

# TEHNOLOGIČNO OBLIKOVANJE PROIZVODA KOJI SE IZRAĐUJU TEHNOLOŠKIM POSTUPKOM LIJEVANJA

---

**Trgovčić, Matija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:372258>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-23**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

# TEHNOLOGIČNO OBLIKOVANJE PROIZVODA KOJI SE IZRAĐUJU TEHNOLOŠKIM POSTUPKOM LIJEVANJA

---

**Trgovčić, Matija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:372258>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2023-02-10**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
*Stručni studij Strojarsva*

Matija Trgovčić

**TEHNOLOGIČNO  
OBLIKOVANJE PROIZVODA  
KOJI SE IZRAĐUJU  
TEHNOLOŠKIM POSTUPKOM  
LIJEVANJA**

**Tecnological design of products  
made by technological casting  
procedure**

Završni rad

Karlovac, 2022.

VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
*Stručni studij Strojарstva*

Matija Trgovčić

**TEHNOLOGIČNO  
OBLIKOVANJE PROIZVODA  
KOJI SE IZRAĐUJU  
TEHNOLOŠKIM POSTUPKOM  
LIJEVANJA**

**Technological design of products  
made by technological casting  
procedure**

Završni rad

Nikola Šimunić, mag.ing.mech.

Karlovac, 2022.

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

Zahvaljujem se svom mentoru, mag. ing. str. Nikoli Šimuniću na stručnim savjetima i uloženom vremenu prilikom izrade završnog rada.

Matija Trgovčić

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	V
POPIS OZNAKA .....	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY .....	VIII
1. UVOD.....	1
2. LIJEVANJE.....	2
2.1. Podijela lijevanja prema vrsti kalupa .....	2
2.2. Kokilni lijev .....	3
2.3. Koraci prilikom gravitacijskog lijevanja u kokilu .....	4
3. TEHNOLOGIČNO OBLIKOVANJE ODLJEVAKA .....	5
3.1. Polumjer.....	5
3.2. Jednolika debljina stijenke modela .....	5
3.3. Pravilno konstruiranje modela .....	6
3.4. Varijacija debljine stijenke.....	7
3.5. Podrezivanje.....	7
3.6. Konstruiranje modela sa konusom.....	8
3.7. Jezgra .....	9
3.8. Unutarnje hlađenje modeliranjem kalupa .....	9
4. OBLIKOVANJE PROIZVODA ZA LIJEVANJE U KOKILU .....	11
4.1. Opis proizvoda .....	11
4.2. Olovo.....	11
4.3. Mastercam .....	12
4.4. Opis modeliranja .....	12
4.5. Prikaz modela.....	13
5. MODELIRANJE KALUPA .....	15
5.1. Uljevni kanal .....	15
5.2. Pozicioniranje kalupa .....	17
5.3. Donji dio kalupa.....	18
5.4. Gornji dio kalupa .....	19
5.5. Prikaz kalupa i modela .....	20
5.6. Model sa jezgrom.....	20
5.7. Unutarnje hlađenje odljevka .....	21
5.8. Kalup sa konusom.....	22
5.9. Kalup sa polumjerom .....	23
6. IZRADA KALUPA NA CNC STROJU .....	24
6.1. Doosan DNM 4500 .....	24

---

6.2. Odabir alata za izradu na CNC stroju .....	25
6.3. Primjer izrade na stroju .....	29
7. ZAKLJUČAK.....	31
PRILOZI.....	32
LITERATURA.....	33

**POPIS SLIKA**

Slika 1. Podijela lijevanja prema vrsti kalupa [1] .....	2
Slika 2. Gravitacijsko lijevanje u kokile [3].....	3
Slika 3. Primjerci odljevaka lijevanjem u kokile [4].....	4
Slika 4. Primjer modeliranja polumjera [5].....	5
Slika 5. Primjer jednolike debljine stijenke modela [5] .....	6
Slika 6. Pravilno konstruiranje modela [5].....	6
Slika 7. Varijacija debljine stijenke [5] .....	7
Slika 8. Izbjegavanje podrezivanja [5] .....	8
Slika 9. Pravilno konstruiranje modela [5].....	8
Slika 10. Unutarnje hlađenje jezgrama [6].....	9
Slika 11. Unutarnji dio modela [7] .....	10
Slika 12. Guru hranilica za ribe [8] .....	11
Slika 13. Gornja strana modela .....	13
Slika 14. Donja strana modela.....	13
Slika 15. Volumen modela .....	14
Slika 16. Uljevni sustav [12] .....	16
Slika 17. Shematski prikaz pojednostavljenog ulijevnog sustava [13] .....	16
Slika 18. Primjer pozicioniranja kalupa [14] .....	18
Slika 19. Donji dio kalupa.....	19
Slika 20. Gornji dio kalupa .....	19
Slika 21. Prikaz kalupa i modela.....	20
Slika 22. Model sa jezgrom.....	21
Slika 23. Pinovi za hlađenje .....	22
Slika 24. Kalup sa konusom .....	22
Slika 25. Kalup sa polumjerom .....	23
Slika 26. Doosan DNM 4500 [15] .....	25
Slika 27. Gornji dio kalupa 1. faza.....	27
Slika 28. Gornji dio kalupa 2. faza.....	27
Slika 29. Donji dio kalupa 1. faza .....	28
Slika 30. Bočni provrt .....	28
Slika 31. Ulijevni kanal .....	29
Slika 32. Obradak .....	29
Slika 33. Gotovi obradak.....	30



## POPIS TABLICA

Tablica 1. Skupljanje pri skrućivanju za različite lijevane materijale [11] .....	12
Tablica 2. Specifikacija stroja [14] .....	24
Tablica 3. Opis alata.....	25

## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
m	Kg	masa
$\rho$	$\text{kg/m}^3$	gustoća
V	$\text{m}^3$	volumen
$A_{\text{sg}}$	$\text{mm}^2$	površina poprečnog presjeka
$A_{\text{sd}}$	$\text{mm}^2$	površina poprečnog presjeka
H	mm	udaljenost
h	mm	udaljenost

## **SAŽETAK**

U ovom radu sam opisao povijest izrade obradaka pomoću tehnologije lijevanja od samih početaka pa sve do današnjih modernih tehnologija.

Opisao sam povijest lijevanja i podjele, te sam poseban značaj dao gravitacijskom lijevanju u kokile.

Samostalno sam projektirao kalup, programirao ga, te ujedno napravio na CNC stroju.

Ključne riječi: Lijevanje, kalup, model, aluminij, olovo

## **SUMMARY**

In this paper, i have described the history of casting technology from the very beginning all the way to today`s modern technologies.

I have described the history of casting and division, and I have given special importance to gravity casting in molds.

I have independently designed the mold, programmed it, and also made it on CNC machine.

Key words: Casting, mold, model, aluminium, lead

## 1. UVOD

Lijevanje je tehnologija oblikovanja metala koja se koristi za izradu gotovo svih predmeta koji se u svakodnevnicima koriste. Tom tehnologijom sirovinu, metale i legure (željezo, aluminij, bakar, olovo...) uz pomoć topline se rastali i ulijeva u kalupe te se tako dobiva željeni oblici obradaka.

Postoje više vrsta tehnologija lijevanja koja će se kasnije spomenuti u ovom radu, ali će posebna pažnja biti posvećena lijevanju u kokile.

Tehnologija lijevanja je tehnologija koja traje i usavršava se već dugih 5000 godina. Počeci tehnologije lijevanja datira od 3200. god. pr. Kr. u Mezopotamiji.

2000 god. pr. Kr. u Egiptu je otkriveno željezo, ali se lijevano željezo tek počelo koristiti u Kini cca. 800-700 god. pr. Kr. 500 god. pr. Kr. se u Indiji počeo izrađivati lijevani čelik i taj postupak se nije više radio sve do 1750. godine dok ga nije Benjamin Huntsman „ponovno izmislio“ u Engleskoj.

U 13.st. je došlo do velike potrebe za izradom crkvenih zvona, koja su se jedino mogla izraditi pomoću lijevanja, pa je to i potaklo razvoj tehnologije, te je također krajem 19. st. u doba ratova došlo do velike potrebe za izradom topova, kugli i sl., pa je i tu tehnologija lijevanja bila jedina koja je mogla te potrebe zadovoljiti.

