

# Projektiranje kalupa za tlačni lijev spojnice za stlačeni zrak principom reverzibilnog inženjerstva

---

Grahek, Tomislav

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:235:201625>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-13**

*Repository / Repozitorij:*

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

**Tomislav Grahek**

Zagreb, 2023.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# DIPLOMSKI RAD

Mentor:

Prof.dr.sc. Branko Bauer

Student:

Tomislav Grahek

Zagreb, 2023

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prof.dr.sc. Branku Baueru na prihvaćenom mentorstvu, usmjeravanju, te podršci tijekom izrade diplomskog rada.

Zahvaljujem se poduzeću TEH-CUT d.o.o na ustupljenim softverima i podacima korisnim za izradu ovog diplomskog rada te voditelju konstrukcije Marku Robu na izdvojenom vremenu, stručnim savjetima te postepenom uvođenju u područje alatničarstva.

Isto tako se zahvaljujem obitelji na podršci tijekom studija te prijateljima koji su mi uljepšali studentske dane.

Tomislav Grahek



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
 Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:

Procesno-energetski, konstrukcijski, inženjersko modeliranje i računalne simulacije i brodstrojarski

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

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Tomislav Grahek** JMBAG: 0035215410

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Projektiranje kalupa za tlačni lijev spojnice za stlačeni zrak principom reverzibilnog inženjerstva**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Designing a die casting mould for a compressed air coupling using the principle of reversible engineering**

Opis zadatka:

U okviru rada potrebno je proučiti tehnologiju tlačnog lijevanja legura aluminija i prikupiti podatke o konstrukciji i izradi kalupa za tlačni lijev.

Za zadani odljevak, spojnicu za stlačeni zrak, potrebno je napraviti CAD model principom reverzibilnog inženjerstva. Nakon toga potrebno je konstruirati nekoliko varijanti uljevnog sustava i napraviti simulaciju lijevanja i skrućivanja odljevka. Nakon odabira najboljeg rješenja uljevnog sustava, potrebno je pomoću 3D programskog paketa konstruirati kalup za tlačni lijev legura aluminija.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Datum predaje rada:

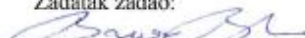
Predviđeni datumi obrane:

2. ožujka 2023.

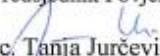
4. svibnja 2023.

8. – 12. svibnja 2023.

Zadatak zadao:

  
 Prof. dr. sc. Branko Bauer

Predsjednik Povjerenstva:

  
 Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

**SADRŽAJ**

POPIS SLIKA .....	IV
POPIS TABLICA.....	VI
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	VII
POPIS OZNAKA .....	VIII
SAŽETAK.....	IX
SUMMARY .....	X
1. UVOD .....	1
2. TLAČNO LIJEVANJE ALUMINIJA .....	2
2.1 Općenito o lijevanju pod tlakom .....	2
2.2 Alati za tlačni lijev.....	4
2.2.1 Uljevna komora.....	4
2.2.2 Razbijač.....	5
2.2.3 Gravurna ploča uljevne i izbacivačke strane.....	5
2.2.4 Okvirna ploča US/IS .....	5
2.2.5 Izbacivački paket.....	5
2.2.6 Stezna ploča.....	6
2.3 Strojevi za tlačni lijev .....	6
2.3.1 Strojevi sa hladnom komorom .....	6
2.3.2 Strojevi s toplom komorom.....	7
2.4 Faze gibanja klipa.....	8
2.4.1 Prva faza.....	8
2.4.2 Druga faza .....	9
2.4.3 Treća faza .....	9
3. SMJERNICE ZA OBLIKOVANJE DIJELOVA ZA LIJEVANJE POD TLAKOM.....	10
3.1 Linija dijeljenja odljevka .....	10
3.2 Ljevački kutovi.....	10
3.3 Debljina stijenke .....	10
3.4 Podrezanost.....	10
4. REVERZIBILNO INŽENJERSTVO.....	11
4.1 3D digitalizacija.....	11
5. ANALIZA POSTOJEĆEG ODLJEVKA.....	13
5.1 Postojeći odljevak.....	13
5.2 Analiza odljevka .....	14
5.3 Analiza podjele na postojećem odljevku .....	15

6.	KONSTRUKCIJA 3D MODELA METODOM REVERZIBILNOG INŽENJERSTVA	16
6.1	Skeniranje .....	16
6.2	Priprema za skeniranje.....	17
6.3	Dobiveni rezultat skeniranja.....	19
6.4	Konstruiranje spojnice .....	20
6.5	Dimenzije spojnice stlačenog zraka .....	23
7.	Inicijalni proračun parametara za tlačni lijev aluminijsa.....	24
7.1	Proračun parametara lijevanja pod tlakom .....	24
7.1.1	Vrijeme punjenja .....	24
7.1.2	Brzina u ušću .....	25
7.1.3	Masa preljevaka.....	25
7.1.4	Obujam odljevka s preljecima.....	25
7.1.5	Protok u ušću .....	26
7.1.6	Površina presjeka ušća .....	26
7.1.7	Ukupni presjek odzračivanja.....	26
7.2	Odabir uljevne komore .....	27
8.	KONCIPIRANJE ULJEVNIH GRANA.....	28
8.1	Koncept 1.....	29
8.2	Koncept 2.....	30
8.3	Koncept 3.....	31
8.4	Vrednovanje koncepata .....	32
8.4.1	Program za simulaciju ProCAST .....	32
9.	ANALIZA KONCEPATA .....	34
9.1	Koncept 1.....	34
9.1.1	Vizualni pregled simulacije lijevanja.....	34
9.1.2	Količina zarobljenog zraka.....	35
9.2	Koncept 2.....	36
9.2.1	Vizualni pregled simulacije lijevanja .....	37
9.2.2	Količina zarobljenog zraka.....	37
9.3	Koncept 3.....	38
9.3.1	Količina zarobljenog zraka.....	39
10.	Ocjenjivanje i odabir najboljeg koncepta.....	41
11.	RAZRADA ODABRANOG KONCEPTA.....	42
12.	KONSTRUIRANJE PODJELE KALUPA .....	47
12.1	Podjela matrica na dijelove .....	47
12.1.1	Položaj i broj matrica .....	47
12.1.2	Položaj i broj kliznih formirača.....	48

12.2	Podjela IS .....	49
12.3	Podjela US .....	51
12.4	Dorada podjele IS .....	53
12.5	Podjela K1.....	54
12.6	Podjela K2.....	55
13.	KONSTRUIRANJE KALUPA ZA TLAČNI LIJEV .....	56
13.1	Konstruiranje 3D modela gravurnih ploča US/IS .....	57
13.2	Konstruiranje 3D modela formirača za izradu zuba na odljevku.....	59
13.3	Konstruiranje formirača za formiranje provrta unutar odljevka .....	61
14.	OPTIMIZACIJA KALUPA ZA TLAČNI LIJEV .....	62
14.1	Optimizacija gravurne ploče US .....	62
14.2	Optimizacija gravurne ploče IS .....	64
14.3	Optimizacija klizača K2.....	65
15.	PRIJEDLOG RASPOREDA IZBACIVAČA .....	68
16.	KONSTRUKCIJA TEMPERIRANJA KALUPA ALATA .....	69
16.1	Temperiranje gravurne ploče nepokretne strane alata .....	69
16.2	Temperiranje gravurne ploče pokretne strane alata .....	70
16.3	Izvedba temperiranja formirača u gravurnoj ploči uljevnne strane alata.....	71
17.	ODABIR STROJA ZA LIJEVANJE .....	72
18.	PRIJEDLOG KONSTRUKCIJE ALATA ZA TLAČNI LIJEV ALUMINIJA .....	73
18.1	Prijedlog konstrukcije nepokretne strane alata .....	73
18.2	Prijedlog konstrukcije pokretne strane alata .....	74
18.3	Prijedlog konstrukcije izbacivačkog sklopa.....	75
18.4	Alat za tlačni lijev spojnice za stlačeni zrak .....	76
19.	ZAKLJUČAK .....	77
	LITERATURA.....	78
	PRILOZI.....	79



## POPIS SLIKA

Slika 1. Dijelovi dobiveni tlačnim lijevom [1].....	3
Slika 2. Presjek alata za tlačni lijev [2] .....	4
Slika 3. Stroj za tlačno lijevanje s hladnom komorom [3] .....	6
Slika 4. Stroj za tlačno lijevanje s toplom komorom [4].....	7
Slika 5. Faze gibanja klipa u stroju za tlačno lijevanje [5].....	8
Slika 6. Skeniranje komada [5] .....	11
Slika 7. Pogled odozdola .....	13
Slika 8. Pogled odozgora.....	13
Slika 9. Ostrugana površina na odljevku uslijed zaribavanja alata .....	14
Slika 10. Pozicija gdje je potrebno staviti skošenje .....	15
Slika 11. ATOS Triple Scan.....	16
Slika 12. Odljevak spreman za skeniranje .....	17
Slika 13. Odljevak u prvoj poziciji za skeniranje.....	18
Slika 14. Odljevak u drugoj poziciji za skeniranje.....	18
Slika 15. Rezultat dobiven 3D digitalizacijom.....	19
Slika 16. Stražnja strana skeniranog objekta.....	19
Slika 17. Postavljanje referentne ravnine .....	20
Slika 18. Preuzimanje geometrije sa skenirane spojke .....	21
Slika 19. Model bez ljevačkih kutova .....	22
Slika 20. 3D model sa skošenjima .....	22
Slika 21. Spojnica stlačenog zraka .....	23
Slika 22. Prikaz mogućih položaja preljevaka i uljevnih ušća .....	28
Slika 23. Koncept 1 .....	29
Slika 24. Koncept 2 .....	30
Slika 25. Koncept 3 .....	31
Slika 26. Diskretiziran model u PROCAST programu .....	32
Slika 27. Diskretiziran alat sa odljevkom , taljevinom i klipom .....	33
Slika 28. Popunjavanje odljevka koncepta 1 .....	34
Slika 29. Turbulencija na ušću prilikom punjenja odljevka .....	35
Slika 30. Količina zarobljenog zraka .....	36
Slika 31. Punjenje odljevka koncepta 2 .....	36
Slika 32. Odvajanje taline od glavnog toka.....	37
Slika 33. Količina zarobljenog zraka .....	38
Slika 34. Punjenje odljevka koncepta 3 .....	38
Slika 35. Popunjavanje odljevka .....	39
Slika 36. Količina zarobljenog zraka .....	40
Slika 37. Koncept 3 .....	42
Slika 38. Povoljno mjesto za dodavanje preljevaka .....	43
Slika 39. Novi oblik preljevka na vrhu odljevka.....	43
Slika 40. Postojeći oblik tablete .....	44
Slika 41. Novi oblik uljevne grane s tabletom .....	44
Slika 42. Brzina taljevine na ušću .....	45
Slika 43. Poroznost na odljercima .....	46
Slika 44. Položaj matrica i razbijača .....	48
Slika 45. Položaj formirača na klizačima .....	49
Slika 46. Podjela IS .....	50
Slika 47. Modificirana podjela IS .....	51

Slika 48. Podjela US.....	52
Slika 49. Modificirana podjela US .....	53
Slika 50. Modificirana podjela IS .....	53
Slika 51. Formirač K1 .....	54
Slika 52. Podjela i oblik formirača K2 .....	55
Slika 53. Ispitivanje cjelovitosti površine .....	56
Slika 54. Pozicionirana površina na matrici alata .....	57
Slika 55. Izrezana matrica prema pozicioniranoj površini.....	58
Slika 56. Matrica s pozicioniranom uljevnom granom i preljevima .....	58
Slika 57. Izrezana uljevna grana s preljevima na gravurnoj ploči IS .....	59
Slika 58. Klizač s dijelom kalupne šupljine i prihvatnim dijelom .....	60
Slika 59. Klizač s uklonjenim materijalom .....	60
Slika 60. Formirač za izradu provrta kroz odljevak .....	61
Slika 61. Matrica nepokretne strane alata .....	62
Slika 62. Forme gravurne ploče izrađene kao zasebni dijelovi.....	63
Slika 63. Doradena matrica nepokretne strane alata .....	63
Slika 64. Označeni dijelovi matrice za doradu.....	64
Slika 65. Formirači gravurne ploče IS .....	64
Slika 66. Doradena matrica IS.....	65
Slika 67. Klizač podoban za optimizaciju .....	65
Slika 68. Formirač klizača.....	66
Slika 69. Umetak klizača.....	67
Slika 70. Klizač K2 .....	67
Slika 71. Prijedlog rasporeda izbacivača i povratnika .....	68
Slika 72. Raspored kanala za hlađenje nepokretne strane alata .....	69
Slika 73. Rješenje temperiranja gravurne ploče pokretne strane alata.....	70
Slika 74. Uređaj za hlađenje spojen na formirač.....	71
Slika 75. Nepokretna strana alata .....	73
Slika 76. Konstrukcija pokretne strane alata .....	74
Slika 77. Izbacivački sklop.....	75
Slika 78. Prijedlog konstrukcije alata za tlačni lijev spojnice za stlačeni zrak .....	76

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Ocjenjivanje generiranih koncepata .....	41
---	----

**POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

<b>Broj crteža</b>	<b>Naziv iz sastavnice</b>
TG-2023-001	Gravurna ploča 1 US
TG-2023-002	Gravurna ploča 2 US
TG-2023-003	Gravurna ploča 1 IS
TG-2023-004	Gravurna ploča 2 IS
TG-2023-005	Umetak US
TG-2023-006	Trn 1 US
TG-2023-007	Klizač K1
TG-2023-008	Umetak K2
TG-2023-009	Trn 1 IS
TG-2023-010	Trn 2 IS
TG-2023-011	Trn 3 IS
TG-2023-012	Trn 4 IS
TG-2023-013	Razbijač

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$m_{od}$	kg	Masa odljevka
$n_{gn}$	-	Broj gnijezda
$\rho_{20}$	kg/m <sup>3</sup>	Gustoća na 20 °C
$\rho_{680}$	kg/m <sup>3</sup>	Gustoća na 680 °C
$t_{fill}$	s	Vrijeme punjenja kalupne šupljine
$K$	s/mm	Empirijska konstanta čelika
$T$	mm	Prosječna debljina stijenke
$T_f$	°C	Temperatura taljenja
$T_i$	°C	Temperatura taljevine na ušću
$T_d$	°C	Temperatura površine alata
$S$	%	Udio krute faze na kraju punjenja
$Z$	°C / %	Faktor pretvorbe °C u %
$V_{gate}$	m/s	Brzina taljevine na ušću
$m_{pr}$	kg	Masa preljevaka
$m_{vak}$	kg	Masa vakuum kanala
$Q_1$	m <sup>3</sup> /s	Protok na ušću
$A_{gate}$	mm <sup>2</sup>	Površina presjeka ušća
$A_{vent}$	mm <sup>2</sup>	Ukupni presjek odzračivanja

## **SAŽETAK**

U diplomskom radu odrađen je zadatak konstruiranja kalupa za tlačni lijev spojnice za stlačeni zrak od aluminijske legure primjenom reverzibilnog inženjerstva. Na početku rada u teorijskom dijelu objašnjeno je što podrazumijeva pojam alatničarstvo te koja su znanja potrebna za uspješnu izradu kalupa za tlačni lijev. Nakon toga iznesen je teorijski pregled lijevanja pod tlakom te teorijski pregled reverzibilnog inženjerstva u strojarskoj primjeni. Zatim je obrađena analiza odljevka za koji je potrebno konstruirati kalup za tlačni lijev te je prikazan postupak dobivanja CAD modela spojnice za stlačeni zrak. Nakon analize odljevka napravljen je inicijalni proračun prema kojemu su generirani koncepti uljevnog sustava. Zatim je napravljena analiza i simulacija lijevanja za svaki koncept uljevnog sustava te je odabran najbolji. Nakon provedene razrade odabranog koncepta prikazan je postupak dobivanja kalupa za tlačni lijev spojnice. Najvažniji rezultat rada je prijedlog konstrukcije kalupa za tlačni lijev spojnice .

Ključne riječi: tlačni lijev, konstrukcija kalupa, legure aluminijske, simulacija lijevanja

## **SUMMARY**

In this master thesis, the task of constructing a die casting mould for a compressed air coupling made of aluminium alloy was completed using reversible engineering. At the beginning of the thesis, in the theoretical part, it was explained what the term toolmaking implies and what knowledge is needed for the successful production of high pressure die casting moulds. After that, a theoretical overview of high pressure die casting and a theoretical overview of reversible engineering in mechanical applications were presented. Then, the analysis of the casting for which it is necessary to construct a mould was processed, and the process of obtaining a CAD model of the compressed air coupling was presented. After the analysis of the casting, an initial calculation was made according to which the concepts of gating systems were generated. Then the analysis and casting simulation for each gating system concept was made and the best one was selected. After the elaboration of the selected concept, the process of obtaining the mould for high pressure die casting of the coupling was presented. The most important result of the work is the proposal for the construction of the mould for high pressure die casting of the aluminium alloy coupling.

Key words: high pressure die casting, mould construction, aluminium alloys, casting simulation

## 1. UVOD

Prilikom konstruiranja određenih strojarskih dijelova dolazi do potrebe izrade većeg broja komada. Kako izrada velikog broja strojarskih dijelova složene geometrije može izazvati velike troškove u proizvodnji, nastoji se pronaći najbolji način za proizvodnjom takvih dijelova. Jedan od takvih postupka proizvodnje je lijevanje pod tlakom koje je opisano u ovom radu. Kako se u industriji često stvori potreba za izradom strojarskog dijela za koji ne postoji tehnička dokumentacija niti CAD model, reverzibilno inženjerstvo je skup metoda i alata koje omogućava dobivanje potrebnih podataka. U navedenom radu opisano je projektiranje kalupa alata za tlačni lijev aluminijske spojnice stlačenog zraka principom reverzibilnog inženjerstva. Osnovni cilj je na temelju stvarnog modela spojnice za stlačeni zrak za koju ne postoji tehnička dokumentacija izraditi CAD model unutar određenih granica odstupanja koje su prihvatljive i koje ne narušavaju njezinu osnovnu funkciju. Nakon proizvodnje takvog alata za tlačni lijev moguće je izvesti velik broj ciklusa lijevanja do prvog servisiranja alata te ponovnog puštanja u rad. Kako bi se uspješno proizveo alat za tlačni lijev, potrebno je objediniti znanja iz nekoliko područja strojarstva. Prvo od njih je poznavanje procesa lijevanja te s njim povezano oblikovanje strojarskih dijelova u skladu s tehnologijom lijevanja. Konstruiranjem dijelova u skladu s pravilima definiranim u području ljevarstva moguće je uvelike ubrzati proces konstruiranja alata za tlačni lijev. Drugo je poznavanje alata za 3D CAD modeliranje koji ima mogućnost rada s površina i dobre mogućnost modifikacije gotovih CAD modela. Treće je poznavanje tehnologije obrade odvajanjem čestica te elektroerozije pošto navedene tehnologije prevladavaju u području alatničarstva. Uz prethodno navedena područja koja je potrebno poznavati, stečeno iskustvo prilikom rada jedan je od značajnih faktora koji može unaprijediti taj proces. Iz navedenih činjenica može se zaključiti da je za proizvodnju alata za tlačni lijev potrebno uključiti i uskladiti odjele konstrukcije, tehnologije, proizvodnje te montaže. Primjer industrije gdje se najviše upotrebljava tlačno lijevanje su auto industrija, elektroindustrija te industrija kućanskih aparata.



## 2. TLAČNO LIJEVANJE ALUMINIJA

### 2.1 Općenito o lijevanju pod tlakom

Lijevanje pod tlakom je proces dobivanja željenog oblika utiskivanjem rastaljenog materijala u kalupnu šupljinu. Taljevina pod velikim tlakom i brzinom popunjava kalupnu šupljinu te se tlak održava cijelo vrijeme skrućivanja. Vrijeme skrućivanja je kratko što omogućuje brzo ponavljanje procesa lijevanja. Odljevci se mogu dobiti u uskom tolerancijskom području što ovisi o kvaliteti obrade kalupa. Osnovu za proces lijevanja pod tlakom čine stroj za lijevanje pod tlakom te alat za tlačni lijev koji se stavlja u stroj za lijevanje. Za svaki odljevak drugačije geometrije potrebno je izraditi alat za lijevanje koji se stavlja u stroj za lijevanje. Iz navedenog proizlazi da je alat izmjenjivi dio u procesu tlačnog lijevanja u odnosu na stroj za lijevanje. Stroj za lijevanje ima funkciju prihvaćanja rastaljenog materijala te utiskivanja taljevine u alat za lijevanje. Iz stroja za lijevanje izlazi skrućeni odljevak koji ide na prešu za obrez. Cijeli proces je automatiziran, a vađenje odljevaka iz stroja za lijevanje te stavljanje na prešu za obrez najčešće je robotizirano. Pošto je lijevanje pod tlakom kompleksan proces, najčešće se upotrebljava za velike serije lijevanja kao što je primjena u autoindustriji. Lijevanje malog broja odljevaka nije isplativo zbog visoke cijene izrade alata za lijevanje [1]. U nastavku su prikazane prednosti i nedostaci lijevanja pod tlakom.

Prednosti:

- mogućnost dobivanja odljevaka u uskim tolerancijama ( $\pm 0,02$  mm)
- odljevci složene geometrije
- lijevanje više komada od jednom ( ovisno o konstrukciji alata za lijevanje)
- automatiziran proces
- široki raspon pogodnih materijala za lijevanje
- dobra mehanička svojstva odljevaka
- brzina procesa
- do 100000 ciklusa do prvog servisa alata
- ponovljivost procesa

Nedostaci:

- visoka cijena izrade alata za lijevanje
- proces pogodan za velike serije
- visoka cijena stroja za lijevanje

- veliki broj parametara prilikom lijevanja
- pojava srha na odljercima
- skidanje uljevne grane sa odljevaka

Na slici 1. prikazani su dijelovi dobiveni tehnologijom lijevanja pod tlakom.

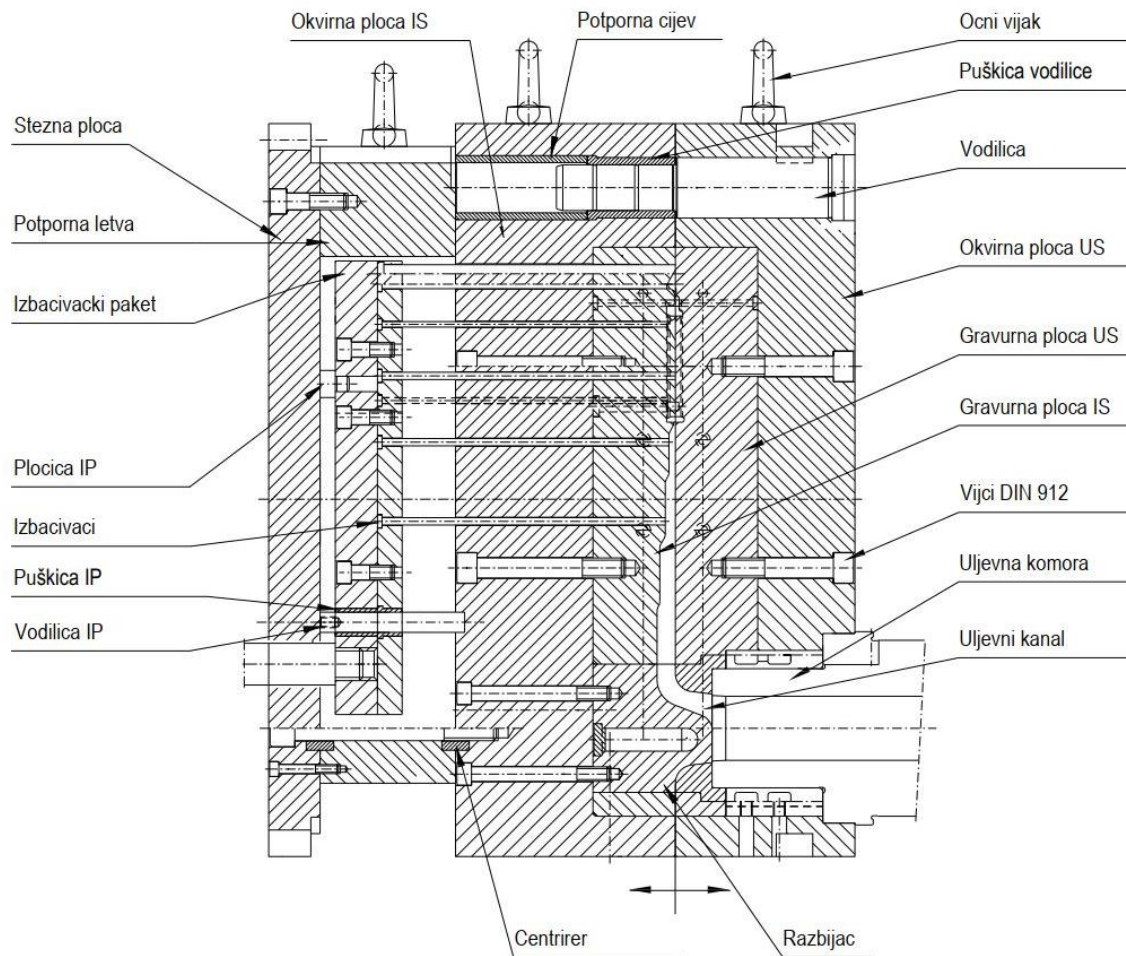


**Slika 1. Dijelovi dobiveni tlačnim lijevom [1]**

Na slici 1. vidljivo je kako dobiveni proizvodi mogu biti vrlo zahtjevne geometrije što daje veliku prednost primjene u odnosu na druge tehnologije. Isto tako moguće je dobivanje tankih stijenki pravilne geometrije. Prilikom konstrukcije dijelova za koje je predviđena proizvodnja tehnologijom tlačnog lijevanja, veliku pozornost potrebno je posvetiti konstruiranju u skladu s tehnologijom lijevanja. Konstruiranje u skladu s tehnologijom lijevanja zahtijeva postavljanje svih potrebnih lijevačkih kutova na odljevak. U slučaju izostavljanja navedenih uvjeta, nije moguće izbacivanje odljevka iz kalupa što onemogućava pravilnu primjenu takve tehnologije. Kod složenih dijelova za lijevanje konačna geometrija odljevka dobiva se nakon što se u alat za lijevanje smjeste svih dijelovi zaduženi za stvaranje geometrije odljevka te se međusobno usklade.

## 2.2 Alati za tlačni lijev

Alat za tlačni lijev sastoji se od dijelova koji imaju funkciju prihvaćanja taljevine sa stroja za tlačni lijev, dijelova za vođenje taljevine do kalupne šupljine te kalupne šupljine. U alatu za tlačni lijev dolazi do skrućivanja taljevine te se dobiva gotovog odljevak. Alat za tlačni lijev čvrsto se fiksira unutar stroja za tlačni lijev kao bi se osigurala ponovljivost lijevanja komada.



Slika 2. Presjek alata za tlačni lijev [2]

Na slici 2. prikazan je presjek alata za tlačni lijev. Presjek prikazuje osnovne elemente koji čine jedan alat za tlačni lijev. U nastavku su detaljnije opisane pojedine komponente alata za tlačni lijev.

### 2.2.1 Uljevna komora

Uljevna komora je dio alata koja ima zadatak preuzeti taljevinu iz peći za držanje na temperaturu lijevanja te preusmjeriti taljevinu do kalupne šupljine alata za tlačni lijev. Uljevne

komore su dijelovi cilindričnog oblika koji se najčešće izrađuju tehnologijom tokarenja i glodanja. Materijal iz kojeg se izrađuju je alatni čelik. U slučaju da postoji potreba za hlađenjem komore, izvode se utori uzduž komore kroz koje cirkulira rashladni medij. Uljevna komora nasjeda na razbijač koji ima zadatak preusmjeriti taljevinu prema gravurnim pločama [2].

### **2.2.2 Razbijač**

Razbijač je dio alata koji preusmjeruje taljevinu prema kalupnoj šupljini alata. Razbijač mora biti oblikovan tako da sprječava zapljuskivanje taljevine uslijed prolaska taljevine do kalupne šupljine. Pošto je razbijač u direktnom kontaktu sa taljevinom, u većini slučajeva potrebno je izvesti hlađenje razbijača. Razbijač se izrađuje od alatnog čelika te se kali na određenu tvrdoću [2].

### **2.2.3 Gravurna ploča uljevne i izbacivačke strane**

Gravurna ploča uljevne i izbacivačke strane (dalje u radu gravurne ploča US ili IS) je osnovni dio alata za tlačni lijev. Gravurne ploče imaju zadatak formiranje geometrije odljevka uslijed skrućivanja taljevine. Na gravurnim pločama se nalazi geometrija koja je zadužena za formiranje odljevka. Gravurne ploče se izrađuju od alatnih čelika te se kale na određenu tvrdoću s ciljem povećavanja otpornosti na trošenje. Tehnologije izrade koje se koriste za dobivanje oblika kalupne šupljine su glodanje te po potrebi obrada erozijom. Gravurne ploče povezane su s okvirnim pločama alata za tlačni lijev. Izradom provrta unutar gravurnih ploča omogućava se cirkulacija medija kroz njihovu unutrašnjost, te se ostvaruje preuzimanje topline koje iz taljevine prelazi na gravurnu ploču [2].

### **2.2.4 Okvirna ploča US/IS**

Osnovna funkcija okvirnih ploča je čvrsto smještanje gravurnih ploča te prijenos opterećenja prilikom lijevanja na stroj za lijevanje. Okvirna ploča US je povezana s fiksnim dijelom stroja za tlačno lijevanje. Na okvirnoj ploči IS se nalaze provrti kroz koje prolaze izbacivači koji imaju zadatak izbacivanje odljevka iz kalupne šupljine. Okvirne ploče se izrađuju tehnologijom glodanja iz alatnog čelika [2].

### **2.2.5 Izbacivački paket**

Izbacivački paket sastoji se od dvije ploče povezane vijcima na kojima su pričvršćeni izbacivači. Izbacivački paket povezan je preko spojki sa strojem za lijevanje. Nakon ciklusa

lijevanja te skrućivanja odljevka dolazi do pomicanja izbacivačkog paketa u smjeru izbacivanja odljevka iz alata za tlačni lijev. Izbacivači su u stalnom kontaktu s gravurnim pločama [2].

### 2.2.6 Stezna ploča

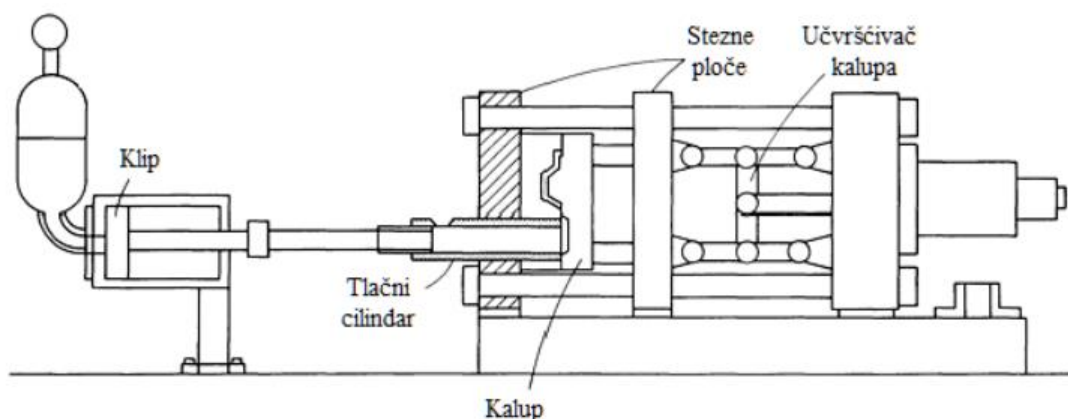
Stezna ploča je dio alata preko kojeg se alat povezuje sa pomičnim dijelom stroja za tlačno lijevanje. Druga funkcija stezne ploče je prijenos opterećenja prilikom lijevanja sa stroja za tlačno lijevanje. Izrađuje se tehnologijom glodanja iz alatnog čelika.

## 2.3 Strojevi za tlačni lijev

Stroj za lijevanje pod tlakom je skup komponenti kojima je zadaća prihvaćanje taljevine i alata za lijevanje te utiskivanje taljevine u alat za lijevanje. Svaki stroj za tlačno lijevanje ima skup mehaničkih komponenti koje služe za prihvaćanje i stezanja alata za tlačni lijev te njegovo pravilno pozicioniranje. Dva osnovna dijela stroja su pomična i nepomična strana. Na nepomičnoj strani se nalazi hidraulički cilindar koji zajedno sa komorom prihvaća taljevinu te utiskuje taljevinu u kalupnu šupljinu alata za lijevanje. Uljevna strana alata se pričvršćuje na nepomičnu stranu stroja. Na pomičnoj strani stroja za lijevanje nalazi se pomični dio alata za lijevanje. Nakon skrućivanja odljevka potrebno je otvoriti alat za lijevanje, izvaditi skrućenu uljevnu granu s odljevcima te se proces lijevanja može ponoviti. Strojevi za tlačni lijev još se sastoje od sustava elektronike preko kojih se podešavaju parametri lijevanja, upravljanje otvaranjem i zatvaranjem alata za lijevanje, upravljanje sustavom hlađenja alata te doziranjem taljevine u tlačni cilindar.

### 2.3.1 Strojevi sa hladnom komorom

Na slici 3. prikazan je primjer stroja za lijevanje s hladnom komorom.

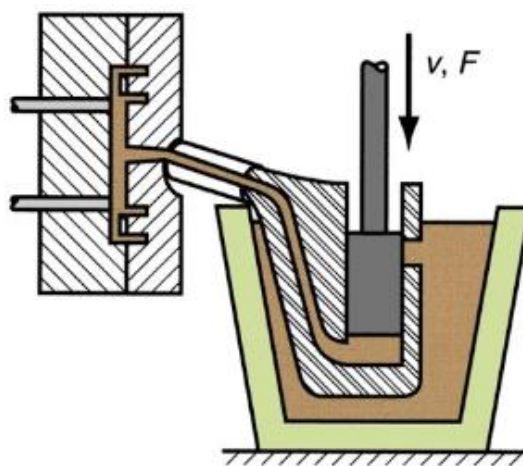


Slika 3. Stroj za tlačno lijevanje s hladnom komorom [3]

Kod strojeva s hladnom komorom, taljenje materijala je u potpunosti odvojen dio procesa te se taljevina mora dostaviti do stroja za lijevanje i uliti u stroj za lijevanje. Stroj s hladnom komorom ima tlačnu komoru za prihvatanje taljevine te sustav održavanja potrebne temperature taljevine. Doziranje taljevine u tlačnu komoru je najčešće automatizirano. Nakon ulijevanja taljevine u tlačnu komoru dolazi do linearnog gibanja klipa te potiskivanja taljevine u kalupnu šupljinu. Tlak se održava do potpunog skrućivanja odljevaka. Nakon skrućivanja odljevka dolazi do razdvajanja pokretne i nepokretne strane alata za lijevanje, vađenja odljevka te se proces lijevanja može ponoviti. Strojevi sa hladnom komorom posebno su pogodni za lijevanje materijala više temperature tališta kao što su aluminij i bakar. Pošto strojevi rade s materijalima koji imaju višu temperaturu tališta, tlačna komora i klip koji potiskuju taljevinu su najčešće hladni. Dva najčešća tipa strojeva s hladnom komorom su strojevi sa vertikalnom i horizontalnom komorom. Koji će se od dva navedena tipa stroja koristiti uvelike ovisi o geometriji odljevka koji se lijeva.

### 2.3.2 Strojevi s toplom komorom

Posebnost strojeva s toplom komorom je u tome što su tlačna komora i klip uronjeni u taljevinu te su približne temperature kao i taljevina. U tom slučaju stroj za lijevanje i uređaj za taljenje čine jednu cjelinu. Takvi strojevi pogodni su za rad s taljevinama koji imaju nižu temperaturu tališta kao što su olovo, kositar i magnezij. Strojevi s toplom komorom pogodni su za proces automatizacije te najčešće ostvaruju veći broj ciklusa lijevanja u jedinici vremena u odnosu na strojeve s hladnom komorom. Na slici 4. prikazana je pojednostavljena skica stroja s toplom komorom.



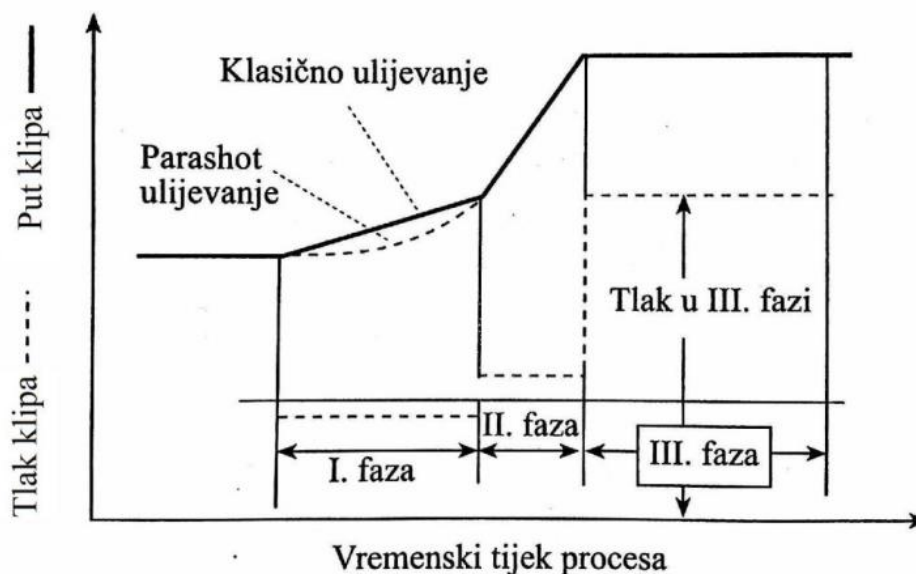
Slika 4. Stroj za tlačno lijevanje s toplom komorom [4]



Proces lijevanja započinje ubacivanjem materijala za lijevanje u peć za taljenje. Nakon postizanja temperature taljenja materijala dolazi do podizanjem klipa te punjenja tlačne komore. Nakon što se napuni tlačna komora, započinje gibanje klipa u smjeru djelovanja gravitacije, zatvaraju se otvori za punjenje tlačne komore te se taljevina potiskuje kroz uljevne kanale sve do kalupne šupljine. Tlak se kao i kod strojeva s hladnom komorom održava do potpunog skrućivanja odljevka. Nakon toga dolazi do razdvajanja pokretne i nepokretne strane alata za lijevanje, izbacivanja odljevka te se proces lijevanja može ponoviti. Strojevi s toplom komorom općenito su kompaktnije konstrukcije od strojeva s hladnom komorom pošto se sve operacije odvijaju na jednom mjestu [4].

## 2.4 Faze gibanja klipa

Gibanje klipa sastoji se od tri glavne faze. Na slici 5. prikazana je grafička ovisnost puta klipa o vremenu  $t$ .



Slika 5. Faze gibanja klipa u stroju za tlačno lijevanje [5]

### 2.4.1 Prva faza

U prvoj fazi dolazi do gibanja klipa brzinom od 0,2-0,3 m/s [6]. Prilikom prve faze potrebno je ostvariti istovremeno optimalnu temperaturu taljevine i što manje zarobljenog zraka prilikom dolaska do ušća kalupne šupljine. Tijekom prve faze važno je izbjeći stvaranje valova taljevine kako bi se što manje zraka zarobilo u valu taljevine. Prva faza traje sve do dolaska taljevine do ušća kalupne šupljine te nakon toga započinje druga faza.

### **2.4.2 Druga faza**

U drugoj fazi dolazi do naglog povećanja brzine klipa i tlaka taljevine. Do povećanja brzine dolazi kako bi se kalupna šupljina u potpunosti ispunila taljevinom prije početka skrućivanja taljevine. Optimalne brzine iznose oko 2,5 m/s [6] te tlakovi između 600 i 800 bar. U drugoj fazi dolazi do snažnog djelovanja sile tlačenja metala na stroj za lijevanje. Prilikom konstrukcije alata potrebno je odrediti silu zatvaranja alata te prema tome odabrati optimalan stroj za lijevanje.

### **2.4.3 Treća faza**

Treća faza započinje kad je kalupna šupljina u potpunosti ispunjena taljevinom. Tlak se održava do potpunog skrućivanja odljevka. Cilj održavanja tlaka je smanjenje poroznosti u odljevku te dobivanje odljevka s boljim mehaničkim svojstvima. Nakon što je završila treća faza, alat za tlačni lijev se može otvoriti te je odljevak spreman za vađenje [6].



### **3. SMJERNICE ZA OBLIKOVANJE DIJELOVA ZA LIJEVANJE POD TLAKOM**

#### **3.1 Linija dijeljenja odljevka**

Određivanje linije dijeljenja na odljevku važan je korak kod konstrukcije alata za tlačni lijev. Pošto se alat sastoji od dva glavna dijela, pokretne i nepokretne strane, linija dijeljenja određuje koji se dio odljevka nalazi u kojoj polovici alata. Gdje će se nalaziti linija dijeljenja, potrebno je obratiti pažnju već kod konstruiranja odljevka jer pravilnim oblikovanjem moguće je uvelike pojednostaviti konstrukciju alata za lijevanje. Isto tako, vrijeme utrošeno na konstrukciju alata za obrez, te njegova cijena, direktno su proporcionalni s zahtjevnošću razdjelne linije.

#### **3.2 Ljevački kutovi**

Kako bi se omogućilo pravilno izbacivanje odljevka iz kalupne šupljine, potrebno je na odljevku predvidjeti sve potrebne ljevačke kutove. Pravilnim rasporedom ljevačkih kutova na odljevku, onemogućuje se struganje odljevka po gravurnim pločama alata te se smanjuje sila izbacivanja odljevka iz kalupne šupljine. Na geometriji odljevka koja se formira pomoću formirača na klizačima također je potrebno predvidjeti ljevačke kutove kako bi se veličina cilindra za njihovo izvlačenje mogla smanjiti. Navojne rupe na odljevku moraju biti izvedene s minimalnim ljevačkim kutom kako bi se formirači za njihovo formiranje mogli izvući iz odljevka nakon lijevanja.

#### **3.3 Debljina stijenke**

U svrhu postizanja što ravnomjernijeg tečenja taljevine unutar kalupne šupljine, potrebno je konstruirati odljevak sa što ravnomjernijim debljinama stijenke bez naglih skokova u promjeni debljine. Ako nije moguće izbjeći razlike u debljini stijenki, potrebno je ostvariti postepen prijelaz iz jedne u drugu debljinu. Preporučena debljina stijenke za odljevke od aluminijske kreće se do maksimalno 5 mm. Kod većih debljina pojavljuje se poroznost te se vrijeme skrućivanja povećava.

#### **3.4 Podrezanost**

Podrezanost uzrokuje nemogućnost izbacivanja odljevka iz kalupne šupljine pošto dio gravurne ploče fizički blokira izlazak odljevka. Podrezanost je potrebno izbjegavati pošto se za pravilan rad alata s takvim odljencima sama geometrija gravurne ploče komplicira te je najčešće potrebno ubacivanje formirača na klizačima kako bi se problem uspješno riješio.

