

# Izrada modela za lijevanje poluge

---

**Boj, Andreas**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2018**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:710943>

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

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



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

**Završni rad br. 267/PS/2018**

**Izrada modela za lijevanje poluge**

**Andreas Boj, 0923/336**

Varaždin, rujan 2018. godine





# Sveučilište Sjever

Odjel za Strojtarstvo

Završni rad br. 267/PS/2018

## Izrada modela za lijevanje poluge

### Student

Andreas Boj, 0923/336

### Mentor

Zlatko Botak, dr. sc.

Varaždin, rujun 2018. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

PRISTUPNIK Andreas Boj

MATIČNI BROJ 0923/336

DATUM 30.08.2018.

KOLEGIJ Tehnologija I

NASLOV RADA Izrada modela za lijevanje poluge

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Construction of lever casting model

MENTOR dr. sc. Zlatko Botak

ZVANJE viši predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. Marko Horvat, dipl.ing., predavač
2. dr. sc. Zlatko Botak viši predavač
3. Katarina Pisačić, dipl.ing., predavač
4. Veljko Kondić, mag.ing.meh, predavač
- 5.

## Zadatak završnog rada

BROJ 267/PS/2018

OPIS

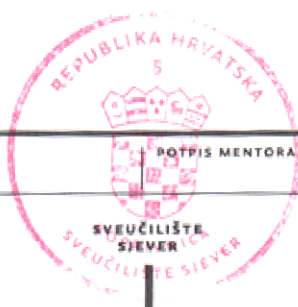
Izrada velikih serija nekog proizvoda može se ekonomično izvršiti tehnologijom lijevanja u pijesak. Šupljina u kalupu izrađuje se pomoću modela, čije su dimenzije uvećane za postotak skrućivanja taline. Model se najčešće izrađuje od drveta ili plastike, ovisno od željenog vijeka trajanja. Izliveni komad je geometrijski točniji, ako je model kvalitetnije izrađen, pa je posebnu pažnju potrebno obratiti na zahtjeve izradka prilikom konstruiranja i izrade modela.

U radu je potrebno:

- Opisati općenito tehnologiju izrade proizvoda lijevanjem, karakteristike postupka, sastavne dijelove kalupa kod lijevanja u pijesak te prednosti i nedostatke postupka.
- Navesti postupke lijevanja i kalupljenja.
- Razraditi proizvodni postupak konstrukcije modela u programima autocad i Solidworks, dodavanje skošenja, određivanje linije dijeljenja modela i skaliranje modela.
- Razraditi postupak izrade modela, od izrezivanja početnog materijala, obrade profila modela glodanjem, brušenja, kitanja, spajanja i bojenja modela.

ZADATAK URUČEN

3.9.2018.



POTPIS MENTORA

Botak

## **Zahvala**

Zahvaljujem se mentoru, dr. sc. Zlatku Botaku na pomoći, susretljivosti i savjetima prilikom izrade završnog rada.

Također se zahvaljujem mojim roditeljima na podršci tijekom mog studiranja.

Zahvaljujem se i poduzeću PIB extra d.o.o. Štefanec u kojoj sam izradio praktični dio završnog rada.

## Sažetak

U završnom radu prikazan je postupak proizvodnje modela za izradu kalupa za lijevanje poluge. Rad obuhvaća opis tehnološkog procesa izrade modela, te praktičnu izradu modela u proizvodnom pogonu. Prilikom izrade modela korištena je CAD/CAM oprema za modeliranje i izradu proizvoda. 2D crteži izrađeni su u programu Autocad, 3D modeli u programu Solidworks, a obrada dijelova bila je na CNC strojevima, uz korištenje naprednih CAM alata (Siemens NX).

Na početku završnog rada ukratko je opisana tehnologija lijevanja. Nakon toga opisano je konstruiranje poluge u programu AutoCad, a kasnije je izrađen i 3D model u SolidWorks-u. Nakon tehnološke razrade izrade, slijedi izrada modela u proizvodnim prostorima poduzeća PIB extra d.o.o. Štefanec, koje se bavi izradom modela za lijevaonice.

Ključne riječi: AutoCad, SolidWorks, Siemens NX, CNC, 2D, 3D, model

## Abstract

This thesis shows the production process of the construction of lever casting models. It encompasses the description of technological model making process, as well as the practical production of the model in the production line. During the model making process CAD/CAM design and manufacturing equipment was used. 2D drawings were made in Autocad program, 3D models in Solidworks program, while the components treatment was done with the usage of advanced CAM tools (Siemens NX) using the CNC machine.

In the beginning of the thesis the casting technology is briefly described. After the description, lever construction in AutoCad program is illustrated. Later, a 3D model was made using SolidWorks program. Following the technological elaboration of the production, comes the model production in the production line of PIB extra Ltd., Štefanec, whose main business activity is foundry pattern production.

Key words: AutoCad, SolidWorks, Siemens NX, CNC, 2D, 3D, model



## **Popis kratica (list of abbreviations)**

<b>CAD</b>	Computer-aided Design (računalno potpomognut dizajn)
<b>CAM</b>	Computer-aided manufacturing (računalno potpomognuta izrada)
<b>CNC</b>	Computer Numerical Control (računalna numerička kontrola)
<b>2D</b>	2 Dimensional (2 Dimenzijski prikaz)
<b>3D</b>	3 Dimensional (3 Dimenzijski prikaz)

# Sadržaj

1. Uvod.....	1
2. Općenito o lijevanju.....	4
2.1. Lijevanje odljevaka.....	4
2.2. Primjena odljevka s prednostima i nedostacima .....	5
2.3. Postupci lijevanja i kalupljenja.....	8
3. Konstruiranje modela.....	13
3.1. Crtež poluge u AutoCadu .....	13
3.2. 3D modeliranje poluge .....	14
3.3. Obradeni odljev .....	15
3.4. Skaliranje .....	19
4. Praktični dio završnog rada .....	20
4.1. Izrezivanje ploča.....	20
4.2. Glodanje modela.....	21
4.3. Grubo brušenje .....	24
4.4. Kitanje modela.....	24
4.5. Tiplanje.....	25
4.6. Nanošenje šprickita.....	25
4.7. Završno brušenje i poliranje .....	26
4.8. Bojenje modela .....	26
5. Zaključak .....	28
6. Literatura.....	30