Rijetko znana zanimljivost je da se u doba renesanse kipovi izrađivali pomoću lijevanja, pa su tako i umjetnici u to doba morali poznavati tehnologiju, tako da je pored svega što je u životu bio, Leonardo da Vinci je također bio i lijevač.

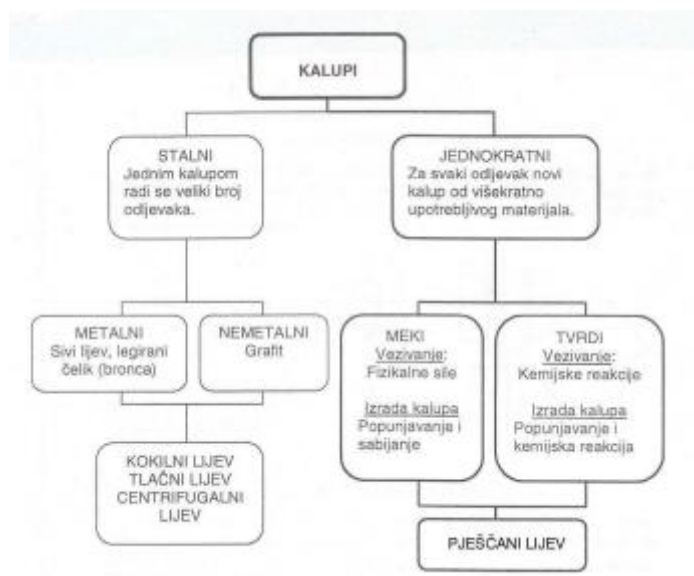
Danas je najveća primjena lijevanja u automobilske industriji, u obliku lijevanog željeza ili aluminijskog lijeva, osim u automobilske industriji, lijevanje se koristi u strojogradnji, građevinske industriji, medicini, brodogradnji.....

Tehnologija lijevanja je u većini slučajeva prilagođena za serijsku proizvodnju, čime se postiže da je cijena niska i također je toliko napredovala da je kvaliteta odljevka toliko dobra da nema potrebe nakon lijevanja za daljnom obradom.

## 2. LIJEVANJE

### 2.1. Podijela lijevanja prema vrsti kalupa

U ljevarstvu se koriste različite tehnologije lijevanja, ovisno o potrebama i mogućnostima, na slici 1. je prikazana podijela lijevanja prema vrsti kalupa.



Slika 1. Podijela lijevanja prema vrsti kalupa [1]

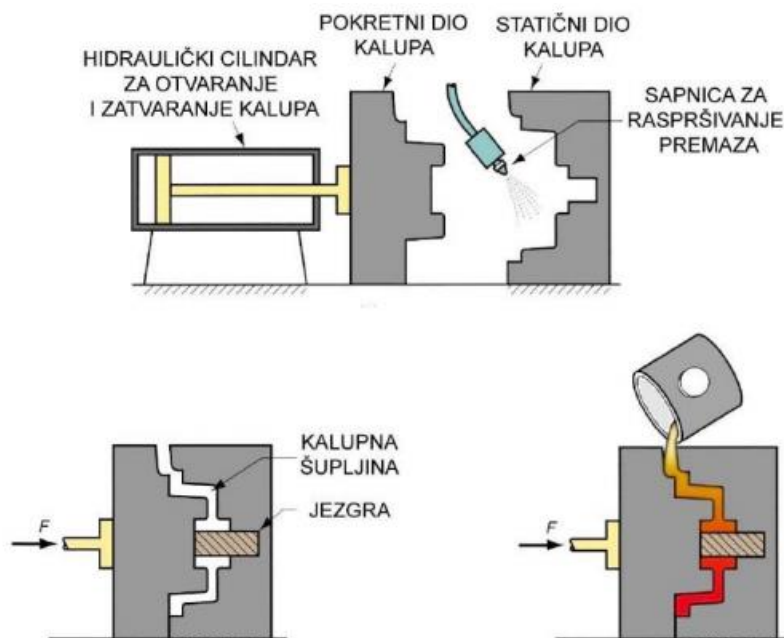
Kao što se vidi na slici 1., s obzirom prema vrsti kalupa, lijevanje se dijeli na stalne i jednokratne kalupe.

Jednokratni kalupi se prilikom svakog novog lijevanja moraju ponovno izraditi (najčešće se rade od lijevačkog pijeska), pa o obzirom na to, ovakvi tipovi lijevanja se ne koriste u proizvodnjama gdje se rade velike serije, nego gdje je pojedinačna proizvodnja, makar veličina serija i nije jedini faktor koji će određivati gdje će se koristiti stalni, a gdje jednokratni kalupi.

Postoje još podjela za lijevanje u jednokratne kalupe, kao što su: školjkasti ljev, lijevanje u pune kalupe, točni (precizni) ljev, lijevanje u kalupe od gipsa, lijevanje u keramičke kalupe, vakuumsko kalupljenje pijeska.

U ovom završnom radu posebna pažnja će se posvetiti lijevanju u kokile.

## 2.2. Kokilni lijev



Slika 2. Gravitacijsko lijevanje u kokile [3]

Kokile su metalni kalupi za višekratno gravitacijsko ulijevanje neželjeznih metala. Kokilnim lijevom naziva se postupak lijevanja odljevaka u metalne kalupe ili kokile, kada se litina ulijeva djelovanjem gravitacije. Tehnologijom kokilnog lijeva rade se složeni odljevci koji se koriste u različitim granama industrije. Mogu se lijevati dijelovi za vozila svih vrsta, cijevni elementi te razna kućišta.

Osnovni koraci postupka su: zagrijavanje kokile, prskanje ili premazivanje kalupa, lijevanje i skrućivanje i otvaranje kokile i vađenje odljevka.

Kokilnim lijevom lijevaju se: čelik, sivi lijev, tvrdi lijev, legure bakra, aluminijska i cinkova, a kokile se uglavnom izrađuju od sivog lijeva. Odljevci kokilnog lijeva imaju glatke i čiste površine, te točne dimenzije. Imaju dobra mehanička svojstva i odljevci su bez uključina pijeska.

Neki od nedostataka su: skupoća kalupa, legure su nižeg tališta.





Slika 3. Primjerci odljevaka lijevanjem u kokile [4]

### 2.3. Koraci prilikom gravitacijskog lijevanja u kokilu

Gravitacijsko lijevanje u kokilu sastoji se od sljedećih koraka:

- Predgrijavanje kalupa i nanošenje premaza
- Umetanje jezgri
- Zatvaranje kalupa i ulijevanje
- Hlađenje i skrućivanje
- Otvaranje kalupa i izbacivanje odljevka
- Dodatna obrada (ukoliko je potrebna)

### 3. TEHNOLOGIČNO OBLIKOVANJE ODLJEVAKA

Kod tehnologije lijevanja je potrebno paziti na mnogo faktora koji će imati ulogu u kvaliteti i izglednosti odljevka, pa će se u ovom radu proći kroz nekoliko pravila kod oblikovanja odljevaka.

#### 3.1. Polumjer

Oštri kutovi, rubovi i nagle promjene u presjeku komada se moraju izbjeći u modeliranju odljevka, a to se postiže dodavanjem polumjera na dolje navedene dijelove.

Vanjski kutevi moraju imati polumjer, a unutarnji tzv. fillet polumjer i to bi morali biti što veći mogući, ovisi o kojoj tehnologije lijevanja se radi.

Npr. za kokilni lijev fillet polumjer bi morao biti minimalno 1.5 puta veći od debljine stijenke.



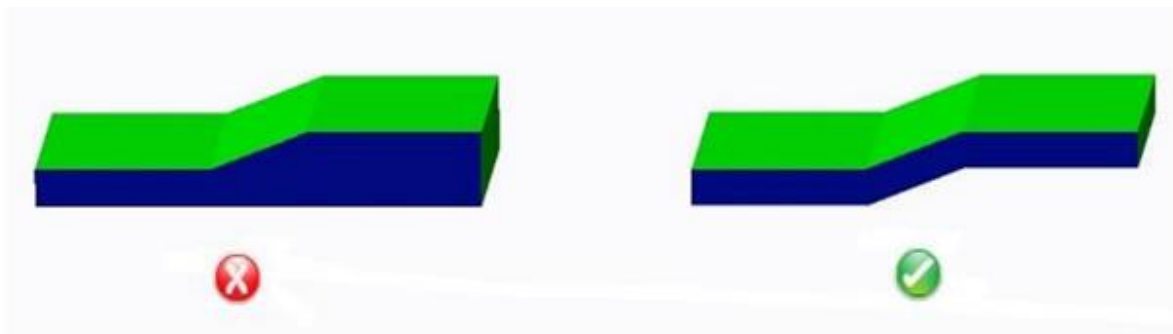
Slika 4. Primjer modeliranja polumjera [5]

#### 3.2. Jednolika debljina stijenke modela

Debljina stijenke treba biti ujednačena jer pomaže u stvaranju visokokvalitetnih lijevanih dijelova. Nagle varijacije i promjene geometrije i debljine stijenke utječu na protok metala, što rezultira zatvaranjem zraka i lošom završnom obradom dijelova.