## 4. REVERZIBILNO INŽENJERSTVO

Reverzibilno inženjerstvo je pojam koji podrazumijeva skup postupaka i pravila kojima je cilj dobiti podatke o proizvodu za kojega ne postoji tehnička dokumentacija ili podaci koji su potrebni za proces proizvodnje te puštanja u rad. Reverzibilno inženjerstvo može se koristiti i u svrhu usporedbe dobivenog proizvoda sa referentnim prema kojemu se navedeni izrađivao. U nastavku su navedeni najčešći korišteni postupci reverzibilnog inženjerstva u području alatničarstva.

- 3D digitalizacija
- Koordinatno mjerenje pomoću CMM uređaja

U navedenom radu korištena je 3D digitalizacija za dobivanje CAD modela spojnice stlačenog zraka te je navedeni postupak detaljnije opisan u nastavku.

### 4.1 3D digitalizacija

3D digitalizacija je postupak koji ima za cilj dobivanje 3D modela nekog određenog proizvoda. Na slici 6. prikazan je objekt koji je u procesu 3D digitalizacije.



Slika 6. Skeniranje komada [5]

3D digitalizacija se sastoji od dva osnovna koraka. Prvi korak je skeniranje te dobivanje podataka o modelu ili proizvodu. Najčešći oblik podataka je oblak točaka koji čini osnovu za daljnji postupak dobivanja modela. Moderni skeneri su beskontaktni skeneri koji se dijele na aktivne i pasivne. Aktivni skeneri odašilju određenu vrstu zračenja te na temelju refleksije zraka kroz objekt dobivaju informacije o površini objekta. Najčešći tipovi zračenja su vidljiva svjetlost, rendgenske zrake te ultrazvučno zračenje. Pasivni skeneri obrađuju zračenje emitirano od objekta. Najčešće korišteno svjetlo je umjetno dobiveno svjetlo koje emitira skener. U nastavku su navedeni prednosti i nedostaci 3D digitalizatora.

#### Prednosti:

- Relativno brzo rekonstruiranje modela
- Dobra preciznost
- Pristupačnost uređaja
- User-friendly način korištenja

#### Nedostaci:

- Kvaliteta zapisa ovisna o kvaliteti površine ili materijalu
- Problem skeniranja oštih rubova
- Otežano skeniranje geometrije unutar modela
- Visoka cijena uređaja

U navedenom radu potrebno je dobiti geometriju odljevka za koji je potrebno izraditi kalup alata za tlačni lijev aluminijski. U tu svrhu odabrana je kombinacija korištenja 3D digitalizatora te pomičnog mjerila. Kako je s korištenim 3D digitalizatorom otežano dobivanje geometrije unutar odljevka, unutrašnjost je rekonstruirana prema ploham koje su dobivene skeniranjem odljevka u zadanom položaju. Pomično mjerilo korišteno je za provjeru dobivenih dimenzija te određivanje dimenzija koje su prilikom skeniranja ostale izostavljene.

## 5. ANALIZA POSTOJEĆEG ODLJEVKA

### 5.1 Postojeći odljevak

Na slici 7. i 8. nalazi se spojnica za stlačeni zrak za koju je potrebno metodom reverzibilnog inženjerstva projektirati kalup za tlačni lijev aluminija.



Slika 7. Pogled odozdola



Slika 8. Pogled odozgora

Za navedeni odljevak ne postoji tehnička dokumentacija niti 3D model te je u svrhu izrade kalupa za tlačni lijev potrebno prikupiti podatke o odljevku. Pošto se moderno alatničarstvo temelji na 3D programskim alatima, potrebno je dobiti 3D model odljevka.

## 5.2 Analiza odljevka

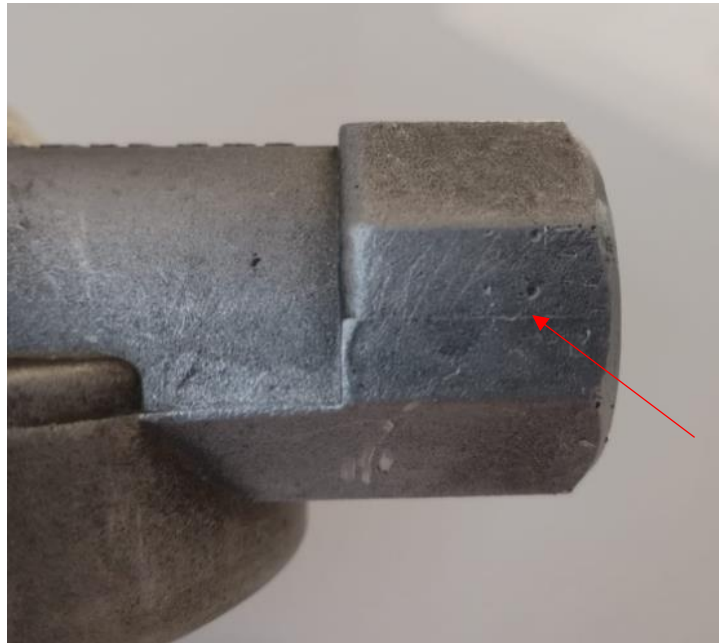
U svrhu smanjivanja dorada na gravurnim pločama alata za tlačni lijev te same optimizacije procesa lijevanja, potrebno je analizirati postojeći odljevak te po potrebi korigirati njegovu geometriju bez narušavanja njegove osnovne funkcije. Navedena faza od velike je važnosti u reverzibilnom inženjerstvu kako bi se traženi proizvod isporučio u što kraćem vremenu uz zahtijevanu kvalitetu. Tijekom vizualnog pregleda odljevka uočena su dva nedostatka koji mogu narušiti kvalitetu odljevka te trajnost samog alata. Prvi nedostatak prikazan je na slici 9..



**Slika 9. Ostrugana površina na odljevku uslijed zaribavanja alata**

Na slici 9. vidljiva je ostrugana površina na odljevku. Razlog nastajanja takve površine je premali ili izostavljen ljevački kut na klizaču alata koji je zadužen za formiranje zuba na odljevku. Takav nedostatak uzrokuje veliko povećanje sile izvlačenja formirača te ubrzano trošenje formirača. Smanjenje sile izvlačenja za sobom povlači smanjenje dimenzija hidrauličnog cilindra zaduženog za tu operaciju te u konačnici jeftiniji alat.

Drugi uočeni problem je nepostojanje ljevačkog kuta na podjeli odljevka spojnice za stlačeni zrak. Na slici 10. prikazano je mjesto gdje je potrebno staviti skošenje.



**Slika 10. Pozicija gdje je potrebno staviti skošenje**

Kako podjela na odljevku prolazi po površini koja dolazi u zahvat s priteznim ključem pomoću kojega se spojnica priteže na pneumatsku cijev, potrebno je izborom skošenja ne narušiti tu funkciju. Izbor veličine skošenja mora biti takav da se i dalje bez napora može obuhvatiti spojnica te pritegnuti na cijev. Navedeni problem nedostatka ljevačkog kuta predstavlja poteškoće kod izbacivanja odljevka iz alata na način da dolazi do većeg tlačnog naprezanja izbacivača što za rezultat daje izvijanje izbacivača, a u najgorem slučaju i lom. Pošto se za proces lijevanja troši vrlo veliki iznos energije za taljenje odabrane legure, potrebno je kod konstrukcije alata smanjiti mogućnost nastanka takve situacije.

### **5.3 Analiza podjele na postojećem odljevku**

Analizom odljevka po kriteriju podjele nema uočenih nedostataka te se postojeća podjela može iskoristiti za konstrukciju kalupa alata. Podjela omogućava izradu alata za lijevanje koji se sastoji od pokretne i nepokretne strane te od formirača koji se izvlače kod izbacivanja odljevka iz alata.

## 6. KONSTRUKCIJA 3D MODELA METODOM REVERZIBILNOG INŽENJERSTVA

### 6.1 Skeniranje

Za potrebe dobivanja 3D modela spojnice stlačenog zraka korišten je 3D digitalizator ATOS Triple Scan. Navedeni 3D digitalizator koristi senzor visoke kvalitete te je primjenjiv za skeniranja u području alatničarstva gdje je potrebno dobiti podatke o modelima u uskim područjima tolerancija [10]. Zbog svoje tehnologije ima mogućnost skeniranja sjajnih površina, skeniranja vrlo malih dijelova, dubokih provrta te je neovisan o okolnom osvjetljenju. Na slici 11. je prikazan navedeni 3D digitalizator. Njegova robusna konstrukcija omogućuje mu veliku mobilnost.



Slika 11. ATOS Triple Scan [10]



## 6.2 Priprema za skeniranje

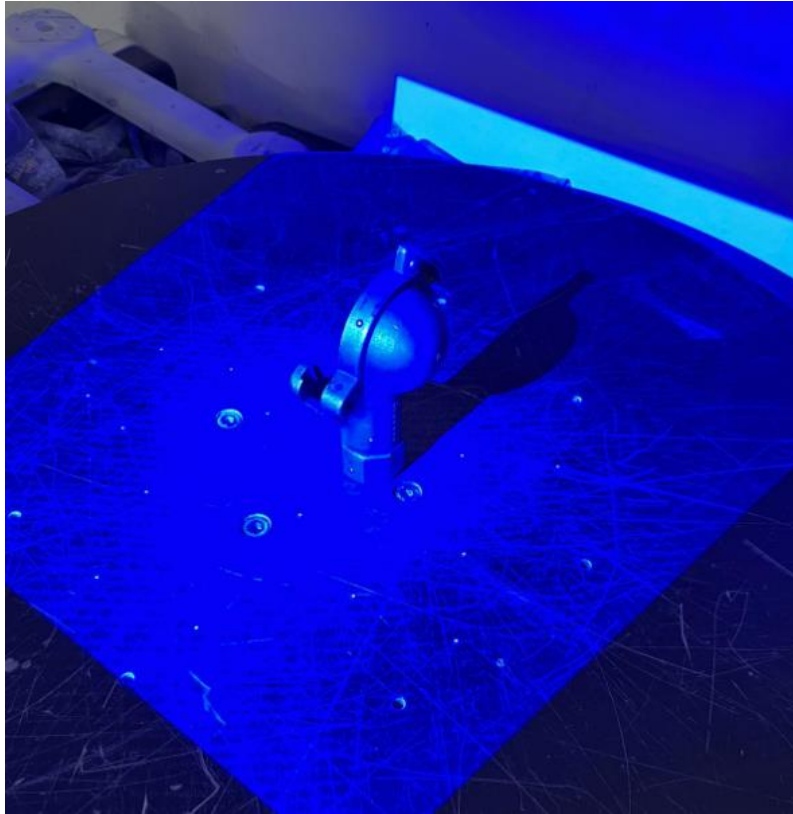
Prije skeniranja potrebno je očistiti odljevak od nečistoća te na odljevak zalijepiti identifikacijske točkice. Prilikom skeniranja identifikacijske točkice daju točne pozicije u prostoru koje skener koristi i uspoređuje sa rezultatom skeniranja te na taj način dobiva bolju kvalitetu skeniranog objekta. Kako bi se prilikom skeniranja dobio zapis onih površina koje nije moguće mjeriti općim priborom za mjerenje ( pomično mjerilo), potrebno je odljevak postaviti na stol za mjerenje u skladu s tim uvjetom. Na slici 12. prikazan je odljevak pripremljen za skeniranje s zalijepljenim identifikacijskim točkicama.



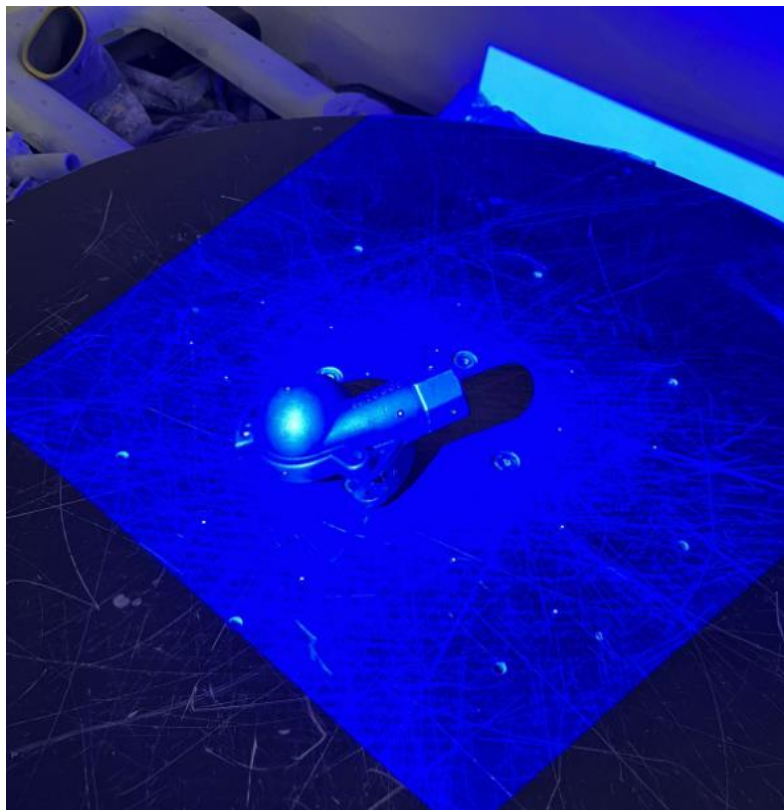
**Slika 12. Odljevak spreman za skeniranje**

Kako skeniranjem odljevka u jednoj poziciji nije moguće dobiti veći dio geometrije, potrebno je odljevak skenirati u više različitih pozicija. Za navedeni odljevak u svrhu dobivanja kompletne vanjske geometrije, izvršeno je skeniranje u dvije različite pozicije prikazane na slikama 13. i 14. Skeniranjem u prikazanim pozicijama nije moguće dobiti unutarnju geometriju odljevka, ali pošto se unutarnja geometrija proteže kroz cijelo tijelo odljevka, te se sastoji od navoja kojega je teže skenirati i nepravilne geometrije iza navoja, unutarnja geometrija dobiva se vizualnom rekonstrukcijom odljevka. Vizualna rekonstrukcija je proces dobivanja geometrije na temelju vizualnog pregleda te sparivanja s postojećom definiranom geometrijom.





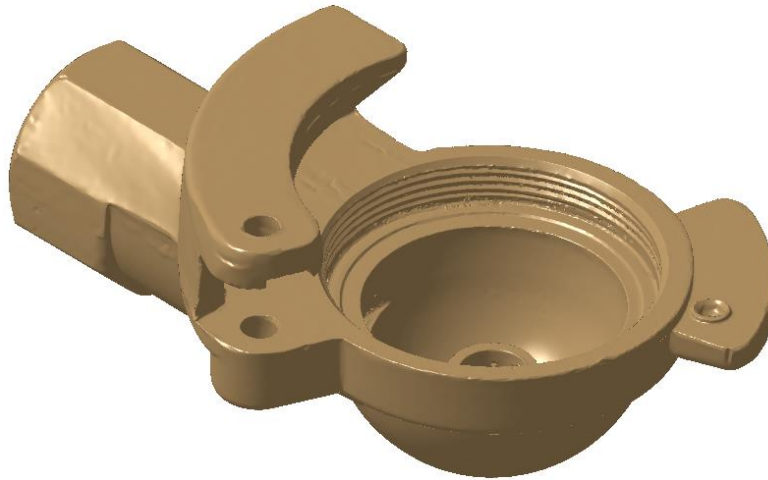
**Slika 13. Odljevak u prvoj poziciji za skeniranje**



**Slika 14. Odljevak u drugoj poziciji za skeniranje**

### 6.3 Dobiveni rezultat skeniranja

Vrsta datoteke dobivena nakon skeniranja je .stl datoteka. Navedenu datoteku moguće je otvoriti u CATIA V5 programskom paketu. Na slici 15. prikazan je rezultat skeniranja otvoren u CATIA V5 programskom paketu. Nakon otvaranja u programu CATIA V5, geometrija je otvorena u modulu „Geometrical Set“ te kao takva predstavlja skup točaka koji se može koristiti kao referentna geometrija za stvaranje „Body“ geometrije spojnice stlačenog zraka.



Slika 15. Rezultat dobiven 3D digitalizacijom

Na slici 16. prikazan je rezultat skeniranja unutrašnjosti spojnice za stlačeni zrak u poziciji skeniranja prikazanoj na slici 14.. Na slici je vidljiv izostanak geometrije koja se nalazi u unutrašnjosti spojnice. Razlog takvom rezultatu skeniranja je nepovoljan oblik za postupak skeniranja te odabir pozicije skeniranja koja daje što kvalitetniji zapis geometrije koji je bitan za pravilan rad spojnice.

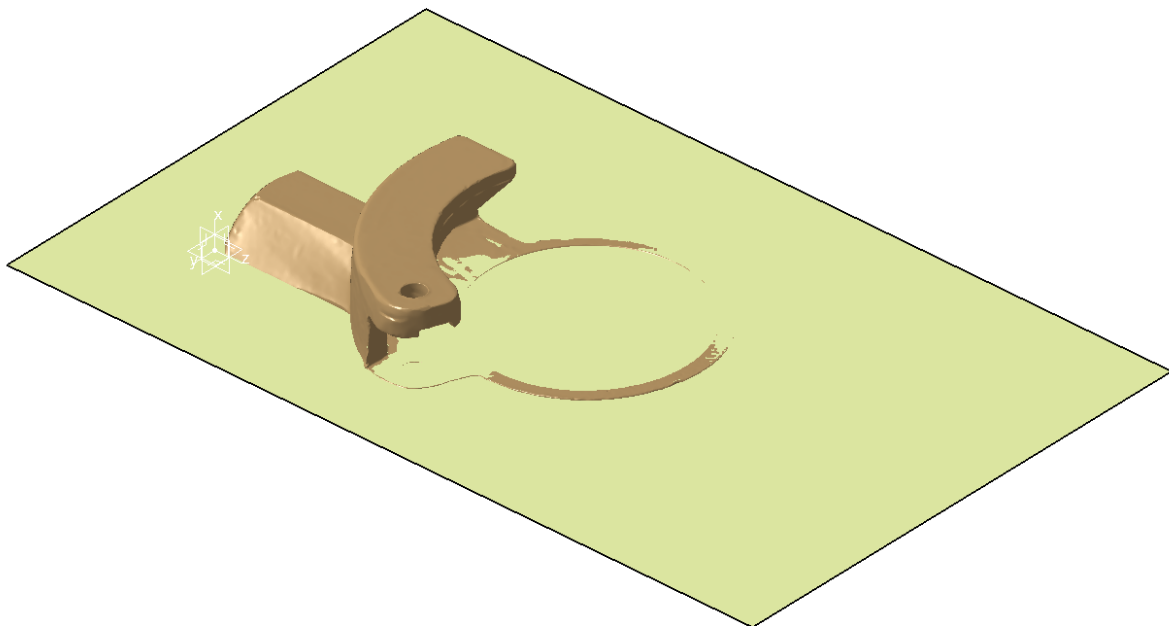


Slika 16. Stražnja strana skeniranog objekta

Pošto je funkcionalnost spojnice za stlačeni zrak uvjetovana ispravnim navojima na ulaznoj i izlaznoj strani te dosjednoj površini koja je u kontaktu sa drugom spojnicom, vanjske mjere nisu od velike važnosti za pravilan rad spojnice. Iz tog razloga, prilikom konstruiranja CAD modela spojnice dovoljno je ostvariti tolerancijsko područje u rasponu  $\pm 0,1$  mm. Odabir takvog kriterija omogućuje brže dobivanje CAD modela stlačenog zraka što znatno skraćuje vrijeme utrošeno na CAD modeliranje. Provrti na kojima se narezuju navoji moraju biti izrađeni u skladu sa tehnologijom izrade navoja. Navoj pomoću kojega se spojnica spaja na cijev sa stlačenim zrakom može se izraditi direktnim urezivanjem. Provrt mora biti izrađen sa minimalnim skošenjem koje neće narušiti funkciju navoja, a istovremeno omogućuje izvlačenje formirača zaduženog za formiranje provrta. Provrt za navoj na sfernom dijelu spojnice se naknadno gloda na konačnu mjeru te se nakon toga urezuje navoj.

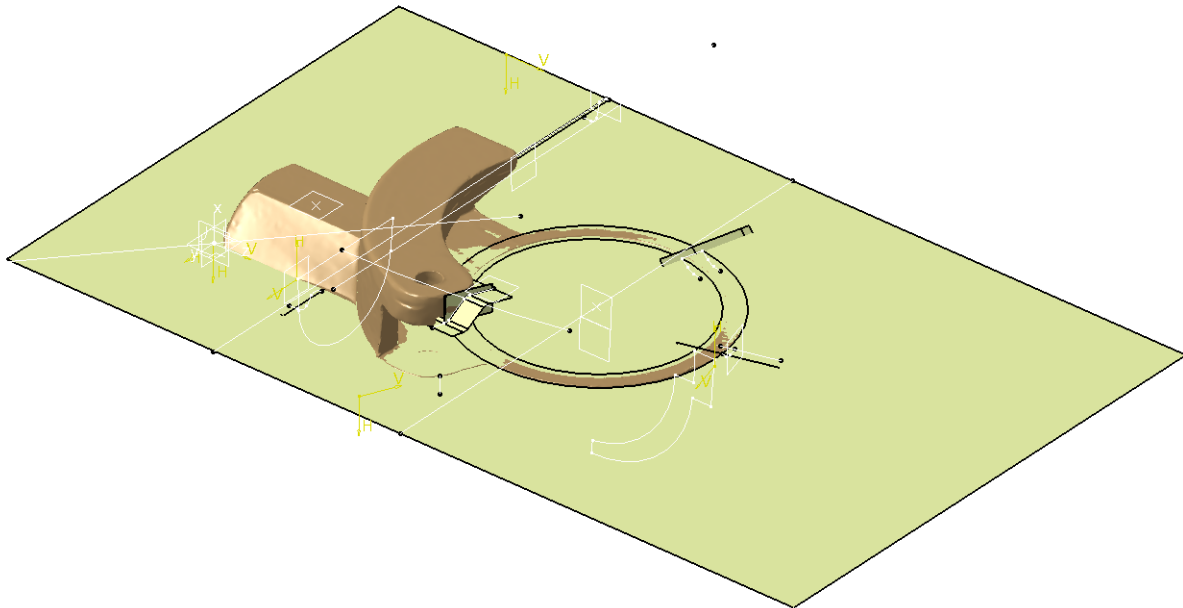
#### 6.4 Konstruiranje spojnice

Na slici 17. prikazan je postupak dobivanja CAD modela spojnice stlačenog zraka. Na početku je definirana referentna površina koja prolazi kroz geometriju odljevka koja je u zahvatu s drugom spojnicom te je bitno da bude što je moguće više istovjetna s postojećom. Referentna ravnina se koristi kako bi se cijela geometrija spojnice mogla referencirati u odnosu na istu točku te na taj način ostvariti što pravilniju geometriju.



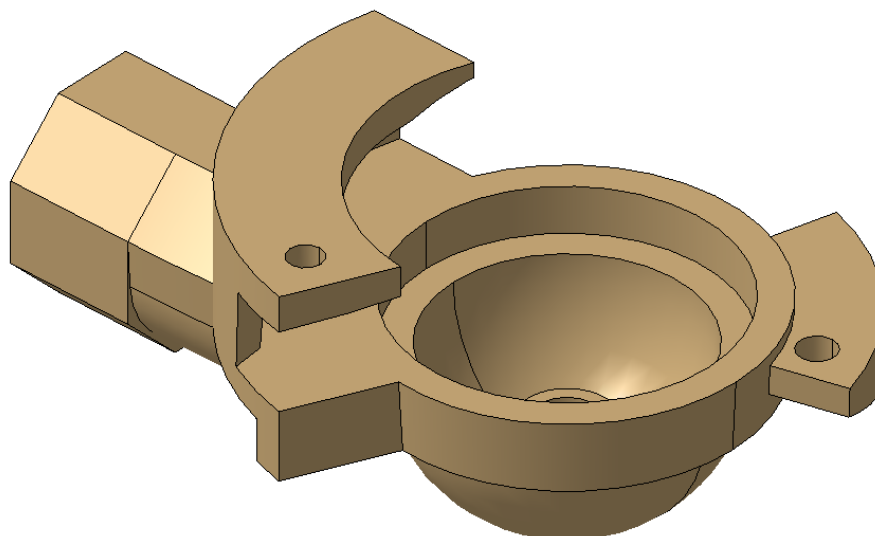
Slika 17. Postavljanje referentne ravnine

U svrhu smanjivanja vremena utrošenog na CAD modeliranje spojnice za stlačeni zrak, početni CAD model na sebi nema potrebna ljevačke kutove te kao takav nije optimiziran za tehnologiju tlačnog lijevanja te tehnologiju lijevanja općenito. Isto tako, kako bi se kasnije sve promjene koje nisu odmah uočljive mogle izvršavati na CAD modelu uz izbjegavanje urušavanja CAD modela spojnice, potrebno je zadovoljiti prethodno navedeni uvjet. Na slici 18. nalazi se prikaz preuzimanja geometrije sa skeniranog modela.



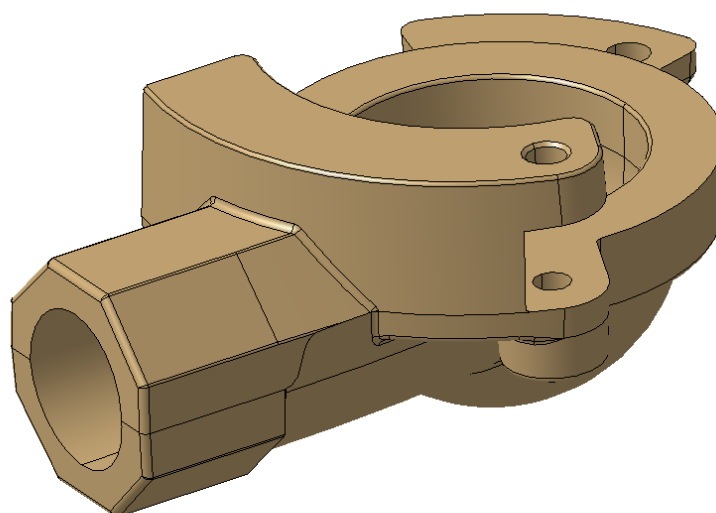
**Slika 18. Preuzimanje geometrije sa skenirane spojke**

Nakon što su na modelu postavljene pozicije Sketch-eva, geometrija odljevka preuzeta je što je moguće više točno. Polazni Sketch-evi kasnije se koriste za izvlačenje geometrije odljevka. Na slici 19. nalazi se odljevak bez potrebnih ljevačkih kutova.



**Slika 19. Model bez ljevačkih kutova**

Iteracijama prilikom modeliranja spojnice te usporedbom s postojećim zapisom dobivenim skeniranjem, određene su dimenzije odljevka. Kako bi model bio konstruiran u skladu s tehnologijom lijevanja potrebno je dodati ljevačke kutove. Ljevački kutovi dodaju se pomoću naredbe „Draft“ u programskom paketu CATIA V5. Na slici 20. prikazan je odljevak s dodanim ljevačkim kutovima koji prate podjelu odljevka.



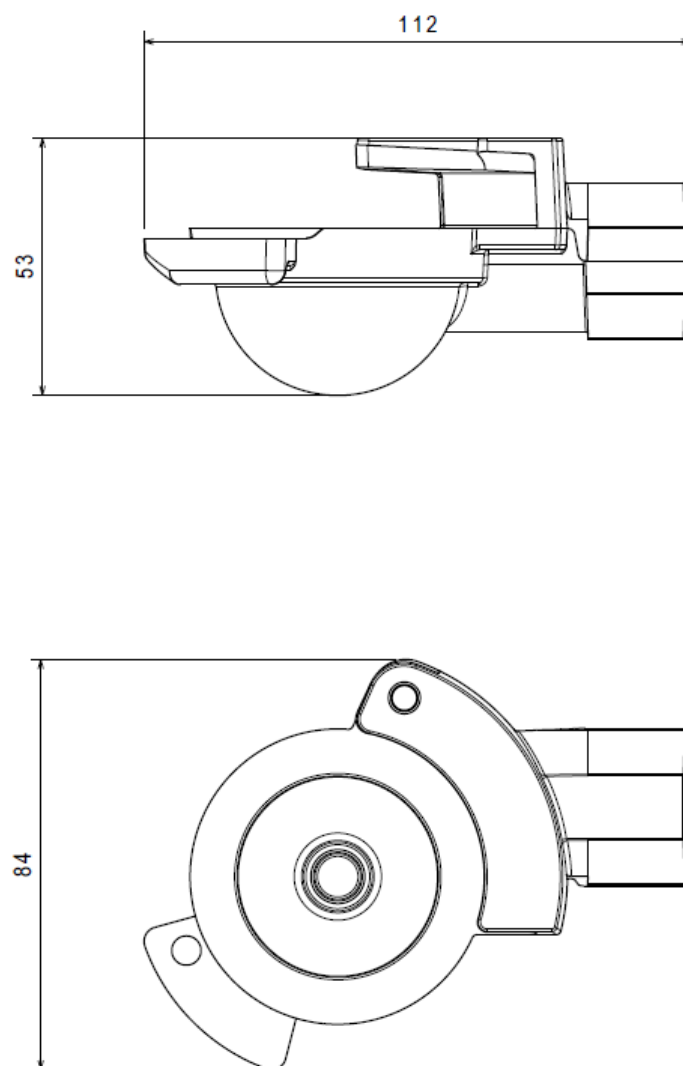
**Slika 20. 3D model sa skošenjima**

Nakon dobivanja konačnog 3D modela odljevka optimiziranog za tehnologiju lijevanja, potrebno je izvršiti skaliranje odljevka. Skaliranje odljevka se provodi kako bi se poništilo dimenzijsko smanjivanje odljevka tijekom skupljanja metala u krutom stanju. Veličina faktora

za koji se poveća odljevak je najčešće iskustvena vrijednost te se kreće u rasponu od 0,5-0,7%. Skaliranje uljevne grane, tablete te preljevaka nije potrebno provoditi pošto se nakon ciklusa lijevanja odrežu od odljevka. Uvećavanjem odljevka za određenu vrijednost nije moguće u potpunosti dovesti odljevak u željene dimenzijske granice. Iz tog razloga, nakon lijevanja odljevka, izvršava se skeniranje odljevka te usporedba odljevka s referentnim 3D CAD modelom. Ovisno o rezultatima mjernog izvještaja, kalupna šupljina se po potrebi doraduje.

## 6.5 Dimenzije spojnice stlačenog zraka

Na slici 21. nalazi se nacrt i tlocrt spojnice s gabaritnim dimenzijama.



Slika 21. Spojnica stlačenog zraka

## 7. Inicijalni proračun parametara za tlačni lijev aluminija

Prilikom konstruiranja koncepata uljevnih grana za napajanje odljevaka tijekom procesa tlačnog lijevanja, potrebno je zadovoljiti određene zahtjeve. Kako bi početni rezultati simulacije odabranih uljevnih grana predočili što točniji prikaz ponašanja taljevine, u tu svrhu izveden je početni proračun ulaznih parametara tlačnog lijevanja. Početni proračun parametara tlačnog lijevanja prikazuje koji od koncepata je bolji u odnosu na drugi uz uvjet da su svi projektirani uz iste početne parametre. Prilikom detaljne konstrukcije kalupa za tlačni lijev aluminija često dolazi do preinaka na uljevnom sustavu koje u početku nije moguće uzeti u obzir i na taj način ih iskoristiti za što brže konvergiranje prema konačnome rješenje. U nastavku su prikazani parametri koji se tijekom konstrukcije kalupa ne mijenjaju te se određuju na početku konstrukcijske razrade:

$$m_{od} = 190 \text{ g ( očitano iz CAD programa)}$$

$$n_{gn} = 2$$

$$\rho_{20} = 2650 \text{ kg/m}^3 \text{ [6]}$$

$$\rho_{680} = 2491 \text{ kg/m}^3 \text{ [6]}$$

Gdje je:

$m_{od}$  = masa jednog odljevka

$n_{gn}$  = broj gnijezda

$\rho_{20}$  = gustoća aluminija pri temperaturi od 20 °C

$\rho_{680}$  = gustoća aluminija pri temperaturi od 680 °C

Masa jednog odljevka očitana je direktno iz CAD programa nakon što je na odljevku izvršena optimizacija za proces tlačnog lijevanja. Broj gnijezda je proizvoljan broj, ali u stvarnosti je direktno povezan s veličinom alata te je odabran 2 uz pretpostavku manje serije odljevaka.

### 7.1 Proračun parametara lijevanja pod tlakom

#### 7.1.1 Vrijeme punjenja

Parametar koji ima velik utjecaj na proces tlačnog lijevanja je vrijeme punjenja. Vrijeme punjenja izračunava se iz formule prema Sjevernoamaričkom udruženju za tlačni lijev (NADCA) [7] prikazanoj u nastavku:

$$t_{fill} = K \left( \frac{T_i - T_f + S * Z}{T_f - T_d} \right) T \quad (7.1)$$

Gdje je:

$K$  = empirijska konstanta alatnog čelika = 0,0345 s/mm [6]

$T$  = prosječna debljina stjenke odljevka = 5 mm

$T_f$  = temperatura taljenja = 570 °C

$T_i$  = temperatura taljevine na ušću = 650 °C (iskustvena vrijednost)

$T_d$  = temperatura površine alata u trenutku dolaska taljevine = 220 °C (iskustvena vrijednost)

$S$  = udio krute faze na kraju punjenja = 25%

$Z$  = faktor za preračunavanje °C u % = 4,8 °C/%

$t_{fill}$  = vrijeme punjenja

Uvrštavanjem vrijednosti u formulu dobiva se :

$$t_{fill} = 0,0345 \left( \frac{650 - 570 + 25 * 4,8}{570 - 220} \right) 5 = 0,098 \text{ s} \quad (7.2)$$

### 7.1.2 Brzina u ušću

Tražena brzina na ušću  $V_{gate}$  očitava se iz tablice prema Buehler-u [6] te iznosi  $V_{gate} = 35$  m/s.

### 7.1.3 Masa preljevaka

Masa preljevaka jednog gnijezda iznosi prema Buehler-u [6] 30% mase jednog odljevka.

Uvrštavanjem u navedenu formulu dobiva se masa preljevaka:

$$M_{pr} = 0,3 * m_{od} = 0,3 * 190 = 57 \text{ g} \quad (7.3)$$

### 7.1.4 Obujam odljevka s preljevcima

Obujam nakon  $V_1$  nakon ušća izračunava se prema formuli:

$$V_1 = \left( \frac{(m_{od} + m_{pr}) * n_{gn} + m_{vak}}{\rho_{680}} \right) \quad (7.4)$$

Gdje je:

$m_{od}$  = masa jednog odljevka

$m_{pr}$  = masa preljevaka

$n_{gn}$  = broj gnijezda



$m_{vak}$  = masa vakuum kanala = zanemaruje se zbog male mase

$\rho_{680}$  = gustoća aluminija pri temperaturi od 680 °C

Uvrštavanjem u formulu (7.4) dobiva se:

$$V_1 = \left( \frac{0,19 + 0,057}{2491} * 2 + 0 \right) = 0,0002 \text{ m}^3 \quad (7.5)$$

### 7.1.5 Protok u ušću

$$Q_1 = \frac{V_1}{t_{fill}} \quad (7.6)$$

Gdje je:

$V_1$  = obujam odljevka s preljevcima

$t_{fill}$  = vrijeme punjenja

Uvrštavanjem u formulu (7.6) dobiva se:

$$Q_1 = \frac{0,0002}{0,06} = 0,0033 \text{ m}^3/\text{s} \quad (7.7)$$

### 7.1.6 Površina presjeka ušća

$$A_{gate} = \frac{Q_1}{V_{gate}} \quad (7.8)$$

Gdje je :

$Q_1$  = protok u ušću

$V_{gate}$  = brzina taljevine u ušću

Uvrštavanjem u formulu (7.8) dobiva se površina presjeka ušća:

$$A_{gate} = \frac{0,0033}{30} = 0,00011 \text{ m}^2 \quad (7.9)$$

### 7.1.7 Ukupni presjek odzračivanja

Odzračivanje se provodi s ciljem ispuštanja zraka van kalupne šupljine tijekom dolaska taljevine u kalupnu šupljinu. U tu svrhu izrađuju se kanali na gravurnim pločama preko kojih zrak izlazi van kalupne šupljine. Ukupni presjek kanala za odzračivanje izračunava se prema formuli:

$$A_{vent} = \frac{Q_1}{200 \text{ m/s}} \quad (7.10)$$

Gdje je:

$A_{vent}$  = ukupni presjek kanala za odzračivanje

$Q_1$  = protok u ušću

Uvrštavanjem u formulu (7.10) dobiva se ukupni presjek kanala za odzračivanje:

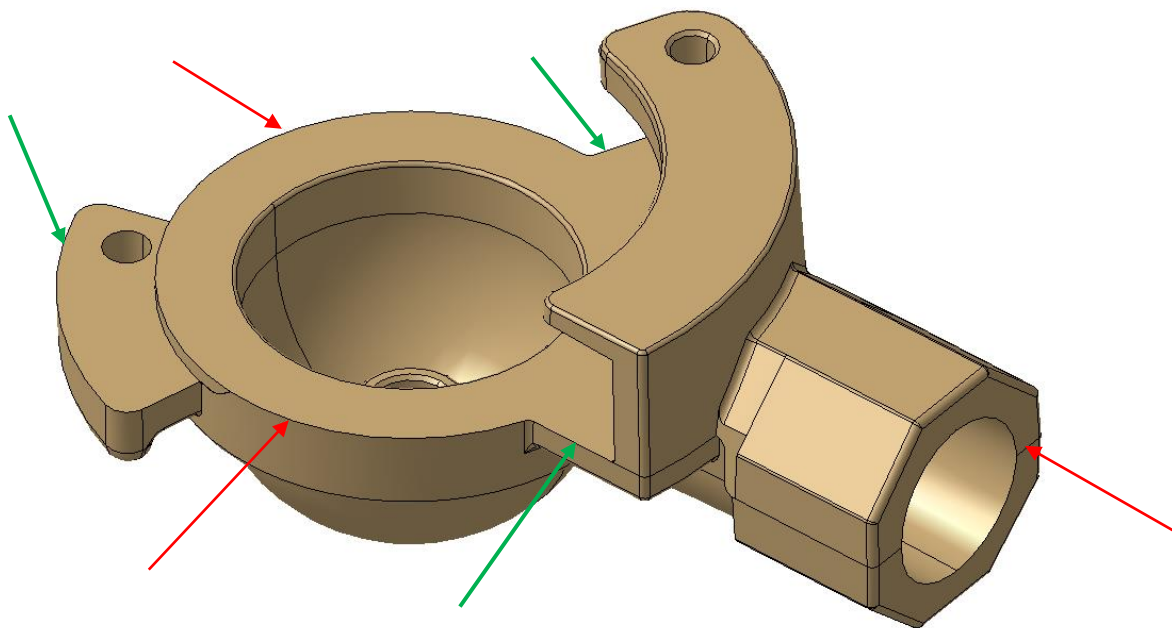
$$A_{vent} = \frac{0,0033}{200 \text{ m/s}} = 0,000016 \text{ m}^2 \quad (7.11)$$

## 7.2 Odabir uljevne komore

Kod odabira uljevne komore potrebno je zadovoljiti uvjet da ispunjenost komore taljevinom prije početka prve faze kretanja klipa bude ispod 50%. Zadovoljavanjem navedenog uvjeta smanjena je vjerojatnost zarobljavanja zraka te turbulencijue taljevine unutar komore. Uzimajući u obzir veličinu odljevka te broj gnijezda, koncipiranje uljevnih grana izvedeno je s komorom duljine  $L_{kom} = 380 \text{ mm}$  te promjerom komore  $D_{kom} = 50 \text{ mm}$ .

## 8. KONCIPIRANJE ULJEVNIH GRANA

U svrhu izrade diplomskog rada, konstruirani su koncepti uljevnih grana i odljevaka s zahtjevom izrade dva simetrična odljevka. Tijekom konstruiranja koncepata uljevnih grana, potrebno je voditi računa o smještaju klizača za stvaranje geometrije u odljevku te o putanji razdjelne linije. Isto tako, potrebno je na odljevku proučiti na kojem mjestu ima dovoljno prostora kako bi se ušće moglo dimenzionirati prema inicijalno provedenom proračunu te na taj način zadovoljiti potrebne uvjete. Sljedeći uvjet koji je potrebno uzeti u obzir je da uljevna grana svojom geometrijom ne otežava ili onemogućuje otvaranje alata nakon ciklusa lijevanja. Prethodno navedeni uvjeti se odnose i na položaj preljevaka. Slika 22. prikazuje poziciju mogućih ušća te moguće pozicije preljevaka na odljevku. Crvenom strelicom označene su moguće pozicije ušća, a zelenom mogući položaj preljevaka.

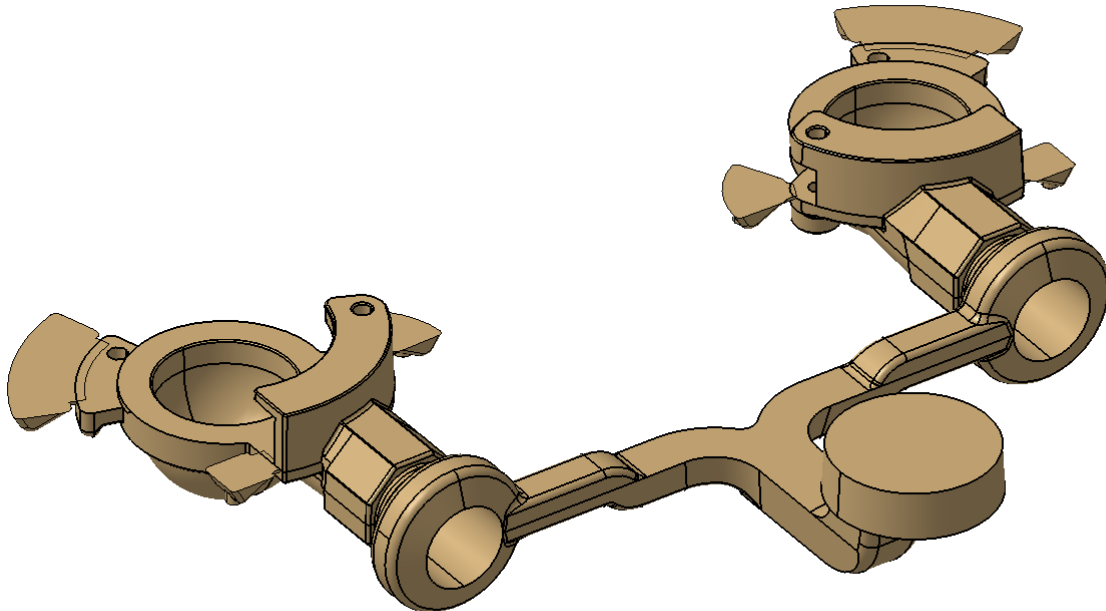


Slika 22. Prikaz mogućih položaja preljevaka i uljevnih ušća

Na temelju prethodno prikazanih mogućih položaja uljevnih ušća i preljevaka, projektirana su tri koncepta uljevne grane s preljevcima. Za konstrukciju koncepata korišten je programski alat CATIA V5 R26. Za koncipiranje se upotrebljavaju alati koji se nalaze u „Part Design-u“ te alati iz skupine „Generative Shape Design“.

