools, 2022.-2023.