Preporučeni raspon debljine stijenke je dva puta veći od najtanjeg dijela stijenke komada.

Prijelaz s debljih na tanje stijenke bi također trebao biti što postupniji.



Slika 5. Primjer jednolike debljine stijenke modela [5]

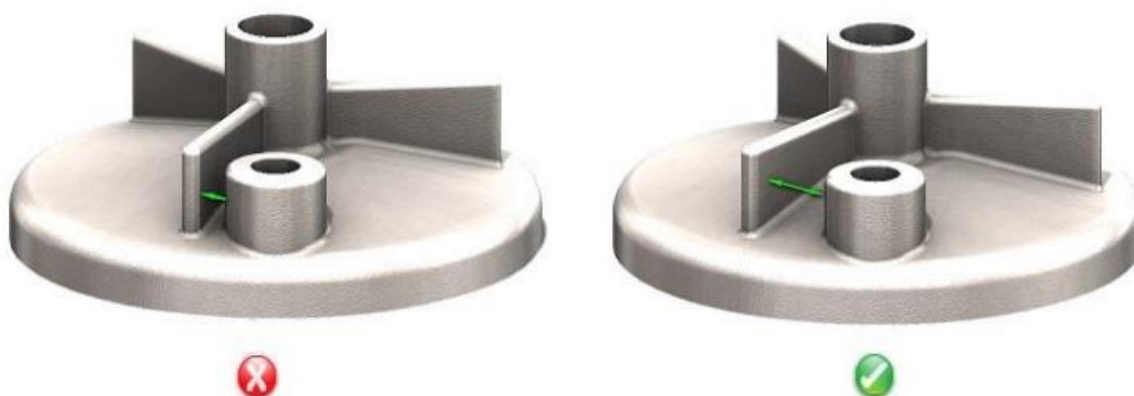
### 3.3. Pravilno konstruiranje modela

Debljina stijenke kalupa je bitan faktor koji se mora uzeti u obzir kod lijevanja. Ako je debljina zida kalupa previše tanka i izdužena, pojavljuju se naprezanja koja smanjuju vijek kalupa.

Također, potrebni su specijalni materijali za izradu kalupa i možda zahtjevaju redovitu zamjenu i održavanja.

Kao što se vidi na slici 6., izbočine koje su previše blizu stijenci zida mogu uzrokovati tanju stijenku kalupa.

Stoga se minimalna dopuštena debljina stijenke kalupa treba odlučivati na temelju razmatranja procesa i materijala.

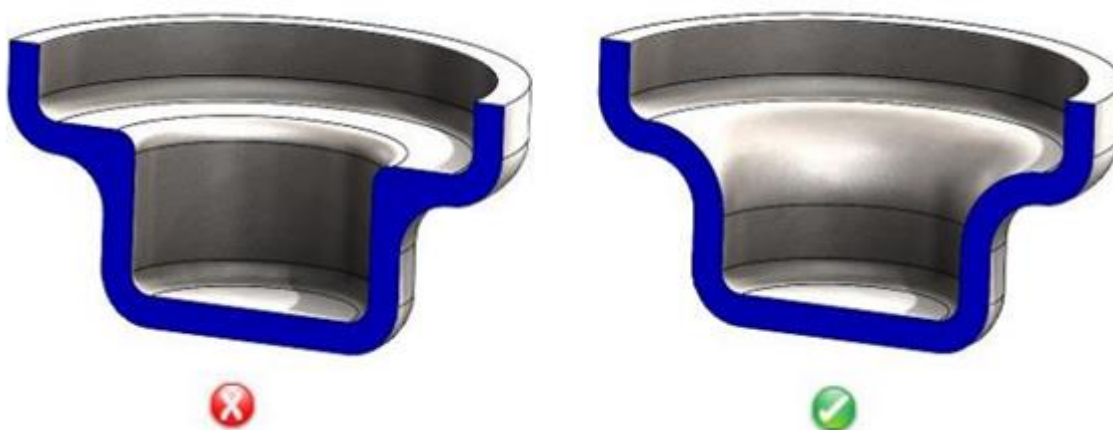


Slika 6. Pravilno konstruiranje modela [5]

### 3.4. Varijacija debljine stijenke

Varijacije debljine stijenke u odljevku rezultiraju različitim brzinama hlađenja, skupljanja, savijanja i izobličenja. U idealnom slučaju, debljina stijenke treba biti ujednačena u cijelom dijelu, tj. jednaka nominalnoj debljini stijenke.

U stvarnosti, ova varijacija je neizbježna zbog funkcionalnih i estetskih zahtjeva. Međutim, količinu varijacija treba svesti na minimum i unutar određene tolerancije.



Slika 7. Varijacija debljine stijenke [5]

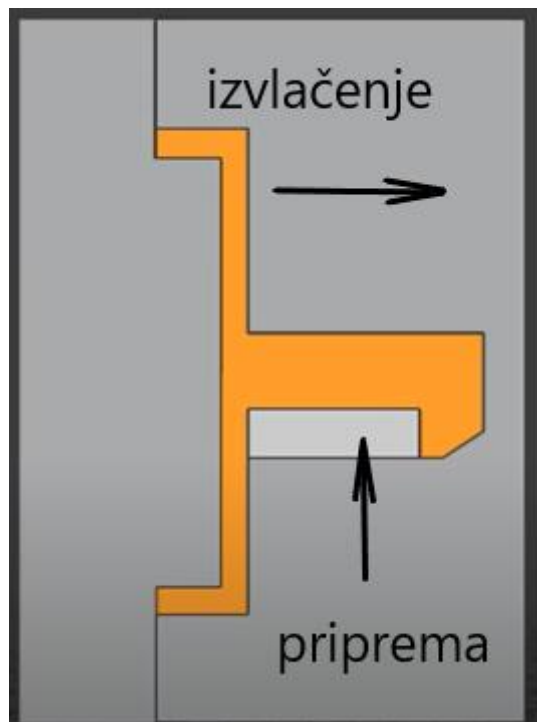
### 3.5. Podrezivanje

Podrezivanje je svako udubljenje ili izbočina koja sprječava izbacivanje modela iz kalupa.

Preporuča se izbjegavanje podrezivanja radi lakše izrade. Podrezivanje zahtjeva dodatne mehanizme, što povećava cijenu i složenost kalupa.

Pametan dizajn dijelova ili manji ustupci u dizajnu često mogu eliminirati složene mehanizme za podrezivanje.

Ukoliko ne možemo promijeniti dizajn modela, sa jednostavnim načinima se može riješiti problem izbacivanja modela iz kalupa kao što je prikazano na slici 8.



Slika 8. Izbjegavanje podrezivanja [5]

### 3.6. Konstruiranje modela sa konusom

Konstruiranje modela sa konusom je bitno zbog jednostavnog uklanjanja odljevaka.

Dodavanje određenih konusa na lijevane dijelove poboljšava vrijeme ciklusa i kvalitetu površina.

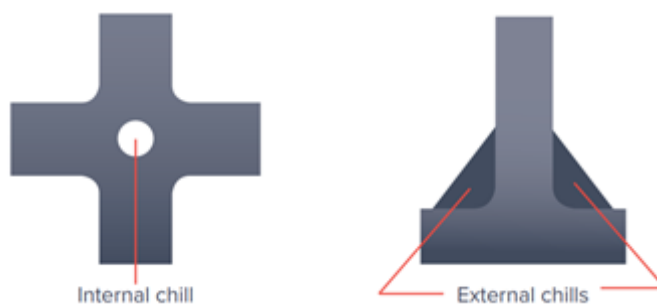
Koliki će biti konus ovisi o visini obratka, estetici i o funkcionalnosti odljevka.