## 8.1 Koncept 1

Prvi koncept uljevne grane prikazan je na slici 23. .

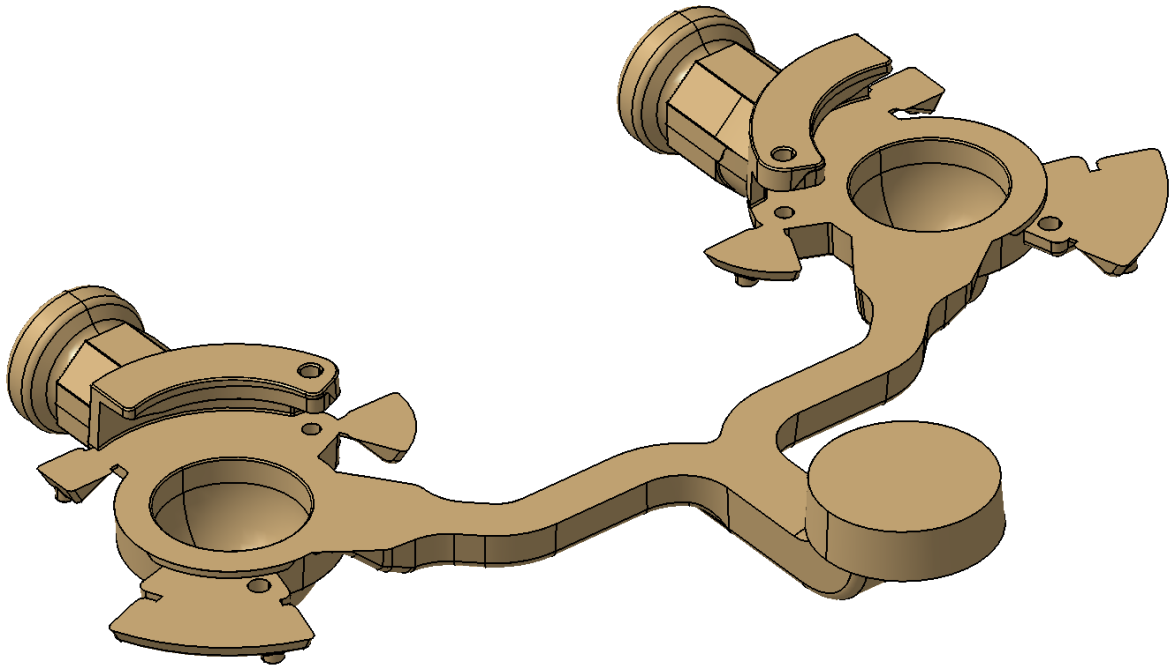


Slika 23. Koncept 1

Koncept 1 prikazuje punjenje odljevaka pomoću kružnog ušća. Pošto je unaprijed uzeta pretpostavka da će taljevina bolje popunjavati odljevak uz uvjet da taljevina do ušća dolazi simetrično, neposredno prije ušća dolazi do podizanja uljavnog kanala kako bi navedeni uvjet bio ispunjen. S ciljem simetričnog dolaska taljevine do uljavnog ušća, na mjestu diskontinuiteta postavljene su radijusi kako bi se ublažilo zapljuskivanje taljevine te obuhvaćanje zraka unutar taljevine. Na odljevak su postavljena tri preljevka. Njihov položaj je odabran na način da ne ometaju stvaranje podjele na alatu.

## 8.2 Koncept 2

Na slici 24. prikazan je koncept 2.

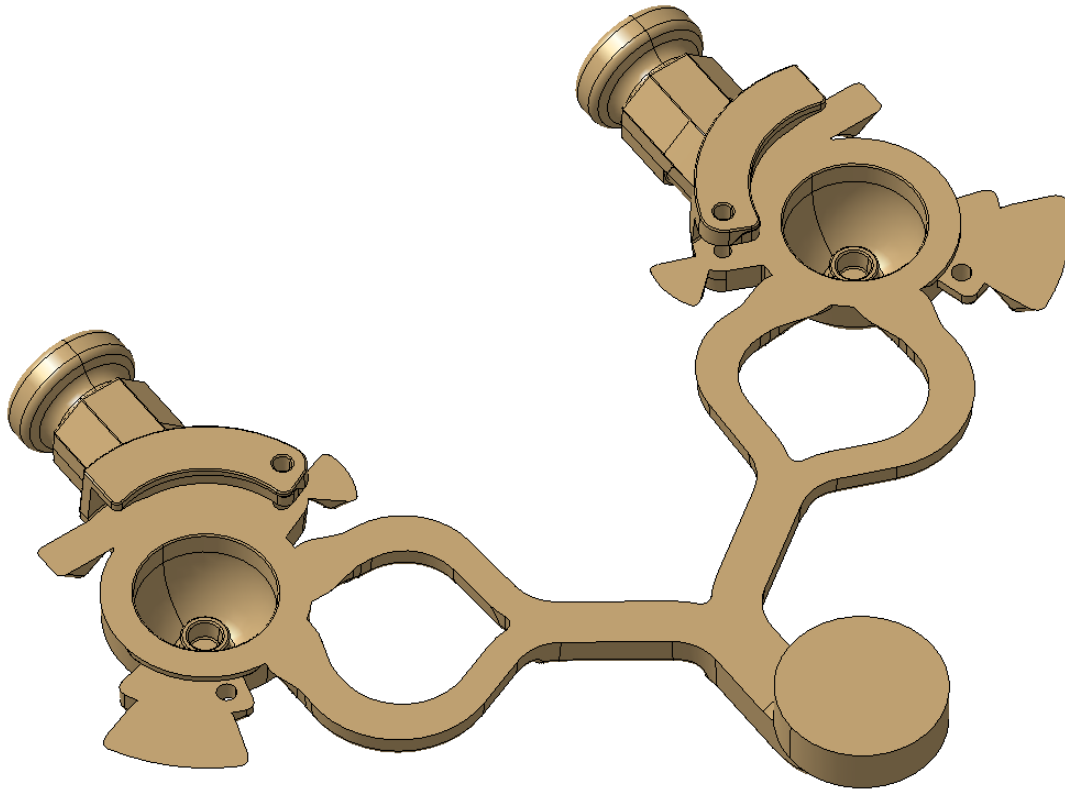


Slika 24. Koncept 2

Koncept 2 omogućava punjenje odljevka pomoću kvadratnog ušća. Prednost takvog tipa ušća je pravilan oblik uljevne grane te smanjena vjerojatnost nastanka zapljuskivanja te zahvaćanja zraka unutar taljevine. Isto tako, moguće je mijenjati smjer dolaska taljevine promjenom ulaznog kuta taljevine ako ima naknadne potrebe za takvim promjenama u svrhu poboljšanja punjenja odljevka. Preljevci su smješteni na način da ne stvaraju tanke stijenke na alatu. U navedenom konceptu, na mjestu gdje je u konceptu 1 ušće, stavljen je jedan preljevak s jednakom geometrijom. Pošto je na tom mjestu najudaljenija točka odljevka, pretpostavka je da će postojati potreba za preljevkom većih dimenzija.

### 8.3 Koncept 3

Na slici 25. prikazan je koncept 3.



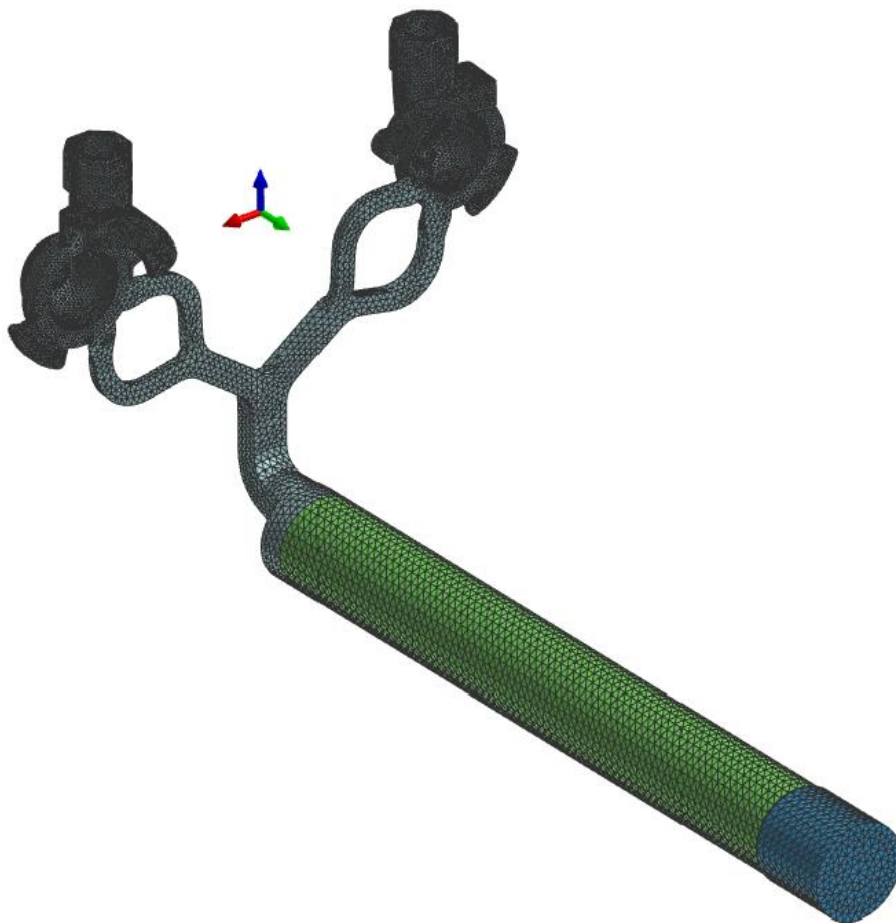
Slika 25. Koncept 3

Koncept 3 je modifikacija koncepta 2 na način da je dolazak taljevine do odljevka ostvaren s dva uljevna ušća. Pošto je na poziciji uljevnog ušća odljevak u obliku polusfere, kod jednog uljevnog ušća postoji mogućnost udaranja taljevine direktno u stijenku formirača što uzrokuje raspršivanje taljevine. Kako bi se smanjilo zapljuskivanje taljevine i povlačenje zraka u odljevak, svi diskontinuiteti na uljevoj grani konstruirani su s radijusima kako bi se taj efekt ublažio. Položaj preljevaka je preuzet iz koncepta 2 pošto je uljevno ušće izvedeno na istoj strani odljevka. Prikazani koncept uljevne grane ostavlja dovoljno prostora za naknadne modifikacije dolaska taljevine do uljevnog ušća.

## 8.4 Vrednovanje koncepata

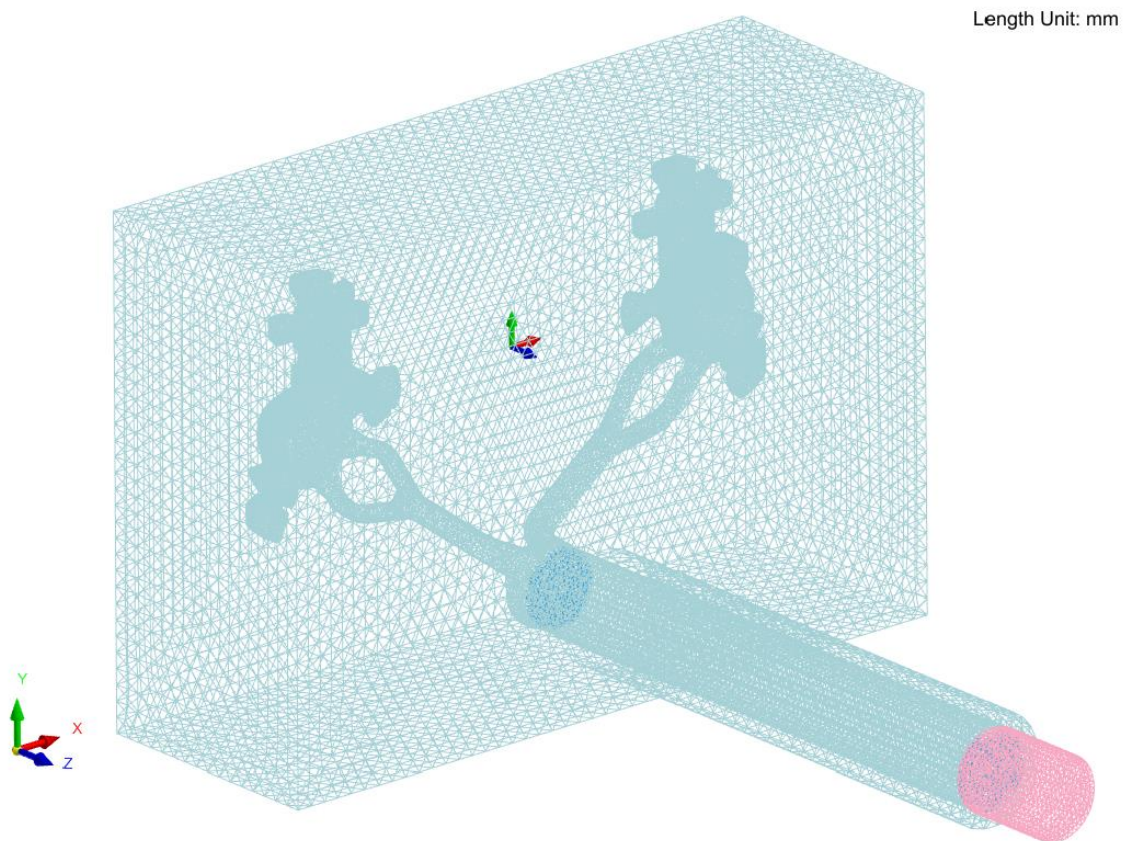
### 8.4.1 Program za simulaciju ProCAST

U svrhu vrednovanja koncepata te njihove međusobne usporedbe, potrebno je napraviti simulacije lijevanja. Za simulacije lijevanja korišten je programski alat ProCAST. ProCAST je napredni inženjerski alat za simulacije lijevanja pod tlakom, gravitacijskog lijevanja, centrifugalnog lijevanja i dr. ProCAST koristi metodu konačnih elemenata za diskretizaciju odljevka, taljevine, klipa i alata. Postupak se sastoji od definiranja odljevka, klipa, taljevine i alata. Nakon toga se kreira mreža konačnih elemenata u željenoj veličini elemenata. Veličina elemenata je proporcionalna s dužinom trajanja simulacije te kvalitete opisa gibanja taljevine. Na slici 26. prikazan je diskretiziran odljevak zajedno sa klipom i taljevinom. Veličina uljevne komore izabire se uz uvjet da je ostvarena popunjenost komore ispod 50%. Klip je potrebno odmaknuti za 2 mm od tlačne komore.



Slika 26. Diskretiziran model u PROCAST programu

Konstrukcija alata se aproksimira s kvadrom okvirnih dimenzija pošto se u tom koraku još ne znaju točne dimenzije samog alata. Preporuka je obuhvatiti cijeli odljevak tako da cijela njegova geometrija bude unutar alata. Oko uljevne komore potrebno je napraviti ovojniju koja dodiruje komoru te se na taj način aproksimira gubitak topline koji stroj za lijevanje preuzima na sebe. Na slici 27. prikazan je diskretiziran alat unutar kojega se nalazi odljevak s uljevnom komorom.



**Slika 27. Diskretiziran alat sa odljevkom , taljevinom i klipom**

Sljedeći korak kod provedbe simulacije je odrediti ispravan smjer djelovanja gravitacije. Nakon toga slijedi određivanje smjera gibanja klipa, brzine klipa te parametara koji opisuju odvođenje topline taljevine kroz alat. Kako programski alat ProCAST raspolaže s nizom funkcija i mogućnost analize ponašanja taljevine prilikom simulacije, za vrednovanje i uspoređivanje koncepata u obzir su uzeti količina zarobljenog zraka unutar odljevka nakon skrućivanja te ponašanje taljevine prilikom popunjavanja odljevka. Izabrana legura s kojom se provodi simulacija je AlSi9Cu3. Navedena legura jedna je od najčešće korištenih aluminijskih legura u postupcima tlačnog lijevanja aluminija.



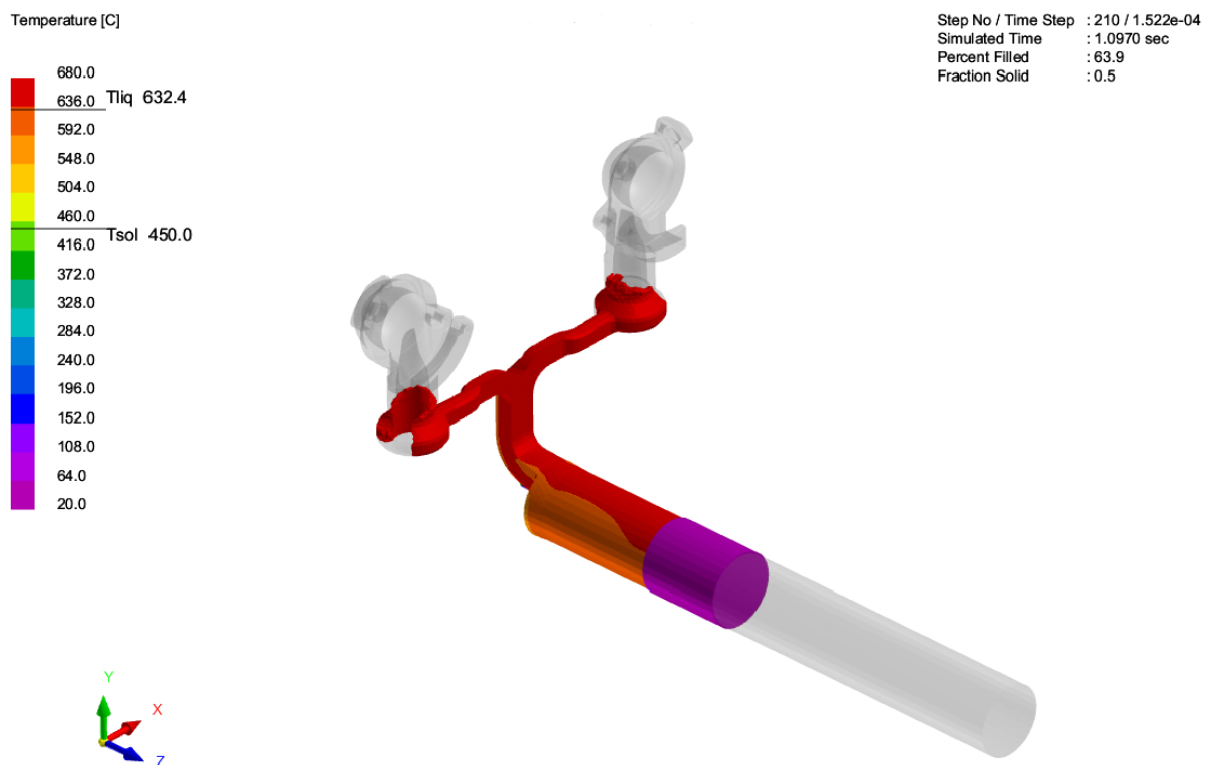
## 9. ANALIZA KONCEPATA

U svrhu odabira najboljeg rješenja uljevne grane, izvršena je analiza svakog koncepta prema unaprijed zadanim kriterijima. Kriteriji po kojima se provodi analiza koncepata su vizualni pregled popunjavanja odljevka, zarobljena količina zraka u odljevku nakon skrućivanja te podobnost za tehnologiju obrezivanja nakon procesa lijevanja. Vizualni pregled popunjavanja utvrđuje ponašanje taljevine prilikom dolaska taljevine do odljevka te kod popunjavanja odljevka. Glavni kriterij je što manje zapljuskivanja te obuhvaćanja zraka. Drugi kriterij je rezultat simulacije koji prikazuje koliko zraka je zarobljeno u odljevku nakon skrućivanja te usporedba s preporučenom granicom za odljevke opće primjene koji nisu podvrgnuti velikom mehaničkom opterećenju ( $0,002 \text{ g/cm}^3$ ). Kriterij podobnosti za proces obrezivanja nakon lijevanja definira koliko je zahtjevno automatizirati proces obrezivanja uljevne grane od odljevaka. Prethodno navedeni kriterij direktno je povezan sa cijenom alata za obrez odljevka nakon procesa lijevanja.

### 9.1 Koncept 1

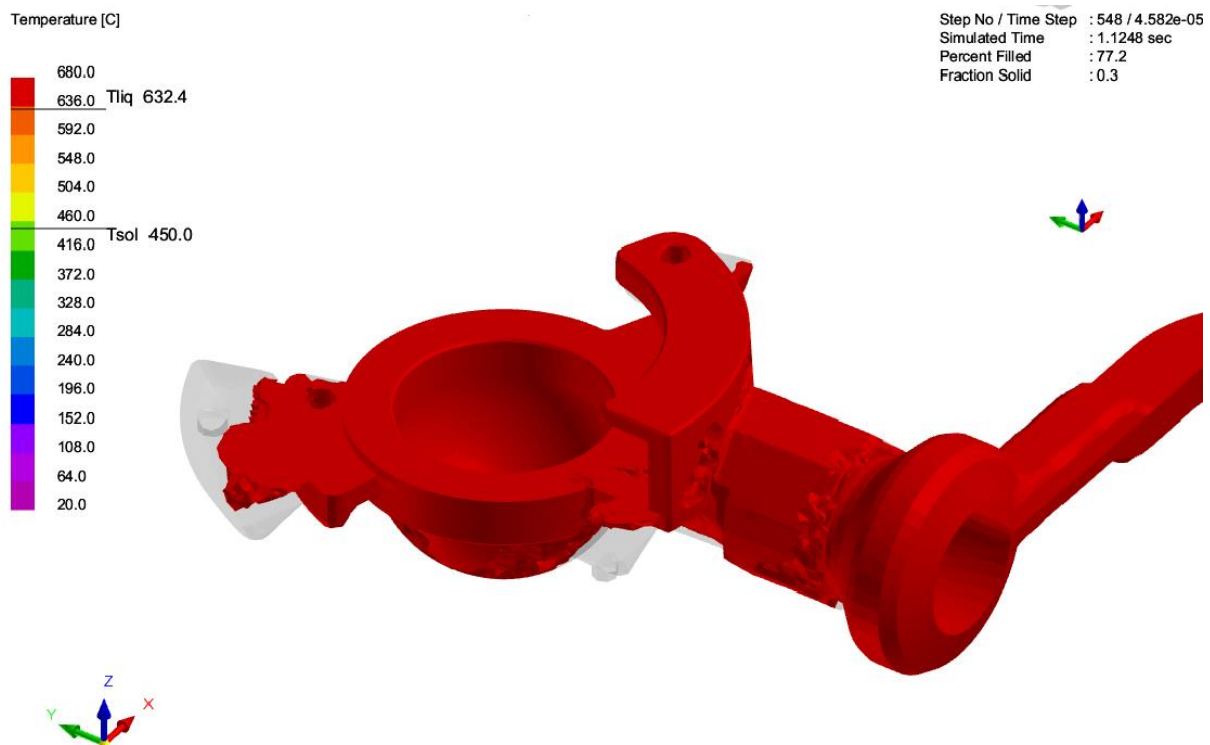
#### 9.1.1 Vizualni pregled simulacije lijevanja

Na slici 28. prikazana je simulacija lijevanja koncepta 1.



Slika 28. Popunjavanje odljevka koncepta 1

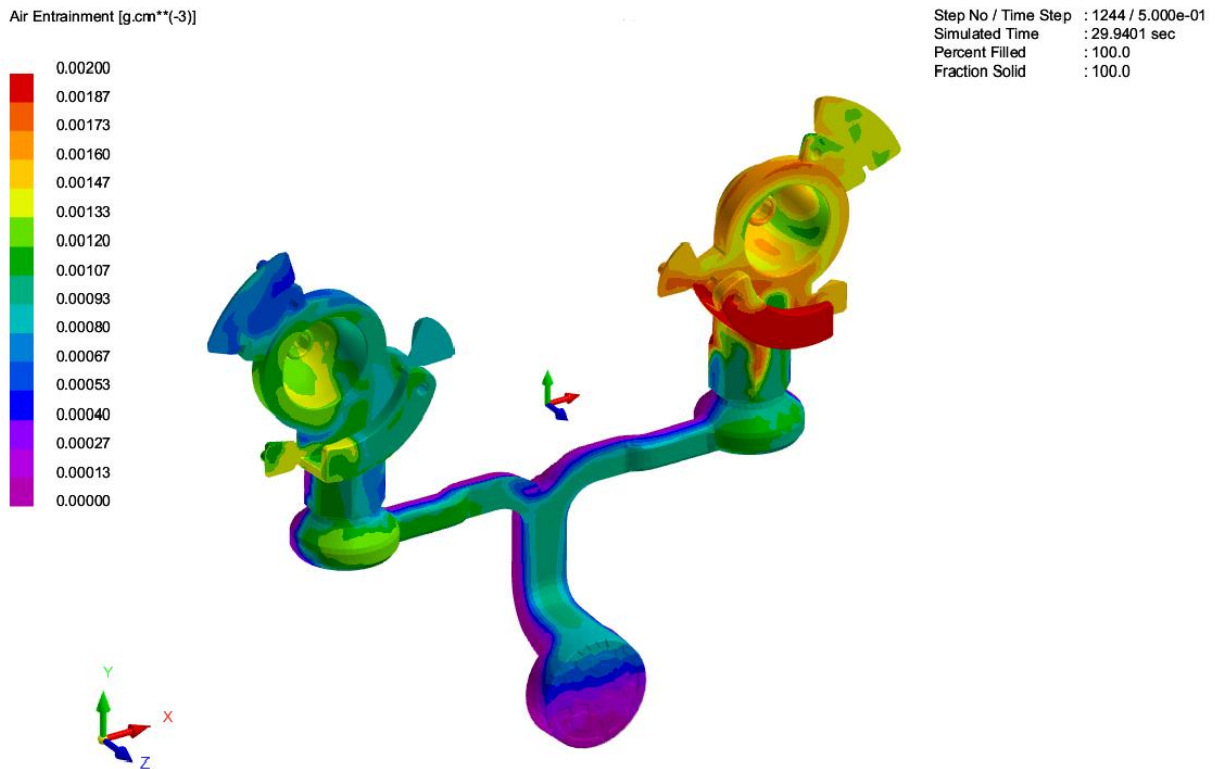
Tijekom simulacije uočeno je prihvatljivo ponašanje taljevine prilikom dolaska do ušća uljevne grane. Nakon prolaska uljevnog ušća, taljevine ne popunjava odljevak postepeno već dolazi do naglog dolaska taljevine do krajnje točke odljevka te popunjavanje odljevka od kraja prema vrhu uljevne grane. Na slici 29. prikazan je trenutak gdje je taljevina došla do krajnje točke odljevka, bez da je početak odljevka popunjen. Isto tako, vidljivo je obuhvaćanje zraka prilikom spajanja dvaju vrtloga taljevine.



Slika 29. Turbulencija na ušću prilikom punjenja odljevka

### 9.1.2 Količina zarobljenog zraka

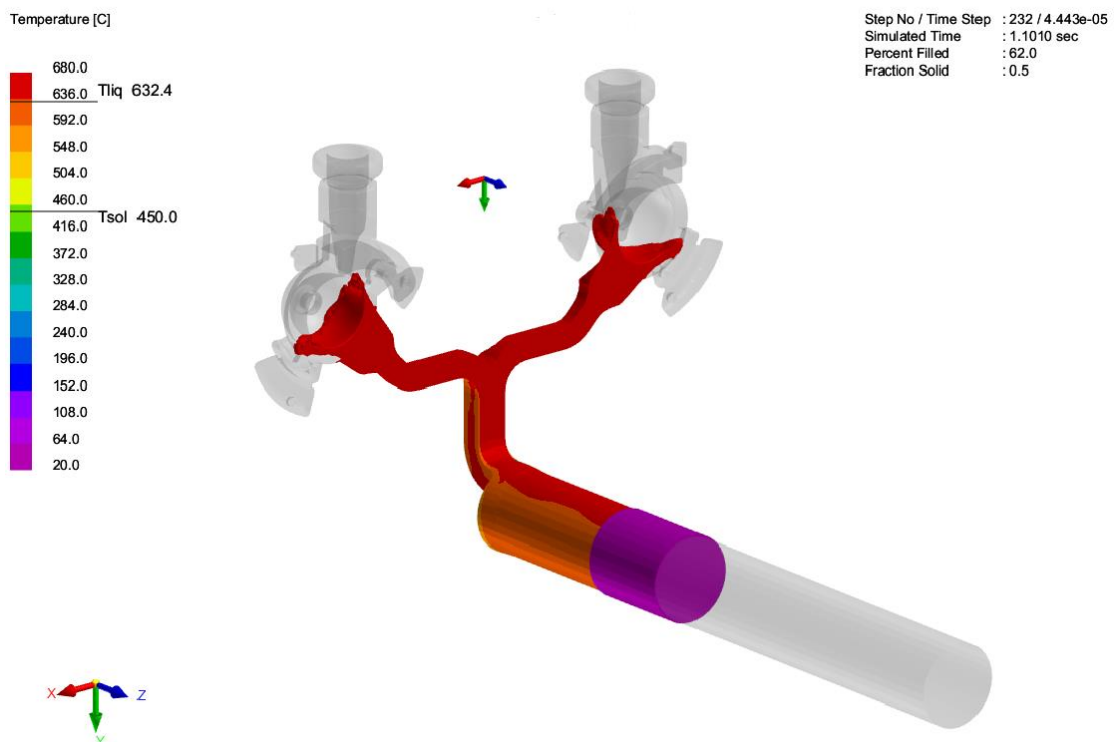
Na slici 30. prikazana je količina zarobljenog zraka u skrućenom odljevku. Iz slike je vidljivo da je količina zraka raspoređena neravnomjerno unutar skrućenih odljevaka. Isto tako, nakon provedene simulacije može se zaključiti da količina zarobljenog zraka na određenim mjestima odljevaka prelazi preko granice od dopuštenih  $0,002 \text{ g/cm}^3$ .



Slika 30. Količina zarobljenog zraka

## 9.2 Koncept 2

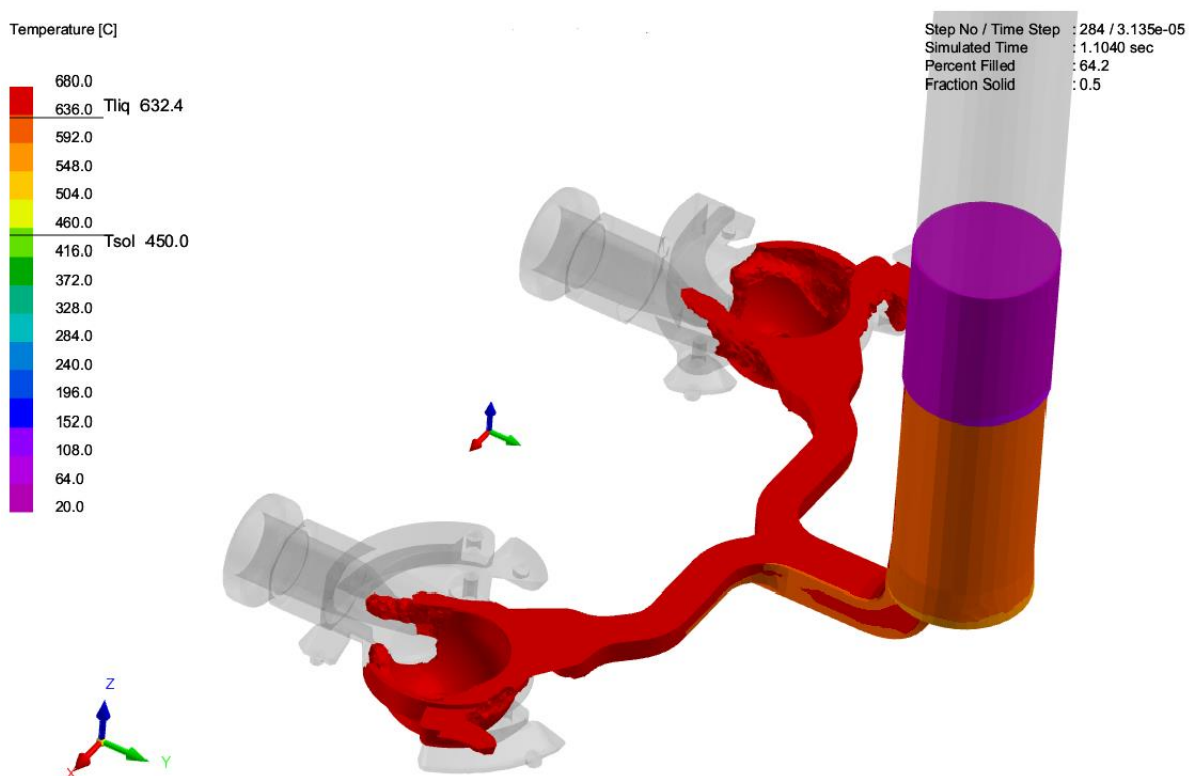
Na slici 31. prikazan je proces punjenja odljevka koncepta 2.



Slika 31. Punjenje odljevka koncepta 2

### 9.2.1 Vizualni pregled simulacije lijevanja

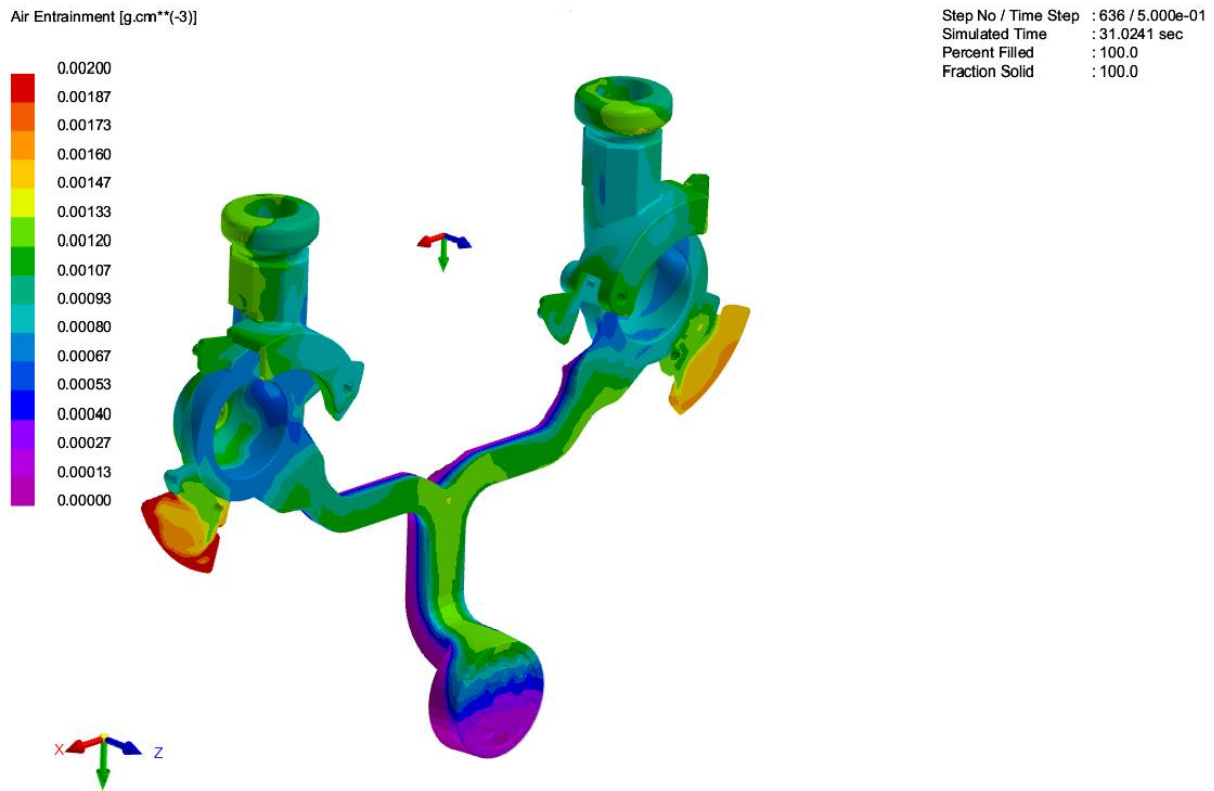
Tijekom vizualnog pregleda simulacije lijevanja uočeno je prihvatljivo ponašanje taljevine u prvoj fazi do uljevnog ušća. Nakon prolaska uljevnog ušća dolazi do blagog nesimetričnog popunjavanja lijevog i desnog odljevka te otkidanja taljevine od glavnog vala. U odnosu na prvi koncept, taljevina postepeno popunjava kalupnu šupljinu te se kalup popunjava od ušća do krajnje točke što smanjuje rizik zarobljavanja zraka nakon skrućivanja odljevka. Na slici 32. prikazan je trenutak odvajanja taljevine od glavnog vala taljevine.



Slika 32. Odvajanje taljevine od glavnog toka

### 9.2.2 Količina zarobljenog zraka

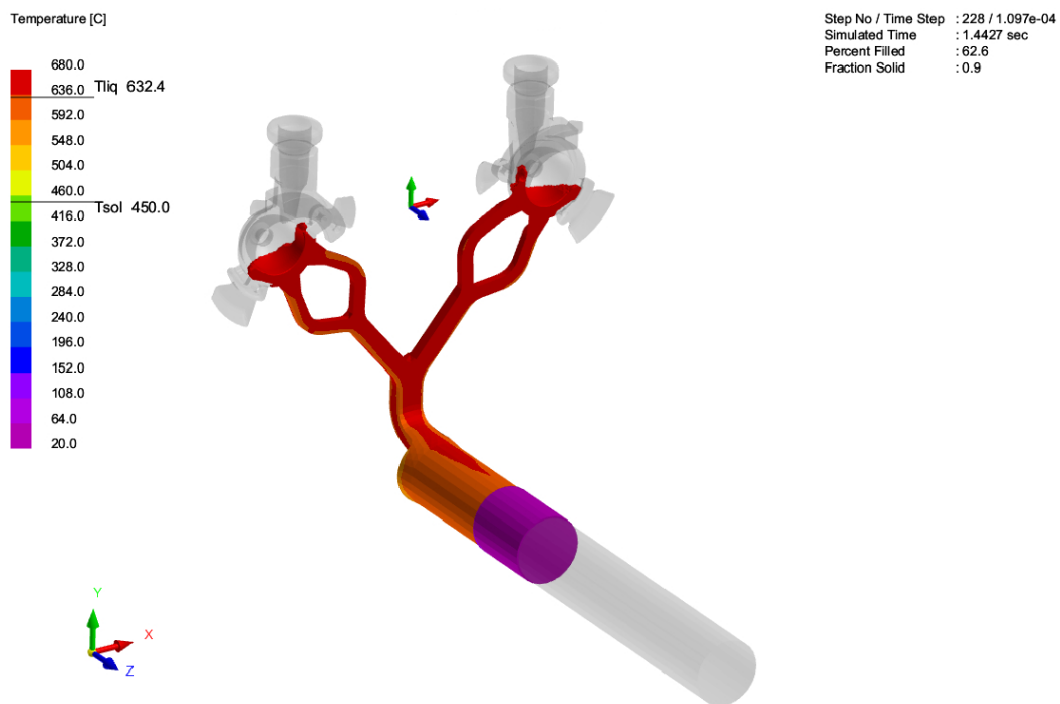
Na slici 33. prikazana je količina zarobljenog zraka unutar odljevaka nakon provedene simulacije. Iz slike je vidljivo da je količina zarobljenog zraka relativno simetrično raspoređena unutar oba odljevka te da je na oba odljevka količina zarobljenog zraka ispod dopuštene granice od  $0,002 \text{ g/cm}^3$ . Na preljevcima je uočena povećana količina zarobljenog zraka što znači da je ispunjena funkcija preljevaka s ovakvim konceptom uljevne grane i izabranim rasporedom preljevaka.



Slika 33. Količina zarobljenog zraka

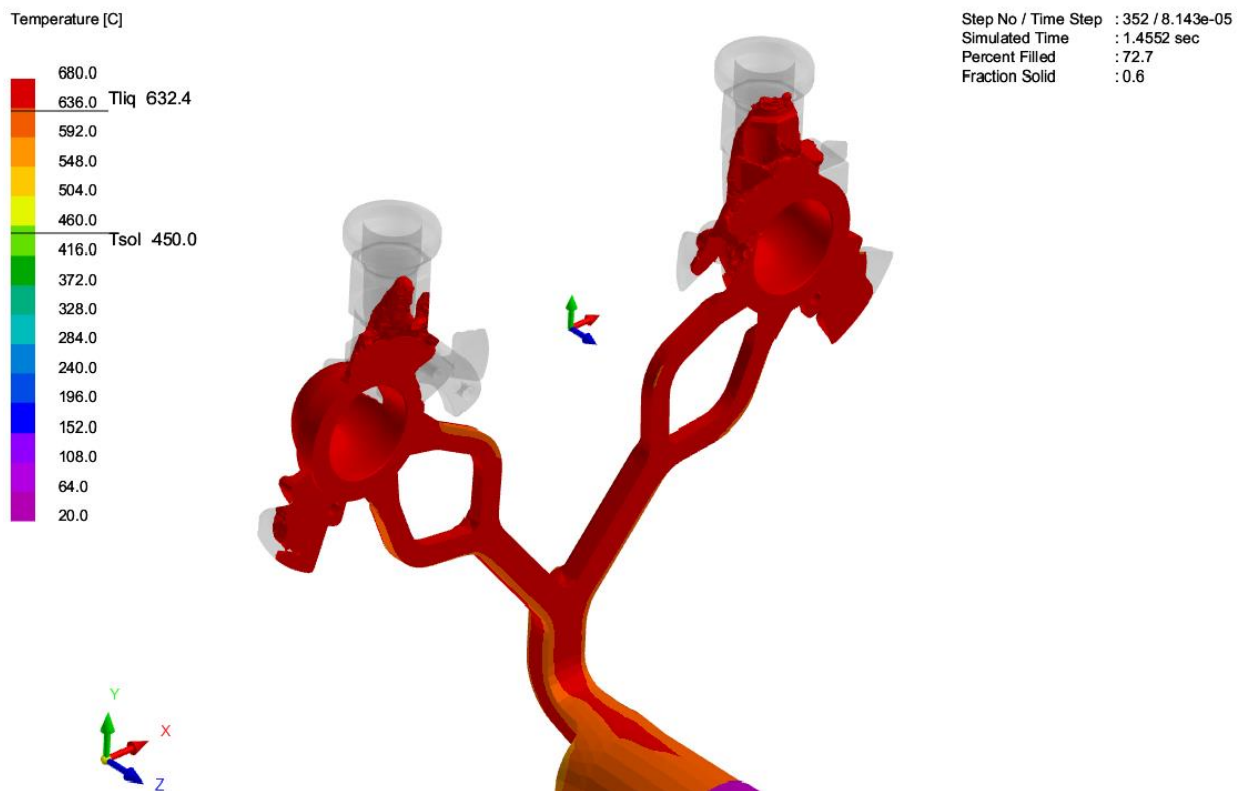
### 9.3 Koncept 3

Na slici 34. prikazano je punjenje koncepta 3.