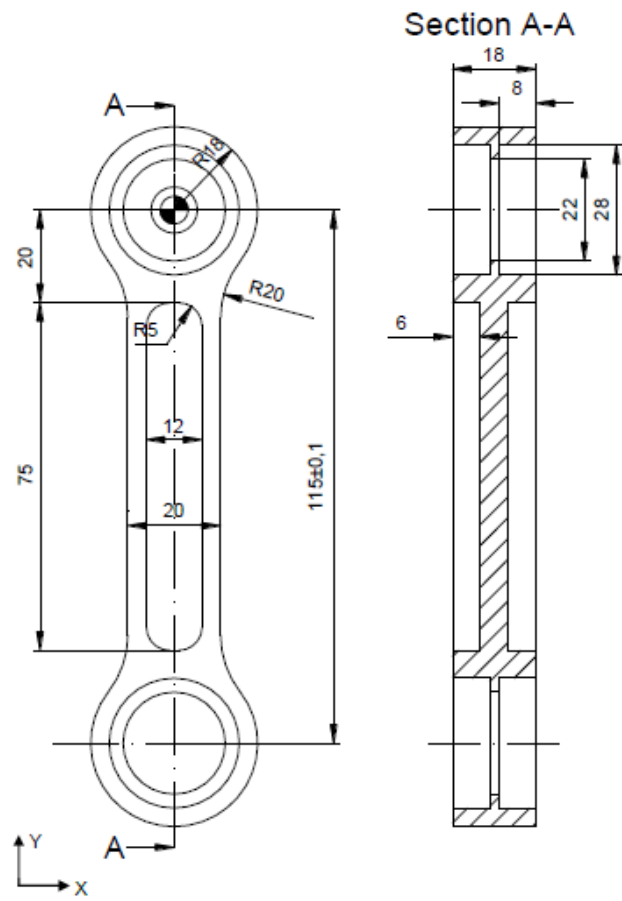
# 1. Uvod

Tema završnog rada je izrada modela za lijevanje poluge. Temu sam sam izabrao iz razloga što se tvrtka u kojoj sam obavljao stručnu praksu (PIB Extra d.o.o. Štefanec) bavi izradom modela za lijevaonice. U završnom radu biti će konstruiran model koji ima široku primjenu. Pomoću njega mogu se izrađivati tzv. ključevi za matice, a može se iskoristiti i za izradu igračaka za kućne ljubimce itd. Preciznost izrade u praksi ovisi o zahtjevima kupca, a u ovom slučaju zadovoljit će preciznost od desetinke milimetra. Čvrstoća modela ne mora biti visoka, jer se radi o modelu za izradu kalupa od pijeska. Masa modela biti će mala, zbog toga što poduzeće PIB extra d.o.o. izrađuje modele od kvalitetnih šperploča malih masa. U završnom radu opisan je postupak konstruiranja modela, te izrada modela u proizvodnom prostoru već spomenute tvrtke. U radu je također pobliže objašnjena problematika kod računalne izrade modela. Slika 1.1 prikazuje izvorni crtež, koji je kasnije uvećan 2 puta i od kojeg se kreće u proces konstruiranja.

Za razumijevanje procesa konstruiranja i izrade modela, potrebno je najprije ukratko opisati tehnologiju lijevanja.

Lijevanje je jedna od tehnologija oblikovanja proizvoda, a sastoji se od oblikovanja skrućivanjem u kalupu. Tehnologija lijevanja je jedan od najefikasnijih načina oblikovanja proizvoda. Visoka proizvodnost i laka mogućnost izrade replika čine je iznimno pogodnom za serijsku i masovnu proizvodnju. Lijevanje je nenadomjestiva tehnologija pri oblikovanju složenih oblika. Obzirom na veliku proizvodnost, pogodna je za automatizaciju proizvodnje. Samo oblikovanje vrši se u tekućem stanju, a tekući metal (litina) kao i sve tekućine zahtijeva minimalni utrošak energije za promjenu oblika, pogotovo što se kao uljevna sila najčešće koristi gravitacija. Ukupni utrošak energije je ipak znatan, jer prethodno materijal treba rastaliti. Skrućivanje traje vrlo kratko vrijeme, tako da je moguće ostvariti visoku proizvodnost. Mehanička svojstva, dimenzijski i drugi posebni zahtjevi u pogledu kvalitete odljevka postižu se skrućivanjem litine i promjenom agregatnog stanja. Kako je tehnologija izrade kalupa bila uspješnija od mogućnosti proizvodnje litine, razvoj je bio usmjeren na nove konstrukcije peći za taljenje, jer je to bio osnovni preduvjet za proizvodnju odljevaka. Uvođenje prisilne cirkulacije zraka u pećima omogućilo je stabilniju proizvodnju i uvođenje novih materijala (sivi lijev), te pojavu prvih standarda. Odljevci su posebno impresivni po kvaliteti oblika, ali i po količini i masi. Od početka 20. stoljeća zaživljuje koncepcija, da je direktnu proizvodnju bolje bazirati na visoko sofisticiranim strojevima, nego na visokokvalificiranim radnicima-majstorima. Stručna radna snaga potrebna je u pripremi proizvodnje, alatnici i održavanju. Ova koncepcija dovodi do intenzivne mehanizacije lijevaonica i proizvodnih linija za serijsku proizvodnju. Pored širokog korištenja električne energije kao pogonske energije, ostala rješenja uglavnom su mehanička, a

za taljenje se koristi uglavnom kemijska energija. Razvoj elektronike omogućio je korištenje indukcijskih peći za taljenje, tako da se krajem 20. stoljeća u pogledu proizvodnih i ekoloških uvjeta ljevarstvo u potpunosti izjednačilo s drugima proizvodnim tehnologijama. Specijalizacija postaje sve izraženija. Problemi pojedinačne proizvodnje razrješavaju se upotrebom kemijski očvrstivog veziva, tako da u pojedinačnoj proizvodnji otpada sabijanje kalupa, a time i kalupilice. Postignuta je visoka fleksibilnost. Iako će se nastaviti unapređenje ljevačke tehnologije (kao npr. impulsne tehnike sabijanja kalupa, lijev s modelima od polistirena, usmjereno skrućivanja da bi se dobila optimalna mehanička svojstva, odljevci od monokristala), ipak će glavni zadatak u budućnosti biti usmjeren na upravljanje kvalitetom. Kao rezultat toga odljevci će biti tanjih stijenki, visoke dimenzionalne točnosti, ujednačene i zagantirane kvalitete, tako da kupci odljevaka neće uopće pristajati da otkrivaju greške prilikom prijema odljevaka. Ljevarska tehnologija kretala se najprije od kvalitete oblika, zatim visoke produktivnosti, do već danas vrlo sofisticiranog vođenja proizvodnje, tako da proizvedeni odljevci garantiraju kvalitetu oblika, dimenzija i svojstava, te vrlo fleksibilne rokove isporuke. U zadnjih dvadeset godina zahtjevi u pogledu mehaničkih svojstava porasli su za oko 60%, a točnost dimenzija poboljšana je pet puta. Poboljšanje tehnike konstruiranja (CAD/CAM) imat će velik efekt na kvalitetu odljevaka, jer o uspješnoj konstrukciji značajno ovisi kvaliteta odljevka. Ovo povećanje kvalitete neće biti uzrokom povećanju samo kvantitete, nego će zasigurno biti uzrokom porasta vrijednosti ljevačke proizvodnje. Ljevačka proizvodnja u razdoblju do kraja stoljeća i dalje će se po količini povećavati, s time da će doći do manjeg pada u količini u industrijski razvijenim zemljama (10%), ali do daleko većeg porasta (25%) u zemljama koje su u industrijskom razvoju [1].