Slika 9. Pravilno konstruiranje modela [5]

### 3.7. Jezgra

Jezgra služi za oblikovanje unutarnjih kontura odljevaka. Jezgra može biti jednostavnog cilindričnog oblika ili vrlo složenog oblika kao što je slučaj kod oblikovanja kanala za vodeno hlađenje u blokovima motora. Jedno od najbitnijih svojstava jezgre je razrušivost. Od ostalih svojstava, jezgra mora propuštati plinove kako ne bi ostali zarobljeni u odljevku te uzrokovali poroznost materijala. Također mora dobro podnositi toplinu koju prenosi talina jer je vrlo često obavijena talinom po čitavom volumenu te mora biti otporna na eroziju prilikom udara taline. Uz navedene značajke jezgre, ona također služi za konačno hlađenje odljevka, da ne bi došlo do pucanja odljevka. Kao što je prikazano na slici 10. može biti izvedeno i unutarnje i vanjsko hlađenje odljevka.

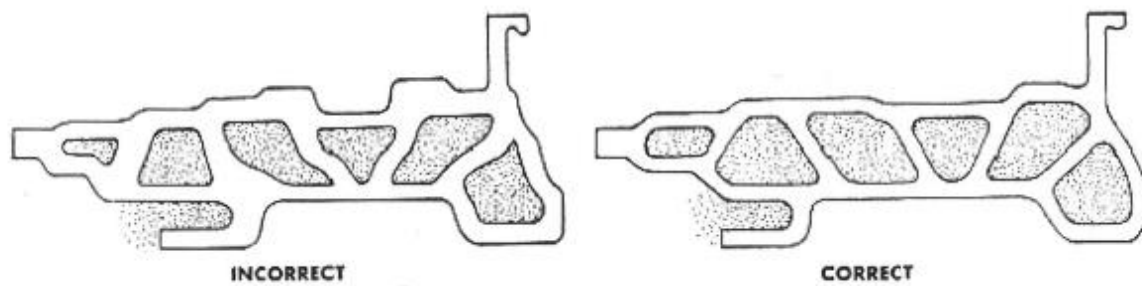


Slika 10. Unutarnje hlađenje jezgrama [6]

### 3.8. Unutarnje hlađenje modeliranjem kalupa

Unutarnji dijelovi modela, bilo zbog kompleksnih jezgri, ili zbog samog oblika modela, ukoliko ima cjelovitu neprekinutu površinu, se hlade puno sporije od ostalih dijelova odljevka.

To sporije hlađenje naposljetku uzrokuje varijacije u svojstvima čvrstoće. Dobro pravilo je da se smanji unutarnji dio modela za 9/10 debljine vanjskog zida [7].



Slika 11. Unutarnji dio modela [7]

## 4. OBLIKOVANJE PROIZVODA ZA LIJEVANJE U KOKILU

### 4.1. Opis proizvoda

Ovaj rad će se baviti konstruiranjem i izradom aluminjskog kalupa za hranilice za ribe koji je inspiriran već postojećom hranilicom koja se nalazi na tržištu.

Odljevak će biti od olova.



Slika 12. Guru hranilica za ribe [8]

U ovom slučaju, za izradu se odabrala hranilica od 75 grama, koja je veća od ostalih takvih hranilica koje se nalaze na tržištu.

Da bi se pojednostavila proizvodnja hranilica, za izradu je potrebna inox žica promjera 4,9 mm i taljeno olovo.

### 4.2. Olovo

Olovo (simbol Pb), ima četiri stabilna izotopa s masenim brojevima 204, 206, 207, 208 i više radioizotopa. Poznato je od davnina, od prije 5000 do 8000 godina.

Najvažnija ruda je galenit, a manje važni ceruzit, anglezit i dr.

Mekano je i teško, gustoća  $11,35 \text{ g/cm}^3$  i niska tališta  $327,5^\circ\text{C}$ .

Korozivski je vrlo postojano, otporno je prema kloru, sumporovu dioksidu, sumporovodiku i većini kiselina. Nakon željeza i cinka najjeftiniji je termički metal vrlo široke primjene.



Rabi se u izradi akumulatora, plašteva električnih kabela, oklopa za zaštitu od rendgenskog i drugoga zračenja, itd. [9]

### 4.3. Mastercam

Modeliranje se radilo u programu Mastercam 2019.

Mastercam predstavlja programski paket koji garantira brzu i efikasnu obradu glodanjem. Proizvod Mastercam Mill svojim širokim spektrom operacija omogućuje od jednostavne 3-osne obrade pa do visoko specijaliziranih i kompleksnih 5-osnih obradaka, s ciljem da proizvod bude što prije gotov sa visokom točnosti i pouzdanosti procesa.

Sve više proizvoda u današnjem svijetu proizvedeno je uz pomoć Mastercam-a, koji svojim brojnim funkcijama i strategijama obrade omogućuje jednostavnu i pouzdanu obradu glodanjem. [10]

### 4.4. Opis modeliranja

Uzevši u obzir pravila kod modeliranja odljevka kod lijevanja koja su prije nabrojana, prvo je bilo potrebno istražiti koliko se olovo skuplja u kalupima nakon lijevanja.

**Tablica 1. Skupljanje pri skrućivanju za različite lijevane materijale [11]**

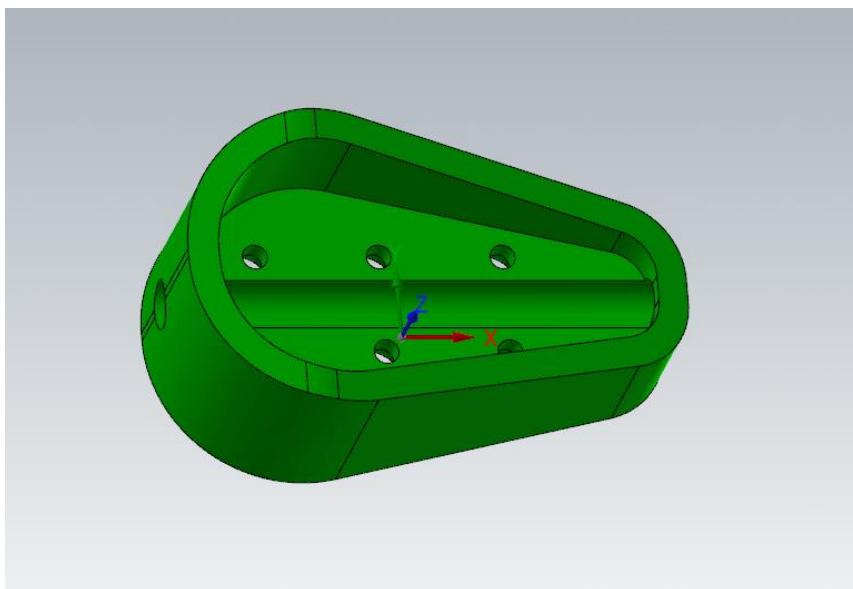
METALNI LIJEV	Volumno skupljanje pri skrućivanju %
Ugljični čelik	2,5-3
1%-tni ugljični čelik	4
Bakar	4,9
Aluminij	6,6
Magnezij	4,2
Cink	6,5
<b>Olovo</b>	<b>2,5</b>

Nakon istraživanja se vidi da se olovo volumno skuplja pri skrućivanju za 2,5 %, i to se treba uzeti u obzir kod modeliranja tako da dimenzije modela odgovaraju.

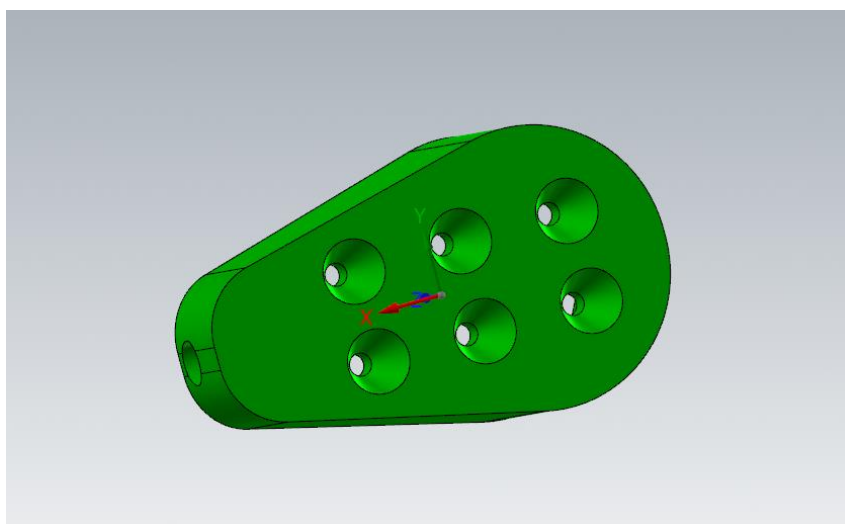
Također je vrlo bitno znati gustoću litine, koja je u ovom slučaju olovo ( $11,35 \text{ g/cm}^3$ ).