Slika 34. Punjenje odljevka koncepta 3

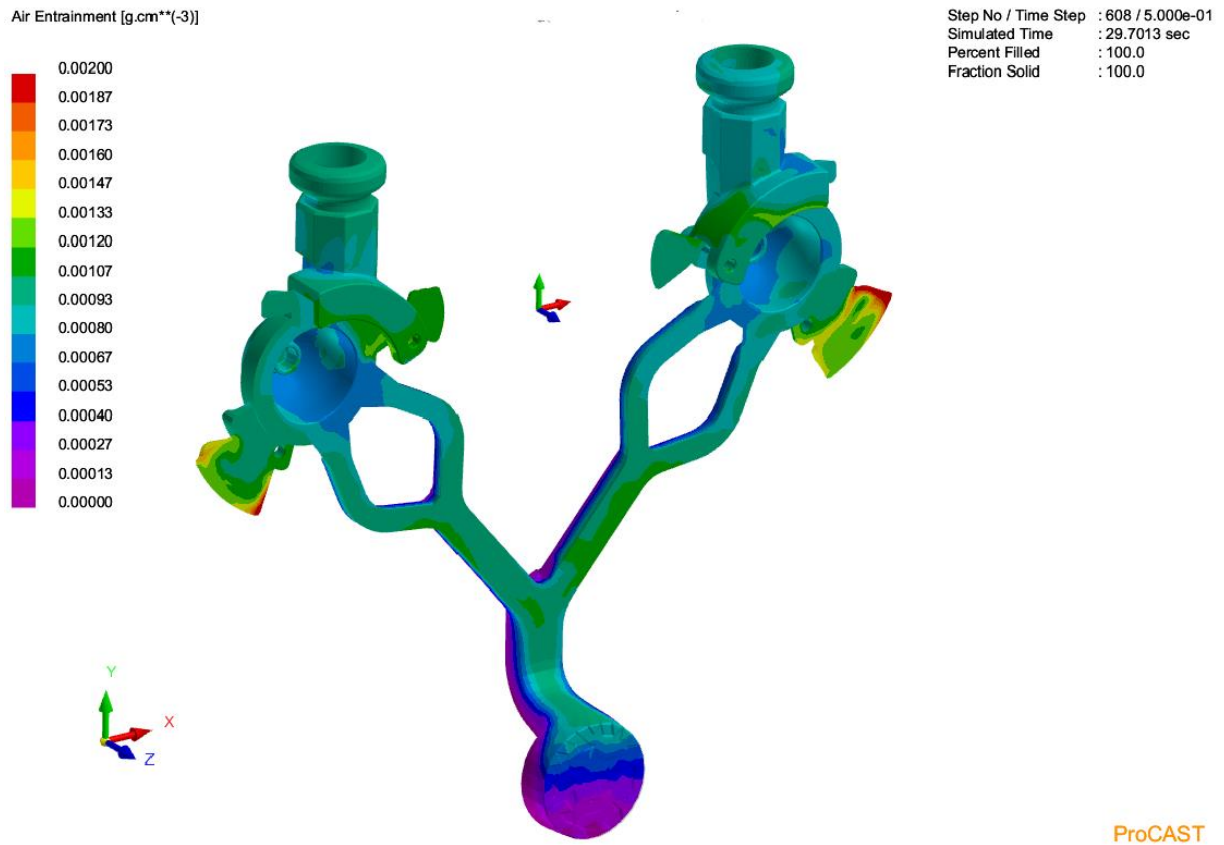
Tijekom punjenja kalupne šupljine ostvareno je postepeno punjenje kalupne šupljine te simetričnost punjenja. Isto tako, pošto su dva dolazna kanala po odljevku, ostvaren je gotovo istovremeni dolazak taljevine do ušća. Odmah po prolasku uljevnog ušća dolazi do spajanja dvaju toka taljevina te je ostvareno postepeno punjenje kalupne šupljine. Na slici 35. prikazano je punjenje odljevka koncepta 3.



Slika 35. Popunjavanje odljevka

### 9.3.1 Količina zarobljenog zraka

Na slici 36. prikazana je količina zarobljenog zraka unutar odljevaka nakon provedene simulacije. Iz slike je vidljivo da je količina zarobljenog zraka relativno simetrično raspoređena unutar oba odljevka te da se na oba odljevka količina zarobljenog zraka nalazi ispod dopuštene granice od  $0,002 \text{ g/cm}^3$ . Na preljevcima je uočeno povećana količina zarobljenog zraka što znači da je ispunjena funkcija preljevaka s ovakvim konceptom uljevne grane i izabranim rasporedom preljevaka.



Slika 36. Količina zarobljenog zraka

## 10. Ocjenjivanje i odabir najboljeg koncepta

Vrednovanje koncepata izvedeno je prema kriterijima popunjavanja odljevka, količine zarobljenog zraka nakon skrućivanja, kompliciranost uljevne grane te jednostavnosti alata za obrez. Svaki kriterij povezan je s težinskim faktorom koji opisuje važnost kriterija u cijelom procesu izrade odljevka. Vrijednosti težinskih faktora izabrane su tako da najveće vrijednosti imaju težinski faktori koji se odnose na kvalitetu dobivenog odljevka. Ocjene kriterija odabrane su između 1-5 pošto za ovaj broj koncepata, takav odabir raspona ocjena predstavlja prihvatljiv raspon kod ocjenjivanja. U tablici [Tablica 1.] prikazano je ocjenjivanje koncepata.

**Tablica 1. Ocjenjivanje generiranih koncepata**

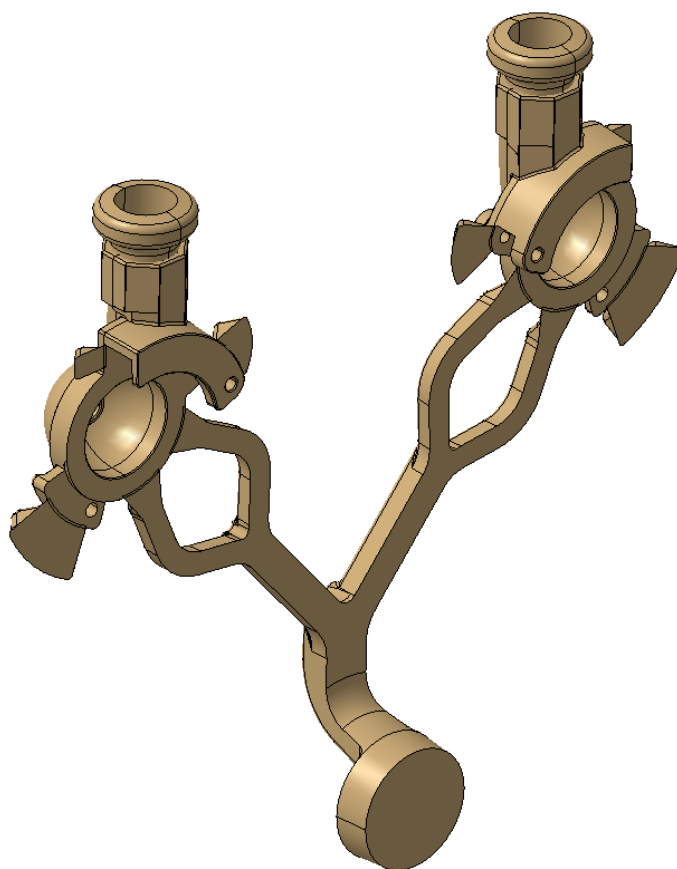
	Težinski faktor	Koncept 1	Koncept 2	Koncept 3
<b>Popunjavanje odljevka</b>	1	3	4	5
<b>Zarobljeni zrak</b>	1	3	3	5
<b>Geometrija uljevne grane</b>	0.8	3	4	5
<b>Jednostavnost alata za obrez</b>	0.9	4	4	4
<b>Suma</b>		12	13,8	17,6

Nakon provedenog ocjenjivanja koncepata vidljivo je da prema ocjenama proizlazi da je koncept 3. najbolji koncept za razradu. Prednost koncepta 3 u odnosu na koncepte 1 i 2 je u tome što daje zadovoljavajuće rezultate punjenja odljevaka, dobru mogućnost naknadne promjene geometrije uljevne grane te jednostavan alat za obrez. Iz navedenih činjenica, koncept 3 izabran je za daljnju razradu te kasniju izradu kalupa za tlačni lijev aluminijski.



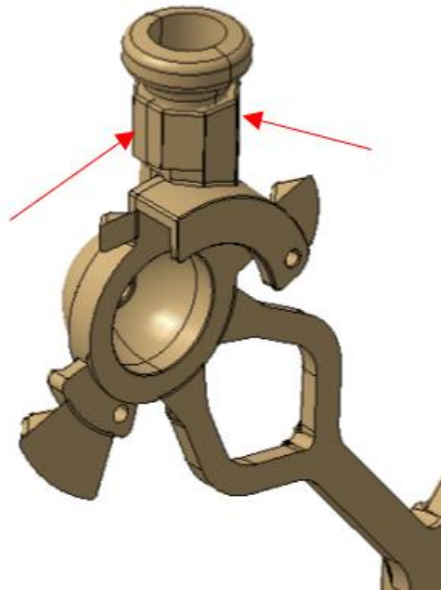
## 11. RAZRADA ODABRANOG KONCEPTA

Nakon ocjenjivanja i odabira najboljeg koncepta potrebno je izvršiti optimizaciju odljevka i uljevne grane. Optimizaciju je potrebno izvršiti prije početka konstruiranja kalupa kako bi se broj iteracija i vraćanja unazad smanjio na minimum. Proučavanjem i analizom odabranog koncepta uočena su moguća mjesta poboljšanja koja su opisana i razrađena u nastavku. Na slici 37. prikazan je najbolje ocjenjen koncept.



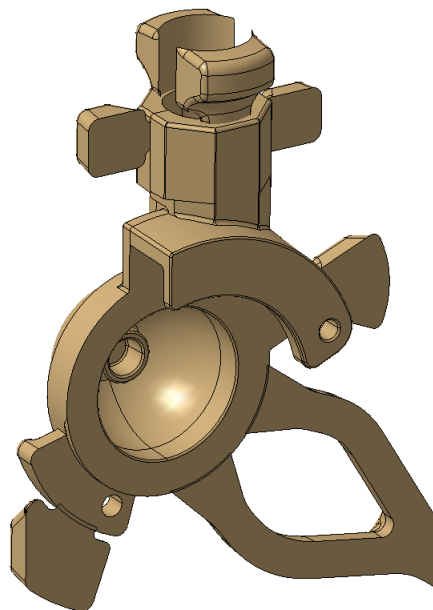
Slika 37. Koncept 3

Iz provedene simulacije u procesu koncipiranja uočeno je da najviše zarobljenog zraka ostaje na vrhu oba odljevka. Kako se na vrhu odljevka nalazi jedan preljevak, postoji mogućnost dodavanja preljevka s bočne strane odljevka. Dodavanjem preljevaka s bočne strane ne dolazi do povećanja složenosti alata za obrez pošto preljevak ima pravokutni oblik ušća koji je povoljan za proces rezanja. Na slici 38. crvenom strelicom prikazan je položaj na odljevku gdje je postavljanjem preljevka moguće poboljšati dobiveni rezultat.



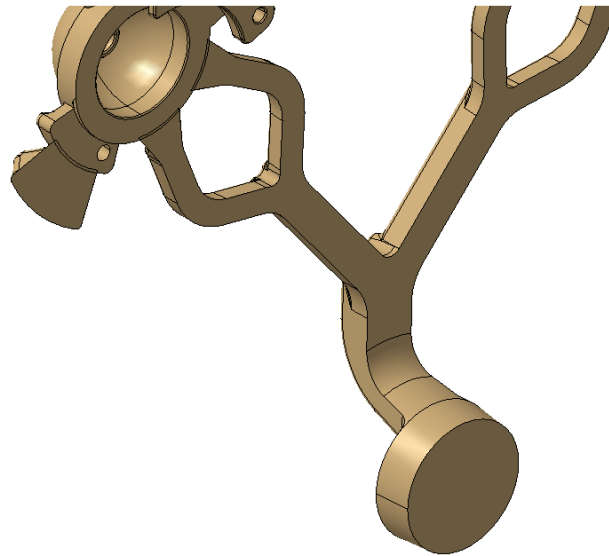
**Slika 38. Povoljno mjesto za dodavanje preljevaka**

S ciljem pojednostavljenja procesa obrezivanja odljevka, kružni preljevci koji se nalaze na vrhu odljevaka nisu pogodni za takav proces. Problem kružnog preljevka je otežano rezanje kružnog presjeka pomoću noža na obreznom alatu. Prilikom takvog rezanja zbog vrlo velikog otpora moguće je otkidanje stijenke odljevka što nije dozvoljeno u takvom procesu. Iz tog razloga potrebno je promijeniti geometriju preljevka. Na slici 40. nalazi se nova geometrija preljevaka s pomaknutim preveljkom s bočne strane i novim preljevcima na vrhu.



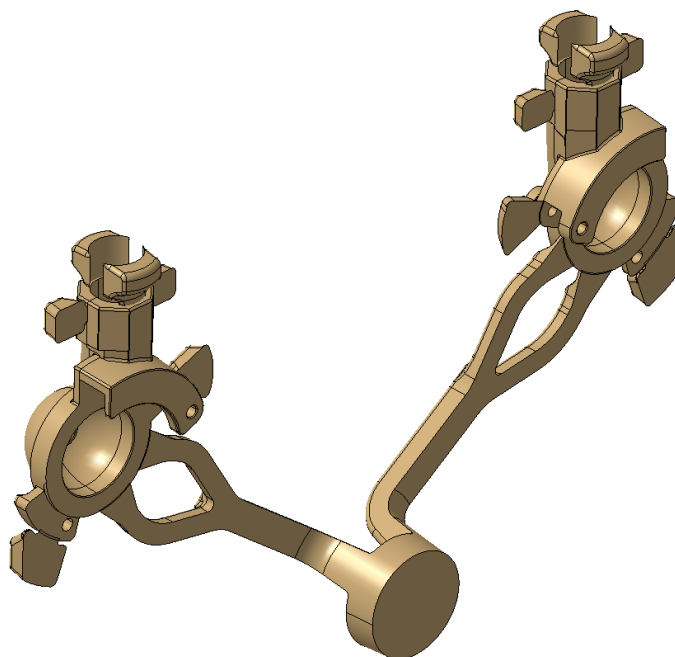
**Slika 39. Novi oblik preljevka na vrhu odljevka**

Daljnijim analiziranjem uljevne grane uočena je mogućnost pomicanja tablete prema središtu odljevka. Na slici 40. prikazan je postojeći oblik tablete .



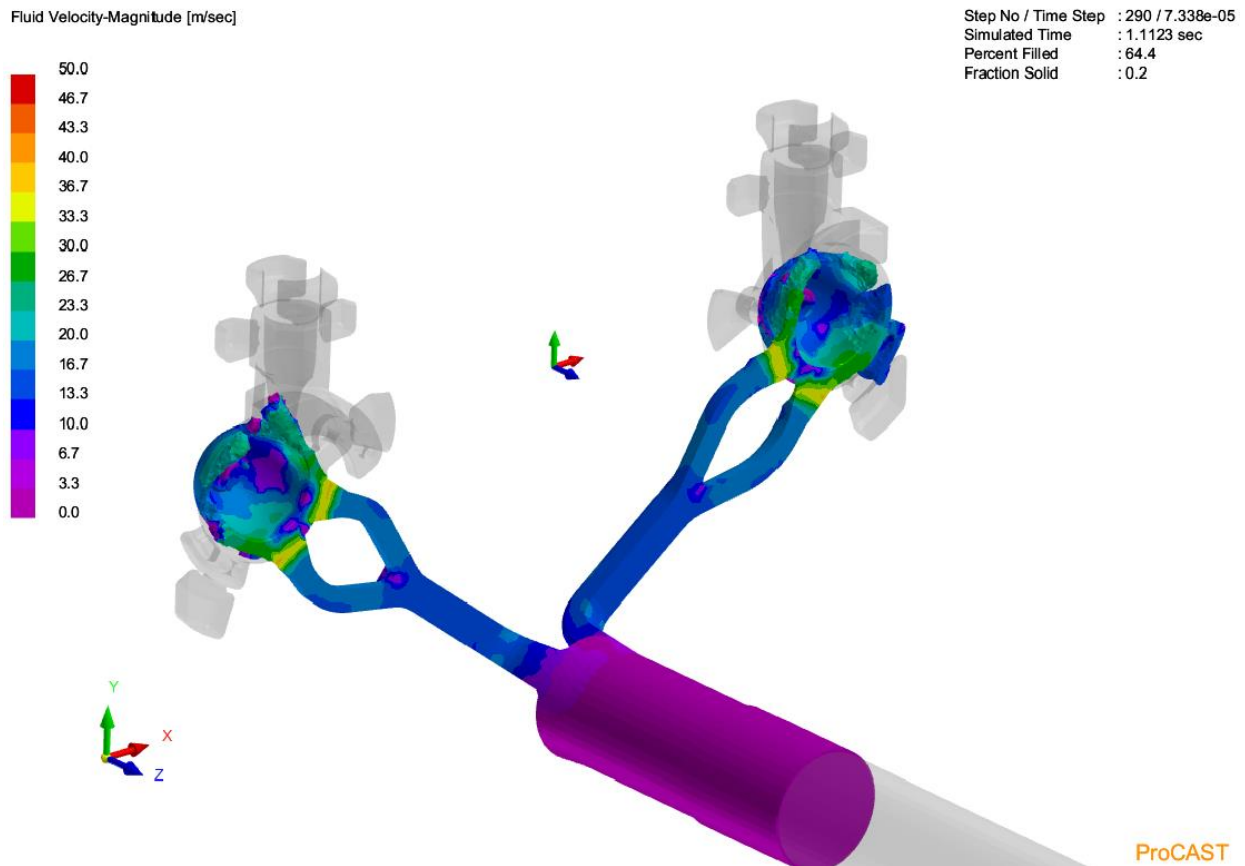
**Slika 40. Postojeći oblik tablete**

Pomicanjem tablete prema središtu moguće je izbaciti prvo zaobljenje uljevne grane na način da se tableta pozicionira da iz tablete direktno idu dva uljevna kanala umjesto dosadašnjeg jednog. Takvim konstrukcijskim zahvatom smanjena je turbulencija taljevine kod mjesta račvanja uljevne grane s jednog na dva kanala. Povezano s prijašnjom tvrdnjom, količina zarobljenog zraka je manja. Na slici 41. prikazana je nova uljevna grana.



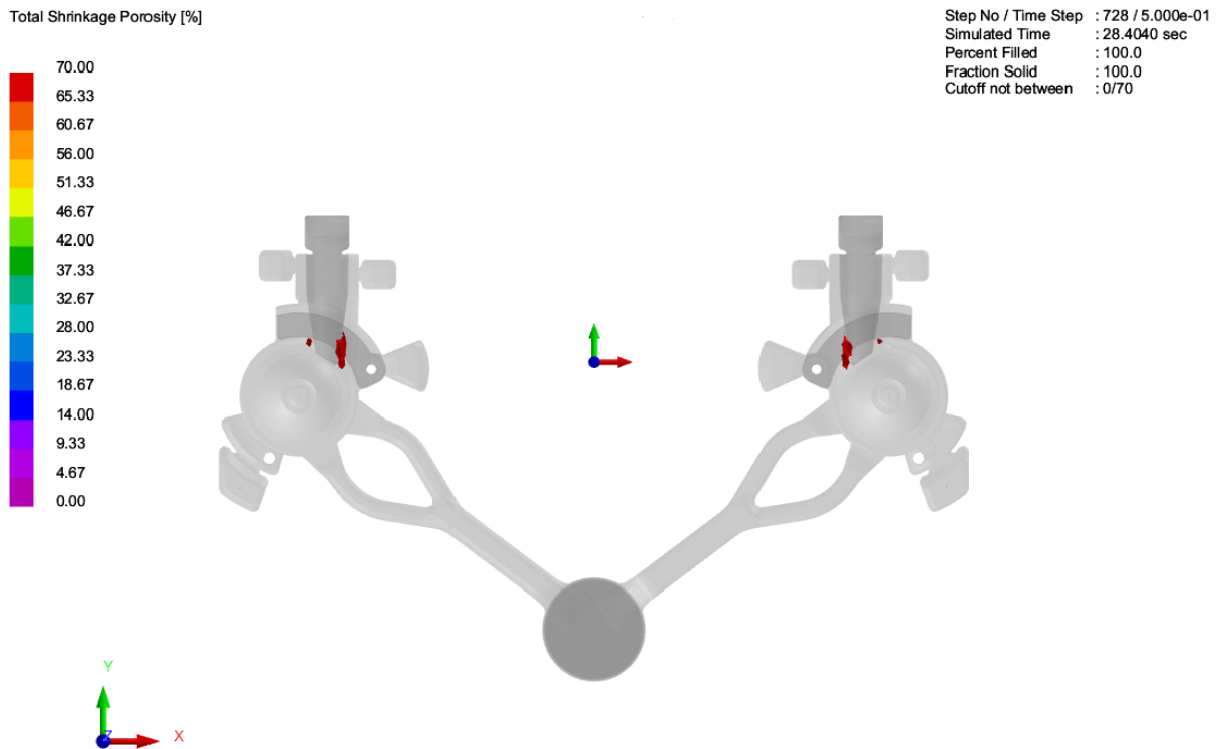
**Slika 41. Novi oblik uljevne grane s tabletom**

Na slici 42. prikazan je raspored brzina tečenja taljevine tijekom punjenja odljevka.



Slika 42. Brzina taljevine na ušću

Iz slike je vidljivo da je prilikom punjenja odljevka ostvarena brzina na ušću od 35 m/s što se poklapa s inicijalno provedenim proračunom kod generiranja koncepata uljevnih grana. Brzinu tečenja taljevine moguće je kontrolirati sve do dolaska taljevine do ušća. Nakon prolaska uljevnog ušća dolazi do zapluskivanja taljevine te kontrola brzine taljevine nije moguća ili je teško izvediva. U svrhu dobivanja odljevka sa što manje poroznosti, napravljena je simulacija koja prikazuje moguća mjesta nastanka poroznosti u odljencima. Poroznost se kod lijevanja pod tlakom javlja na mjestima gdje postoji zadebljanje na odljevku. Na slici 43. prikazano je mjesto na odljencima gdje je moguće očekivati poroznost.



Slika 43. Poroznost na odljevcima

Iz slike je vidljivo da je moguće očekivati poroznost na odljevku te da je poroznost smještena simetrično na odljevcima. Kako navedeni strojarski dio nije predviđen da podnosi mehanička opterećenja, osim tlaka zraka, moguće pojavljivanje poroznosti neće narušiti funkciju strojarskog dijela. S ciljem da se minimizira pojavljivanje poroznosti na odljevku, moguće je izvesti hlađenje formirača koji se nalaze u blizini mjesta pojavljivanja poroznosti. Oblik formirača mora biti takav da je moguće unutar njega dovoditi i istovremeno odvoditi medij zadužen za hlađenje formirača. Odvođenje i dovodjenje rashladnog medija mora biti izvedeno tako da ne dolazi do propuštanja medija prilikom dolaska sa stroja za lijevanje.

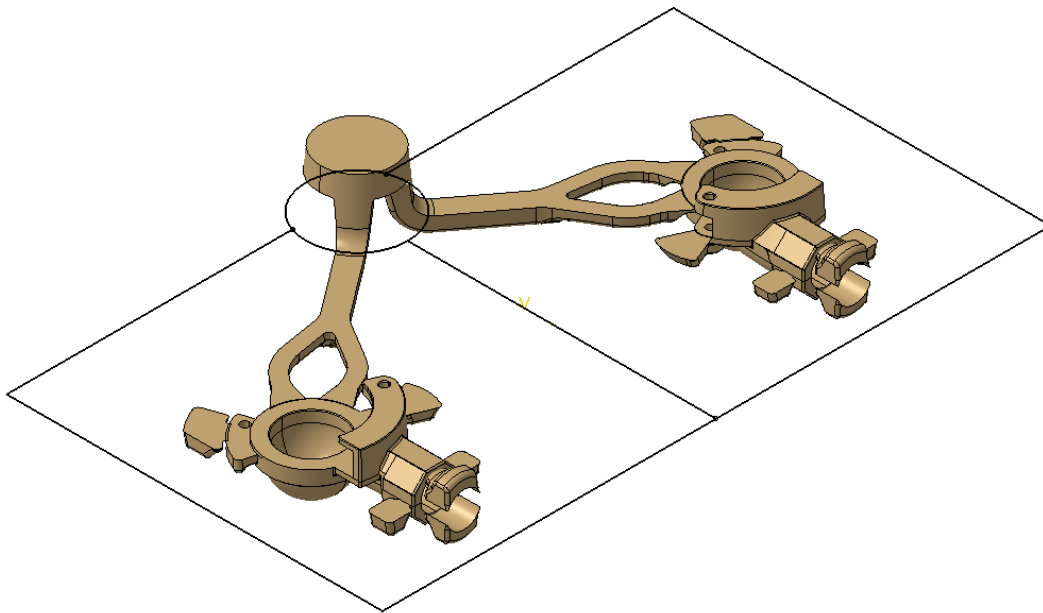
## 12. KONSTRUIRANJE PODJELE KALUPA

### 12.1 Podjela matrica na dijelove

Prije početka konstruiranja gravurnih ploča i klizača alata, potrebno je odrediti broj gravurnih ploča, broj klizača te poziciju i smjer izvlačenja klizača. Isto tako potrebno je odrediti položaj razbijača koji će promijeniti tok taljevine prema kalupnim šupljinama. Navedeni korak je prva faza konstruiranja kalupa za tlačni lijev. Provođenjem navedene faze moguće je izbjeći naknadne izmjene u alatu koje mogu uzrokovati dugotrajne zastoje u procesu konstruiranja alata.

#### 12.1.1 Položaj i broj matrica

Prvi korak kod konstrukcije kalupa za tlačni lijev je određivanje položaja gravurnih ploča te razbijača. Položaj razbijača definiran je položajem tablete uljevne grane. Razbijač mora biti pozicioniran te konstruiran na način da tableta nasjeda na njegov gornji dio te da tokovi uljevne grane koji su zakrivljeni budu utopljeni u razbijač. Sljedeći korak je određivanje položaja i oblika matrica. Gravurne ploče moraju biti oblikovane na način da obuhvaćaju cijelu geometriju odljevka uključujući i oblik razbijača. Iz koliko dijelova se može izraditi gravurna ploča najčešće definira oblik uljevne grane i odljevka. U slučaju da je odljevak s uljevnom granom simetričan, poželjno je matrice izraditi iz dva dijela koji kako bi se olakšalo programiranje CNC strojeva za njihovu izradu te pojednostavila montaža. Iz navedenog slijedi da se dvije simetrične matrice nalaze u pokretnoj strani alata i dvije u nepokretnoj strani alata. Na slici 44. prikazan je početni oblik i položaja razbijača i gravurnih ploča za odabran koncept za koji se konstruiraju gravurne ploče.

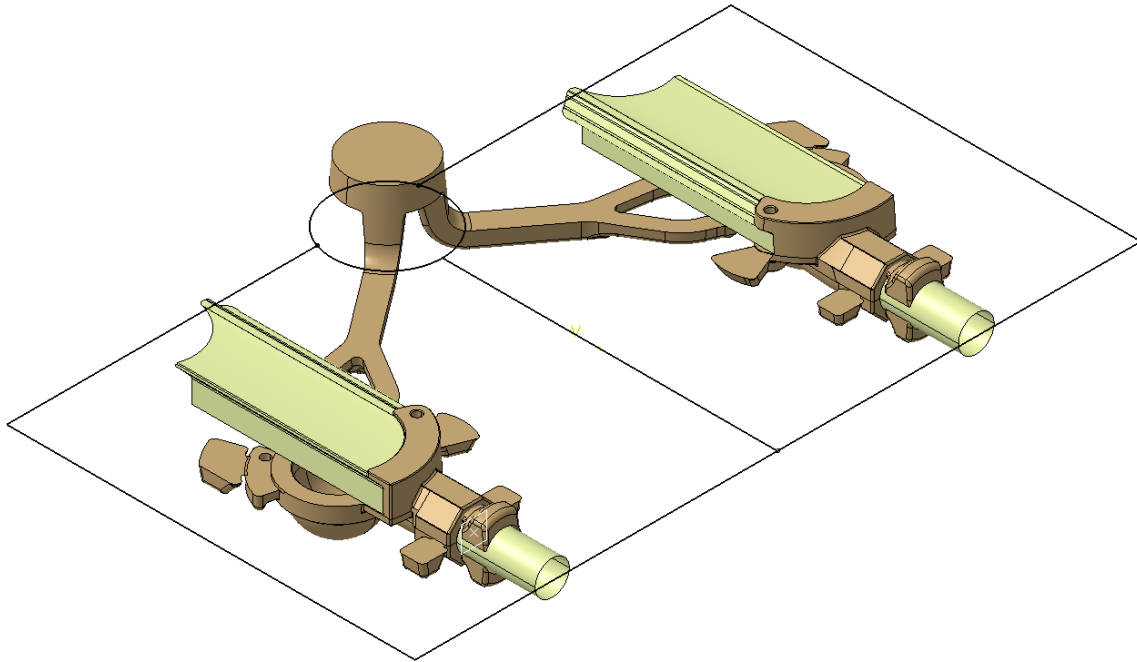


**Slika 44. Položaj matrica i razbijača**

Iz slike je vidljivo da je zbog simetričnosti uljevne grane sa odljercima izabrana konstrukcija gravurnih ploča iz dva dijela po jednoj strani alata za tlačni ljev. Kako linija spajanja gravurnih ploča prolazi kroz prostor gdje nema uljevne grane niti kalupa za odljevak, izbjegnuta su moguća pojavljivanja srha na odljercima.

#### **12.1.2 Položaj i broj kliznih formirača**

Ovisno o geometriji odljevka , moguće je pojavljivanje geometrije čiji kutovi ne prate smjer otvaranja i izbacivanja odljevka iz matrica alata. U tom slučaju potrebno je navedeni dio kalupa napraviti odvojeno od gravurne ploče alata te omogućiti njezino izvlačenje pomoću linearnih aktuatora. Linearni aktuatori se nakon skrućivanja odljevka u alatu izvlače te je omogućeno izbacivanje odljevka pomoću izbacivača. Na slici 45. prikazani su dijelovi geometrije za koje postoji potreba ubacivanja odvojenih formirača na klizačima.



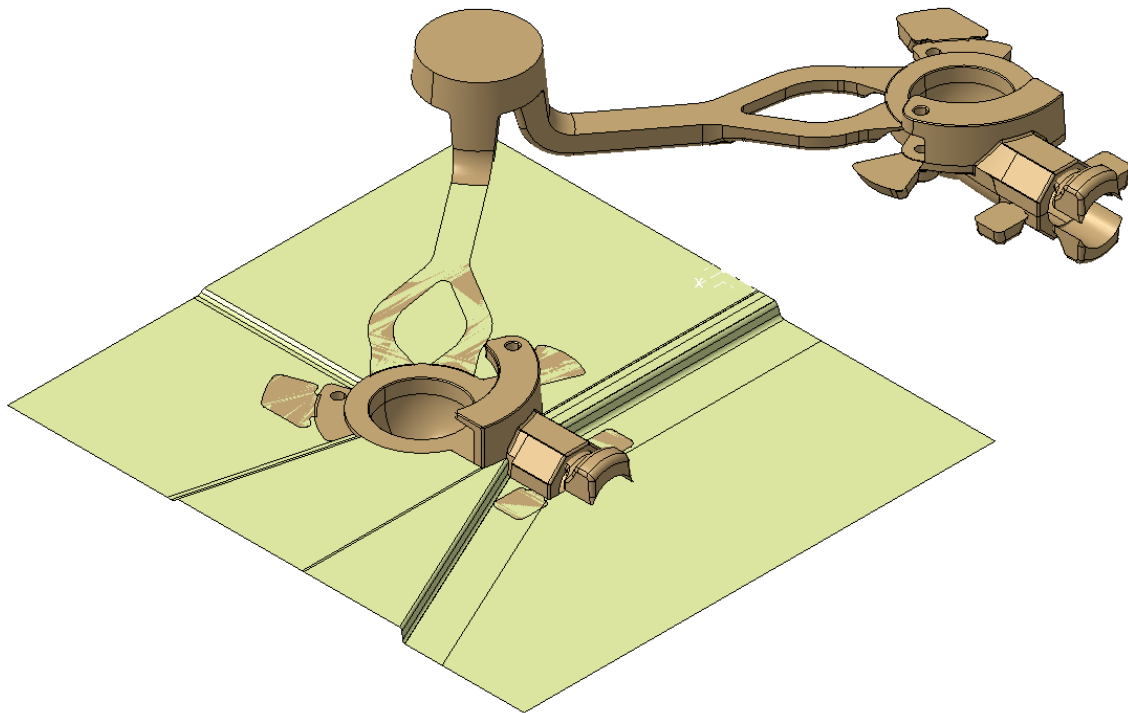
**Slika 45. Položaj formirača na klizačima**

Iz slike 45. vidljivo je da za jedan odljevak postoji potreba za dva odvojena formirača na klizačima. Jedan formirač ima zadatak formiranje šupljine unutar odljevka, a drugi formiranje zuba na odljevku. Oba formirača se moraju izvući iz gravurnih ploča alata kako bi se odljevak mogao izbaciti van gravurnih ploča. Geometrija formirača nalazi se unutar geometrije gravurnih ploča alata te je prilikom konstrukcije gravurnih ploča potrebno predvidjeti njihovo smještanje te izbjegavanje pojavljivanja tankih stijenki.

## 12.2 Podjela IS

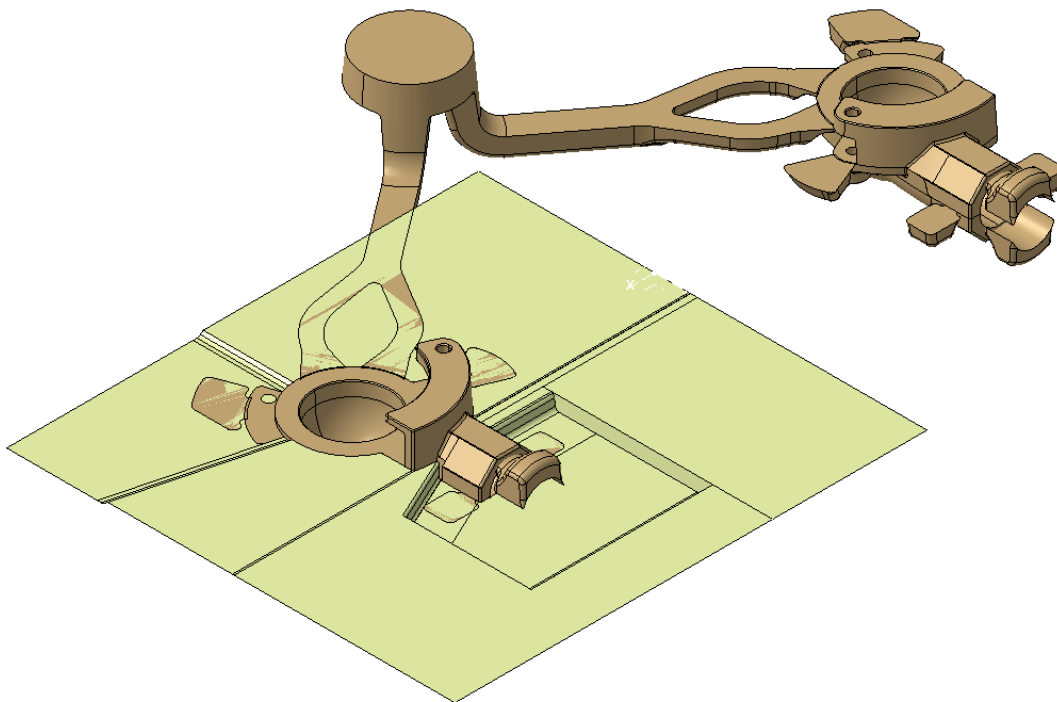
Podjela IS je površina na gravurnoj ploči koja se nalazi na izbacivačkoj strani alata za tlačni ljev. Površina prati liniju dijeljenja kroz odljevak te predstavlja mjesto gdje se spajaju gravurne ploče uljevne i izbacivačke strane. U programskom paketu Catia V5 podjele se modeliraju u modulu „Generative Shape Design“. Nakon što je površina u potpunosti završena te spojena u jednu cjelinu, pomoću naredbe „Split“ ili „Sew Surface“ se izrezuje forma na 3D modelu gravurne ploče. Pošto su odljevci zajedno sa uljevnom granom simetrični, dovoljno je konstruirati podjelu za jedan odljevak te metodom zrcaljenja dobiti simetričnu stranu. Na slici 46. prikazana je početna površina koja prati liniju dijeljenja na odljevku.





**Slika 46. Podjela IS**

Na slici 46. moguće je uočiti podvlačenje jednog od preljevaka ispod podjele IS. S ciljem omogućavanja pravilnog funkcioniranja preljevaka, potrebno je geometriju i položaj preljevaka naknadno prilagoditi geometriji gravurnih ploča alata za tlačni lijev. Podjela IS prikazuje početan oblik površine koja će se iskoristiti za dobivanje gravurne ploče. U početnoj fazi konstruiranja površina, površine koje uključuju podjele klizača nisu uključene u proces dobivanja konačne podjele kako bi se ostvarila bolja preglednost i razumijevanje stvaranja podjela. Naknadnim proučavanjem i analiziranjem površine podjele moguće je primijetiti kako se cjelokupna početna podjela nalazi u tri različite visine. Kako se najbolje nasjedanje gravurnih ploča ostvaruje onda kad postoji samo jedna ravnina po kojoj se spajaju, u postojećoj površini moguće je smanjiti jednu razinu visina matrica. Na slici 47. prikazana je modificirana površina podjele IS.

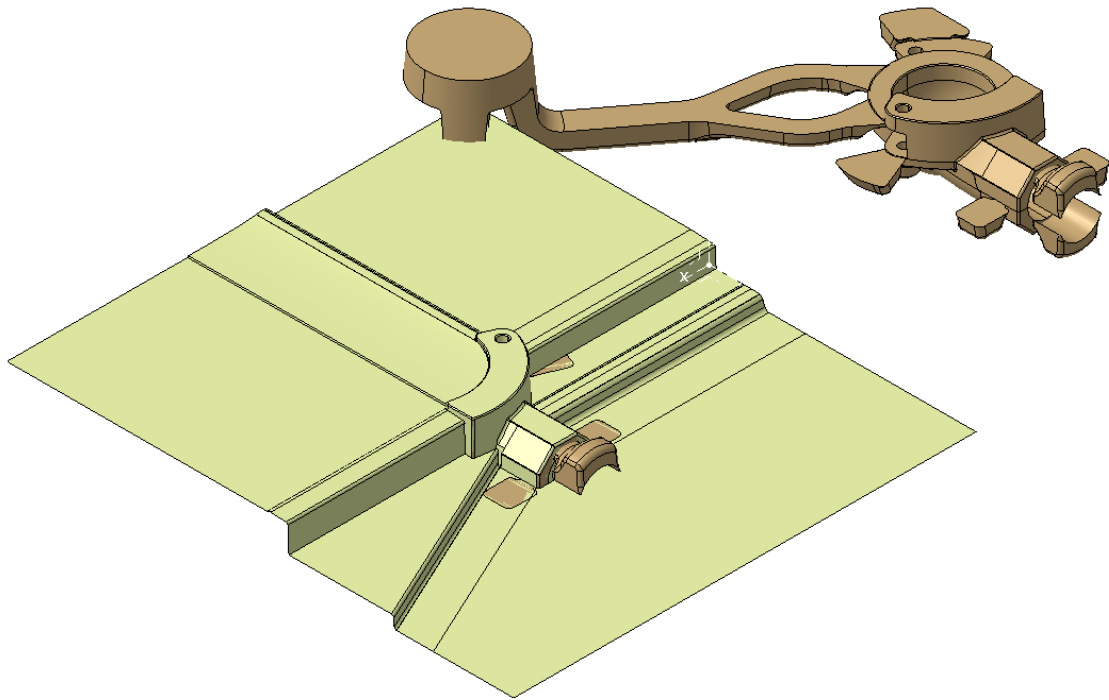


**Slika 47. Modificirana podjela IS**

Modificirana površina IS je površina koja će biti iskorištena za kasnije izrezivanje podjele formirača na klizačima.

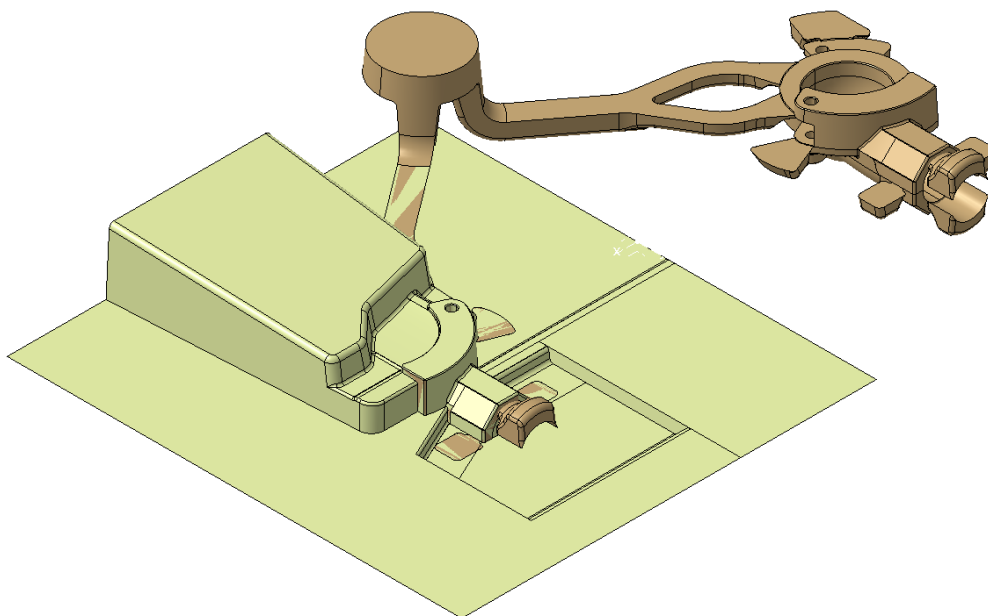
### **12.3 Podjela US**

Podjela US je površina koja ima zadatak stvaranje gravurne ploče na uljevnoj stani alata za tlačni lijev. Površina prati liniju dijeljenja po odljevku te preuzima dio geometrije koji se nalazi na uljevnoj strani alata za tlačni lijev. Isto tako, podjela US sadrži površine formirača koji se nalaze na uljevnoj strani alata. Podjela US i podjela IS se moraju u potpunosti poklapati na mjestima gdje nema formirača. Na slici 48. prikazana je početna površina koja prikazuje podjelu US.