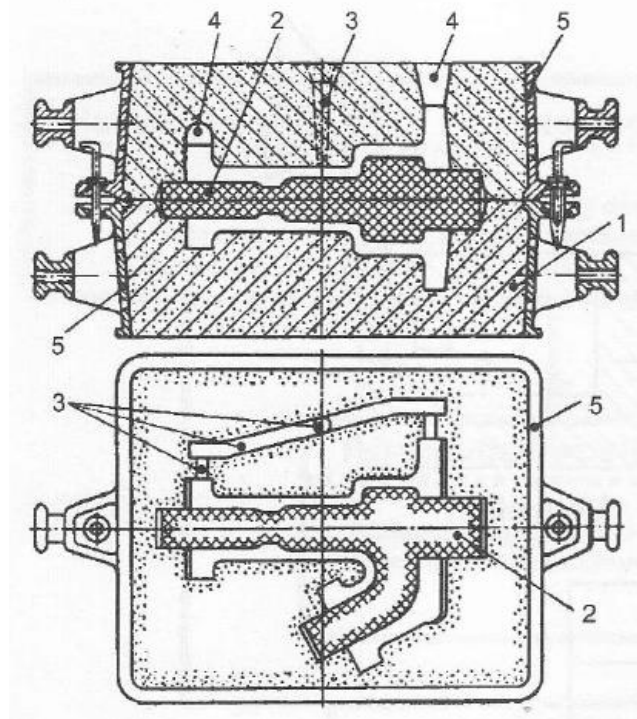
*Slika 1.1 Izvorni crtež poluge*

## 2. Općenito o lijevanju

Postupak lijevanja koristi se za proizvodnju metalnih izradaka različitih oblika i debljina stjenki. Rastaljeni metal ulijeva se pod djelovanjem gravitacije ili neke druge sile u kalupe, u kojima je napravljena šupljina definiranog geometrijskog oblika. Kalupi pritom mogu biti od nemetalnih materijala (pretežno kvarcni pijesak) ili od metala (pretežno željezne legure). Za vrijeme lijevanja i skrućivanja metal djeluje na kalup mehanički, toplinski i kemijski. Nakon skrućivanja tekućeg metala, kalup od nemetalnih materijala se razruši i izvadi se odljevak, dok kod metalnog kalupa otvaranje omogućuje vađenje odljevka. Teži se lijevanju odljevaka čiji je oblik nakon lijevanja što sličniji željenom (definiran nacrtom), što je dovelo do razvoja postupaka lijevanja s povećanom točnošću.

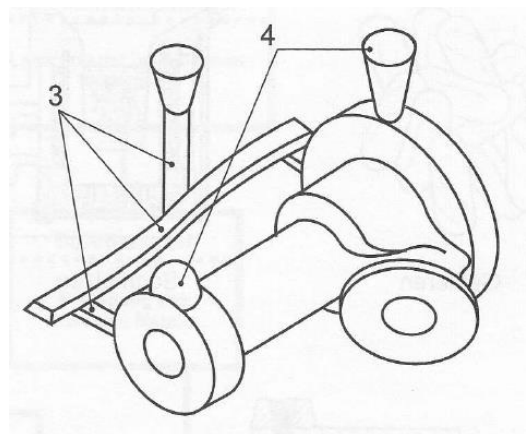
### 2.1. Lijevanje odljevaka

Na slikama 2.1 i 2.2 prikazan je kalup od nemetalnih materijala i u njemu proizvedeni odljevak sa uljevnim sustavom potrebnim za punjenje kalupa i pojlilima [2].



1-Kuka za dizalicu, 2-Jezgra, 3-Uljevni sustav,  
4-Pojila, 5-Kalupnik

Slika 2.1 Ljevački kalup sa jezgrom i uljevnim  
sustavom [2]



Slika 2.2 Odljevak sa uljevnim sustavom [2]

## 2.2. Primjena odljevka s prednostima i nedostacima

Lijevanje je jedan od najstarijih i najdjelotvornijih načina oblikovanja proizvoda. Visoka produktivnost i laka mogućnost izrade replika čine ga iznimno pogodnim za serijsku i masovnu proizvodnju. Kako skrućivanje traje relativno kratko, moguće je ostvariti visoku proizvodnost. Zbog velike proizvodnosti postupak je pogodan i za automatiziranu proizvodnju. To je često puta i jedini postupak u pojedinačnoj proizvodnji kojim se mogu izraditi vrlo veliki i složeni dijelovi u unutarnjim šupljinama, npr. blokovi brodskog diesel motora mase 92,6t, velika i masivna postolja alatnih strojeva duljine 12,8m i mase 52,5t materijal nudularni lijev, slika 2.3 [2].



*Slika 2.3 Blok brodskog diesel motora i postolja alatnih strojeva [2]*

Lijevati se mogu i vrlo mali dijelovi od nekoliko grama, kopče mase 50 g i broj za kodiranje mase 0,08 g, slika 2.4. [2]



*Slika 2.4 Kopče i broj za kodiranje[2]*

Najveći kupac odljevaka je automobilska industrija s 40% željeznog lijeva i 80% aluminijskog lijeva. S ciljem smanjenja mase automobila sve je više aluminijskih odljevaka, koji je približno 3

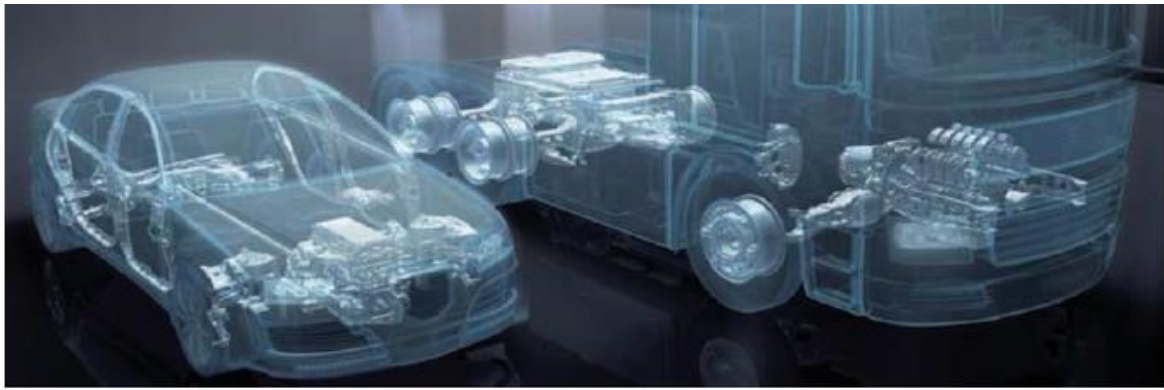


puta lakši od željeznog lijeva. Još laganiji od aluminijskih (približno 30%) su magnezijski odljevci čiji udio također raste, posebno kod velikih automobila. U osobni automobil ugrađeno je više od 100 odljevaka. Većina tehničkih sklopova nezamisliva je bez odljevaka. Proizvode se odljevci od jednog grama do 250 tona.