#### 4.5. Prikaz modela

Po uzoru na već postojeću hranilicu za ribe, poštivalo se koliko god je moguće da sva pravila kod izrade modela budu ispoštovana, no međutim, kako se zna da u stvarnom svijetu nije sve idealno, tako i u ovome slučaju varijacija debljina stijenke je svedene na minimum, ali također, ona postoji.

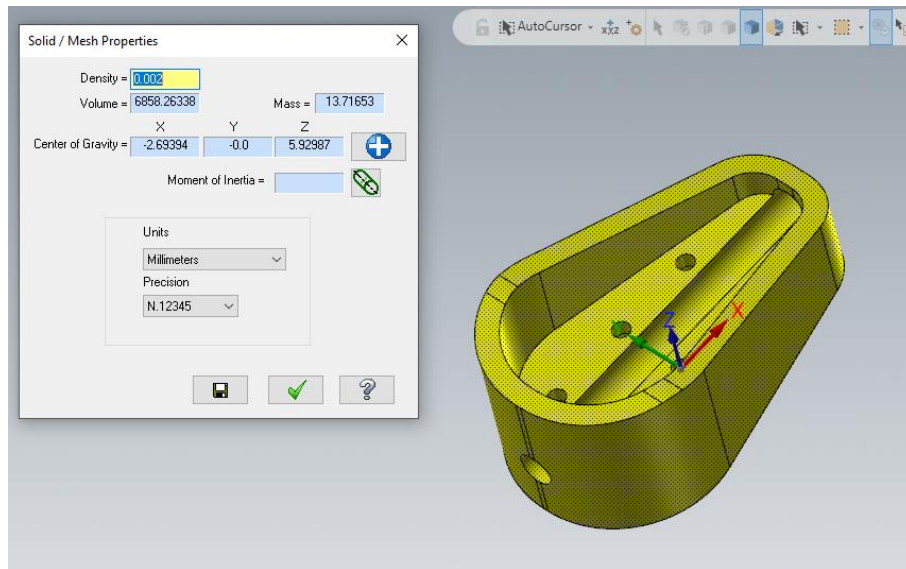


Slika 13. Gornja strana modela



Slika 14. Donja strana modela

Kao što se vidi na slikama modela gore, biti će potrebno osmisliti kalup pomoću kojeg će i funkcionalno i estetski dobiti sve kvalitete i zahtjeve koje se očekuju kada se model izlije.



**Slika 15. Volumen modela**

Program Mastercam ima mogućnost prikazivanja volumena modela.

Model koji se izradio ima volumen od  $6858,26 \text{ mm}^3$ , te pomoću tog podatka i poznate gustoće olova, jednostavnom formulom može se dobiti masa modela i vidjeti da li model po svemu odgovara.

$$m = \rho \times V \quad (1)$$

Gdje je :

- $m$  = masa [kg]
- $\rho$  = gustoća [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
- $V$  = volumen [ $\text{m}^3$ ]

Jednostavnom matematikom se dobije da masa iznosi  $m=0,0778 \text{ kg}$ , što je 77,8 grama i to odgovara zadatku pa se može prijeći na izradu gornjeg i donjeg dijela kalupa za ovaj model.

## 5. MODELIRANJE KALUPA

Nakon što se napravio model, potrebno je izraditi kalup koji odgovara tom modelu.

Ono što je vrlo bitno kod modeliranja kalupa je uljevni kanal, pravilno pozicioniranje gornjeg i donjeg dijela kalupa tako da svaki put ispadne isti odljevak, i naravno izrada kalupa pod kutem zbog lakšeg vađenja odljevka.

Također, u ovom poglavlju će biti prikazana pravila koja su objašnjena u trećem poglavlju na konkretnom primjeru.

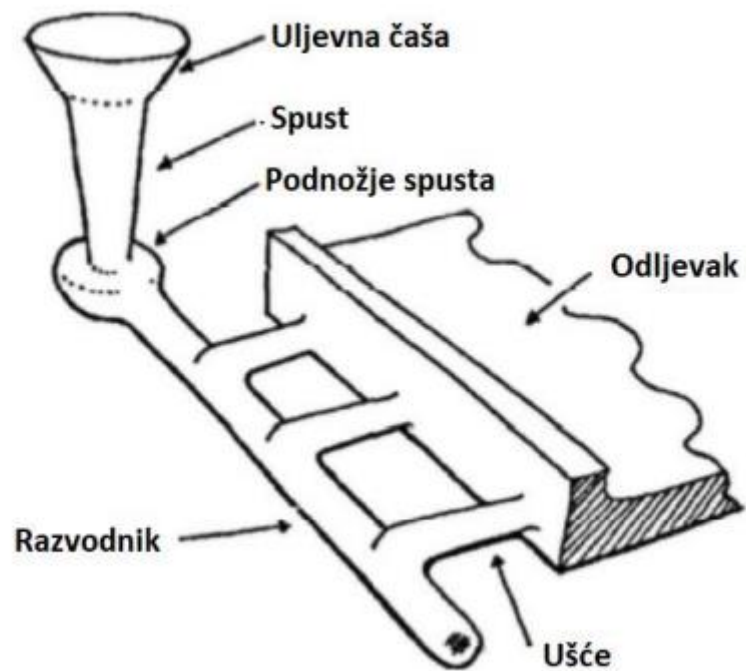
### 5.1. Uljevni kanal

Uljevni kanal je mreža kanala preko kojih taljevina ulazi u kalup i ispunjava kalupnu šupljinu. Pravilno konstruiran uljevni kanal mora zadovoljiti niz uvjeta:

- Brzo popunjavanje kalupne šupljine
- Smanjenje turbulencije taljevine
- Izbjegavanje erozije kalupa i jezgara
- Uklanjanje troske, metalnih oksida i uključaka prije ulaza u kalupnu šupljinu
- Izbjegavanje distorzije odljevka
- Stvaranje povoljnih toplinskih uvjeta
- Ekonomičnost uklanjanja uljevnog sustava

Konstrukcija potpunog uljevnog sustava je izrazito bitna zato što direktno utječe na kvalitetu odljevka. Većina grešaka na odljevcima potječe od nepravilno konstruiranog i postavljenog uljevnog sustava i sustava napajanja.

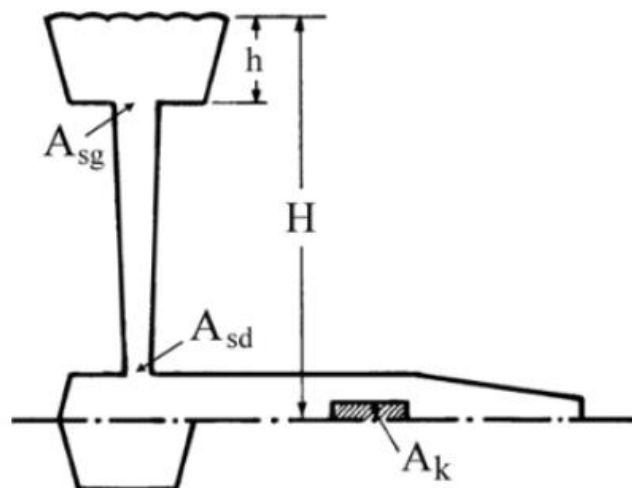
Na slici 16. se vidi pravilno konstruiran uljevni sustav.



Slika 16. Uljevni sustav [12]

Potrebno je načiniti proračun za uljevni kanal prije konstruiranja, tako da se zna sa sigurnošću da će biti funkcionalan.

Na slici 17. se vidi shematski prikaz pojednostavljenog ulijevnog sustava.