**Slika 48. Podjela US**

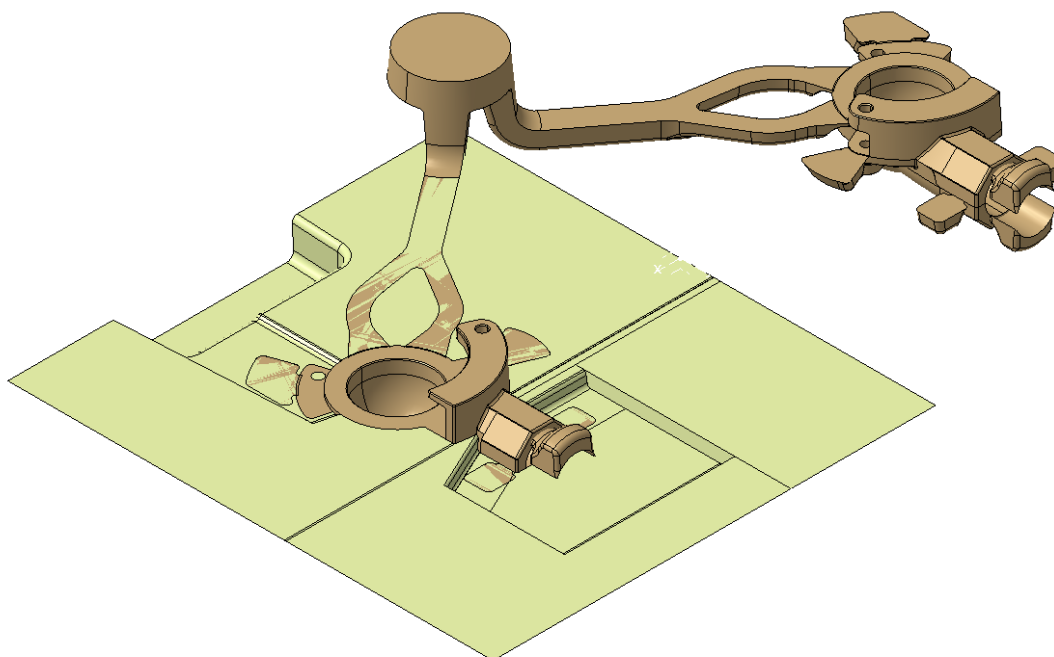
Prikazana površina je početna površina koja prati liniju dijeljena po odljevku bez obuhvaćanja površina podjele formirača na klizacima. Na postojećoj podjeli US potrebno je smanjiti jednu razinu visina na matrici kao i na podjeli IS u svrhu sparivanja matrica uljevne i izbacivačke strane alata. U trenutnoj fazi izrade podjele US, potrebno je konstruirati površinu podjele formirača zaduženog za formiranje zuba na odljevku pošto je potrebno prilagoditi formirač geometriji podjele na uljevnoj strani alata. Na slici 49. prikazana je podjela US koja sadrži dio površine formirača na uljevnoj strani alata te potrebnu modifikaciju za nalijeganje s gravurnom pločom na izbacivačkoj strani alata.



**Slika 49. Modificirana podjela US**

#### 12.4 Dorada podjele IS

Nakon konstruiranja podjele US te smještanja površine koja opisuje površinu podjele formirača, moguće je ubacivanje površine formirača na podjelu IS. Na slici 50. prikazana je modificirana podjela IS.

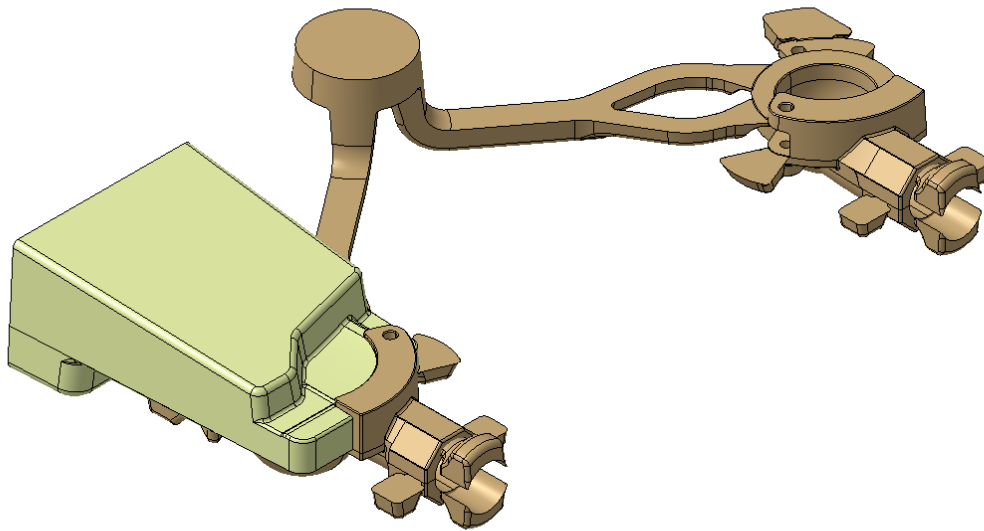


**Slika 50. Modificirana podjela IS**

Nakon ubacivanja površine formirača u podjelu IS , površina nalijeganja je poravnata po cijeloj plohi površine. Nalijeganje ima diskontinuitete na mjestima formirača koje nije moguće izbjeći.

### 12.5 Podjela K1

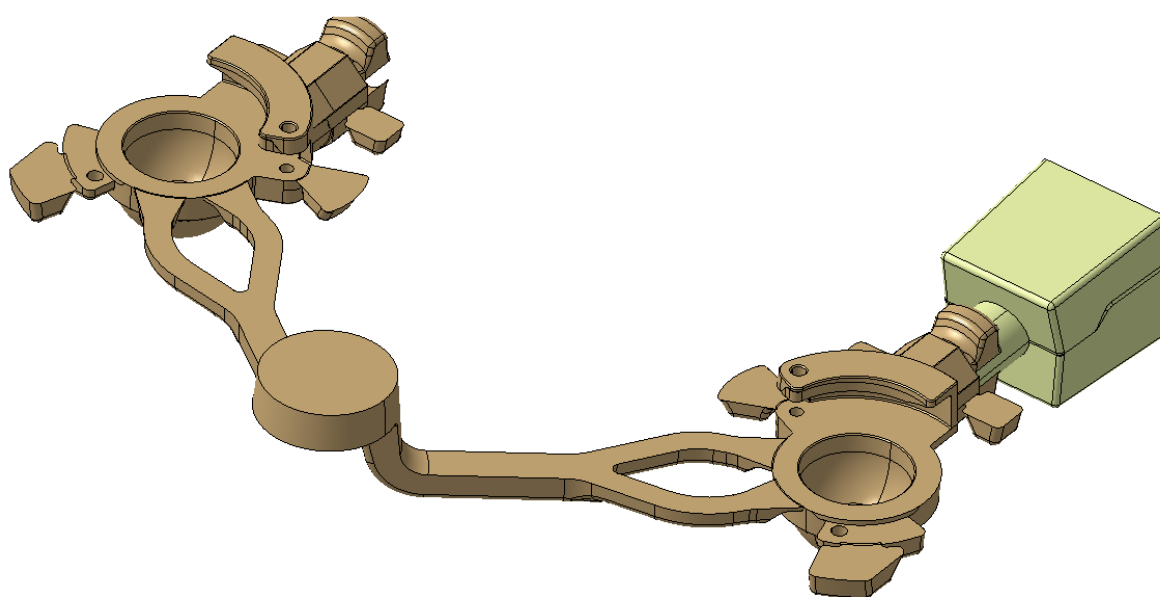
Nakon konstruiranja površine podjele uljevne i izbacivčke strane , potrebno je konstruirati formirač za stvaranje zuba na odljevku. Pošto površine podjele IS i US sadrže površine koje su dio formirača , potrebno ih je preuzeti te prilagoditi obliku formirača. Isto tako potrebno je preuzeti dio geometrije odljevka kojega formira navedeni formirač. Na slici 51. prikazan je formirač K1 u poziciji za stvaranje forme odljevka.



Slika 51. Formirač K1

## 12.6 Podjela K2

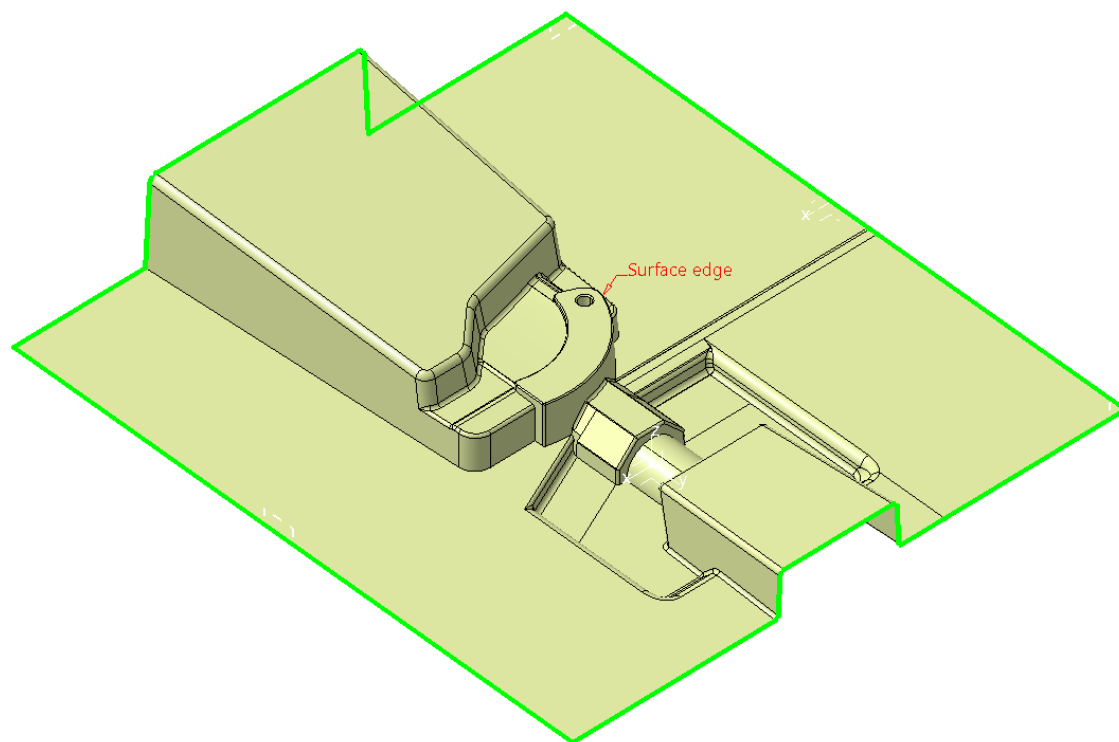
Podjela i oblik formirača K2 konstruirana se preuzimanjem površine podjele s podjele IS i podjele US. Oblik formirača K2 mora biti takav da se omogući pravilno izvlačenje prilikom svakog ciklusa lijevanja. Formirač K2 zbog svoje konstrukcije može biti izrađen iz dva dijela, trna koji ima funkciju stvaranja unutarnje geometrije u odljevku, te klizača koji ima funkciju prihvaćanja trna te spajanje na hidraulički cilindar za izvlačenje preko spojke. Takav oblik formirača je pogodan iz razloga što postoje gotovi trnovi koji se mogu kupiti te se njihova forma dobiva glodanjem glave kupovne komponente. Na slici 52. prikazana je površina formirača K2.



Slika 52. Podjela i oblik formirača K2

### 13. KONSTRUIRANJE KALUPA ZA TLAČNI LIJEV

Konstruiranje kalupa slijedi nakon konstruiranja podjela pomoću površina. Kako bi bilo moguće konstruirati 3D model kalupa, potrebno je konstruirati podjelu kao jednu cjelinu. Ispitivanje tog uvjeta moguće je provjeriti s funkcijom „Boundary Definition“ u programskom paketu CATIA V5. Na slici 53. prikazano je ispitivanje cjelovitosti površine.



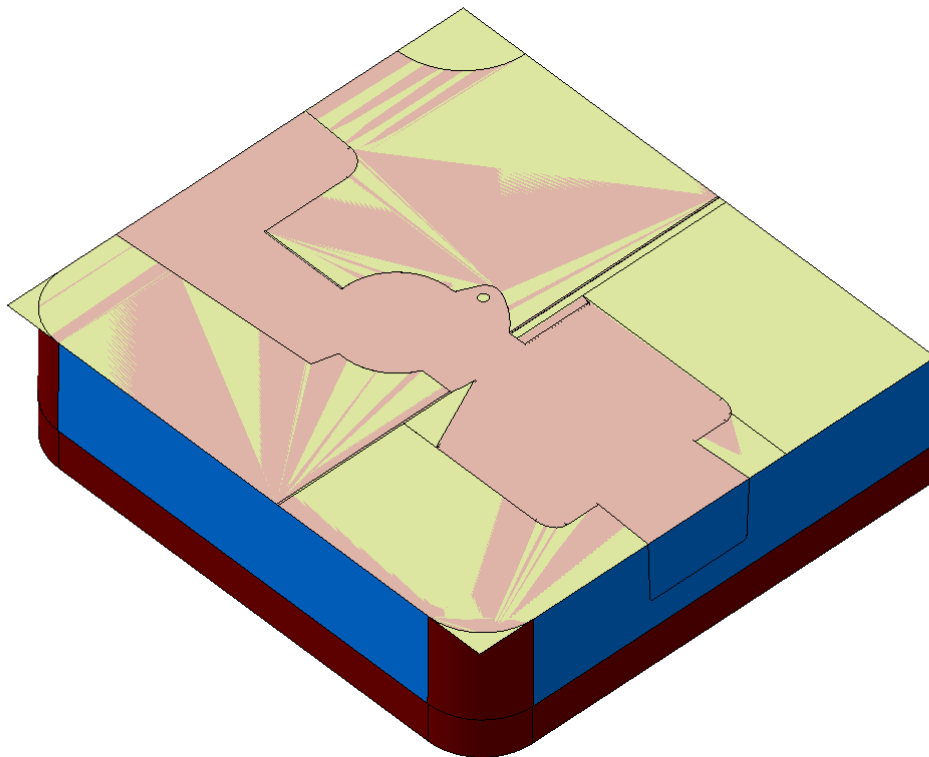
**Slika 53. Ispitivanje cjelovitosti površine**

Zeleni rubovi na krajevima površine označuju mjesto gdje površina završava ili je prekinuta. Na prikazanom primjeru vidljivo je da je površina neprekinuta unutar rubova označenih zelenom bojom te je kao takva podobna za daljnje konstruiranje kalupa. Preslikavanje površine na 3D model gravurne ploče alata moguće je izvesti pomoću funkcija „Split“ ili „Sew Surface“. Koja se od navedenih funkcija koristi uvelike ovisi o obliku površine. U slučaju da je površina takvog oblika da nakon pozicioniranja na 3D model, ne ostaju šupljine ispod površine, moguće je koristiti funkciju „Split“. Funkcija „Sew Surface“ se koristi u slučaju kad nakon pozicioniranja površine na 3D model, ispod površine ima šupljina, u tom slučaju funkcija „Sew Surface“ popunjava šupljine bez promjene geometrije kalupa. Sljedeći korak je pozicioniranje uljevne grane zajedno s preljevnicima te provjera ispravnosti pozicioniranja uljevne grane

koaksijalno u odnosu na razbijač. Nakon pozicioniranja uljevne grane u kalup potrebno je zadovoljiti nekoliko uvjeta. Prvi uvjet koji je potrebno zadovoljiti je ostvarivanje koncentričnosti razbijača i tablete uljevne grane. Drugi uvjet je provjera nepostojanja tankih stijenki na kalupima te ostvarivanje dovoljne debljine kalupa. Minimalna potrebna debljina kalupa na najtanjim dijelovima se određuje iskustveno te iznosi 50 mm.

### 13.1 Konstruiranje 3D modela gravurnih ploča US/IS

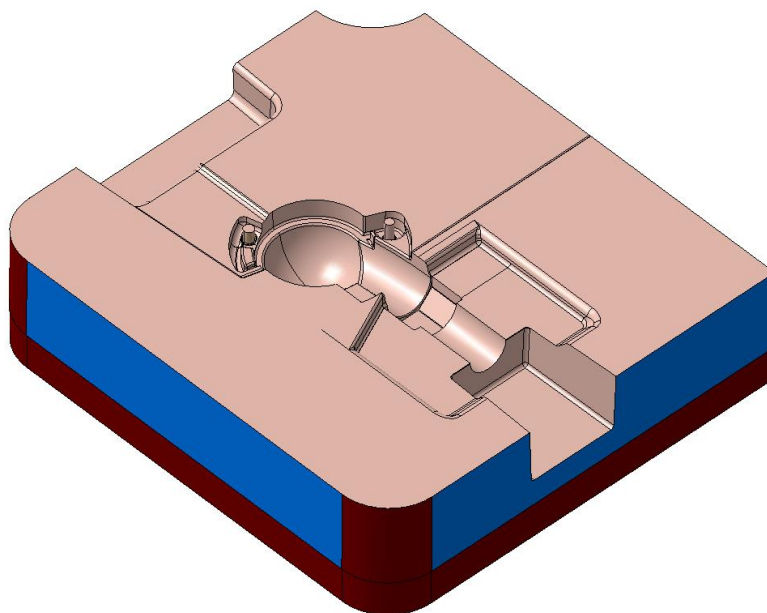
Na slici 54. prikazana je pozicionirana površina spremna za izrezivanje gravurne ploče alata za tlačni lijev.



**Slika 54. Pozicionirana površina na matrici alata**

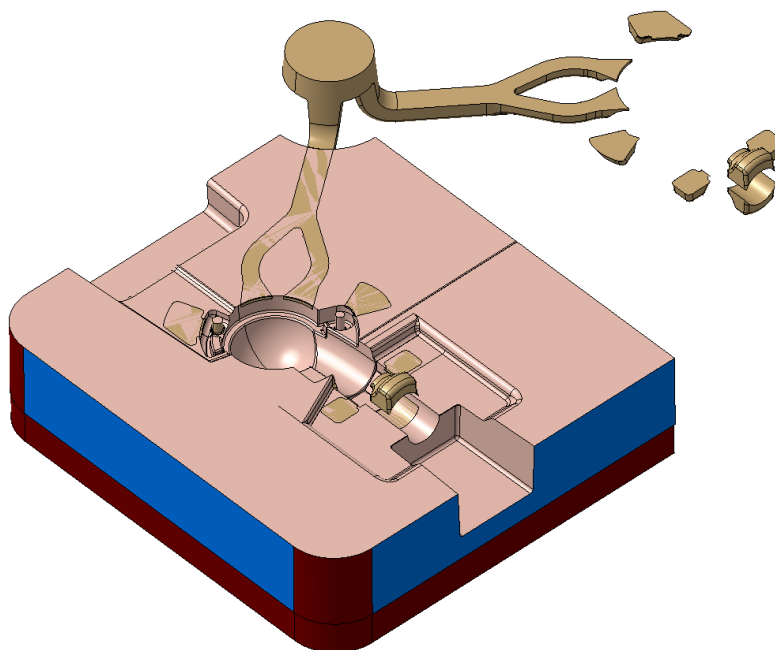
Nakon pozicioniranja površine moguće je izvršiti izrezivanje gravurne ploče. Sljedeća slika 55. prikazuje izrezanu gravurnu ploču pomoću pozicionirane površine.





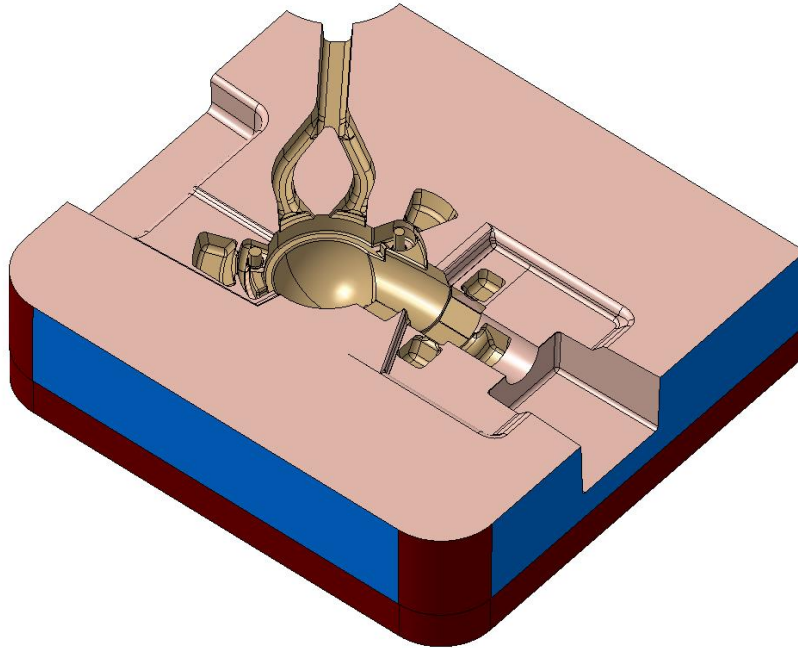
**Slika 55. Izrezana matrica prema pozicioniranoj površini**

Nakon izrezivanja kalupne šupljine u gravurnoj ploči potrebno je pozicionirati uljevnu granu i preljevke te ukloniti materijal s gravurne ploče koji je u koliziji s njezinom geometrijom. Pošto je uljevna grana zajedno s preljevcima konstruirana u Part Designu, te kao takva predstavlja „Body“ strukturu, potrebno je koristiti funkciju „Remove“ u programskom paketu CATIA V5. Na slici 56. prikazana je matrica s pozicioniranom uljevnom granom i preljevcima.



**Slika 56. Matrica s pozicioniranom uljevnom granom i preljevcima**

Slika 57. prikazuje gravurnu ploču na kojoj se nalazi izrezani kanal uljevne grane te preljevci.

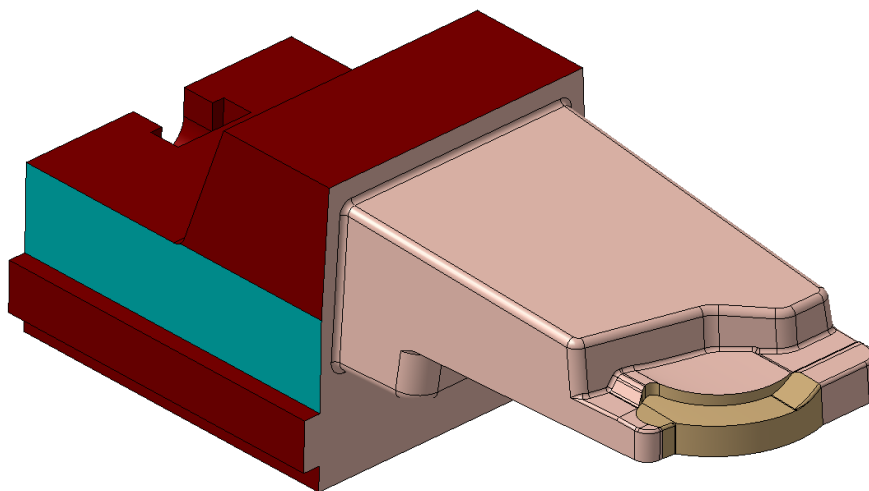


**Slika 57. Izrezana uljevna grana s preljevcima na gravurnoj ploči IS**

Prikazani postupak dobivanja gravurne ploče u potpunosti je jednak za sve gravurne ploče neovisno o njihovom broju. Prednost dobivanja kalupne šupljine gravurne ploče pomoću površina je mogućnost naknadne promjene geometrije gravurne ploče u slučaju da postoji takva potreba.

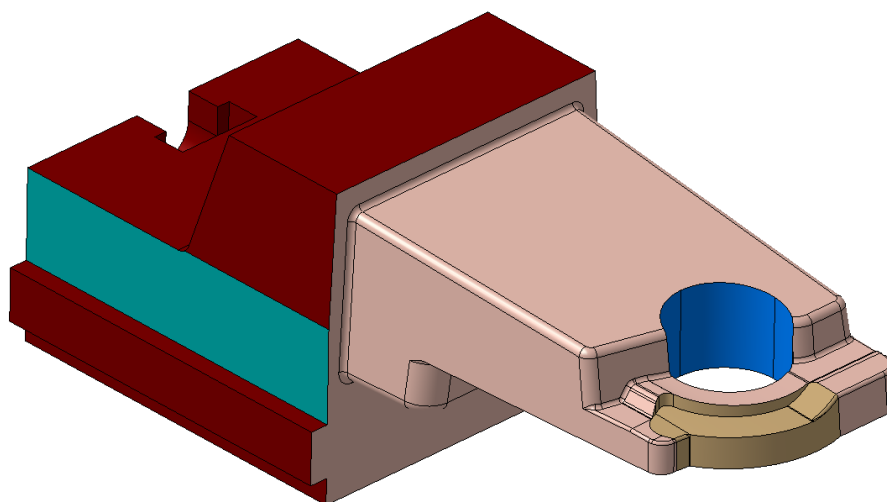
### **13.2 Konstruiranje 3D modela formirača za izradu zuba na odljevku**

Konstruiranje klizača sastoji se od dva koraka. Prvi korak je dobivanje 3D modela kalupne šupljine konstruirane pomoću površine. Navedeni korak omogućuje preslikavanje konstruirane površine formirača na 3D model. Isto kao i kod konstruiranja gravurnih ploča, potrebno je ostvariti cjelovitost površine po cijelom dijelu unutar vanjskih granica. Sljedeći korak je oblikovanje dijela formirača koji je u dodiru s vodilicom te koji omogućuje spajanje na linearni aktuator. Koji se tip linearnog aktuatora koristi, najčešće ovisi o obliku alata, obliku stroja za lijevanje te o zahtjevima lijevaonice. Na slici 58. prikazan je formirač na kojemu je odrezana kalupna šupljina te je oblikovan dio za spajanje na linearni aktuator.



**Slika 58. Klizač s dijelom kalupne šupljine i prihvatnim dijelom**

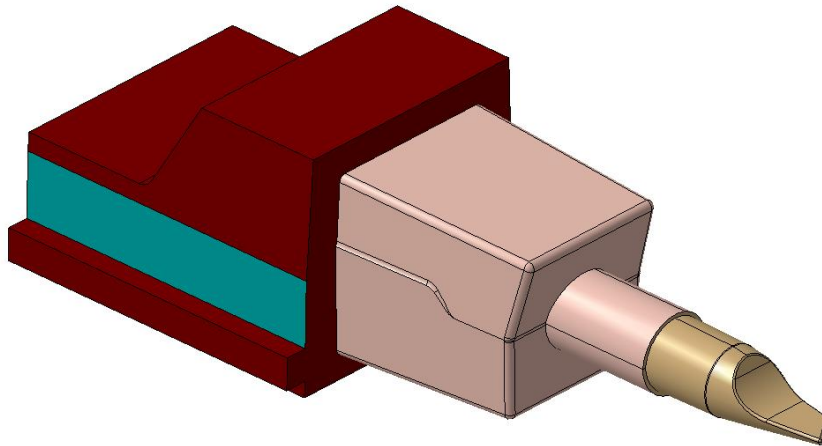
Kako geometrija odljevka zahtjeva smještanje dijela gravurne ploče na nepokretnoj strani alata unutar navedenog formirača, potrebno je ukloniti materijal s formirača koji je u koliziji s gravurnom pločom nepokretne strane alata. Navedeni provrt kroz formirač potrebno je izrezati s blagim skošenjem kako bi se kod spajanja polovica alata izbjeglo zapinjanje i zaribavanje gravurne ploče o klizač. Na slici 59. prikazan je klizač s uklonjenim materijalom.



**Slika 59. Klizač s uklonjenim materijalom**

### 13.3 Konstruiranje formirača za formiranje provrta unutar odljevka

Konstruiranje navedenog formirača zahtijeva provođenje istih koraka kao i kod prethodnog klizača. Potrebno je izrezati 3D oblik formirača pomoću konstruirane površine te konstruirati dio koji ima funkciju vođenja formirača te spajanja ta linearni aktuator. Na slici 60. prikazan je formirač nakon provedenih koraka.



Slika 60. Formirač za izradu provrta kroz odljevak

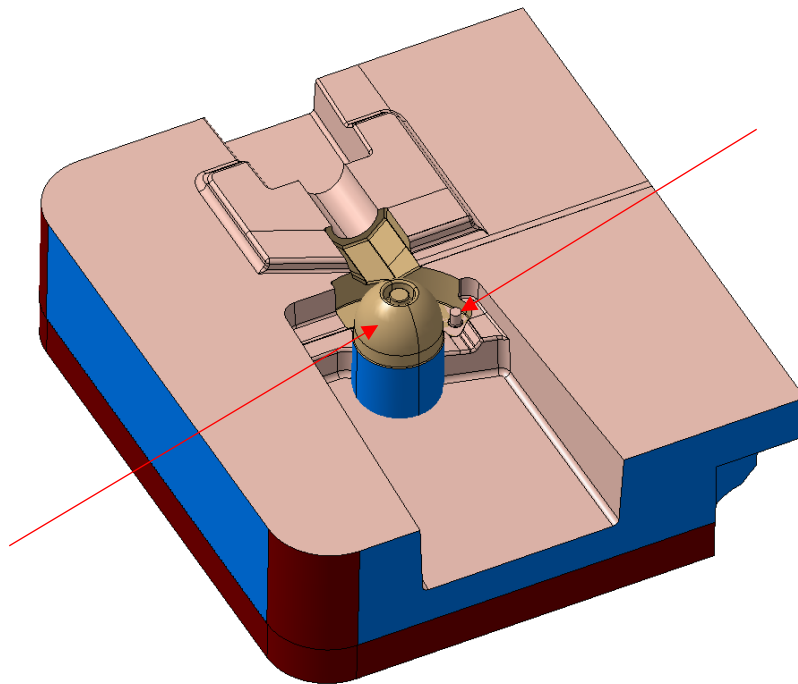
Navedeni formirač na svojoj geometriji sadrži ljevački kut na dijelu koji ulazi u gravurne ploče alata. Navedeno skošenje ima funkciju odljepljivanja forme klizača od odljevka. Otvaranjem alata dolazi do pritiskanja gravurne ploče na kosinu klizača te pomicanja klizača u smjeru izvlačenja klizača. Primjenjujući takvu geometriju gravurne ploče i klizača ostvaren je linearni pomak klizača za čiji se iznos smanjuje hod cilindra koji ima zadatak do kraja izvući formirač iz odljevka. Pošto dolazi do početnog pomaka klizača iz odljevka, sila koju treba ostvariti cilindar manja je nego da se pomoću cilindra od početka izvlači klizač iz odljevka.

## 14. OPTIMIZACIJA KALUPA ZA TLAČNI LIJEV

Ovisno o geometriji odljevka koju je potrebno preslikati na kalupnu šupljinu alata za tlačni lijev, moguće je izvršiti optimizaciju kalupne šupljine alata. Optimizacija se provodi s ciljem pojednostavljena i ubrzanja izrade gravurnih ploča alata te izbjegavanjem popravka cijele gravurne ploče ili formirača u slučaju neispravnosti jednog dijela koji se nalazi na tom dijelu. Kod postojanja provrta na odljencima, moguće je trnove za njihovo formiranje izraditi kao odvojene dijelove gravurne ploče te na taj način pojednostaviti izradu gravurnih ploča. Pošto su provrti u odljencima najčešće u određenim tolerancijama, tehnologija brušenja trnova omogućuje postizanje zahtijevanih tolerancija provrta nakon procesa lijevanja.

### 14.1 Optimizacija gravurne ploče US

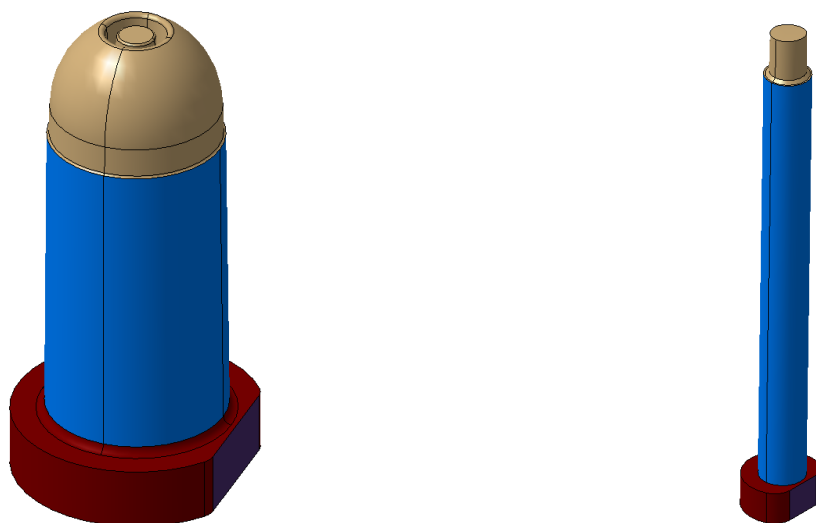
Na slici 61. je prikazana gravurna ploča US. Crvenom strelicom označen su dijelovi koji se mogu izraditi kao zasebni dijelovi.



**Slika 61. Matrica nepokretne strane alata**

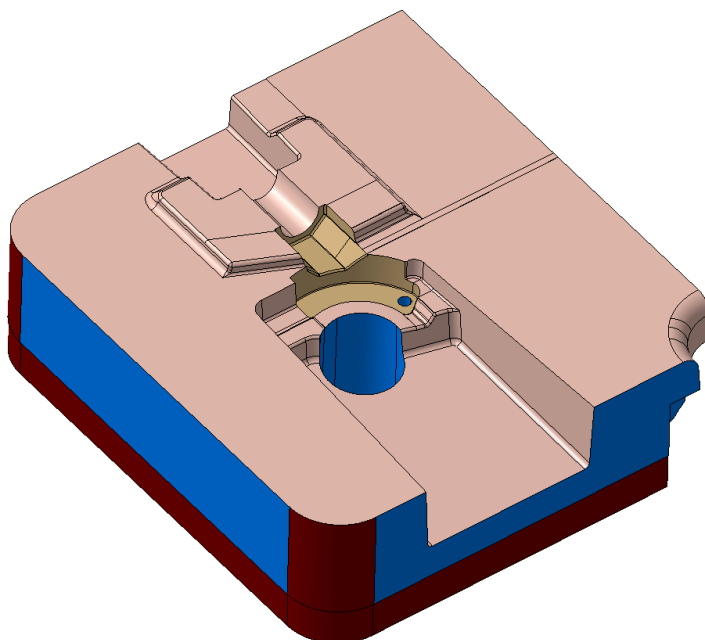
Izradom gravurne ploče iz jednog dijela javlja se potreba za izradom kalupne šupljine pomoću dugotrajnog glodanja. Takva tehnologija bitno poskupljuje izradu gravurne ploče te je potrebno dulje vrijeme za njezinu izradu. Navedeni zahvat omogućuje izradu označenih dijelova kao

zasebnih koji se umeću u naknadno izrađene provrte u gravurnoj ploči. Na slici 62. prikazani su formirači kao samostalni dijelovi.



**Slika 62. Forme gravurne ploče izrađene kao zasebni dijelovi**

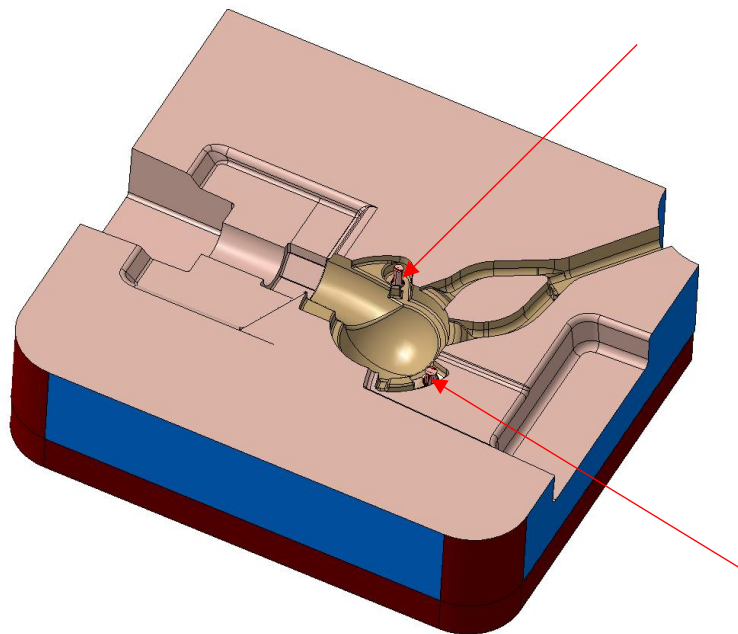
Prikazani formirači mogu se izraditi tehnologijom tokarenja i brušenja na zadane tolerancije. Na taj način postaju lakše zamjenjivi dijelovi te je kompletna izrada gravurne ploče razlomljena i omogućena je brža izrada. Na slici 63. prikazana je gravurna ploča s provrtima za formirače.



**Slika 63. Doradena matrica nepokretne strane alata**

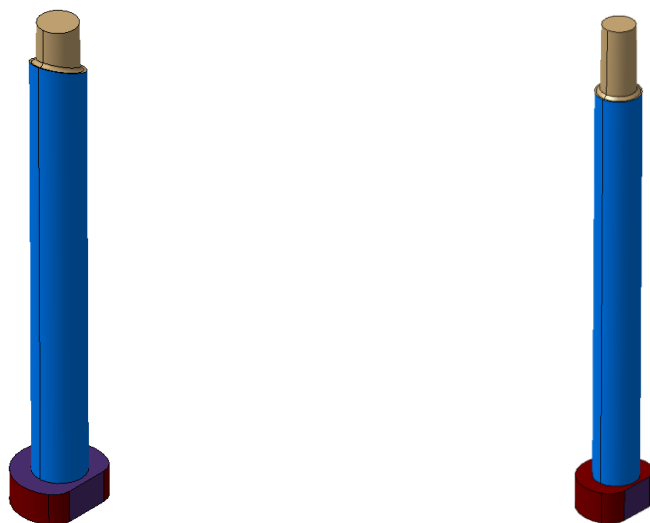
## 14.2 Optimizacija gravurne ploče IS

Na slici 64. prikazana je gravurna ploča IS s označenim dijelovima koji se mogu izraditi kao zasebni dijelovi.



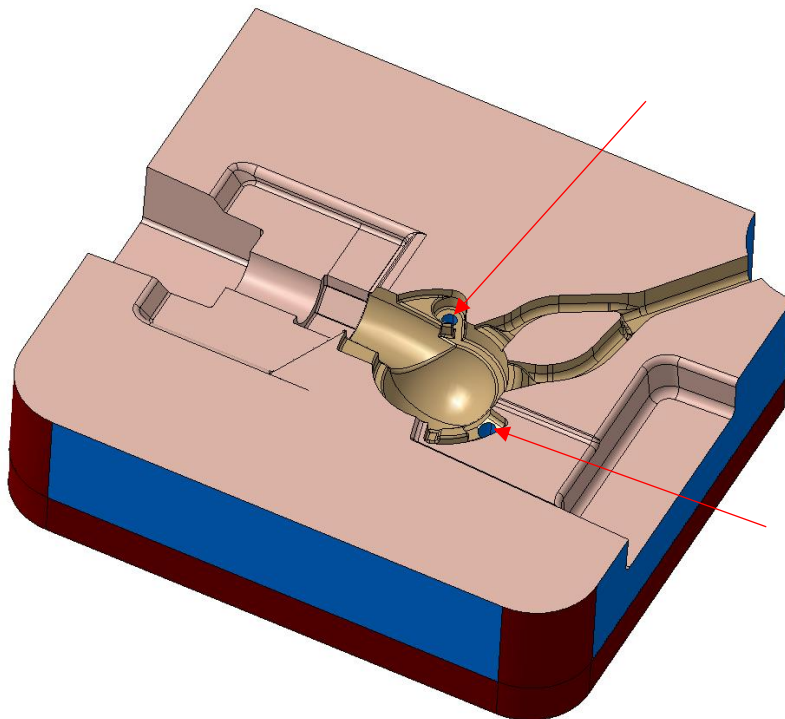
**Slika 64. Označeni dijelovi matrice za doradu**

Formirači označeni crvenom strelicom otežavaju izradu geometrije gravurne ploče u njihovoj okolini pošto je potrebno koristit glodalo malih dimenzija što poskupljuje i usporava proizvodnju. Navedeni formirači mogu se izraditi brušenjem i glodanjem iz standardnih kupovnih komponenti predviđenih za takvu upotrebu. Na slici 65. prikazani su formirači izrađeni brušenjem i glodanjem kupovnih komponenti.



**Slika 65. Formirači gravurne ploče IS**

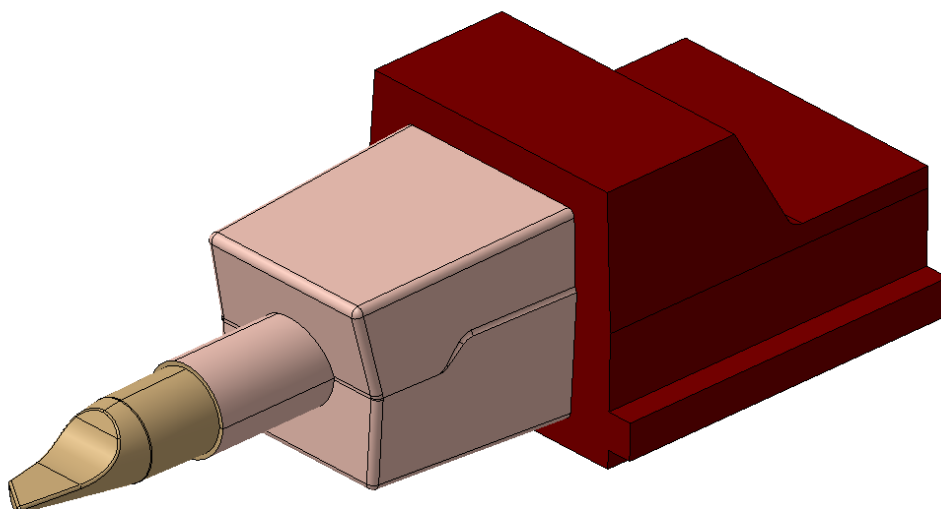
Pošto su formirači izrađeni kao odvojene komponente, na gravurnoj ploči je potrebno izraditi provrte za njihovu ugradnju. Na slici 66. prikazana je gravurna ploča s izrađenim provrtima za njihovu ugradnju. Provrti su označeni crvenom strelicom.



Slika 66. Doradena matrica IS

### 14.3 Optimizacija klizača K2

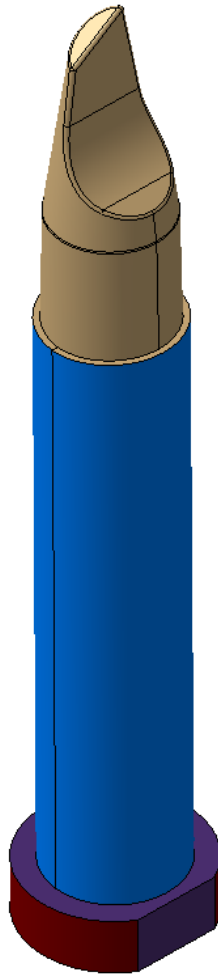
Na slici 67. prikazan je klizač K2 na kojemu je moguće izvršiti optimizaciju izrade.