Ljevaonice mogu proizvoditi odljevke od različitih grupa materijala, olova, kositra, cinkovih legura, aluminijskih legura, magnezijskih legura, bakrenih legura, zlata i naravno od željeznog i čeličnog lijeva. Odljevci su sve točnijih dimenzija i oblika približno jednakog gotovom proizvodu, s vrlo malom naknadnom obradom.

Moderna kompjuterska tehnologija danas se koristi u cijelom procesu lijevanja; u oblikovanju odljevaka i planiranju, te u kontroli procesa i kvalitete odljevaka.

Nedostaci su ograničenja u mehaničkim svojstvima (niža istezljivost), pojava poroznosti u odljercima, slabija kvaliteta površine kod pješčanog lijeva, opasnosti u proizvodnji i utjecaj na okoliš [2].



a)



b)



c)



d)



e)



f)



g)



h)



i)

*Slika 2.5 Primjeri odljevaka iz automobilske industrije.*

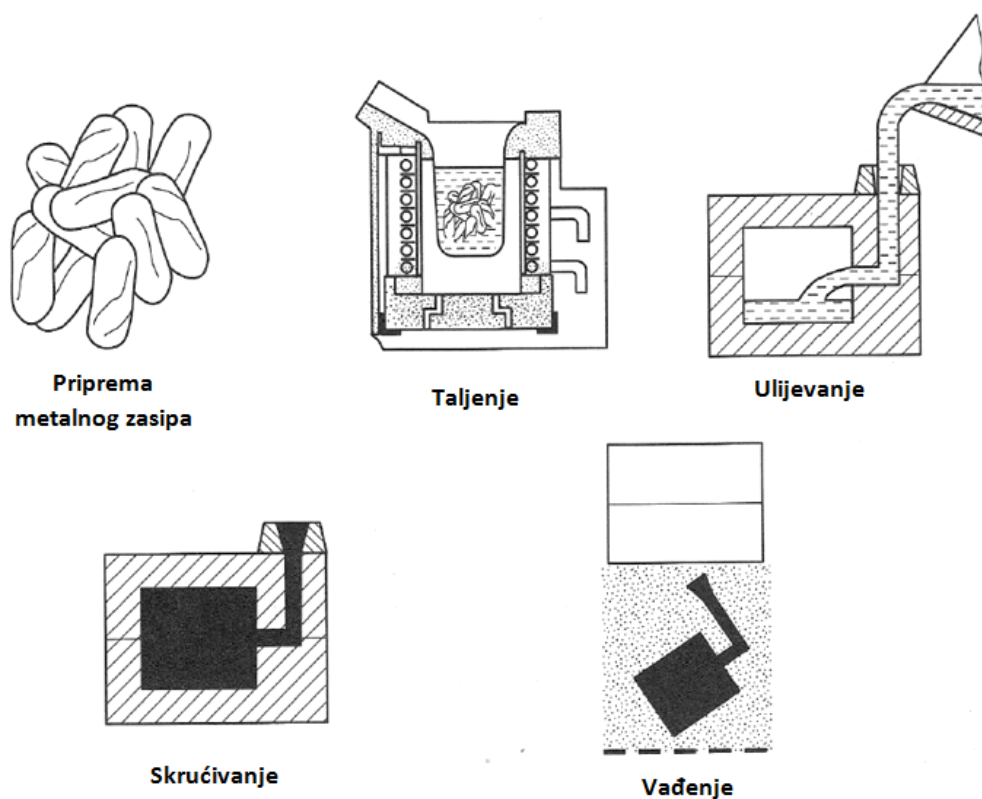
Slike prikazuju: a) grupe odljevaka, pogon, ovjes i dijelovi karoserije (Georg Fischer), b) blok motora V8 dizel motora, BMW 740d, željezni lijev sa vermikularnim grafitom (Ljevaonica Fritz Winter, Stadtallendorf), c) blok motora VW, Audi, aluminijska legura AlSiCu (3 puta laganiya od željeznog lijeva), d) glava i blok motora, aluminijska legura, e) ispušna grana sa kućištem turbopunjača od austenitnog željeznog lijeva sa kuglastim grafitom, 5,2 kg (Ljevaonica Monforts, Moenchengladbach), f) kućište mjenjačke kutije, aluminijska legura (Honsel AG), g) Radilica osobnog automobila od nodularnog lijeva (Halberg Guss, Saarbruecken), h) klip osobnog automobila, aluminijska legura (Mahle AG), i) stražnji ovjes osobnog automobila, zavarena konstrukcija odljevka od temper lijeva i čeličnog lima (Georg Fischer +GF+, Singen) [2]

## 2.3. Postupci lijevanja i kalupljenja

Postupak lijevanja karakteriziraju slijedeći proizvodni koraci:

1. Priprema početnog bezobličnog materijala (od kojeg se kreće).
2. Postizanje stanja početnog materijala pogodnog za lijevanje.
3. Punjenje alata za lijevanje sa materijalom pogodnim za lijevanje.
4. Prijelaz materijala u oblikovljivo stanje, u alatu za lijevanje.
5. Vađenje oblikovanog proizvoda iz alata za lijevanje [2].

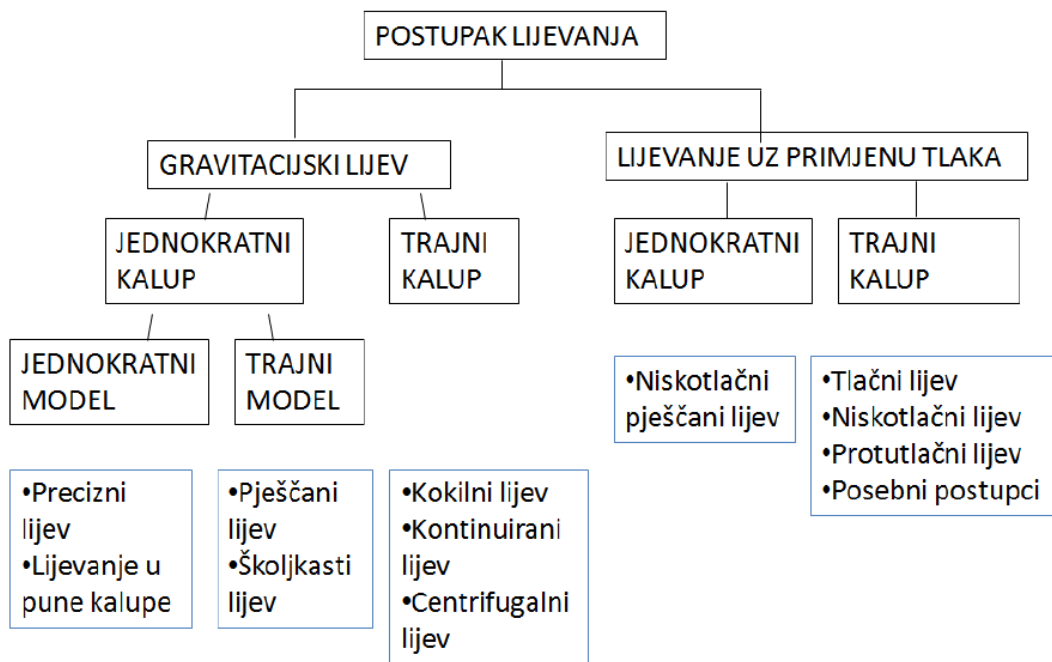
Navedene proizvodne korake u ljevarstvu prikazuje slika 2.6.