Slika 17. Shematski prikaz pojednostavljenog ulijevnog sustava [13]

Formula pomoću koje se može proračunati uljevni kanal je:  $A_{sg} = A_{sd} \sqrt{\frac{H}{h}}$  (2)

Gdje je:

- $A_{sg}$  = površina poprečnog presjeka spusta na gornjem kraju [mm<sup>2</sup>]
- $A_{sd}$  = površina poprečnog presjeka spusta na donjem kraju [mm<sup>2</sup>]
- $H$  = vertikalna udaljenost između nivoa taljevine u čaši i razine kritičnog presjeka [mm]

$h$  = visina taljevine u uljevnoj čaši [mm]

Pošto se zna da je promjer spusta na donjem dijelu  $d = 4$  mm, a visina  $H$  je 50 mm, i visina  $h$  30 mm, lako se dobije potrebni presjek  $A_{sg}$ .

$$A_{sd} = \frac{d \cdot d \cdot \pi}{4} \quad (3)$$

$$A_{sd} = 12,56 \text{ mm}^2$$

$$A_{sg} = A_{sd} \sqrt{\frac{H}{h}}$$

$$A_{sg} = 16,21 \text{ mm}^2$$

$$D_{sg} = \sqrt{\frac{4 \cdot A_{sg}}{\pi}} \quad (4)$$

$$D_{sg} = 4,54 \text{ mm}$$

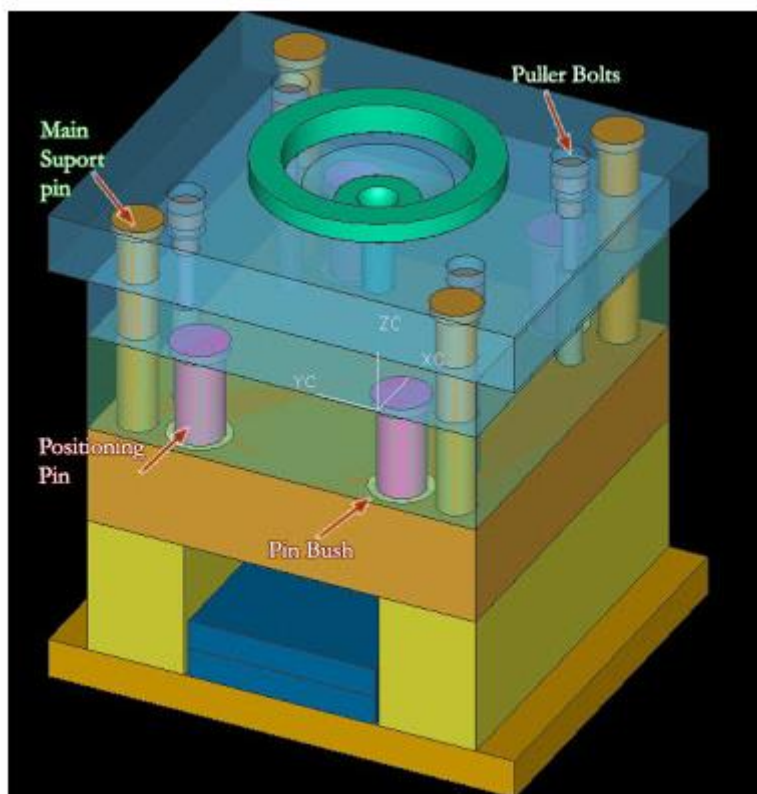
Potreban promjer gornjeg spusta je 4,54 mm.

## 5.2. Pozicioniranje kalupa

O pozicioniranju kalupa je također potrebno dobro razmisliti prije konstruiranja kalupa.

Ono je jako bitno zbog i estetskog izgleda i same završne kvalitete odljevka. Također valja uzeti u obzir da je pozicioniranje izvedeno kvalitetno i čim jednostavnije, tako da je mogućnost eventualnih grešaka minimalna.

Pozicioniranje je osmišljeno pomoću četiri M8 vijka, koji služe za prijanjanje jednog o drugi kalup i 2 pina za pozicioniranje debljine 6 mm, koji su kod same izrade na stroju napravljeni da im je točnost pozicija  $\pm 0,02$  mm.



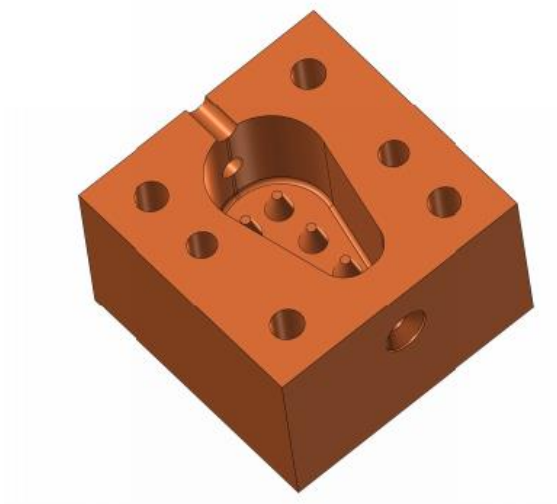
Slika 18. Primjer pozicioniranja kalupa [14]

### 5.3. Donji dio kalupa

Donji dio kalupa je osmišljen kao fiksni dio kalupa.

U njega se stavljaju pinovi za pozicioniranje i također inox šipka koja služi da se dobije kanal nakon lijevanja kroz koji ide žica i kao jezgra.

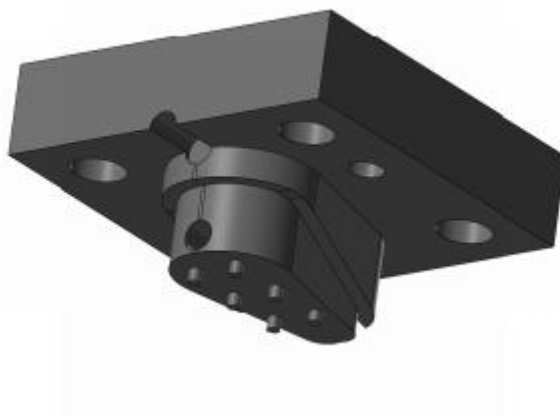
Također je u donjem dijelu kalupa konstruirano pola ulijevnog kanala.



Slika 19. Donji dio kalupa

#### 5.4. Gornji dio kalupa

Gornji dio kalupa je osmišljen tako da savršeno sjeda u donji dio kalupa, i na njemu su također rupe za pozicioniranje i rupe sa upuštanjem za glavu M8 vijka, te druga polovica ulijevnog kanala.

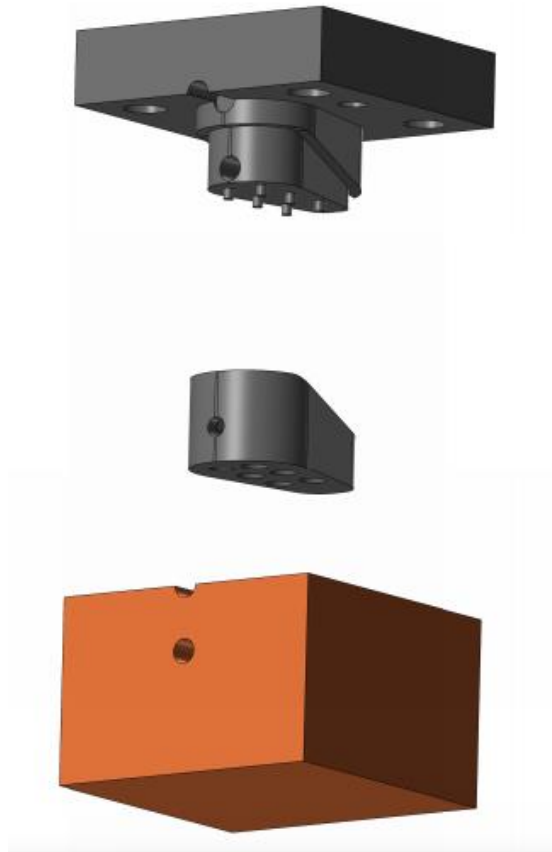


Slika 20. Gornji dio kalupa



### 5.5. Prikaz kalupa i modela

Na slici 21. se vidi prikaz gornjeg i donjeg dijela kalupa sa modelom.