Slika 67. Klizač podoban za optimizaciju

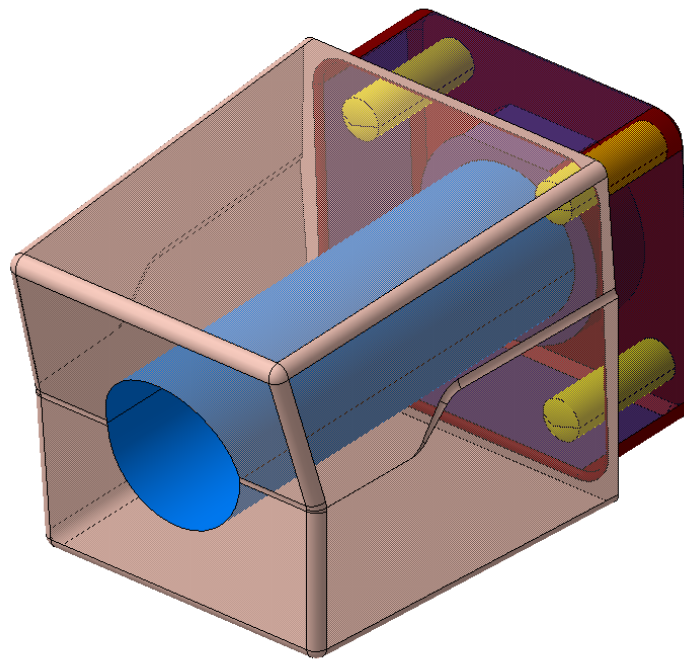


Pošto je zadaća klizača formiranje šupljine unutar odljevka, geometrija klizača zadužena za tu operaciju može se izraditi kao odvojen dio klizača koji se gloda iz standardne komponente. Navedeni primjer rješenja odvojenog formirača zahtijeva izradu klizača iz dva dijela kako bi se trn mogao čvrsto fiksirati u sklop klizača. Takvim rješenjem dobiva se klizač iz tri dijela čija je izrada ubrzana i pojednostavljena. Na slici 68. prikazani je formirač konstruiran kao odvojen segment klizača.

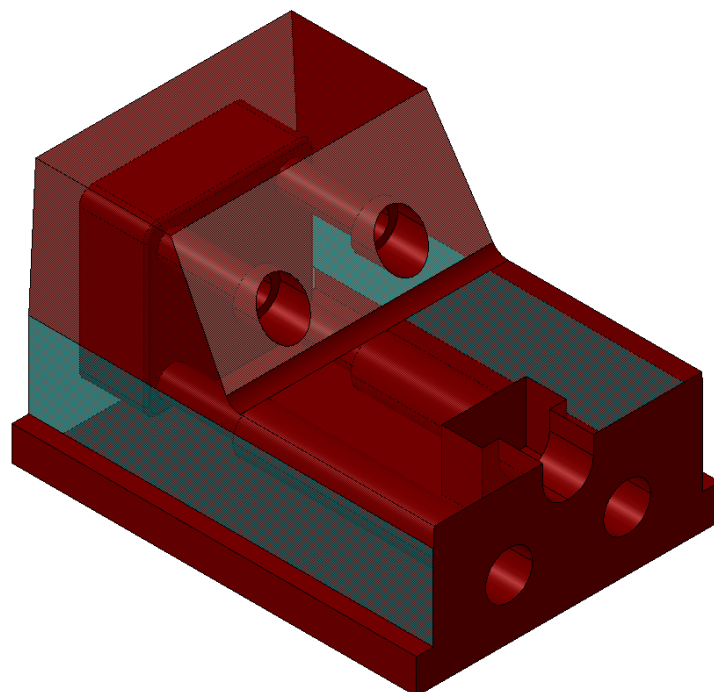


**Slika 68. Formirač klizača**

Da bi bilo moguće učvrstiti formiraču klizač prikazan na slici 67., potrebno je klizač izraditi iz dva dijela. Takvom izvedbom klizača osigurano je čvrsto fiksiranje formirača u klizaču. Na slici 68. moguće je uočiti kako navedeni formirač nije rotacijski simetričan. Iz tog razloga potrebno je izraditi rez na peti formirača koji prilikom montaže omogućava pravilnu ugradnju u sklop te se onemogućava neželjena rotacija formirača prilikom lijevanja. Na slici 69. i 70. prikazani su dijelovi klizača između kojih se ubacuje formirač.



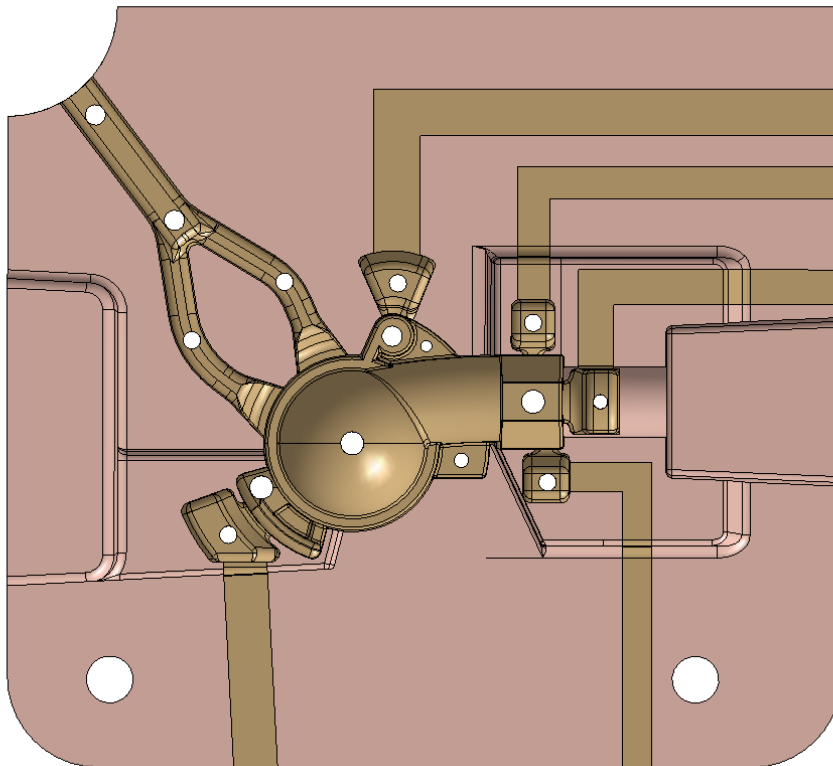
Slika 69. Umetak klizača



Slika 70. Klizač K2

## 15. PRIJEDLOG RASPOREDA IZBACIVAČA

Raspored izbacivača planira se s ciljem pravilnog izbacivanja odljevka i uljevne grane nakon skrućivanja i hlađenja odljevka. Da bi navedeni zahtjev bio zadovoljen, potrebno je pozicionirati izbacivače ispod uljevne grane, odljevka te ispod svakog preljevka. Pozicioniranje provrta u gravurnoj ploči za vođenje izbacivača potrebno je izvesti uz izbjegavanje kolizije s kanalima za temperiranje gravurne ploče. Uz izbacivače, kroz gravurne ploče potrebno je postaviti povratnike koji imaju zadatak vratiti izbacivački sklop u početnu poziciju prilikom zatvaranja alata. Povratnici se pozicioniraju uz rubove gravurne ploče ovisno gdje ima dovoljno prostora za njihov smještaj. Na slici 71. prikazana je gravurna ploča s mogućim rasporedom izbacivača i povratnika.



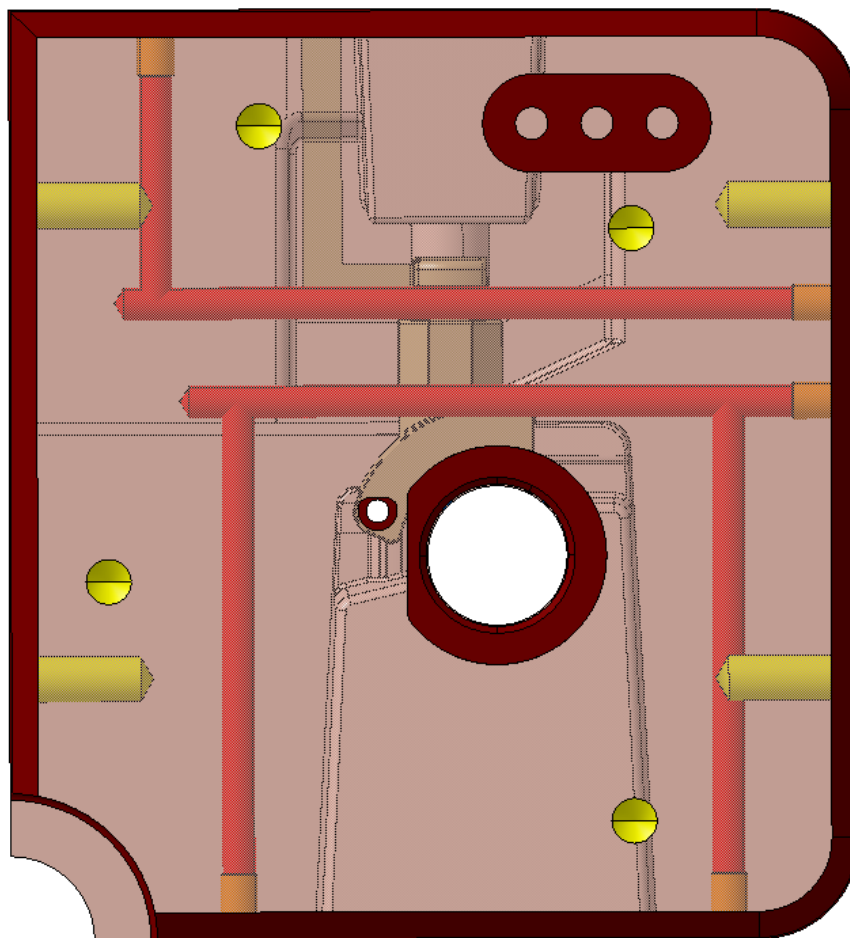
**Slika 71. Prijedlog rasporeda izbacivača i povratnika**

Prilikom postavljanja izbacivača, potrebno je uzeti u obzir nastajanje otiska od izbacivača na odljevku. Otisak od izbacivača nije moguće izbjeći pošto tehnologija izrade gravurne ploče i izbacivača te dosjed između gravurne ploče i izbacivača ne osigurava savršeno nalijeganje glave izbacivača na površinu gravurne ploče.

## 16. KONSTRUKCIJA TEMPERIRANJA KALUPA ALATA

### 16.1 Temperiranje gravurne ploče nepokretne strane alata

Temperiranje gravurnih ploča projektira se s ciljem održavanja željene temperature gravurne ploče. Temperiranje se osigurava izradom kanala kroz gravurne ploče kroz koje cirkulira medij. Medij može biti vodena emulzija ili uljni medij. Svaki kanal za temperiranje ima ulaz preko kojeg dolazi medij željene temperature, te izlaz preko kojeg se ispušta medij koji je razmjenio toplinu s gravurnom pločom. Konstrukcija temperiranja pomoću kanala mora biti izvedena na način da je ostvarena dobra razina brtvljenja te minimalne udaljenosti kanala od provrta za vođenje izbacivača te provrta za smještaj formirača. Kako je smještaj izbacivača i formirača uvjetovan geometrijom odljevka i uljevnice grane, putanje kanala potrebno je prilagoditi poziciji izbacivača i provrta formirača uz izbjegavanje tankih stijenki na gravurnoj ploči. Na slici 72. prikazan je raspored kanala za temperiranje na gravurnoj ploči nepokretne strane alata.

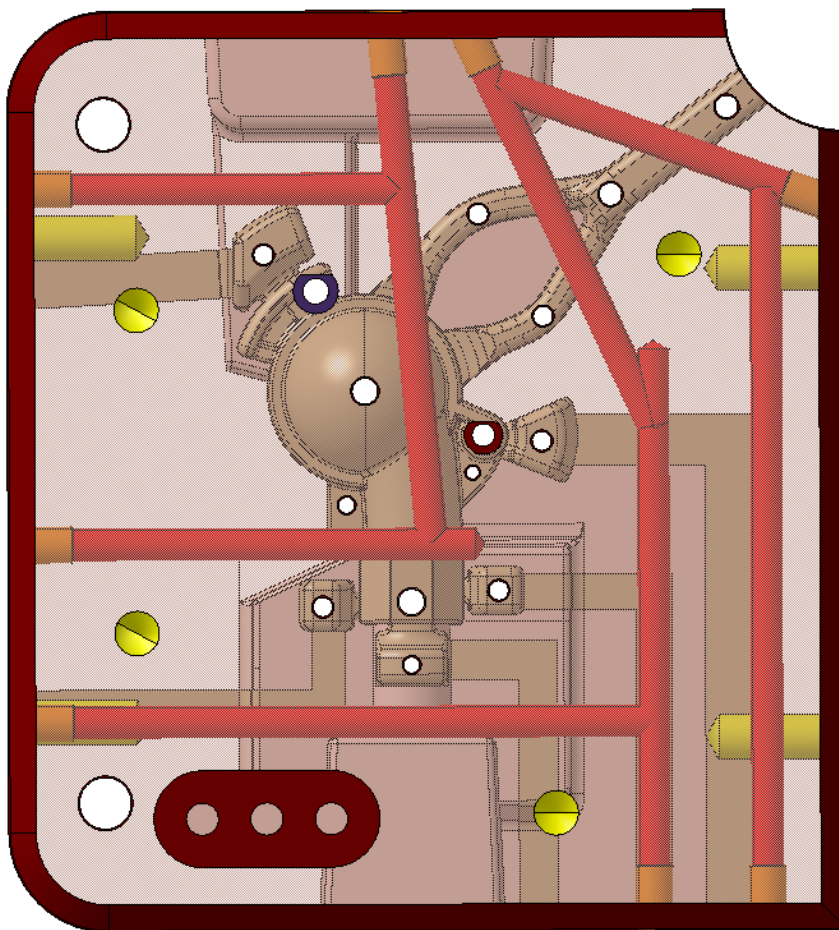


Slika 72. Rješenje temperiranja gravurne ploče nepokretne strane alata

Iz slike je vidljivo da su kanali pozicionirani u blizini kalupne šupljine pošto je na tom mjestu najveća temperatura gravurne ploče. Pošto na gravurnoj ploči ima dovoljno mjesta za različite kombinacije smještaja kanala za hlađenje, prikazano rješenje samo je jedno od mogućih.

## 16.2 Temperiranje gravurne ploče pokretne strane alata

Na slici 73. prikazano je rješenje rasporeda kanala za temperiranje gravurne ploče pokretne strane alata.

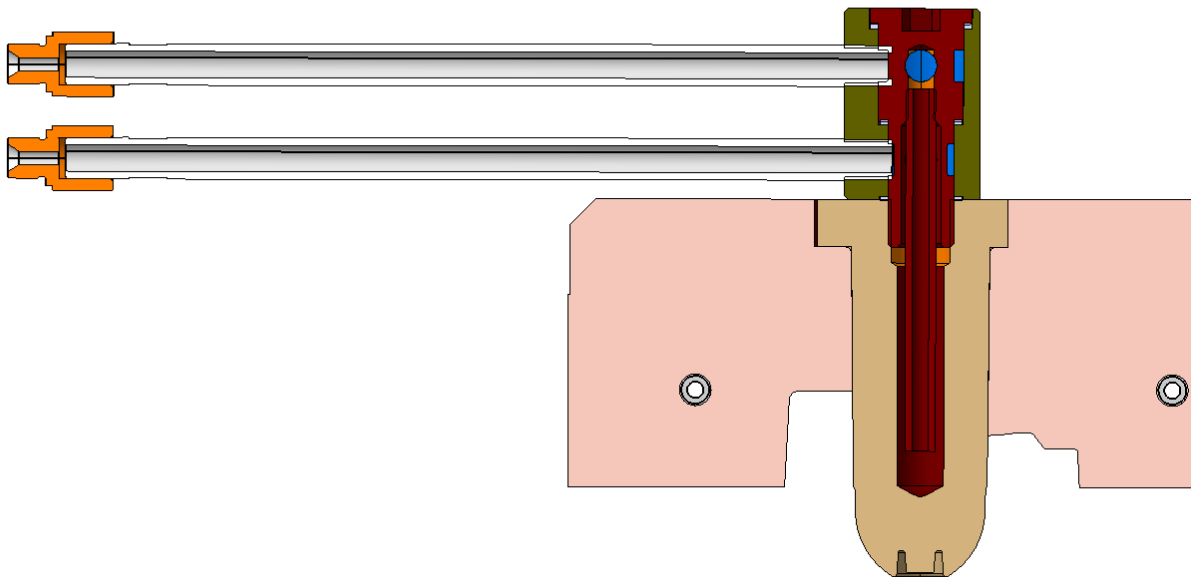


**Slika 73. Rješenje temperiranja gravurne ploče pokretne strane alata**

Iz priloženog rješenja vidljivo je da zbog postojanja provrta za izbacivače i provrta za formirače ima manje mogućih rješenja za pozicioniranje kanala za temperiranje u odnosu na gravurnu ploču nepokretne strane alata.

### 16.3 Izvedba temperiranja formirača u gravurnoj ploči uljevne strane alata

Temperiranje formirača projektira se s ciljem izbjegavanja toplinskih dilatacija formirača koji se nalaze u provrtu gravurne ploče te s ciljem smanjenja nastanka poroznosti u odljevcima nakon lijevanja. Kako je u poglavlju 11. simulacijom prikazana mogućnost nastanka poroznosti u odljevku, omogućavanje temperiranja formirača može smanjiti pojavu poroznosti. Temperiranje formirača se izvodi pomoću uređaja za hlađenje formirača čija je konstrukcija izvedena tako da istovremeno prihvaća i odvodi tekući medij. Konstrukcija uređaja za hlađenje mora biti izvedena na način da je osigurana potreba krutost učvršćenja formirača u gravurnoj ploči. Na slici 74. je prikazan formirač spojen na uređaj za hlađenje.



Slika 74. Uređaj za hlađenje spojen na formirač



## 17. ODABIR STROJA ZA LIJEVANJE

Odabir stroja za tlačno lijevanje izvodi se na temelju maksimalne sile zatvaranja alata prilikom lijevanja koju određeni stroj može izdržati. Kako prilikom utiskivanja taljevine u alat za lijevanje dolazi do snažnog razdvajanja pokretne i nepokretne strane alata, navedenu silu stroj mora preuzeti na sebe te ju poništiti. Sila zatvaranja alata računa se kao umnožak projicirane površine odljevka s uljevom granom i preljevcima te maksimalnog tlaka taljevine koji se javlja u ciklusu lijevanja. Izraz 17.1 prikazuje formulu pomoću koje se izračuna sila razdvajanja alata.

$$F_R = P_{\max} * A_p \quad (17.1)$$

Gdje je:

$F_R$  = sila zatvaranja alata

$P_{\max}$  = maksimalni tlak u ciklusu lijevanja ( 800 bar)

$A_p$  = projicirana površina odljevka, uljevne grane i preljevaka (20500 mm<sup>2</sup> očitano iz 3D modela)

Uvrštavanjem navedenih vrijednosti u formulu 17.1 dobiva se:

$$F_R = 800 * 10^5 * 0,0205 = 1640000 \text{ N} \quad (17.2)$$

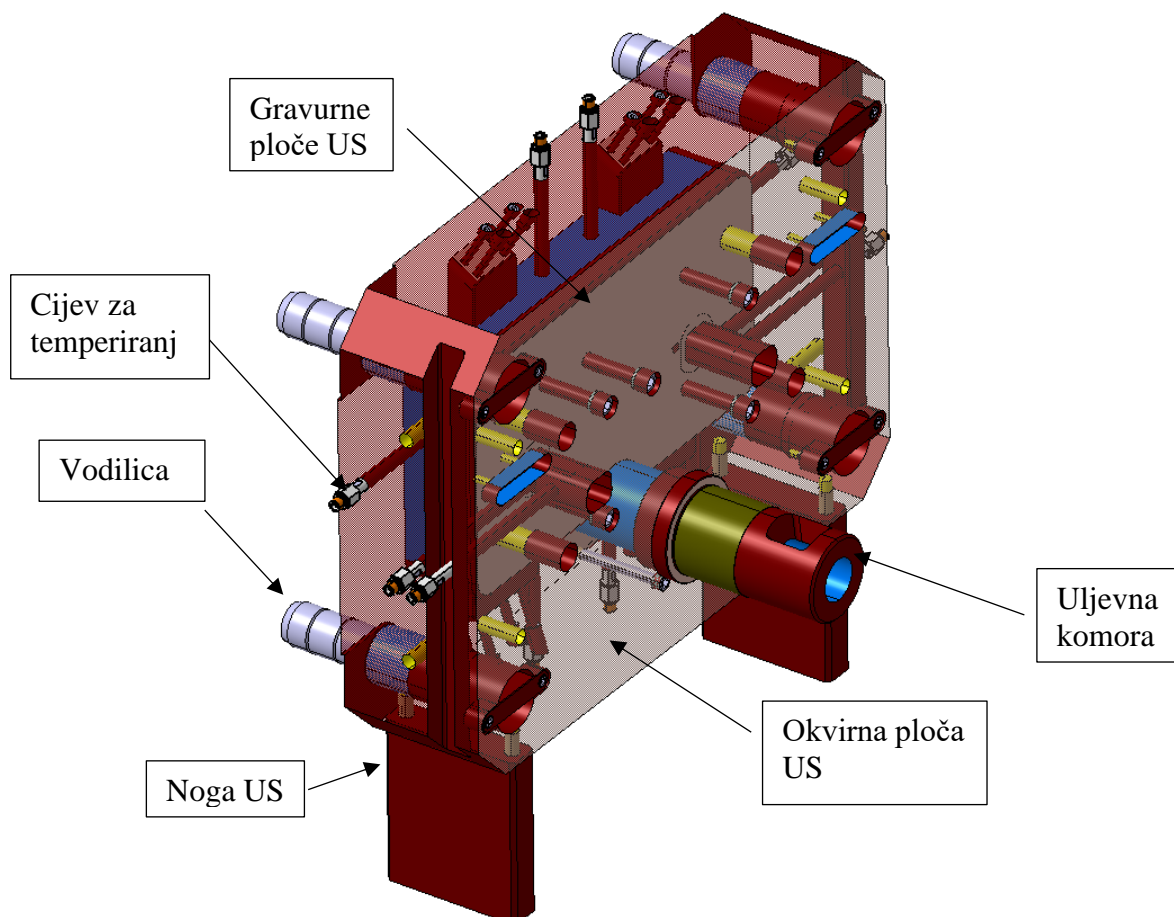
Iz izraza 17.2 dobiva se da je sila zatvaranja alata 1640000 N. Navedeni podatak označava da se alat može smjestiti u stroj za lijevanje koji ima silu zatvaranja koja je veća ili jednaka sili od 1640000 N.

## 18. PRIJEDLOG KONSTRUKCIJE ALATA ZA TLAČNI LIJEV ALUMINIJA

Alat za tlačni lijev podrazumijeva sklop kalupa za formiranje odljevka te skup svih dijelova u koje se smješta kalup. Alat za tlačni lijev se kao cjelina povezuje sa strojem za tlačni lijev. Konstrukcija alata za tlačni lijev ovisi o veličini kalupa, broju i smještaju klizača te tipu stroja za tlačni lijev. Iz navedenih uvjeta, u svrhu izrade diplomskog rada iznesen je prijedlog konstrukcije alata pošto alat s konačnom geometrijom ovisi o suradnji s ljevaonicom koja definira geometriju i uvjete koje alat mora zadovoljiti.

### 18.1 Prijedlog konstrukcije nepokretne strane alata

Na slici 75. prikazan je prijedlog nepokretne strane alata za tlačni lijev spojnice te su na slici označeni osnovni dijelovi.



Slika 75. Nepokretna strana alata

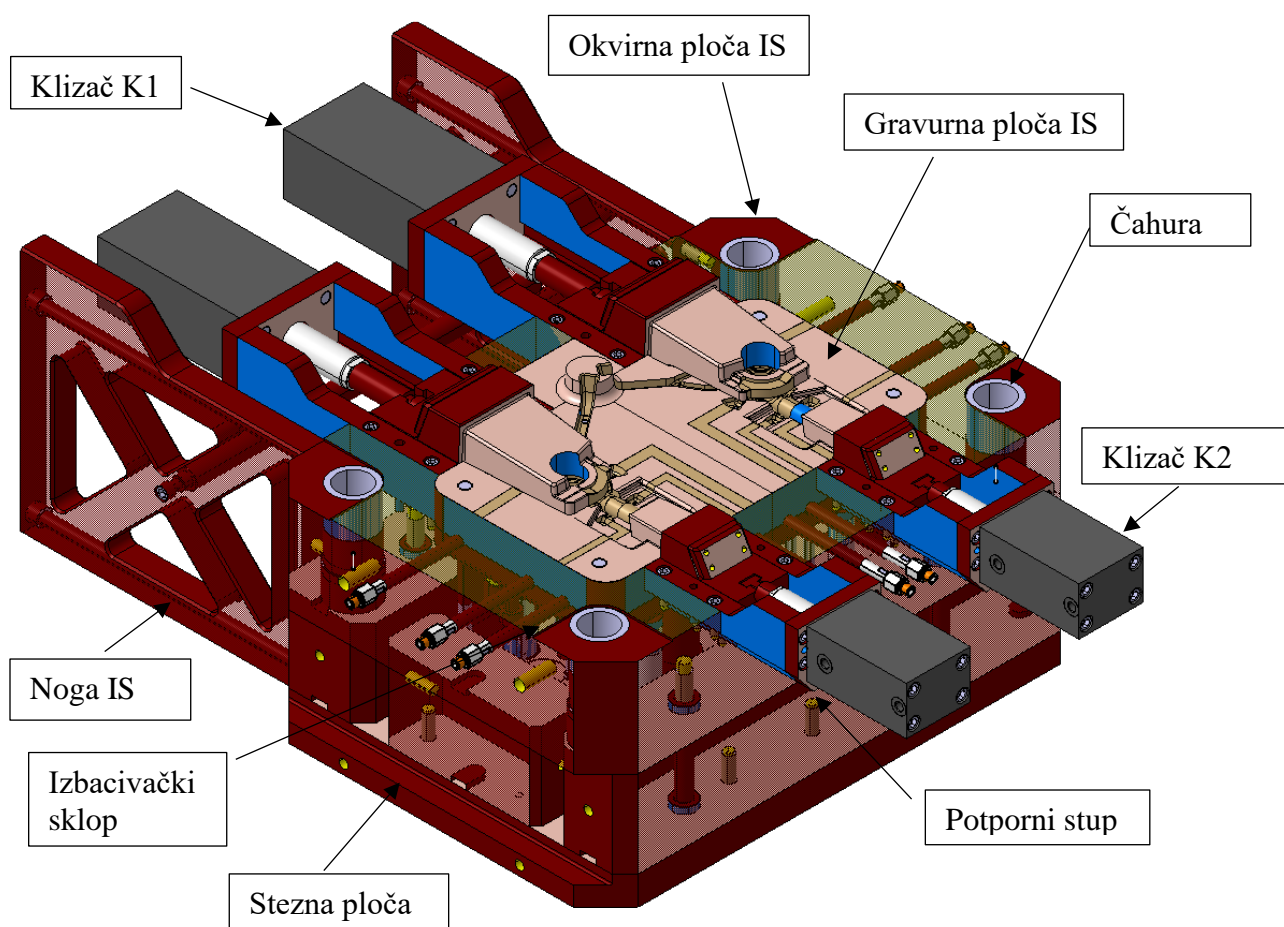
Iz slike 75. vidljivo je da su gravurne ploče US smještene unutar okvirne ploče te su povezane vijcima s ciljem čvrstog fiksiranja. Uljevna komora preko okvirne ploče dolazi do gravurnih



ploča te kalupnu šupljinu povezuje sa strojem za lijevanje. Preko cijevi za temperiranje koje izlaze iz okvirne ploče omogućava se temperiranje kalupa nepokretne strane alata. Na nepokretnoj strani alata čvrsto su fiksirane vodilice koje ulaze u čahure pokretne strane alata. Pomoću vodilica omogućena je dobra ponovljivost pozicioniranja pokretne i nepokretne strane alata prilikom svakog ciklusa lijevanja.

## 18.2 Prijedlog konstrukcije pokretne strane alata

Na slici 76. prikazan je prijedlog konstrukcije pokretne strane alata te su označeni osnovni dijelovi.

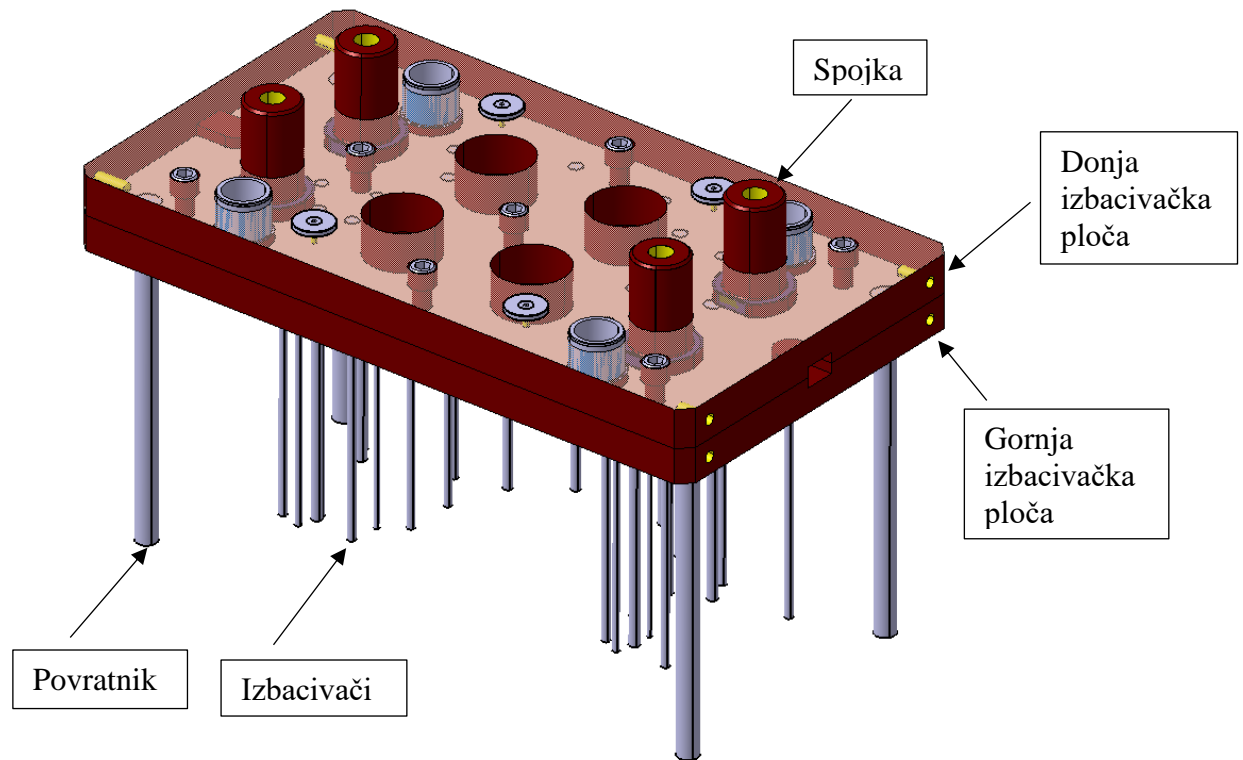


**Slika 76. Konstrukcija pokretne strane alata**

Iz slike je vidljivo da su gravurne ploče IS smještene na sredini okvirne ploče. Na krajevima okvirne ploče nalaze se pričvršćeni klizači K1 i K2 te čahure u koje ulaze vodilice s nepokretne strane alata. Sklop okvirne ploče sa klizačima povezan je preko potpornih stupova sa steznom pločom. Preko stezne ploče alat za tlačni lijev se spaja na stroj za lijevanje. Izbacivački sklop nalazi se ispod okvirne ploče te omogućuje izbacivanje odljevka nakon skrućivanja i hlađenja na približno 300 °C.

### 18.3 Prijedlog konstrukcije izbacivačkog sklopa

Na slici 77. nalazi se prijedlog konstrukcije izbacivačkog sklopa.

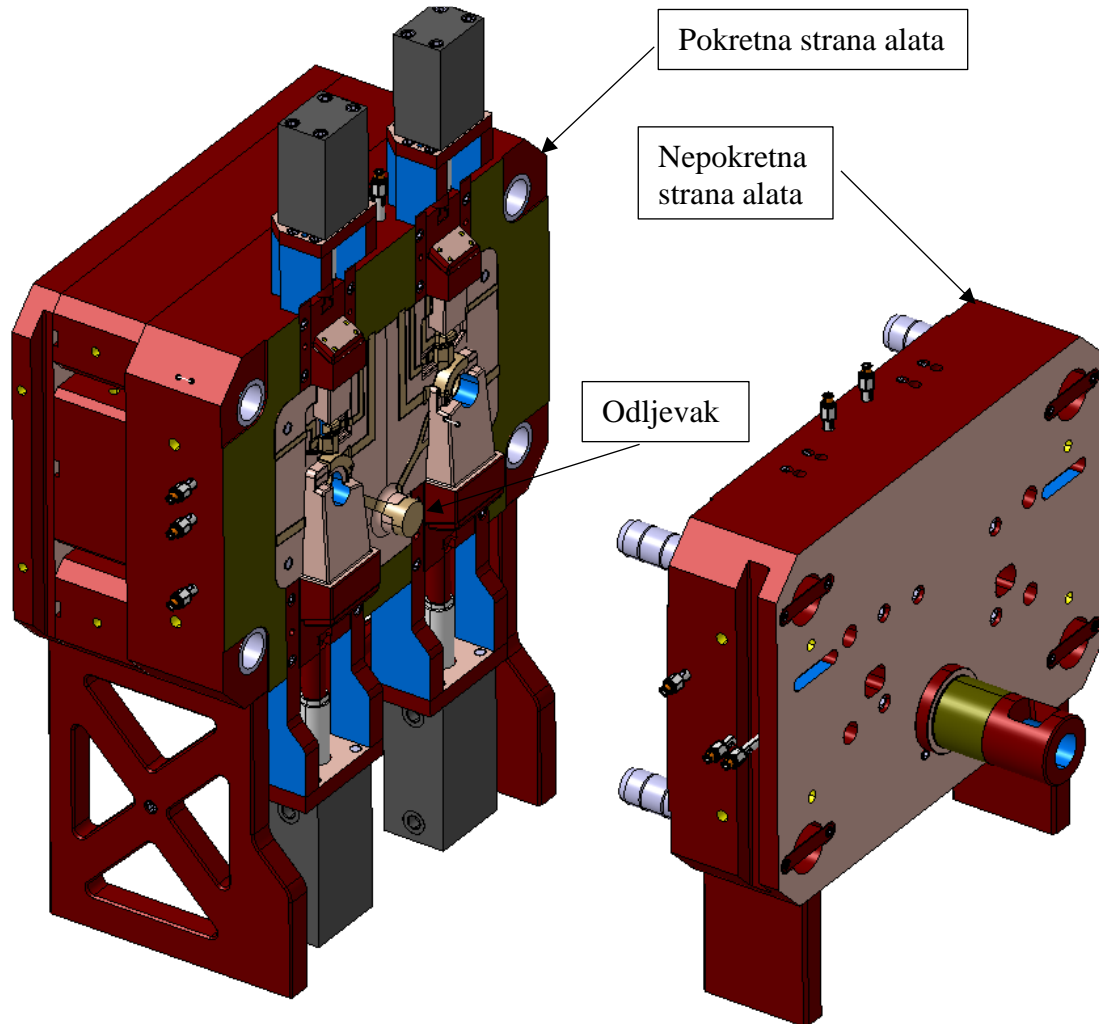


Slika 77. Izbacivački sklop

Slika prikazuje dvije stezne ploče pomoću kojih se pozicioniraju i fiksiraju izbacivači. Na krajevima ploča nalaze se povratnici koji nakon zatvaranja pokretne i nepokretne strane alata pozicioniraju izbacivački sklop u željeni položaj. Na steznim pločama nalaze se spojke preko kojih se izbacivački paket spaja na stroj za lijevanje.

#### 18.4 Alat za tlačni lijev spojnice za stlačeni zrak

Na slici 78. prikazan je sklop alata za tlačni lijev spojnice za stlačeni zrak. Prikazani položaj alata jednak je poziciji u stroju za lijevanje.



Slika 78. Prijedlog konstrukcije alata za tlačni lijev spojnice za stlačeni zrak

## 19. ZAKLJUČAK

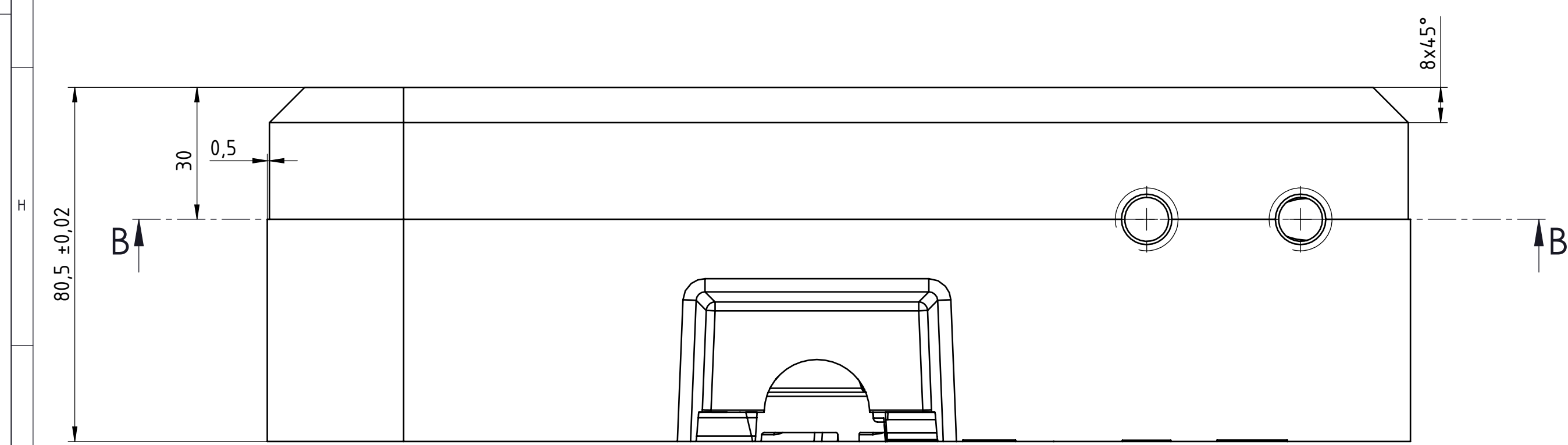
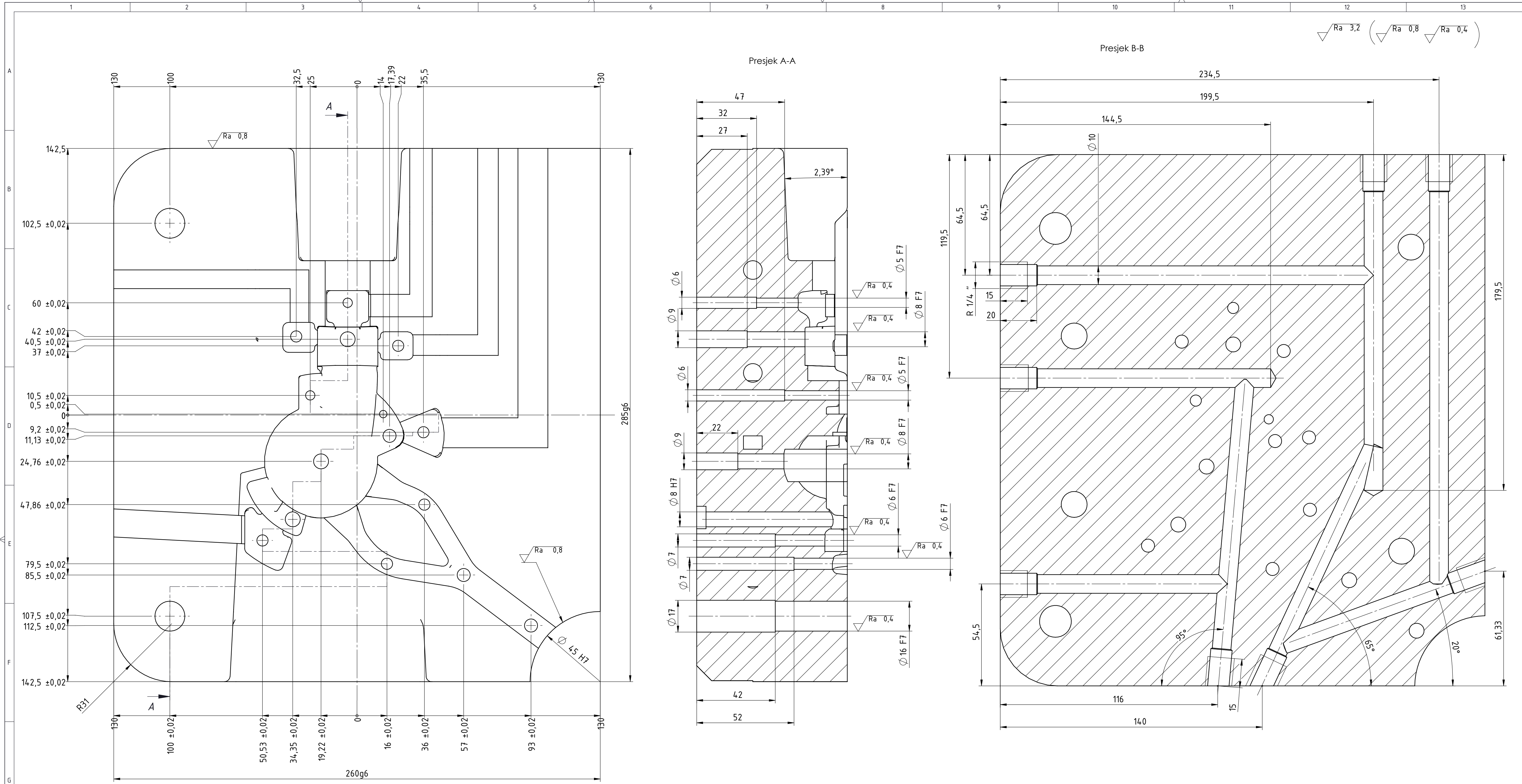
Zadatak ovog diplomskog rada bio je konstruirati kalup za visokotlačni lijev spojnice za stlačeni zrak primjenom reverzibilnog inženjerstva. Nakon provedenog inicijalnog proračuna lijevanja te generiranja i ocjenjivanja koncepata, razvijanje uljevnice usmjereno je ka konceptu s dva ušća po odljevku. Navedeni koncept daje najbolje rezultate punjenja za navedenu geometriju odljevka što je potvrđeno simulacijom lijevanja. Isto tako, navedeni princip punjenja kalupne šupljine pokazao je da u odljevku ostaje najmanje zarobljenog zraka u odnosu na ostale koncepte punjenja. Kalup za lijevanje konstruiran je s dvije gravurne ploče u svakoj polovici alata u svrhu lakše izrade i montaže u alat. Isto tako, svi izbočeni dijelovi kalupa izrađeni su kao odvojeni dijelovi koji se umeću u gravurne ploče. Dijelovi forme kalupa koji se nalaze na klizačima učvršćeni su na pokretnu stranu alata s ciljem omogućavanja pravilnog rada i izbacivanja odljevka izvan alata nakon skrućivanja i hlađenja. Na gravurnim pločama prikazani su prijedlozi rasporeda izbacivača te položaj i smjer provrta za temperiranje gravurnih ploča. Daljnji razvoj kalupa za tlačni lijev spojnice za stlačeni zrak može ići u smjeru smanjivanja ili potpunog uklanjanja mogućnosti pojavljivanja poroznosti na odljevku uočene na simulaciji lijevanja. Navedeni prijedlog zahtijeva promjenu geometrije formirača za oblikovanje šupljine u odljevku te naknadne simulacije lijevanja. Navedeni rad prikazuje kako je razvoj kalupa za tlačni lijev legura aluminijski kompleksan proces te da je za njegovo uspješno konstruiranje potrebno poznavanje tehnologije lijevanja, strojne obrade te korištenje naprednih metoda konstruiranja pomoću jednog od dostupnih 3D CAD alata.