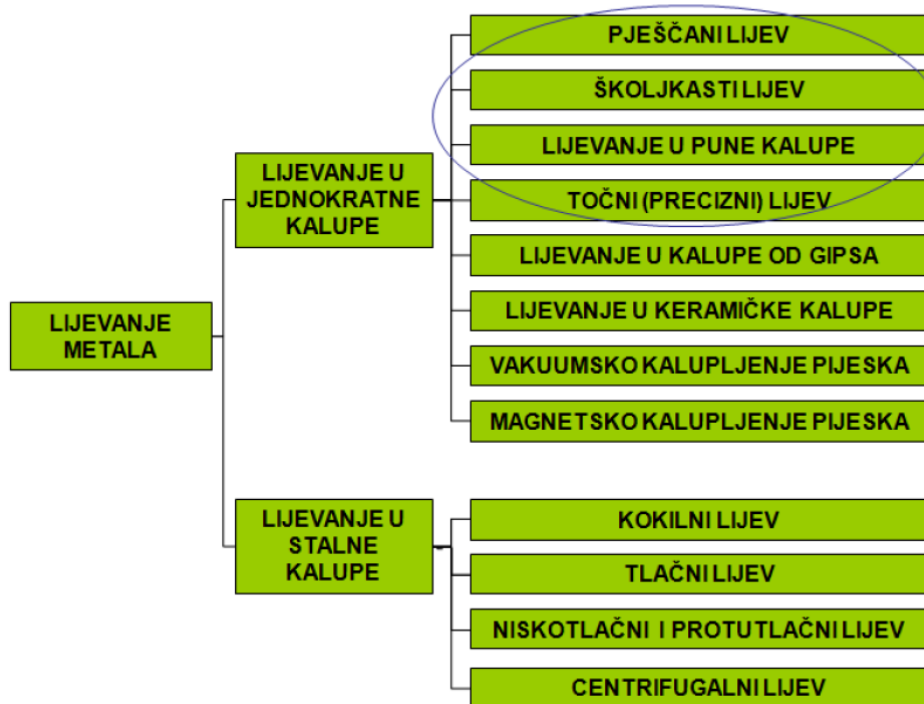
Slika 2.6 Proizvodni koraci postupka lijevanja [2]

Prilikom proizvodnje odljevka dominirajuću ulogu može imati proces lijevanja, a može i izrada kalupa. U općenitoj terminologiji, ako je primarna izrada kalupa govori se o postupcima kalupljenja, a ako je primarna tehnologija lijevanja, o postupcima lijevanja. Postupci lijevanja (slika 2.7) dijele se prema uljevnoj sili, na gravitacijsko lijevanje i lijevanje uz primjenu tlaka. Slijedeća podjela je s obzirom na vrstu kalupa; lijevanje u kalupe za jednokratnu primjenu (izgubljeni kalupi) i lijevanje u kalupe za višekratnu primjenu (trajni ili stalni kalupi), slika 2.8. Kalupi za jednokratnu primjenu mogu se izrađivati pomoću trajnih i jednokratnih modela. Kod

gravitacijskog lijeva kalup se popunjava pod djelovanjem zemljine sile teže. Brzina strujanja rastaljenog metala ovisi o visini lijevanja i o izvedbi uljevnog sustava (način popunjavanja kalupne šupljine i broj skretanja taljevine). Pomoću izabranog presjeka ušća može se izračunati volumni protok, pa tako i vrijeme ulijevanja odljevka definiranog oblika i volumena. Kod lijevanja uz primjenu tlaka, ovisno o tlaku, velike su brzine strujanja rastaljenog metala, pa je vrijeme popunjavanja kalupa vrlo kratko. [2]



Slika 2.7 Podjela postupaka lijevanja prema uljevnoj sili, te vrsti kalupa i modela [2]



Slika 2.8 Podjela postupaka lijevanja prema vrsti kalupa [2]

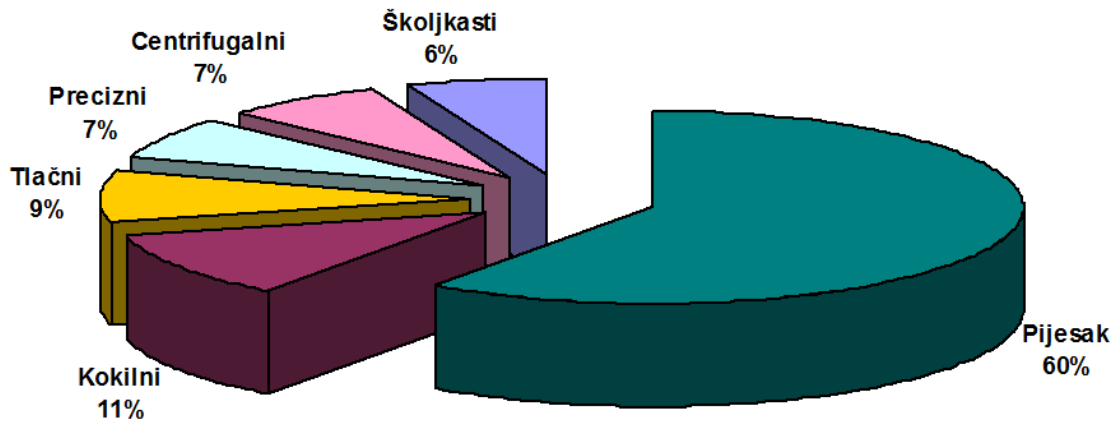
Kod lijevanja u jednokratne kalupe, za izradu svakog pojedinog odljevka mora se svaki puta izraditi novi kalup, tj. kalup je jednokratno upotrebljiv, dok se kod lijevanja u stalne kalupe pomoću jednog kalupa oblikuje veliki broj odljevaka. Izbor stalnog ili jednokratnog kalupa vrlo je složen, a ovisi o tehnološkim i ekonomskim kriterijima, od kojih su najznačajniji vrsta legure koja se lijeva i veličina serije. Kalup mora biti izrađen od materijala temperaturno višestruko otpornijeg nego što je legura koja se lijeva. Zbog toga se odljevci legura višeg tališta lijevaju u jednokratne kalupe [2].

Najviše odljevaka lijeva se u jednokratne kalupe. U jednokratnim kalupima mogu se lijevati odljevci svih oblika i dimenzija, mogu se lijevati svi metali, a primjereni su za pojedinačnu, serijsku i masovnu proizvodnju. Potrebno je naglasiti da se materijal od kojeg se izrađuje jednokratni kalup ne odbacuje odmah nakon lijevanja, nego se od istog tog materijala, uz određene tehnološke zahvate, ponovno izrađuje kalup. Približno 95% materijala može se ponovno upotrijebiti, što je vrlo ekonomično. Materijal za izradu jednokratnih kalupa naziva se kalupna mješavina, a sastoji se od osnovnog materijala pijeska sa prikladnim vezivima i dodacima. Budući da se kod korištenja jednokratnih kalupa mora prije ulijevanja za svaki odljevak izraditi novi kalup, zbog svoje brojnosti ti se kalupi izrađuju u ljevaonici s posebno za tu svrhu izvedenom opremom, na tzv. kalupnim linijama [2].