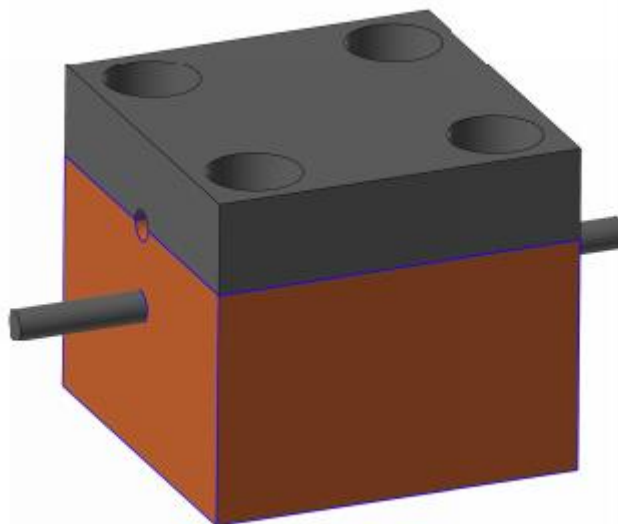
Slika 21. Prikaz kalupa i modela

### 5.6. Model sa jezgrom

Na slici 22. je prikazan model sa svojom jezgrom.

Kao što je navedeno u poglavlju 3, u ovom slučaju nema potrebe za kompliciranim oblikom jezgre, tako da će biti potrebna obična šipka promjera 4,9 mm, koja će omogućiti potreban oblik kalupa.

Materijal šipke je 1.4301.



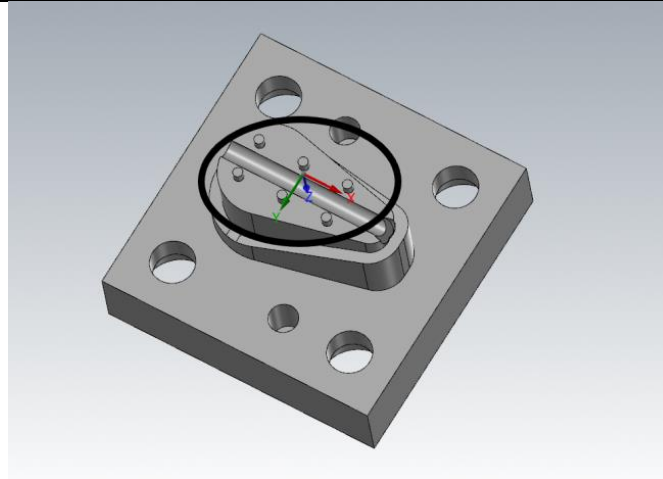
Slika 22. Model sa jezgrom

### 5.7. Unutarnje hlađenje odljevka

U ovom slučaju, pošto nema kompleksne jezgre, moralo se pripaziti da se oslobodi unutarnja površina odljevka da ne dolazi do sporog hlađenja koje bi narušilo unutarnje svojstvo čvrstoće gotovog proizvoda.

Prilikom konstruiranja modela uzelo se u obzir da se unutarnje hlađenje izvede tako da bude i funkcionalno i estetski lijepo odrađeno.

Hlađenje je izvedeno pomoću 6 pinova koja razlome odljevak i zbog njih ne dolazi do unutarnjeg spajanja materijala, kao što se vidi na slici 23.



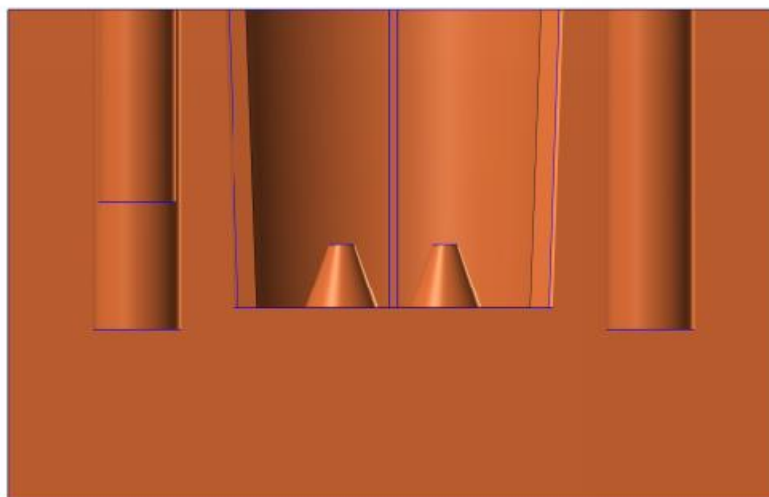
**Slika 23. Pinovi za hlađenje**

### **5.8. Kalup sa konusom**

Na slici 24. je prikazan presjek modela gdje se vidi kako je kalup konstruiran.

Kod modeliranja se obavezno mora uzeti u obzir da kalup bude konstruiran tako da ima unaprijed proračunati konus zbog lakšeg izvlačenja modela kad se skrutne.

U protivnom, izvlačenje modela ne bi bilo moguće.

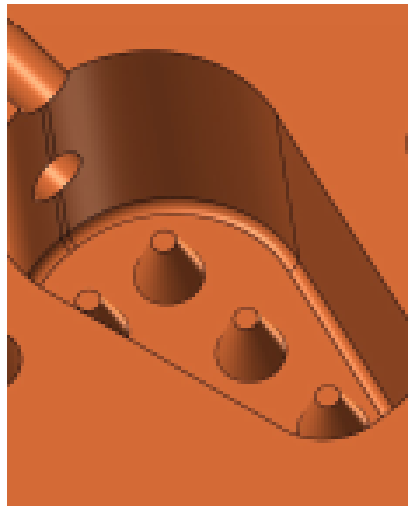


**Slika 24. Kalup sa konusom**

## **5.9. Kalup sa polumjerom**

Kao što je obrazloženo u trećem poglavlju, kod konstruiranja kalupa se moraju izbjeći nagle promjene u presjeku modela, a to se može postići da se konstruira model sa polumjerima.

Uz funkcionalnost ovog koraka, ovim se postiže da gotovi model nema oštih rubova, a i također se dobiva na estetici.



**Slika 25. Kalup sa polumjerom**

## 6. IZRADA KALUPA NA CNC STROJU

Izrada kalupa se radila na 3-osnoj glodalici Doosan DNM 4500.

Doosan DNM 4500 je izrazito kvalitetna glodalica brzih režima rada koja radi pomoću Siemensovog upravljanja i pogodna je raditi obratke programirane u Mastercamu.

Koristilo se i 3D glodanje koje je napravilo skošenja u kalupu.

### 6.1. Doosan DNM 4500

DNM serija daje najveću vrijednost za uloženi novac kao najbolji u klasi vertikalni obradni centar potpuno opremljen najstandardnijim ugrađenim značajkama.

Ovaj snažno produktivan stroj ima BIGPLUS vreteno, Siemens S828D upravljanje (mogućnost biranja još između Fanuc i Heidenheim upravljanja), rashladno sredstvo kroz vreteno, rashladni uređaj vretena i još mnogo toga.

**Tablica 2. Specifikacija stroja [14]**

Hod X-osi	800 [mm]
Hod Y-osi	450 [mm]
Hod Z-osi	510 [mm]
Dimenzije stola	1000x450 [mm]
Max. opterećenje	600 [kg]
Max. brzina vrtnje	12000 [min <sup>-1</sup> ]
Snaga	18,5 [kW]
Moment	286 [Nm]



Slika 26. Doosan DNM 4500 [15]

## 6.2. Odabir alata za izradu na CNC stroju

Kod izrade na CNC vrlo je bitno pravilno odabrati alate koji će se koristiti, te izabrati odgovarajuće režime rada koji će omogućiti pravilnu obradu i najveću dugovječnost alata.

Materijal koji će se koristiti za izradu kalupa je AlMg4.5Mn0.7.

U tablici 3. se vidi opis svih alata koji će se koristiti te njihovi režimi rada.

Na slikama 27.-31. je prikazano koji se alati koriste za određenu fazu.