## LITERATURA

- [1] <https://www.machinemfg.com/die-casting/>
- [2] Tehničke podloge TEH-CUT d.o.o, 2018
- [3] ..., ASM handbook volume 15: Casting, ASM International, 1998
- [4] B. Bauer, I. Mihalic: Osnovne tehnologije lijevanja, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb 2017
- [5] Tišljar, K.: Simulacija tlačnog lijevanja odljevka od Al legure, Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2016
- [6] ..., Buehler Druckguss Ag, 2006
- [7] <https://www.kineticdiecasting.com/NADCA-Product-Standards-for-Die-Casting.pdf>
- [8] B.Gangadevi, G.Ramesh, Ch.Naveen Kumar, 1M.Hemanth, 1T.Hareesh, Sk.Meeravali, Design and Analysis of Die Cating Mould, International Journal for Modern Ternds in Science and Technology,7, 2021
- [9] Hong-Kyu Kwon: Layout Design and Die Casting Using CAE Simulation for Household Appliances,Applied Sciences,11, 2021
- [10] <https://topomatika.hr/proizvodi/3d-skeneri/atos-triple-scan/>

## **PRILOZI**

### **I. Tehnička dokumentacija**

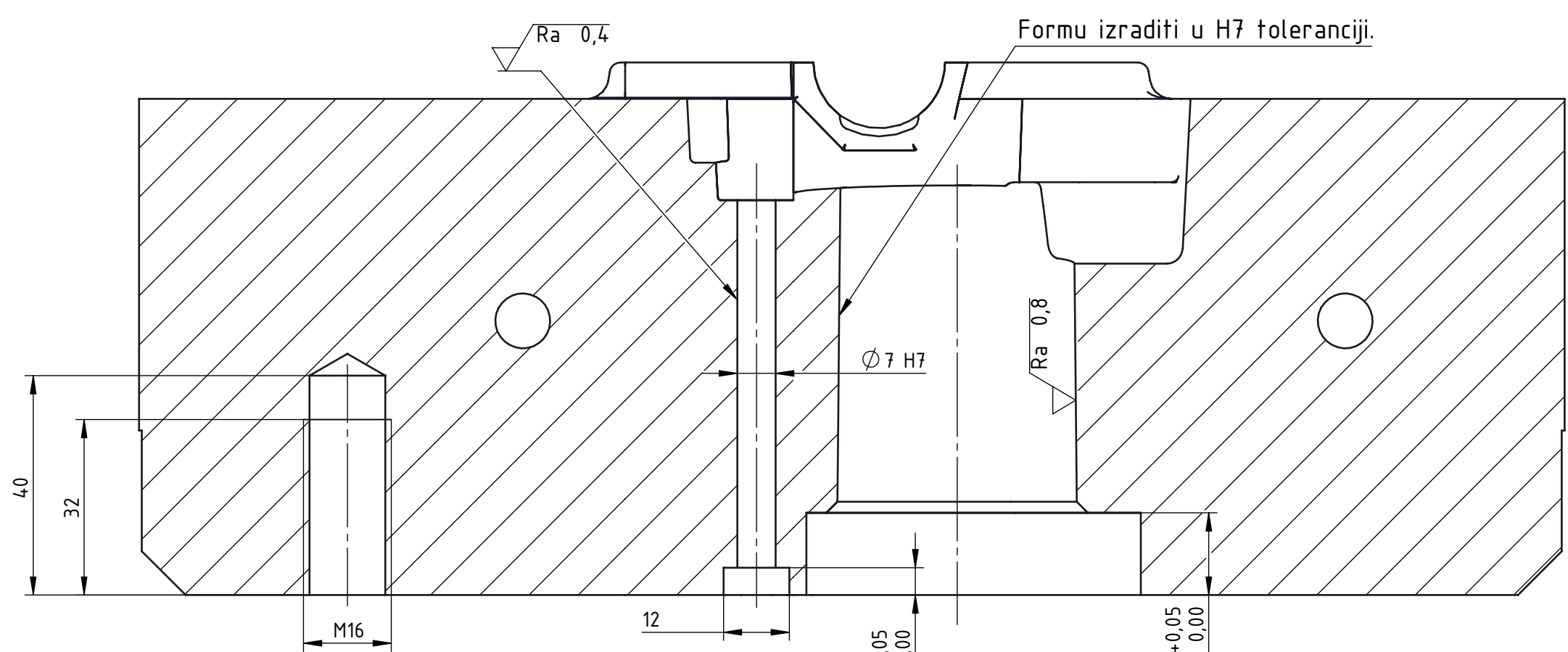


Napomena: 3D formu fino glodati u  $\pm 0,02$  tolerancijskom području te kvaliteti površinske obrade Ra 0,8.

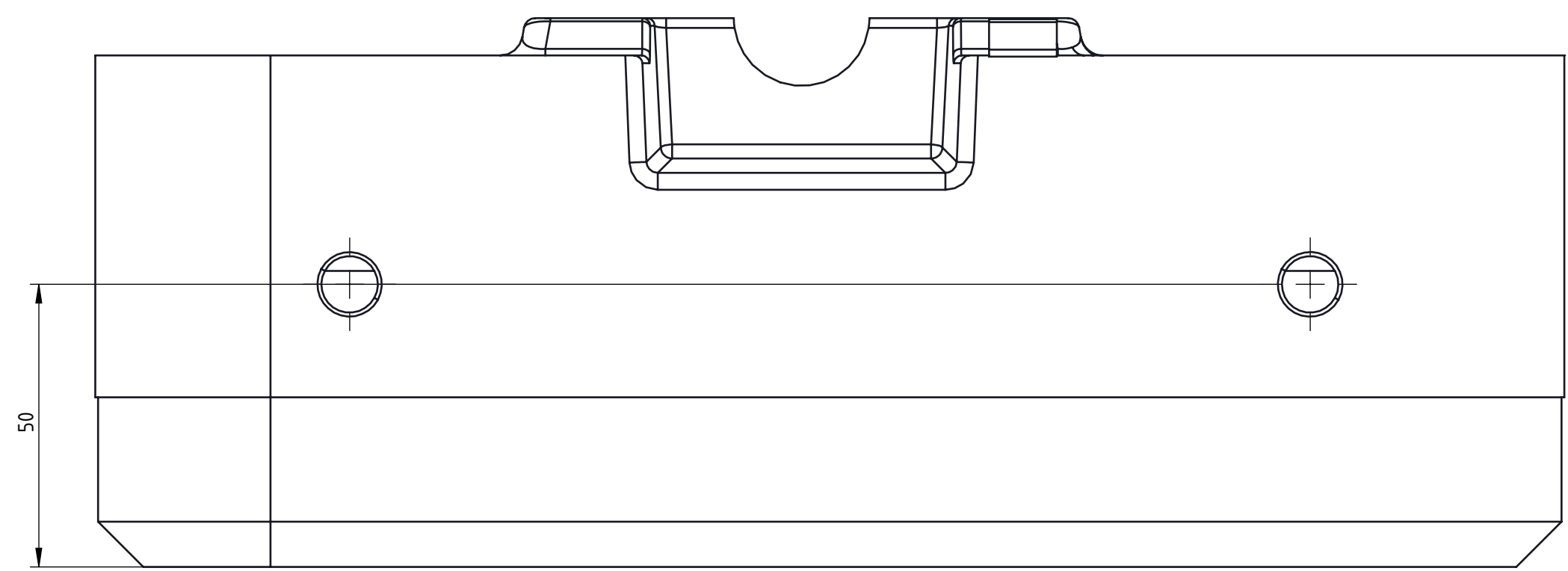
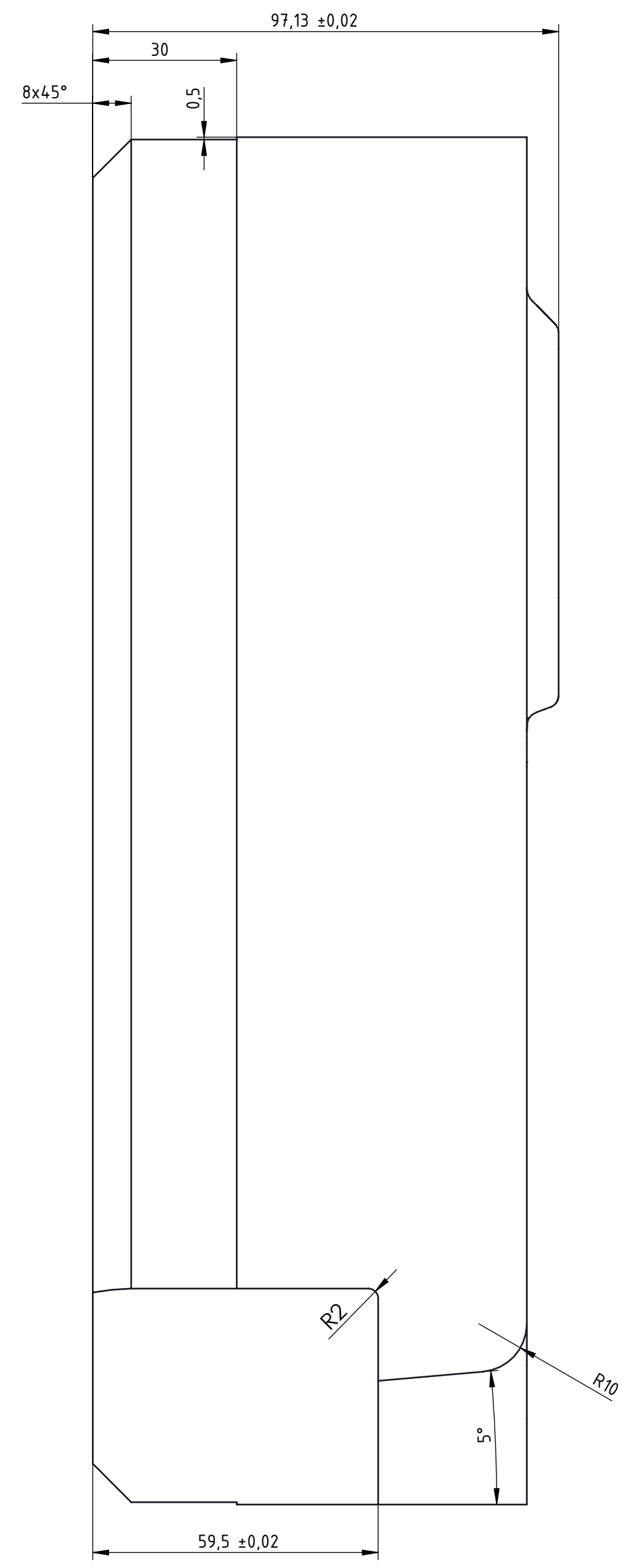
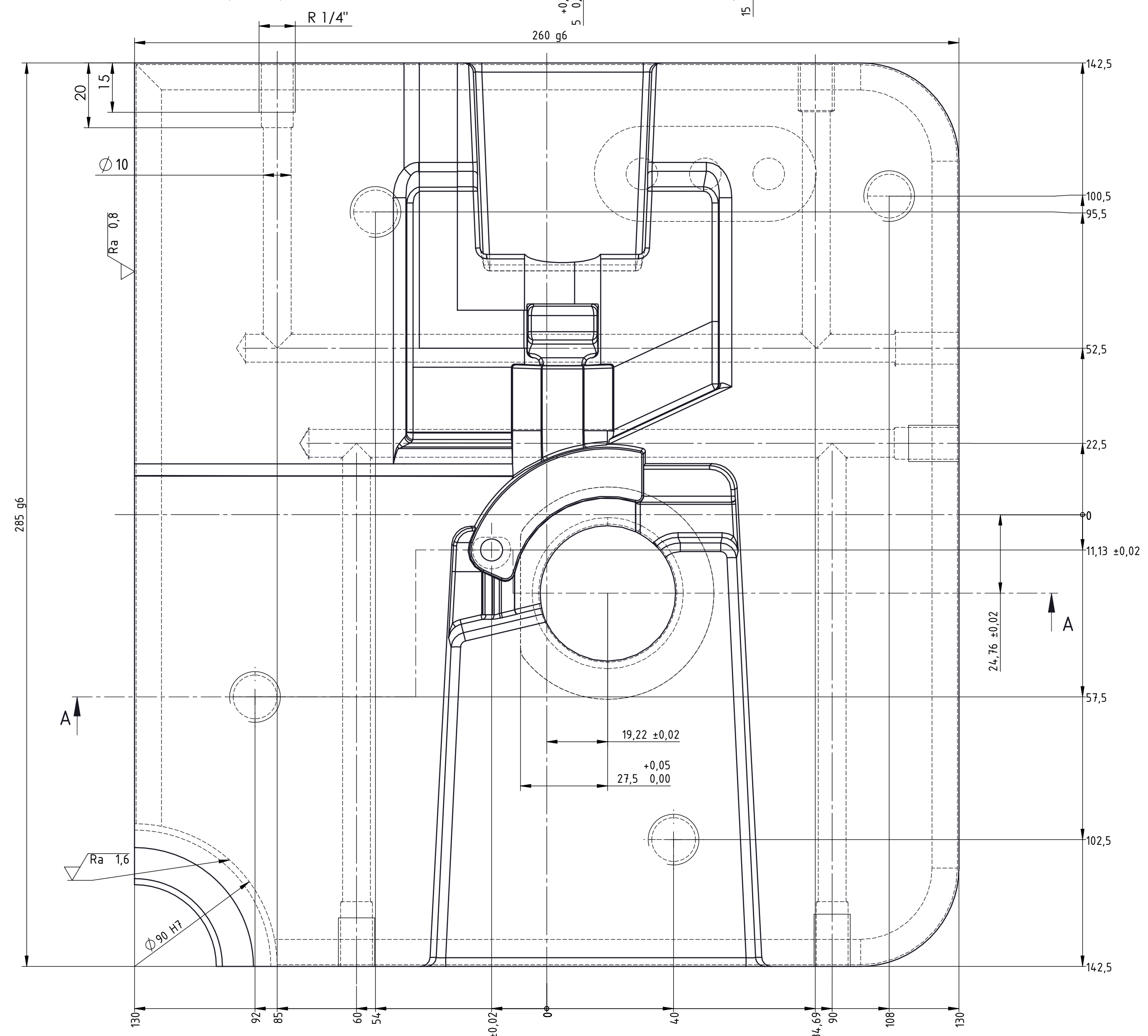
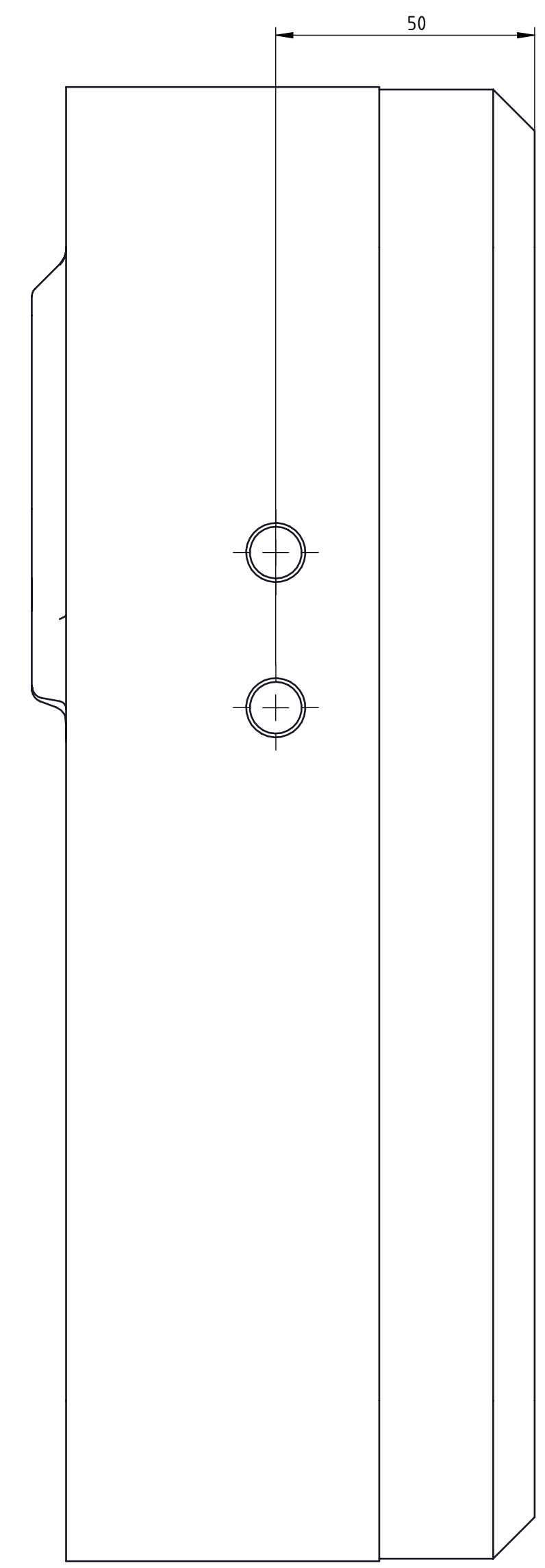
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
Projektirao			Tomislav Grahek		
Razradio			Tomislav Grahek		
Crtao			Tomislav Grahek		
Pregledao			Prof.dr.sc Branko Bauer		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
Ø 8 H7	+0,015 0	285 g6	-0,017 -0,049	R. N. broj:	
Ø 45 H7	+0,025 0	260 g6	-0,017 -0,049	Kopija	
		Ø 5 F7	+0,022 +0,01	Materijal: 1.2343 ESU	Masa: 40,6 kg
		Ø 6 F7	+0,022 +0,01	Naziv: GRAVURNA PLOČA 1 IS	
		Ø 8 F7	+0,028 +0,013	Mjerilo originala	3
		Ø 16 F7	+0,034 +0,016	1:1	Format: A1
Crtež broj: TG-2023-003				Listova: 1	







▽ Ra 3,2 (▽ Ra 1,6 ▽ Ra 0,8 ▽ Ra 0,4)

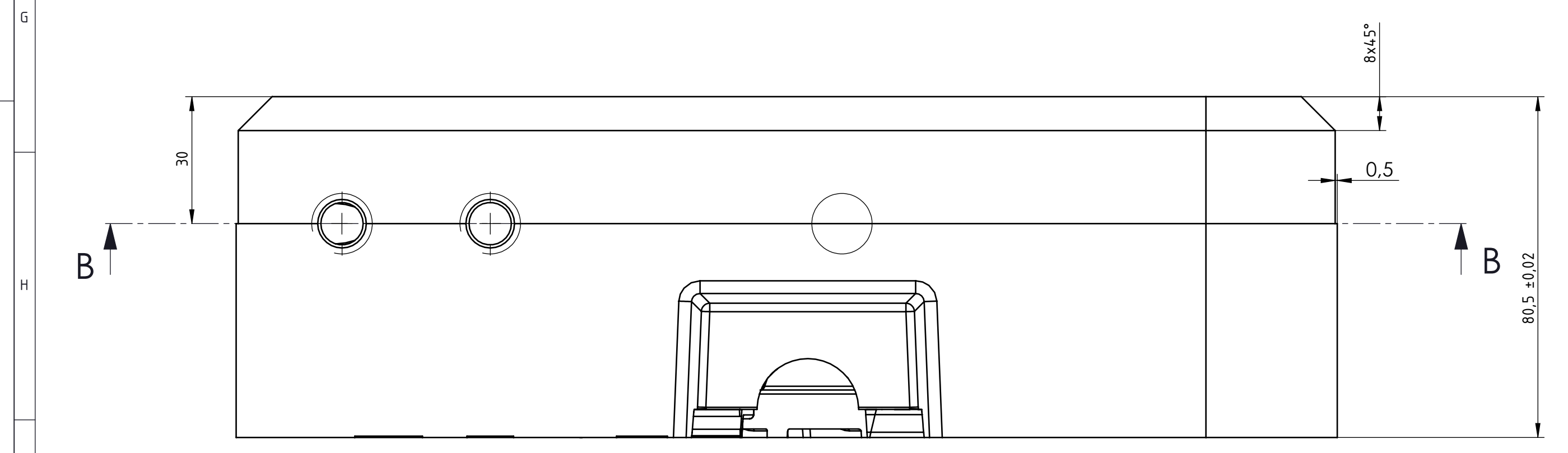
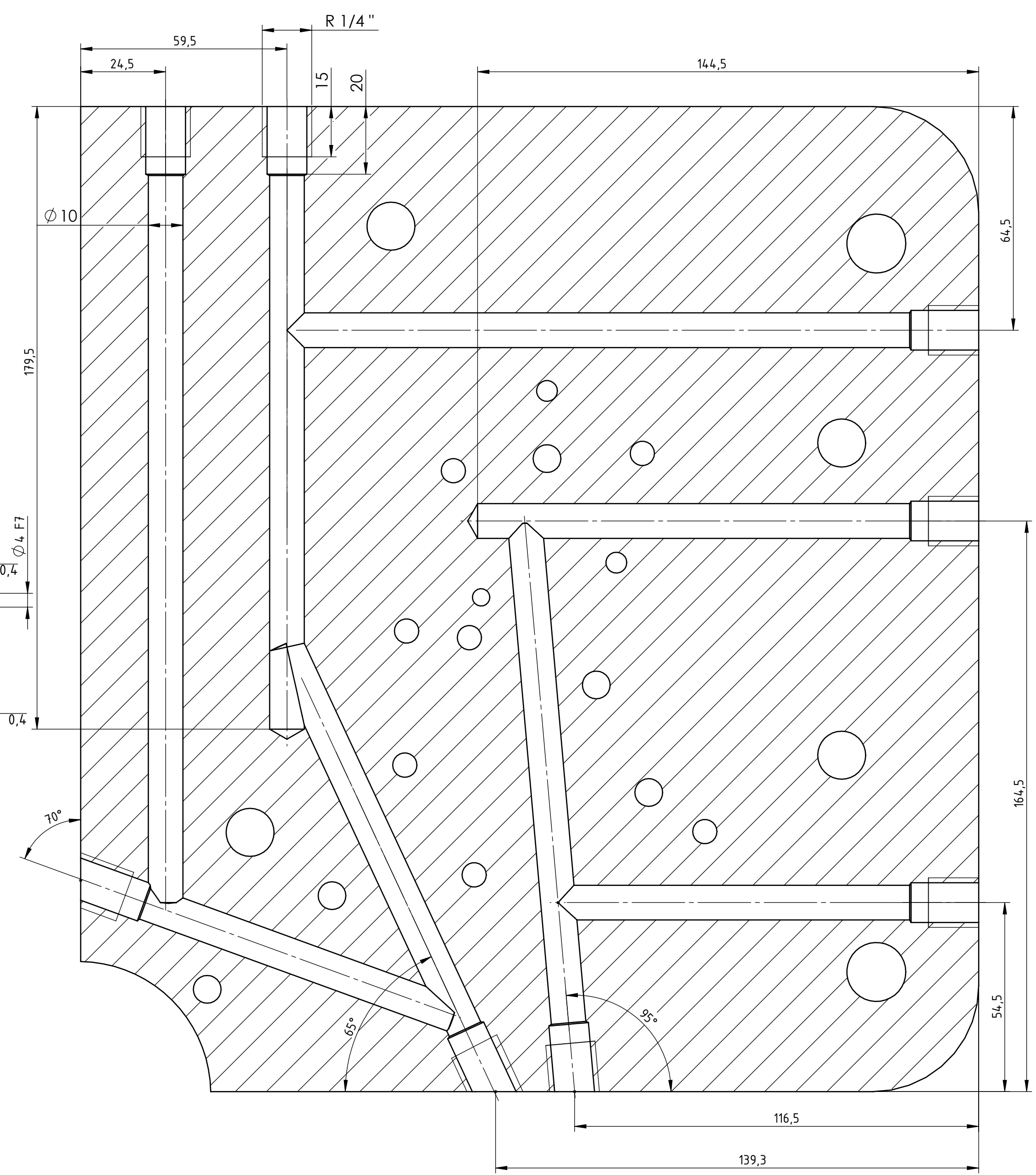
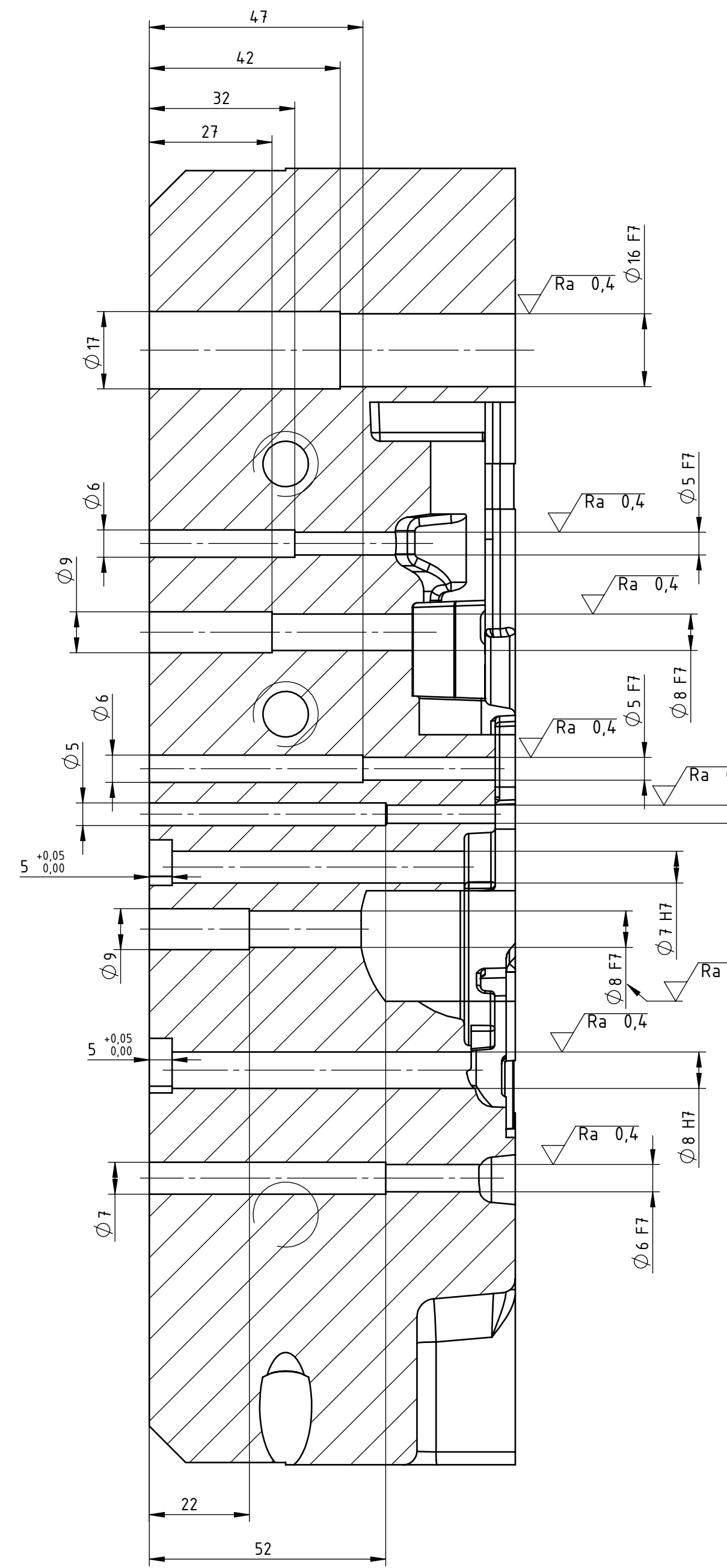
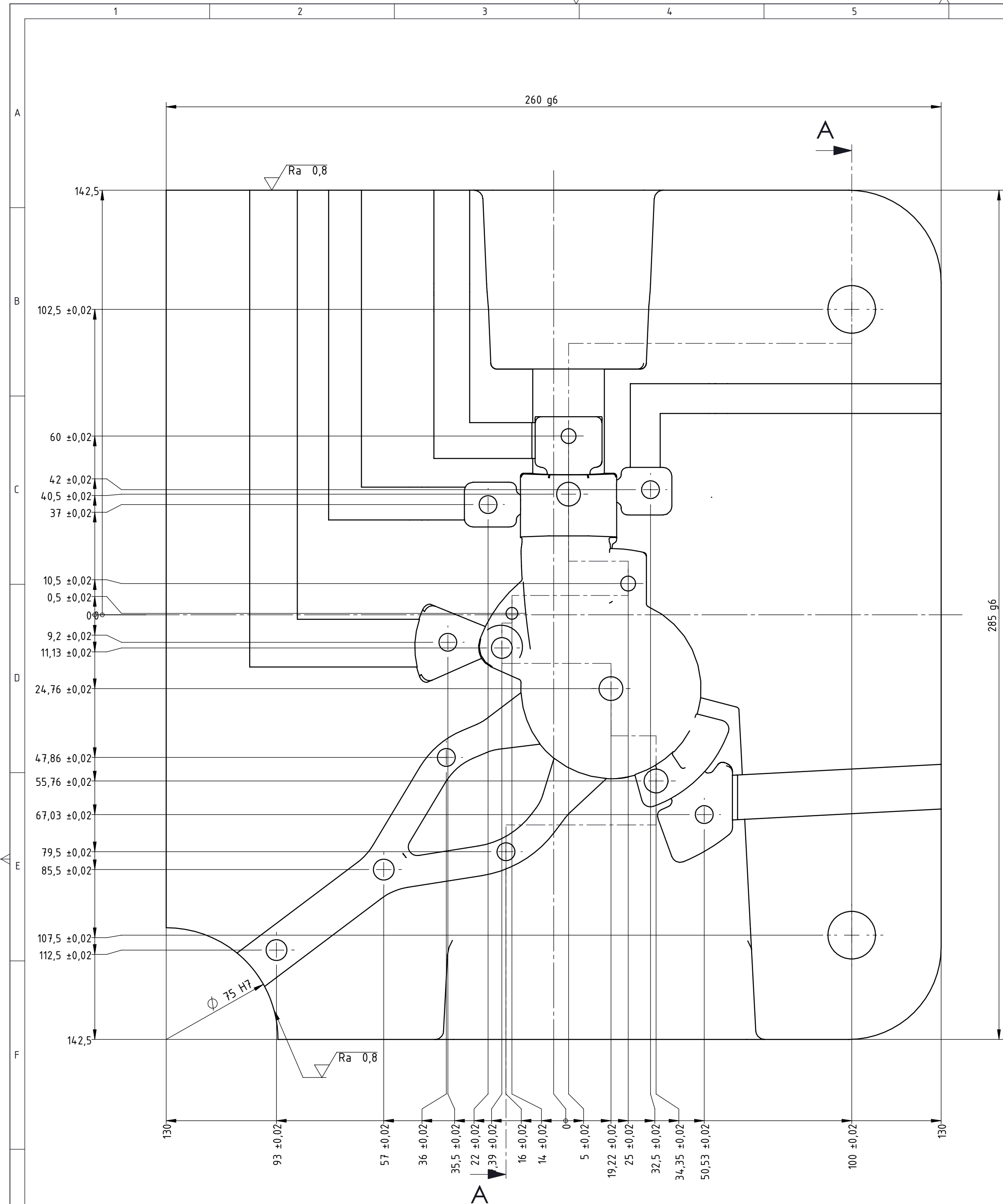


Napomena: Formu fino glodati u ±0,02 tolerancijskom polju i Ra 0,8 površinskoj kvaliteti.

Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
	Razradio		Tomislav Grahek		
	Crtao		Tomislav Grahek		
	Pregledao		Prof.dr.sc Branko Bauer		
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:		Kopija
Ø 7 H7	R. N. broj:				
260 g6	Napomena: Kaliti na 46+2 HRC				Kopija
285 g6	Materijal: 1.2343 ESU	Masa: 45 kg			
Ø 90 H7	Naziv: GRAVURNA PLOČA 1 US		Pozicija: 1	Format: A1	Listova: 1
	Mjerilo originala: 1 : 1		Crtež broj: TG-2023-001	List: 1	



√ Ra 3,2 (√ Ra 0,8 √ Ra 0,4)

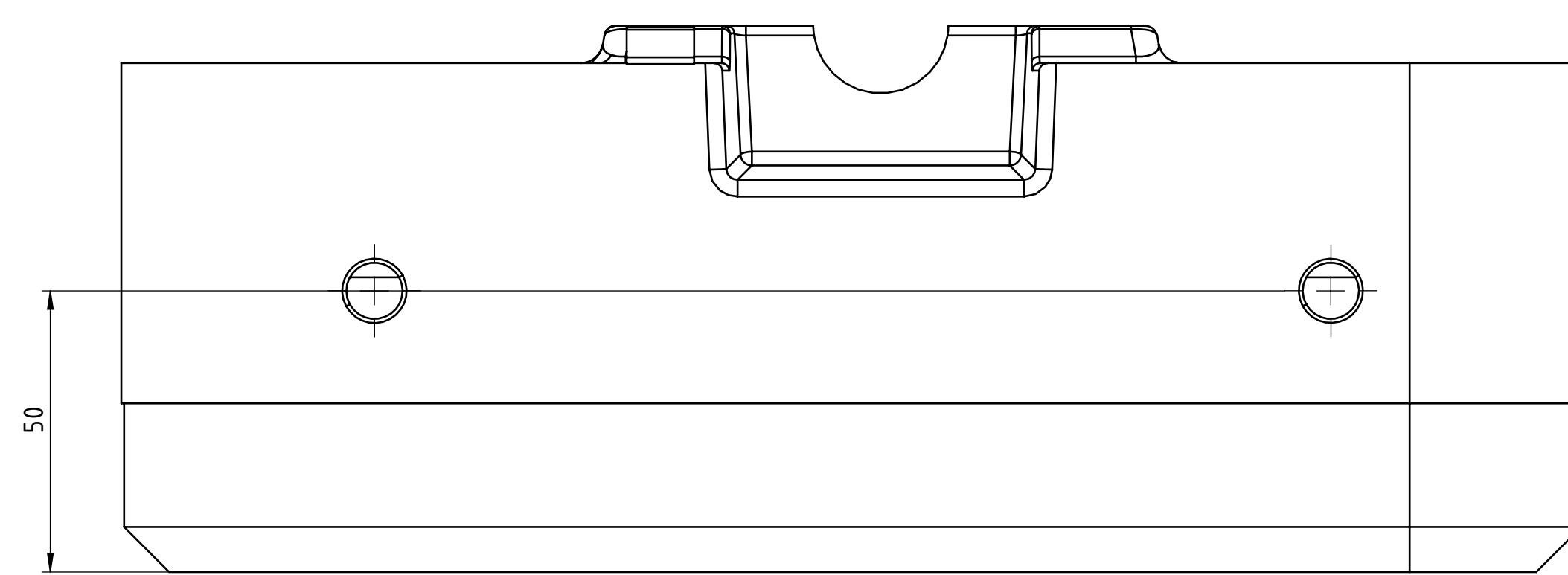
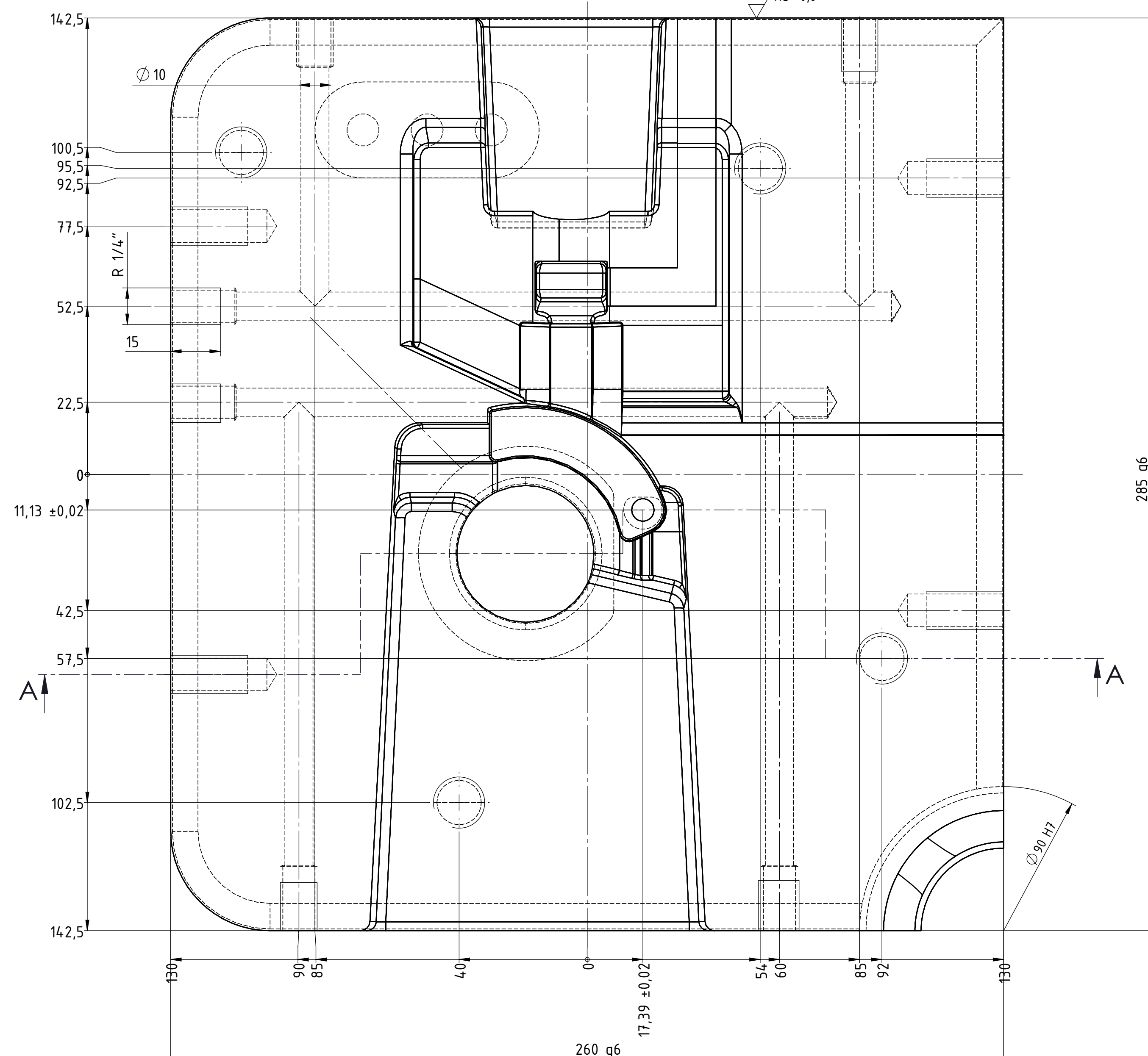
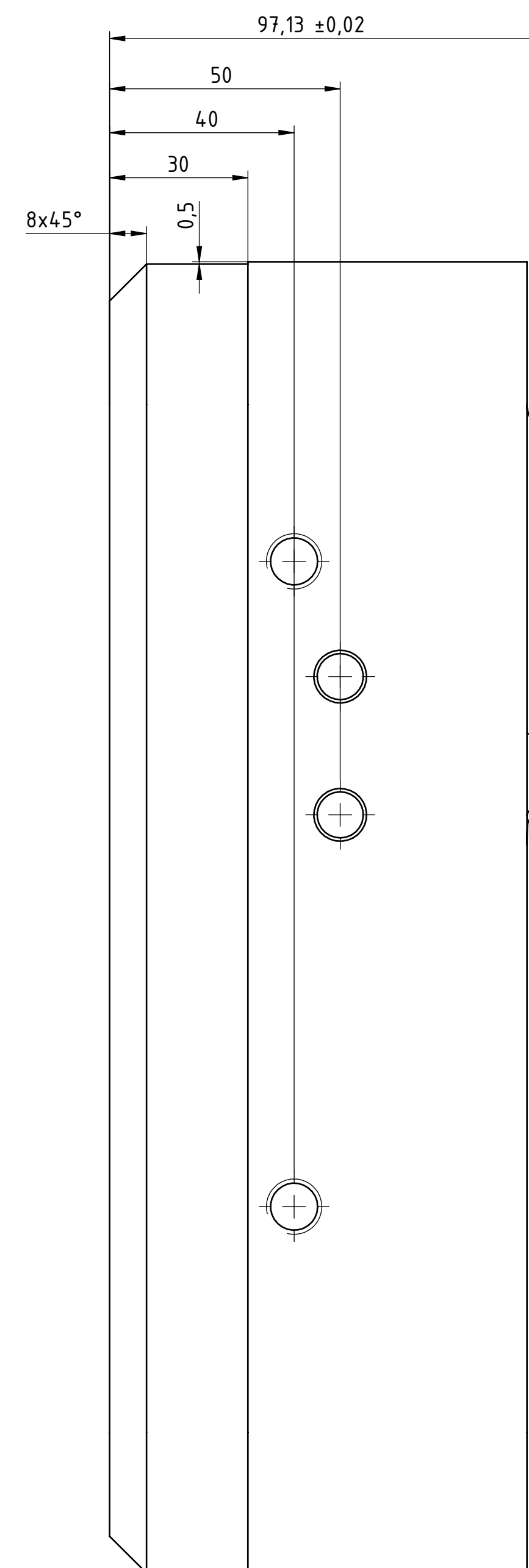
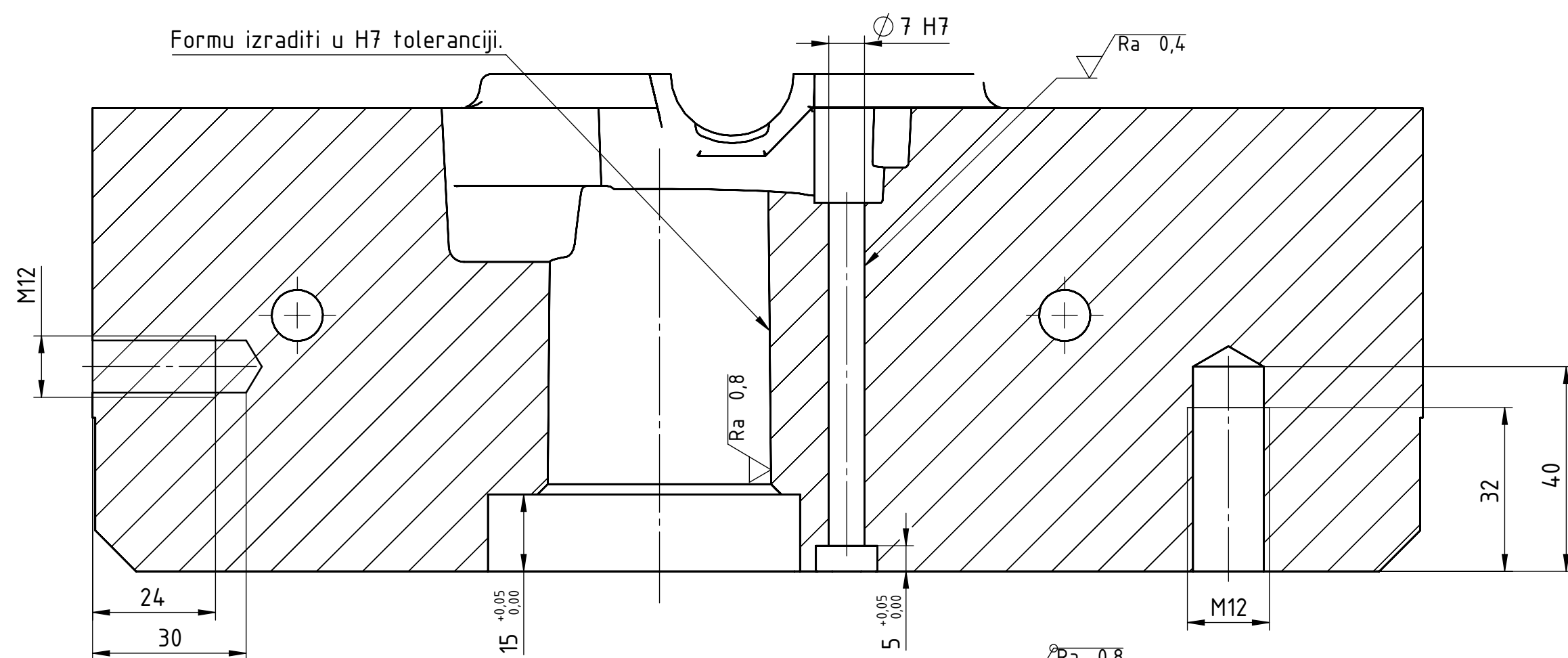


Napomena: 3D formu fino glodati u  $\pm 0,02$  tolerancijskom polju i Ra 0,8 površinskoj kvaliteti.

Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
Projektirao			Tomislav Grahek		
Razradio			Tomislav Grahek		
Crtao			Tomislav Grahek		
Pregledao			Prof.dr.sc.Branko Bauer		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
∅ 8 F7	+0,028 -0,013	260 g6	-0,017 -0,049	R. N. broj:	
∅ 75 H7	+0,03 0	285 g6	-0,017 -0,049	Napomena: Kaliti na 46 +2 Hrc	
		∅ 4 F7	+0,022 -0,01	Materijal: 1.2343 ESU	Masa: 40,6 kg
		∅ 5 F7	+0,022 -0,01	Naziv: GRAVURNA PLOČA 2 IS	
		∅ 6 F7	+0,022 -0,01	Mjerilo originala	4
		∅ 7 F7	+0,022 -0,01	1 : 1	Crtež broj: TG-2023-004
				Format: A1	
				Listova: 1	
				List: 1	

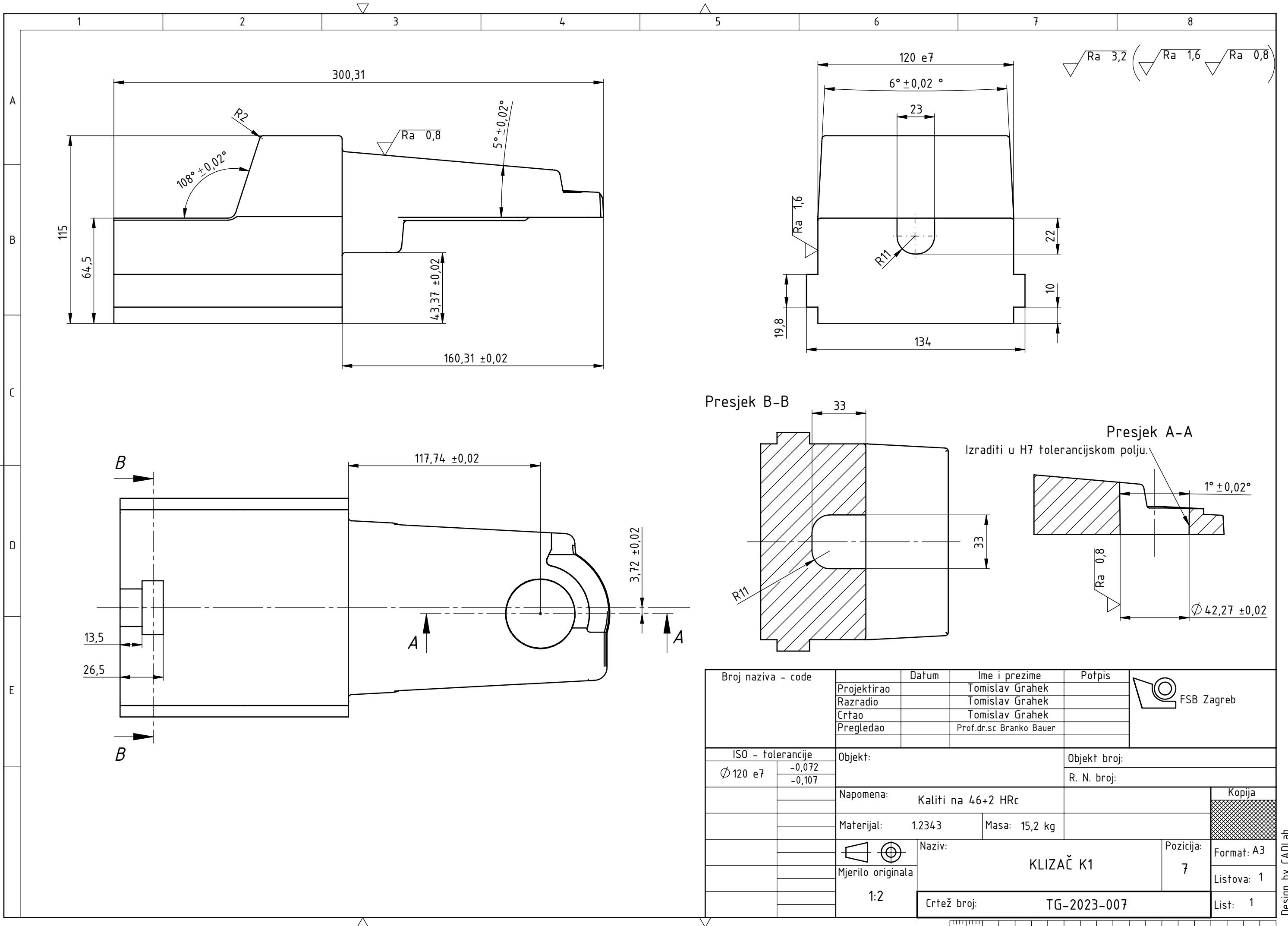
Formu izraditi u H7 toleranciji.

√Ra 3,2 (√Ra 3,2 √Ra 3,2 √Ra 3,2)

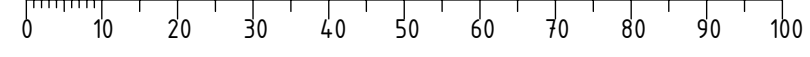


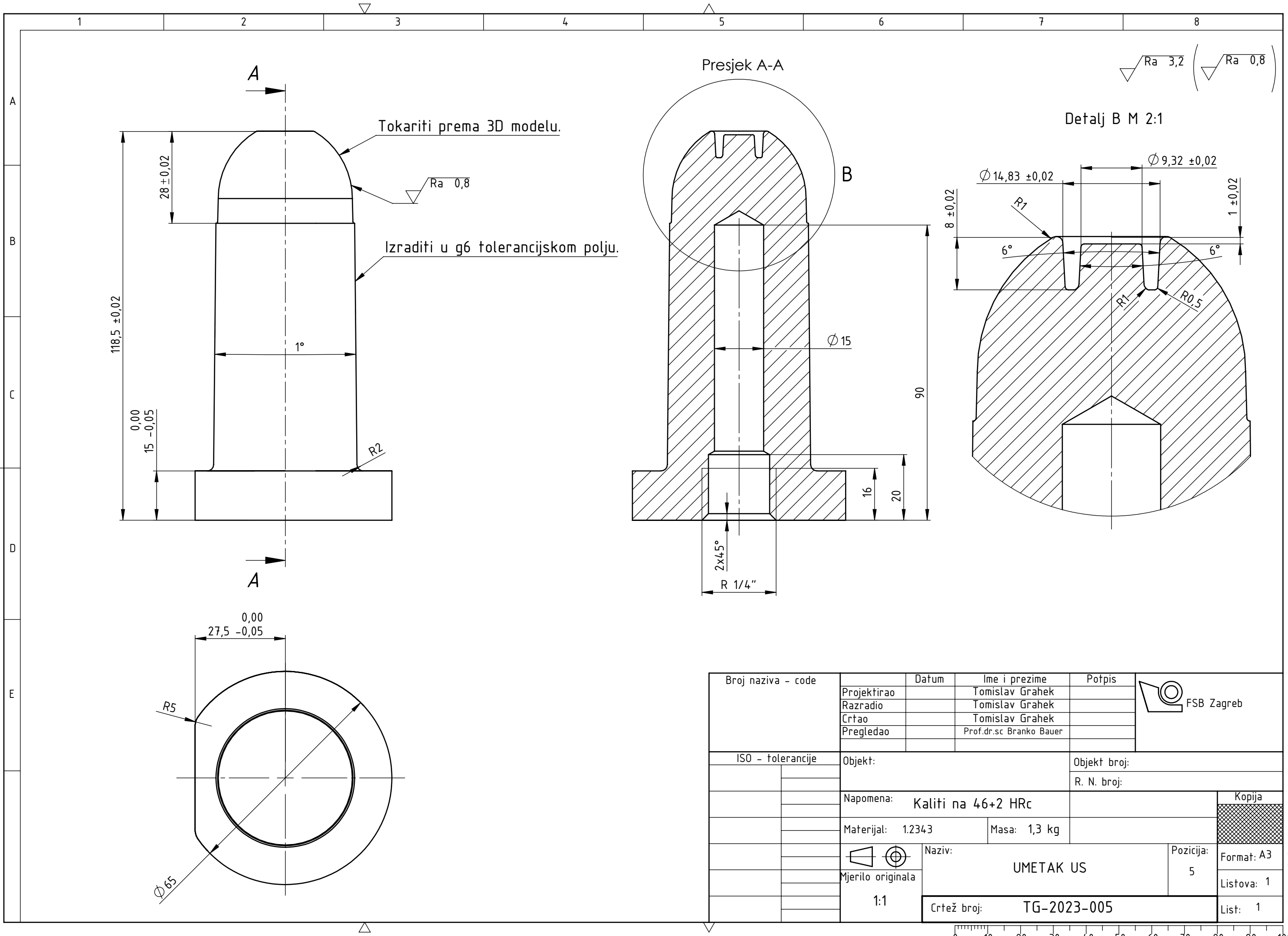
Napomena: 3D formu fino glodati u +/- 0,02 tolerancijskom polju i kvaliteti površinske obrade Ra 0,8.

Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
	Razradio		Tomislav Grahek		
	Crtao		Tomislav Grahek		
	Pregledao		Prof.dr.sc Branko Bauer		
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:		
∅ 7 H7	+0,015 0			R. N. broj:	
∅ 90 H7	+0,035 0	Napomena: Kaliti na 46+2 HRc		Kopija	
260 g6	-0,017 -0,049	Materijal: 1.2343 ESU	Masa:		
285 g6	-0,017 -0,049	Mjerilo originala	Naziv: GRAVURNA PLOČA 2 US	2	
	1:1	Crtež broj: TG-2023-002		Format: A1	
				Listova: 1	
				List: 1	

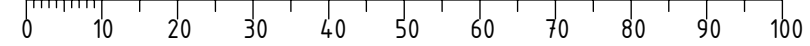


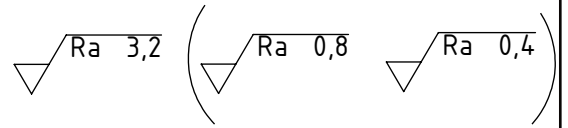
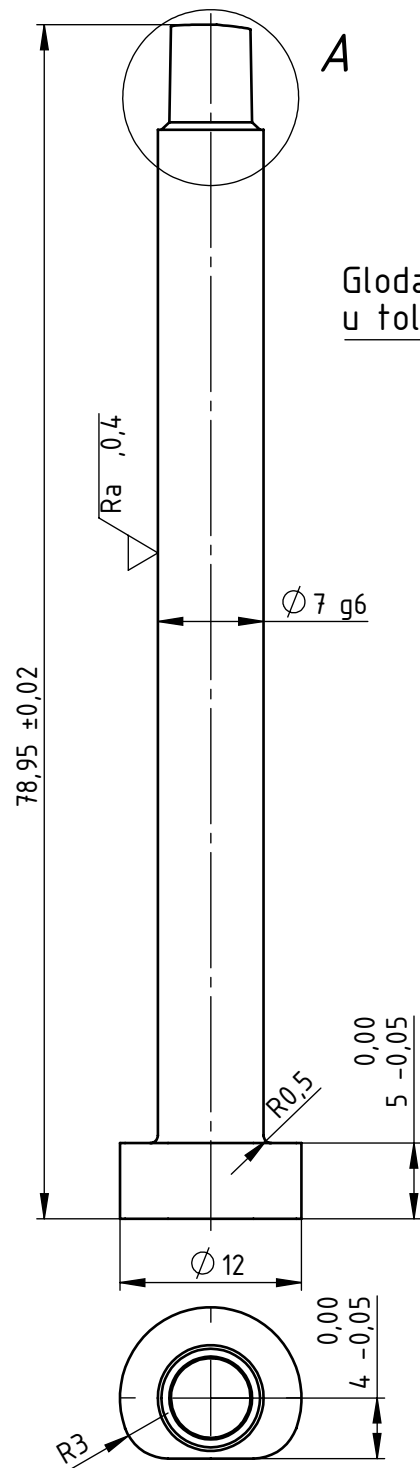
Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis		
Projektirao			Tomislav Grahek			
Razradio			Tomislav Grahek			
Crtao			Tomislav Grahek			
Pregledao			Prof.dr.sc Branko Bauer			
ISO - tolerancije		Objekt:			Objekt broj:	
$\varnothing 120 e7$	-0,072 -0,107				R. N. broj:	
Napomena:		Kaliti na 46+2 HRc			Kopija	
Materijal:		1.2343	Masa:	15,2 kg		
Mjerilo originala		Naziv:				Pozicija:
1:2		KLIZAČ K1				7
		Crtež broj:				1
		TG-2023-007			1	





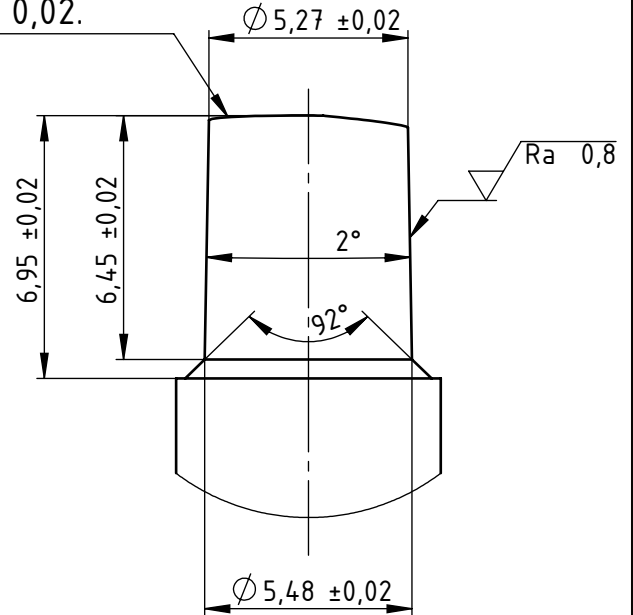
Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
	Razradio		Tomislav Grahek		
	Crtao		Tomislav Grahek		
	Pregledao		Prof.dr.sc Branko Bauer		
ISO - tolerancije	Objekt:			Objekt broj:	
				R. N. broj:	
	Napomena: Kaliti na 46+2 HRc				Kopija
	Materijal: 1.2343	Masa: 1,3 kg			
		Naziv: UMETAK US			Pozicija: 5
	1:1	Crtež broj: TG-2023-005			Format: A3
					Listova: 1
					List: 1





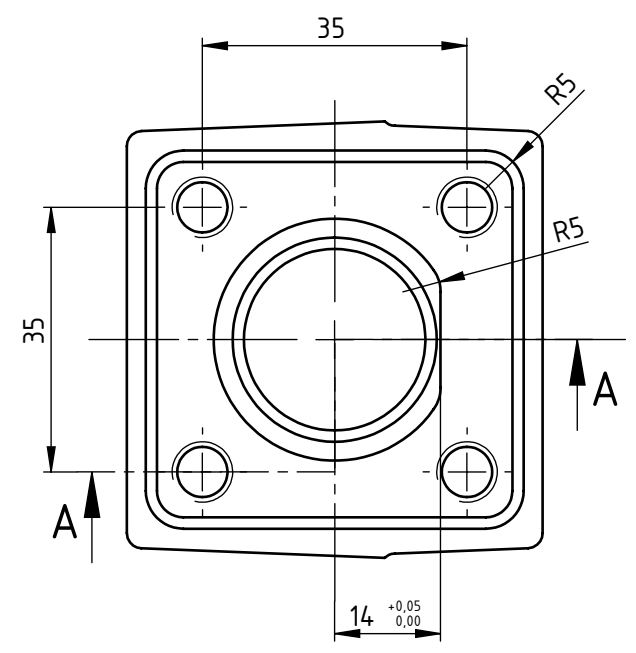
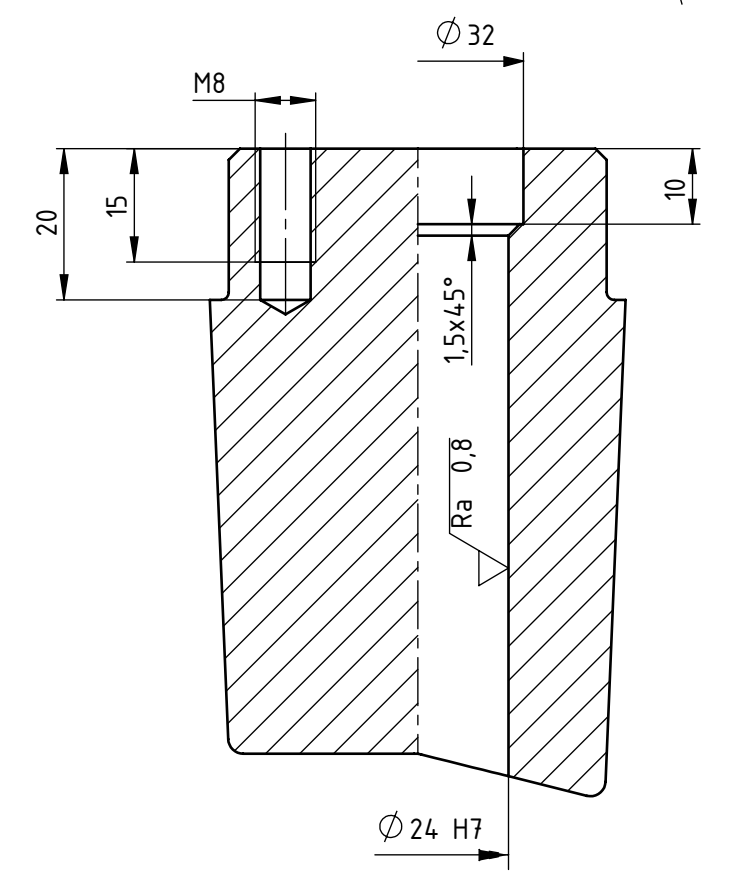
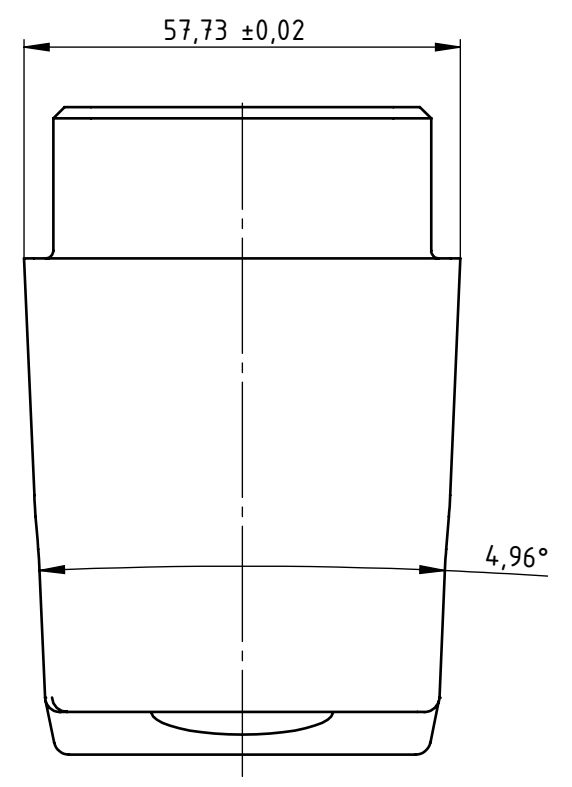
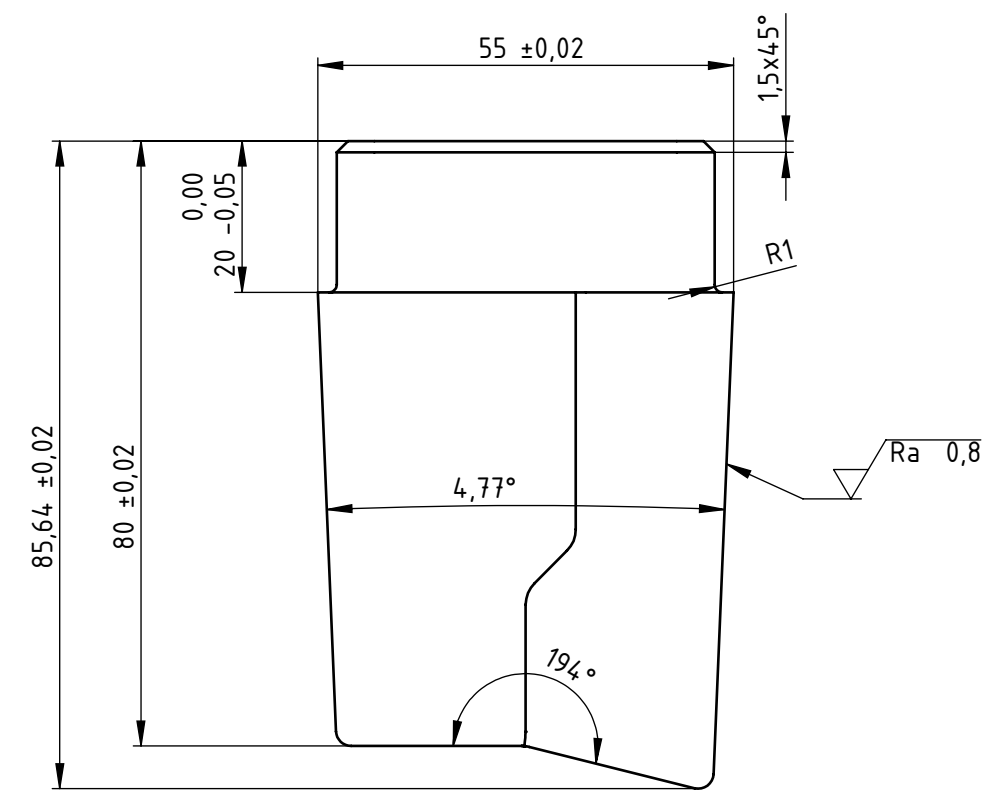
Detalj A M 5:1

Glodati prema 3D modelu  
u toleranciji  $\pm 0,02$ .

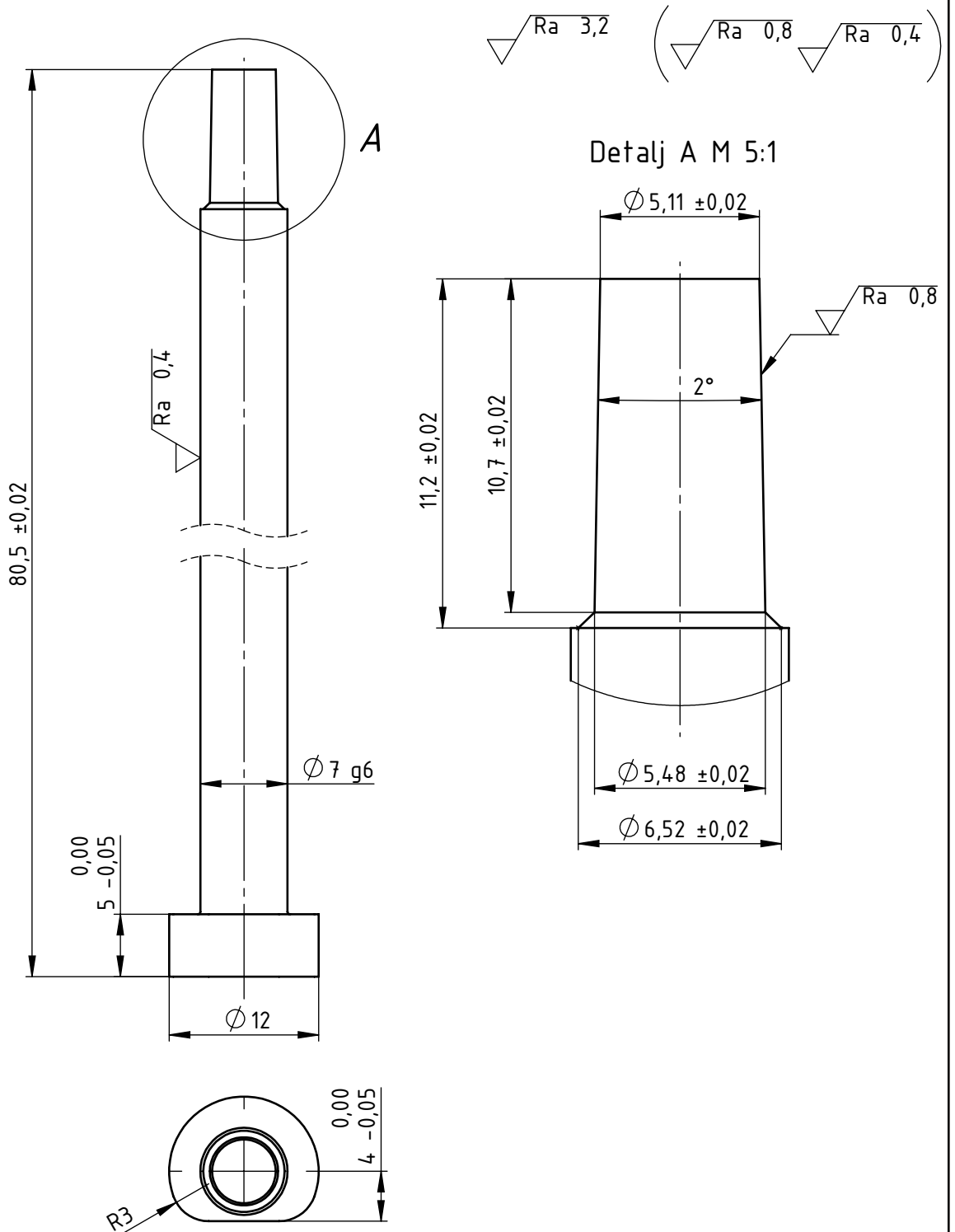


Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao			Tomislav Grahek		
Razradio			Tomislav Grahek		
Crtao			Tomislav Grahek		
Pregledao			Prof.dr.sc Branko Bauer		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
$\varnothing 7 \text{ g6}$	-0,005			R. N. broj:	
	-0,014				
Napomena: Doraditi kupovnu komponentu.				Kopija	
Materijal: E1740/7x100		Masa: 0,05 kg			
		Naziv:			
Mjerilo originala		TRN 1 US		6	
2:1		Crtež broj: TG-2023-006		Format: A4	
				Listova: 1	
				List: 1	

Ra 1,6 ( Ra 0,8 )



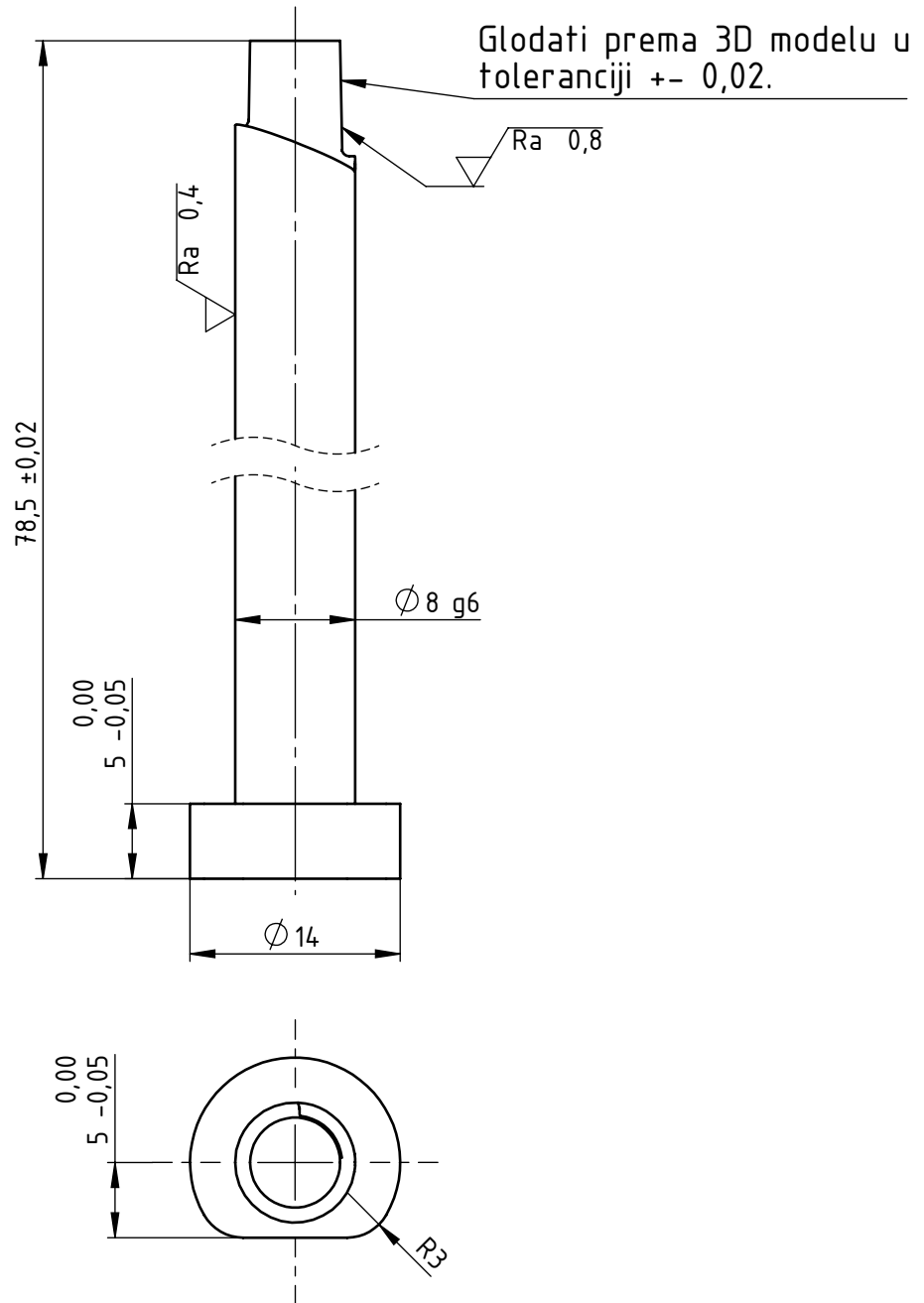
Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis		
	Razradio		Tomislav Grahek			
	Crtao		Tomislav Grahek			
	Pregledao		Prof.dr.sc Branko Bauer			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		
Ø 24 H7	+0,021 0			R. N. broj:		
		Napomena: Kaliti na 46+2 HRc				
		Materijal: 1.2343	Masa: 1,4 kg			
			Naziv:		Pozicija:	
			UMETAK K2		8	
		Mjerilo originala	Crtež broj:		Format: A3	
		1:1	TG-2023-008		Listova: 1	
					List: 1	


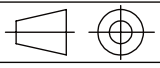


Broj naziva - code		Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao			Tomislav Grahek		
Razradio			Tomislav Grahek		
Crtao			Tomislav Grahek		
Pregledao			Prof.dr.sc Branko Bauer		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
$\varnothing 7 \text{ g6}$ -0,004 -0,015			R. N. broj:		
	Napomena: Doraditi kupovnu komponentu.				Kopija
Materijal: E1740/7x100		Masa: 0,05 kg			
		Naziv:		Pozicija:	Format: A4
Mjerilo originala		TRN 1 IS		9	
2:1		Crtež broj:		TG-2023-009	
				List: 1	

Design by CADLab

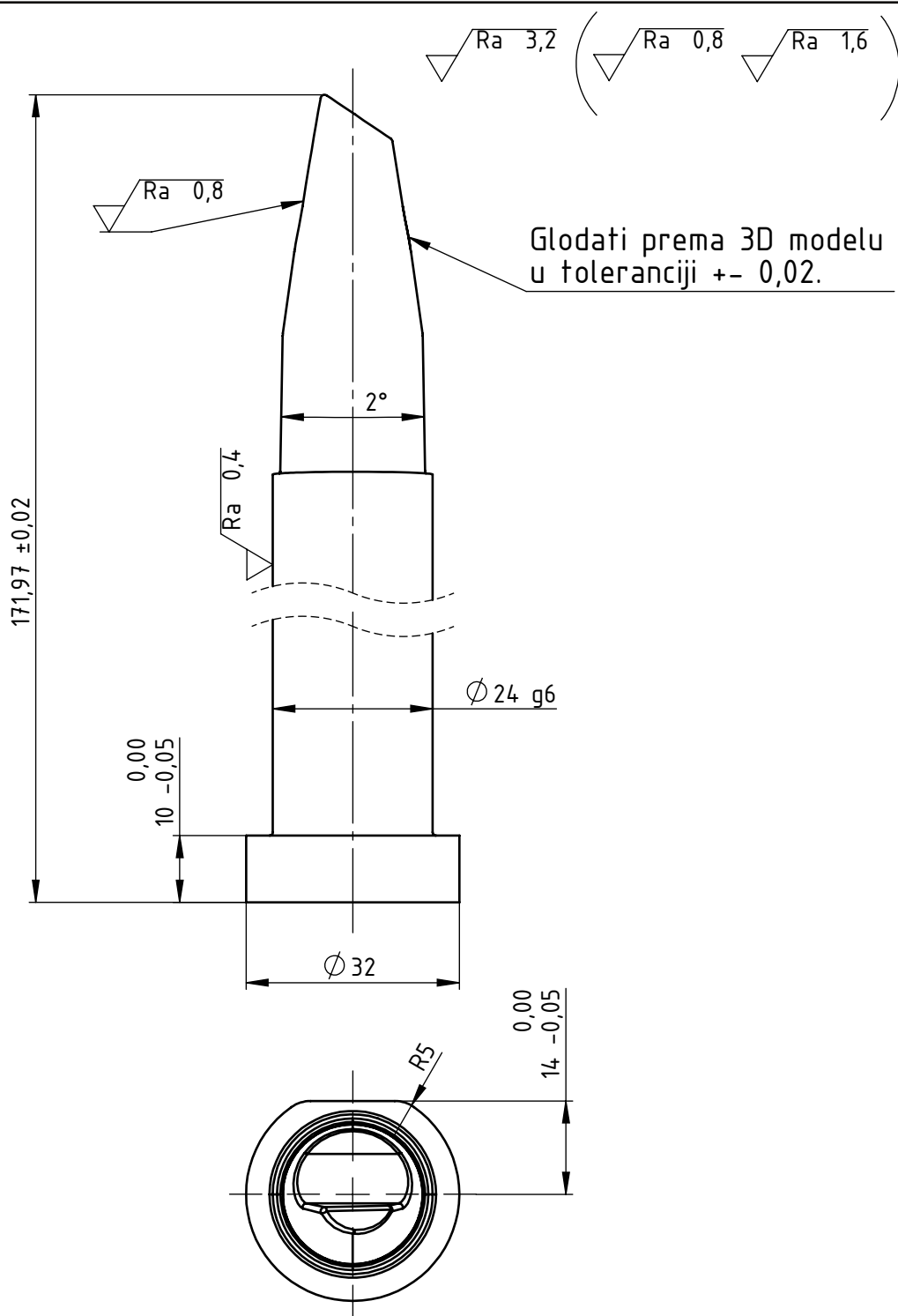
$\sqrt{Ra\ 3,2}$  (  $\sqrt{Ra\ 0,8}$   $\sqrt{Ra\ 0,4}$  )


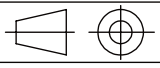


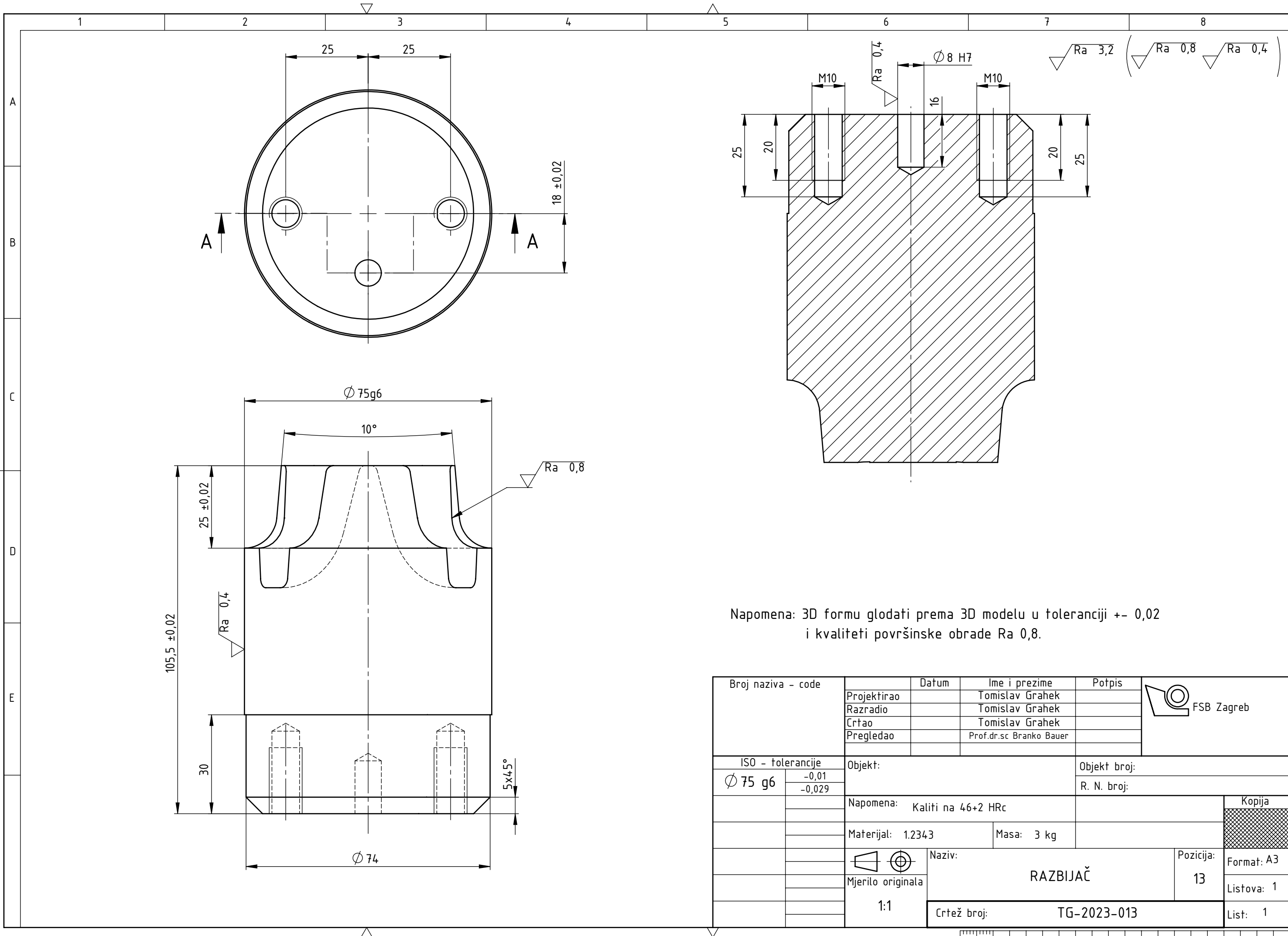
Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao	Tomislav Grahek		
	Razradio	Tomislav Grahek		
	Crtao	Tomislav Grahek		
	Pregledao	Prof.dr.sc Branko Bauer		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:
$\varnothing 8\ g6$	-0,005			R. N. broj:
	-0,014			
Napomena: Doraditi kupovnu komponentu.				Kopija
Materijal: E1740/8x100			Masa: 0,06 kg	
		Naziv:		Pozicija:
Mjerilo originala		TRN 2 IS		10
2:1		Crtež broj: TG-2023-010		Format: A4
				Listova: 1
				List: 1




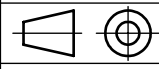




Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Projektirao	Tomislav Grahek		
	Razradio	Tomislav Grahek		
	Crtao	Tomislav Grahek		
	Pregledao	Prof.dr.sc Branko Bauer		
ISO - tolerancije	Objekt: Doraditi kupovnu komponentu.		Objekt broj:	
$\varnothing 24$ g6 -0,007 -0,02			R. N. broj:	
	Napomena:			Kopija
	Materijal: E1740/25x200	Masa: 0,06 kg		
	 Naziv: TRN 4 IS	Pozicija: 12	Format: A4	
	Mjerilo originala: 2:1	Crtež broj: TG-2023-012	Listova: 1	
			List: 1	



Napomena: 3D formu glodati prema 3D modelu u toleranciji +- 0,02 i kvaliteti površinske obrade Ra 0,8.

Broj naziva - code	Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
	Razradio		Tomislav Grahek		
	Crtao		Tomislav Grahek		
	Pregledao		Prof.dr.sc Branko Bauer		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
Ø 75 g6	-0,01	Napomena: Kaliti na 46+2 HRc		R. N. broj:	
	-0,029				
Materijal: 1.2343		Masa: 3 kg		<div style="background-color: #cccccc; width: 100px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <span style="font-size: 8px;">Kopija</span> </div>	
 Mjerilo originala		Naziv:			
1:1		RAZBIJAČ		13	
Crtež broj:		TG-2023-013		List: 1	