Stalni kalupi izrađuju se od izdržljivih metalnih materijala otpornih na toplinu, obično sivog lijeva i posebnog čelika, koji su prošli specifičnu toplinsku obradu. Metalni kalupi nazivaju se kokile i koriste se prvenstveno za lijevanje neželjeznih materijala. Za njihovu izradu potrebni su skupi, specijalizirani strojevi, pa je ta izrada vrlo skupa (25.000 Eura na više, ovisno o složenosti odljevka). Šupljine u kokilama za budući odljevak izrađuju se strojnom obradom CNC glodanjem, pomoću eroziomata ili lijevanjem i naknadnom strojnom obradom. Troškove izrade treba raspodijeliti na proizvedene odljevke i zato se ovi kalupi primjenjuju uglavnom u velikoserijskoj i masovnoj proizvodnji. Sloboda u konstruiranju odljevaka je ograničena jer treba predvidjeti mogućnost vađenja odljevka iz kalupa. Ciklus izrade jednog odljevka znatno je kraći nego kod lijevanja u jednokratne kalupe, jer je veća brzina hlađenja odljevka nego u pješčanom kalupu. Zbog bržeg hlađenja dobiva se finija struktura (sitnije zrno) i bolja mehanička svojstva odljevka. S obzirom na njihovu veliku proizvodnost, postupci lijevanja sa stalnim kalupima primjereni su za mehanizaciju, automatizaciju i robotizaciju. Prednost trajnih kalupa je da se mogu koristiti od 1000 do 100.000 i više puta, ovisno o leguri koja se lijeva. Stalni kalupi često se sastoje od više segmenata i imaju metalne jezgre s izvlakačima, kako bi se i složeniji odljevci mogli izvaditi iz kalupa [2].

Postupci lijevanja, ljevačke legure i mase odljevaka koje se danas primjenjuju prikazane su u tablici 2.1.

Na slici 2.9 prikazani su udjeli pojedinih ljevačkih postupaka u SAD-u 2009. godine.



Slika 2.9 Udjeli pojedinih ljevačkih postupaka-SAD 2009.

(po masenom udjelu odlivenog metala) [2]

Postupak lijevanja	Ljevačka legura	Masa odljevka	Veličina serije
<b>Pješčani lijev</b> <b>Ručno kalupljenje</b>	sve ljevačke legure (uglavnom sivi lijev, nodularni lijev, čelik, bronca)	sve do preko 100 t (ograničeno jedino kapacitetima taljenja i transporta)	pojedinačni dijelovi, male serije
<b>Pješčani lijev</b> <b>Strojno kalupljenje</b>	sve ljevačke legure (uglavnom sivi lijev, nodularni lijev, Al legure)	1 kg do nekoliko tona	male i velike serije
<b>Školjkasti lijev</b>	sve ljevačke legure (uglavnom sivi lijev, nodularni lijev)	1 – 150 kg	srednje i velike serije
<b>Lijevanje u pune kalupe</b>	sivi lijev, nodularni lijev, čelik, Al legure	< 1 kg do nekoliko tona	pojedinačni dijelovi, male i velike serije
<b>Precizni (točni) lijev</b>	sve ljevačke legure	1 g do 100 kg	pojedinačni dijelovi, male i velike serije
<b>Gravitacijski kokilni lijev</b>	Al, Mg, Cu, Zn legure; sivi lijev, nodularni lijev	< 1 kg do 100 kg	srednje i velike serije
<b>Niskotlačni i protutlačni lijev</b>	Al, Mg, Cu legure	< 1 kg do 70 kg	srednje i velike serije
<b>Tlačni lijev</b>	Al, Mg, Cu, Zn, Sn legure i legure za tlačni lijev na bazi Pb	nekoliko grama do 60 kg, ovisno o leguri	srednje i velike serije

*Tablica 2.1 Područje primjene najčešćih postupaka lijevanja u jednokratne i trajne kalupe [2]*

### 3. Konstruiranje modela

Konstrukcija modela obavlja se u programu SolidWorks na osnovu crteža napravljenog u programu AutoCad. Pri konstrukciji modela treba imati na umu:

- skupljanje odljevka pri hlađenju – dodatak za skupljanje,
- deformaciju odljevka pri hlađenju – korekcija za deformaciju,
- dodatnu obradu odljevka postupcima odvajanja strugotine – dodatak za obradu,
- vađenje modela iz kalupa:

- pogodna ravnina dijeljenja modela i
- zakošenje površina okomitih na ravninu dijeljenja.

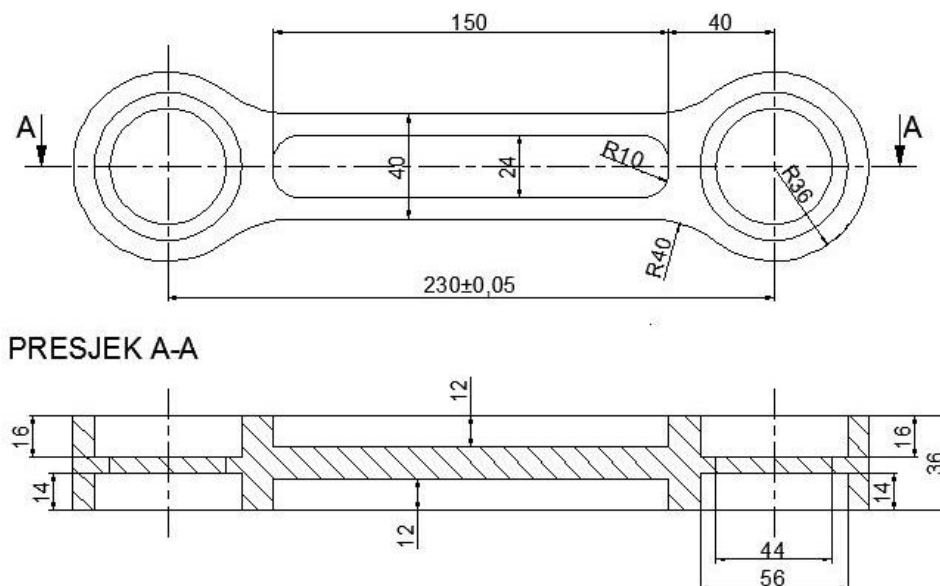
Ravnina dijeljenja modela siječe model po njegovom najvećem presjeku, kako bi se oba njegova dijela mogla izvući iz kalupa.

Dimenzije modela moraju biti veće od dimenzija originalnog odljevka zbog skupljanja odljevka pri hlađenju krutine.