Tablica 3. Opis alata

Naziv alata	Opis alata	Promjer [mm]	Brzina vrtnje [o/min]	Posmak [mm/min]
GL-50-AL	Glava	50	10000	4750
GL-16-AL	Glodalo	16	7800	2500
CENT-16	Centrir	16	1000	1000
DRILL-9	Svrdlo	9	2344	250

GL-10-AL	Glodalo	10	8500	1800
TRKAC-6	Centrir	6	10610	2000
SROP-16	Glodalo	16	10000	3500
GL-6-AL	Glodalo	6	11000	1500
GL-3-BALL	Glodalo kugla	3	11950	1000
GL-2-BALL	Glodalo kugla	2	11950	750
CENT-8	Centrir	8	2000	750
DRILL-5.8	Svrdlo	5.8	3200	180
RAJBER-6H7	Rajber	6	300	50
SROP-10	Glodalo	10	10000	3000
DRILL-7.45	Svrdlo	7.45	2630	220
UVALJIVAC-M8	Utiskivač	8	800	500
GL-4-AL-D	Dugo glodalo	4	9999	700
GL-2-R0.2	Profilno glodalo	2	11950	750
GL-4-AL	Glodalo	4	11111	1000

<b>1</b>	<b>T01</b>	<b>GL-50-AL</b>
Promjer alata: FI 50.		
Minimalni Z alata: -35		
<b>2</b>	<b>T02</b>	<b>GL-16-AL</b>
Promjer alata: FI 16.		
Minimalni Z alata: -35		
<b>3</b>	<b>T03</b>	<b>CENT-16</b>
Promjer alata: FI 16.		
Minimalni Z alata: -7.6		
<b>4</b>	<b>T04</b>	<b>DRILL-9</b>
Promjer alata: FI 9.		
Minimalni Z alata: -37.704		
<b>5</b>	<b>T05</b>	<b>GL-10-AL</b>
Promjer alata: FI 10.		
Minimalni Z alata: -9		
<b>6</b>	<b>T06</b>	<b>TRKAC-6</b>
Promjer alata: FI 6.		
Minimalni Z alata: -2.3		

Slika 27. Gornji dio kalupa 1. faza

<b>1</b>	<b>T01</b>	<b>GL-50-AL</b>
Promjer alata: FI 50.		
Minimalni Z alata: 0.2		
<b>2</b>	<b>T02</b>	<b>SROP-16</b>
Promjer alata: FI 16.		
Minimalni Z alata: -18.2		
<b>3</b>	<b>T03</b>	<b>GL-6-AL</b>
Promjer alata: FI 6.		
Minimalni Z alata: -18.3		
<b>4</b>	<b>T04</b>	<b>GL-3-BALL</b>
Promjer alata: FI 3.		
Minimalni Z alata: -14.42		
<b>5</b>	<b>T05</b>	<b>GL-2-BALL</b>
Promjer alata: FI 2.		
Minimalni Z alata: -14.414		
<b>6</b>	<b>T06</b>	<b>CENT-8</b>
Promjer alata: FI 8.		
Minimalni Z alata: -21.4		
<b>7</b>	<b>T07</b>	<b>DRILL-5.8</b>
Promjer alata: FI 5.8		
Minimalni Z alata: -30.742		
<b>8</b>	<b>T08</b>	<b>RAJBER-6H7</b>
Promjer alata: FI 6.		
Minimalni Z alata: -29		

Slika 28. Gornji dio kalupa 2. faza



<b>1</b>	<b>T01</b>	<b>GL-50-AL</b>
Promjer alata: FI 50. Minimalni Z alata: -40.5		
<b>2</b>	<b>T02</b>	<b>GL-16-AL</b>
Promjer alata: FI 16. Minimalni Z alata: -40.5		
<b>3</b>	<b>T10</b>	<b>SROP-10</b>
Promjer alata: FI 10. Minimalni Z alata: -18.2		
<b>4</b>	<b>T03</b>	<b>CENT-16</b>
Promjer alata: FI 16. Minimalni Z alata: -4.5		
<b>5</b>	<b>T07</b>	<b>DRILL-7.45</b>
Promjer alata: FI 6.8 Minimalni Z alata: -27.043		
<b>6</b>	<b>T09</b>	<b>UVALJIVAC-M8</b>
Promjer alata: FI 8. Minimalni Z alata: -22		
<b>7</b>	<b>T08</b>	<b>RAJBER-6H7</b>
Promjer alata: FI 6. Minimalni Z alata: -15.7		
<b>8</b>	<b>T06</b>	<b>TRKAC-6</b>
Promjer alata: FI 6. Minimalni Z alata: -2.3		
<b>9</b>	<b>T11</b>	<b>GL-6-AL</b>
Promjer alata: FI 6. Minimalni Z alata: -18.3		
<b>10</b>	<b>T12</b>	<b>GL-4-AL-D</b>
Promjer alata: FI 4. Minimalni Z alata: -23.3		
<b>11</b>	<b>T13</b>	<b>GL-2-R0.2</b>
Promjer alata: FI 2. Minimalni Z alata: -23.3		

Slika 29. Donji dio kalupa 1. faza

Za drugu fazu donjeg dijela kalupa potrebno je samo počistiti komad na mjeru.

<b>1</b>	<b>T02</b>	<b>GL-4-ALD</b>
Promjer alata: FI 4. Minimalni Z alata: -20		

Slika 30. Bočni provrt

<b>1</b>	<b>T01</b>	<b>GL-4-AL</b>
Promjer alata: FI 4. Minimalni Z alata: -11.5		
<b>2</b>	<b>T02</b>	<b>CENT-8</b>
Promjer alata: FI 8. Minimalni Z alata: -4.3		
<b>3</b>	<b>T03</b>	<b>TRKAC-6</b>
Promjer alata: FI 6. Minimalni Z alata: -3.5		

Slika 31. Ulijevni kanal

### 6.3. Primjer izrade na stroju

Na slici 32. je prikazan obradak stegnut u stroj, a na slici 33. je prikazan gotovi obradak.



Slika 32. Obradak



**Slika 33. Gotovi obradak**

## **7. ZAKLJUČAK**

Izrada obradaka pomoću tehnologije lijevanja je vrlo rasprostranjena u današnjem modernom svijetu. Ovisno o točno kojom tehnologijom lijevanja ćemo se poslužiti, pruža nam vrlo učinkovit, brz, kvalitetan i precizan način izrade komada.

Tehnologija se toliko proširila svijetom, te nam je pružila da su nam određeni kompleksni komadi cijenovno pristupačni zbog svojega brzog načine izrade.

U praktičnom dijelu ovoga rada sam u programu Mastercam osmislio i nacrtao kalup koji će nam služiti za izradu hranilice za ribe.

Također, Mastercam nam omogućuje da si model možemo isprogramirati za izradu na stroju, koja je nemoguća bez programa, zbog kompleksnosti i 3D obrade modela.

Na stroju Doosan DNM 4500 sam navedeni model izradio od aluminija.

Cilj ovog rada je bio vidjeti da li se uz znanje o pravilima modeliranja kalupa može samostalno napraviti funkcionalni aluminijski kalup u koji će se lijevati olovo.

## **PRILOZI**

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

## LITERATURA

- [1] [https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/15\\_02\\_2010\\_11943\\_ljevarstvo-proiz-post-2009.pdf](https://www.fsb.unizg.hr/atlantis/upload/newsboard/15_02_2010_11943_ljevarstvo-proiz-post-2009.pdf) (15.03.2022.)
- [2] <https://www.bib.irb.hr/507725> (15.03.2022.)
- [3] <http://titan.fsb.hr/~dzezelj/Dizajn-2013-14/2020-21/Prezentacije/LIJEVANJE.pdf> (21.03.2022.)
- [4] <http://www.aluminiumgravitycasting.com/> (22.03.2022.)
- [5] Geometric limited: a definitive guide to design for manufacturing success, 2005
- [6] [Casting designs for engineers/ www.novacast.co.uk](#) (22.03.2022.)
- [7] [Casting designs as influenced by foundry practice](#) (01.04.2022.)
- [8] <https://www.fishingrepublic.co.uk/coarse/coarse-terminal-tackle/coarse-feeders/br:guru/> (15.04.2022.)
- [9] <https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=45075> (25.04.2022.)
- [10] <https://www.mastercam.hr/glodanje/> (02.05.2022.)
- [11] Branko Bauer, Ivana Mihalić Pokopec: OSNOVE TEHOLOGIJE LIJEVANJA, Udžbenik, Nastavna literatura, FSB, Zagreb 2017.
- [12] Steve Hurst: Metal casting, INTERMEDIATE TECHNOLOGY PUBLICATIONS, 1996
- [13] <https://paperzz.com/doc/5178850/osnove-lijevanja-metala> (10.05.2022.)
- [14] <https://www.abismould.com/info/main-construction-pin-at-3-plate-mold-19461515.html> (11.05.2022.)
- [15] <https://www.ellisontechnologies.com/doosan/dnm-series/dnm-4500#section-2> (11.05.2022.)