U pravilu se odljevci naknadno obrađuju, te se dimenzije modela uvećavaju i za dodatke za obradu skidanjem strugotine. Površine koje su okomite na modelnu ploču treba izraditi sa skošenjem, kako se pri vađenju modela kalup ne bi ošteti. Veličina skošenja ovisi o visini mjere na odljevku [4].

#### 3.1. Crtež poluge u AutoCadu

U programu AutoCad nacrtava se predmet sa svim potrebnim kotama i standardima, za koji će se kasnije izraditi model za lijevanje.

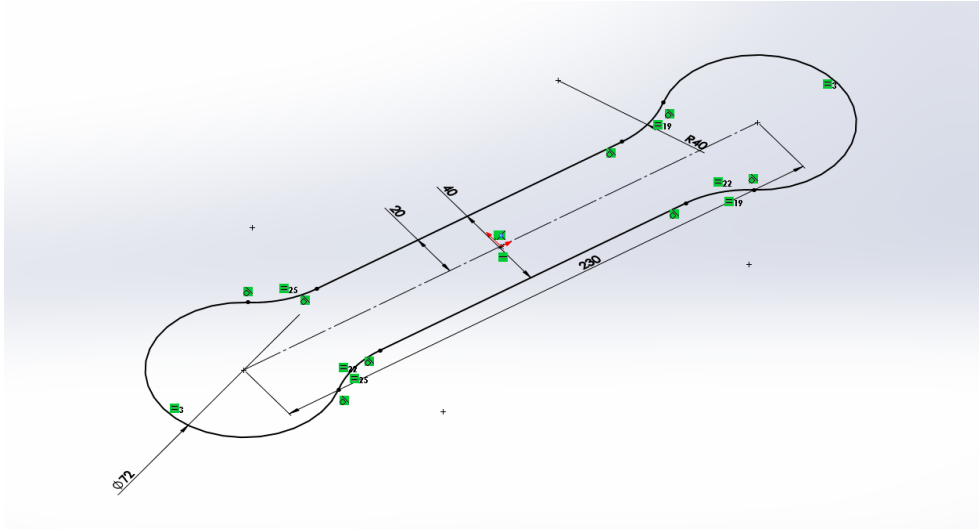


Slika 3.1 Crtež poluge

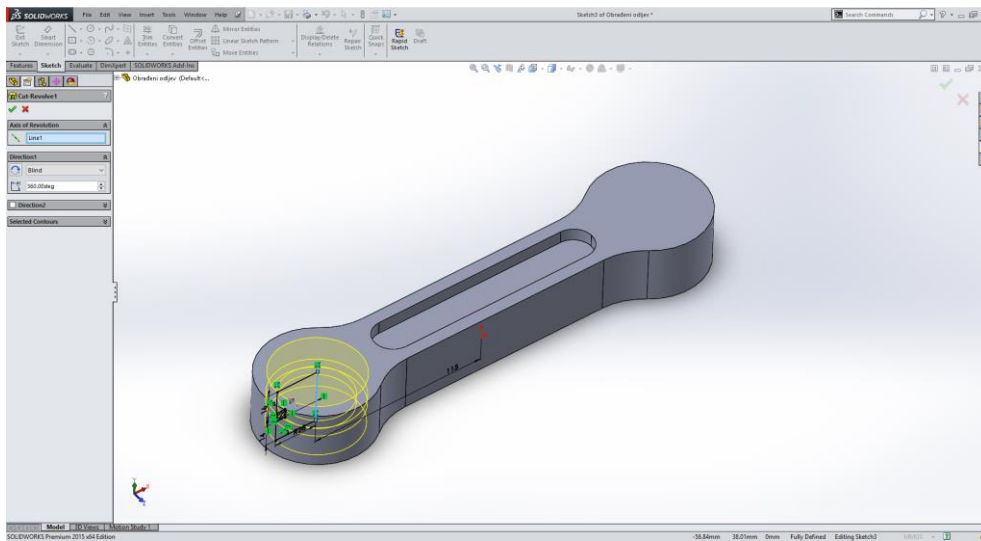


## 3.2. 3D modeliranje poluge

Iz 2D crteža napravi se 3D poluge. Prvo se u sketch-u (skica) nacrtaju vanjske dimenzije predmeta i nakon toga ekstrudiraju naredbom Boss-extrude za određenu visinu. Kasnije se na tijelu modela izreže utor s obje strane naredbom Cut-extrude.

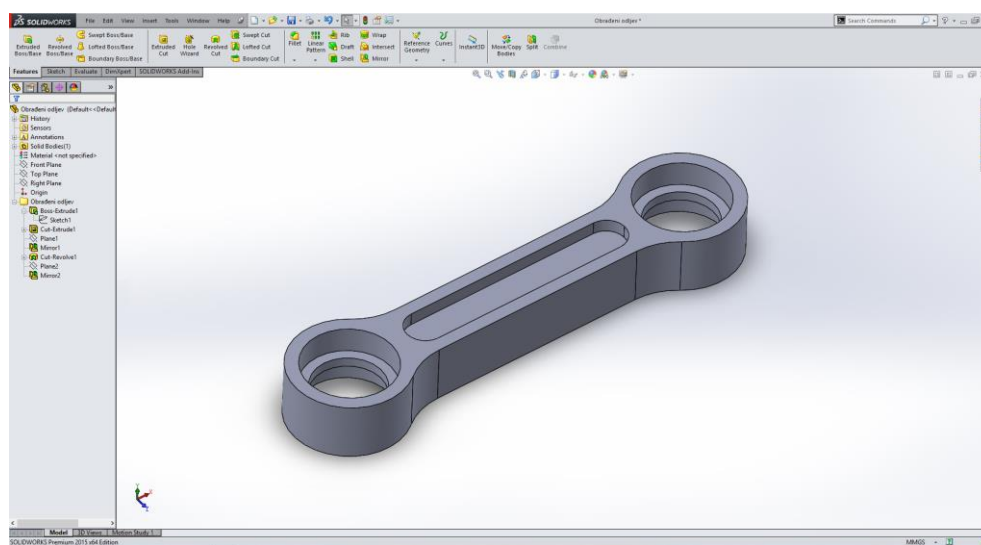


Slika 3.2 Sketch vanjskih dimenzija



Slika 3.3 Ekstrudirani utor i bušenje provrta

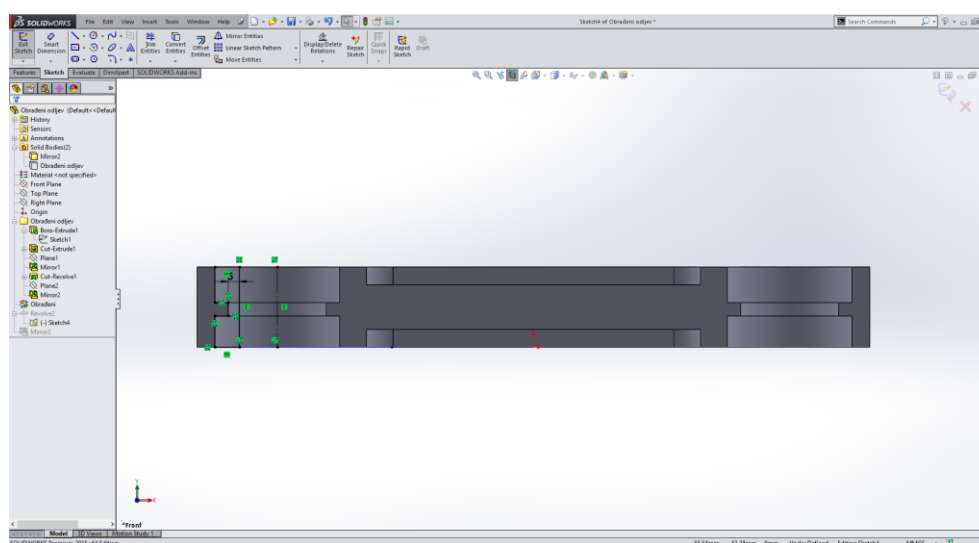
Nakon toga naredbom Cut-revolve izradi se provrt. Naredbom Mirror konstruira se provrt s druge strane i dobije se gotov model poluge.



Slika 3.4 Završni model poluge

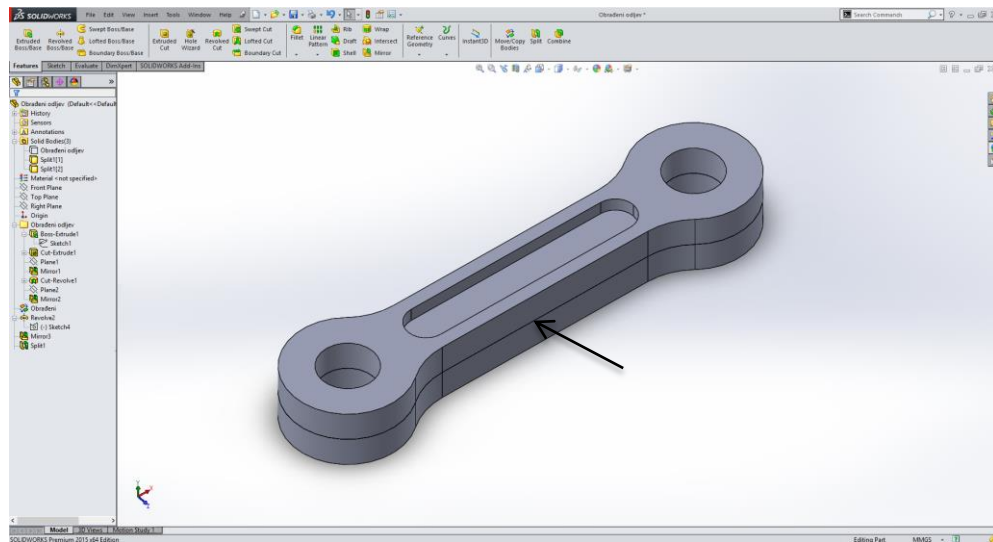
### 3.3. Obradeni odljev

Na modelu poluge se nakon toga konstruiraju dodaci za obradu provrta glodanjem. Dodaci za obradu dodaju se na plohe koje se kasnije strojno obrađuju. U ovom slučaju dovoljno je 5 mm dodatka, pošto je poluga malih dimenzija. Plohe se strojno obrađuju radi ispunjenja nekih zahtjeva za tolerancije, dosjeda i sl. Plohama koje se ne moraju biti strojno obrađivati ne mijenjaju se dimenzije.



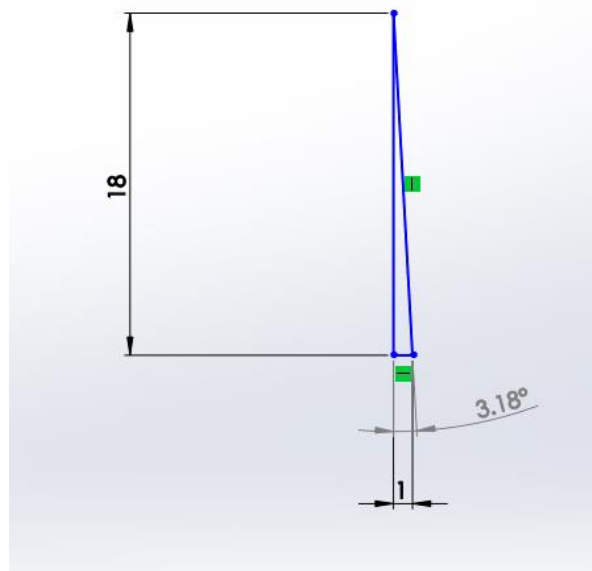
Slika 3.5 Dodatak za obradu provrta

Sljedeći korak je određivanje položaja linije (ravnine) dijeljenja modela, tj. potrebno je razrezati model na dva dijela, model gornjak i model donjak. Diobena linija smješta se obično na sredinu modela, da se modelu uslijed dodavanja skošenja previše ne poveća volumen.

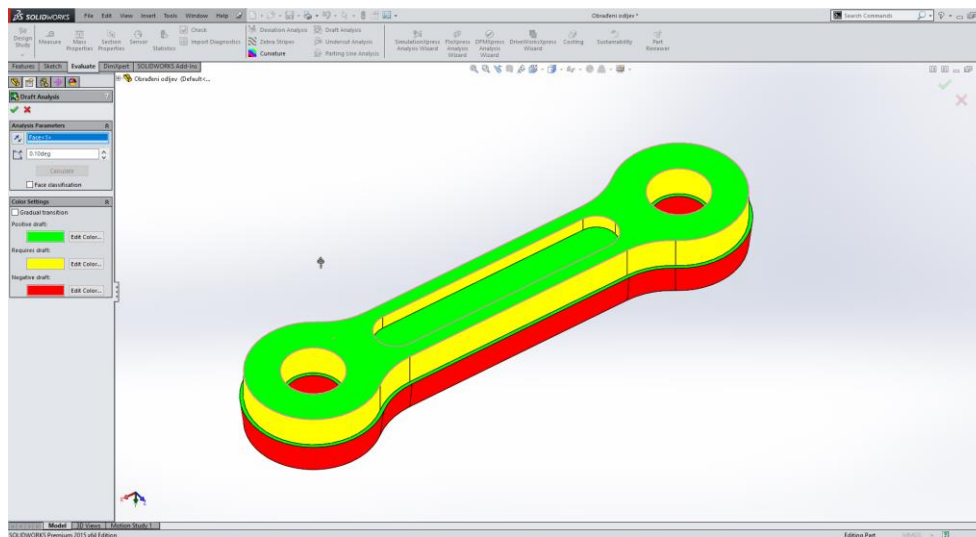


*Slika 3.6 Linija dijeljenja modela*

Konusi skošenja stranice modela iznose 1 mm pod  $3,18^\circ$ , prema tablici 3.1. Konus iznosi samo 1 mm zato što model gornjak ili donjak nisu viši od 30 mm. Konusi se stavljaju radi lakšeg vađenja modela iz pijeska (ne dolazi do krhanja rubova pijeska prilikom kalupljenja).

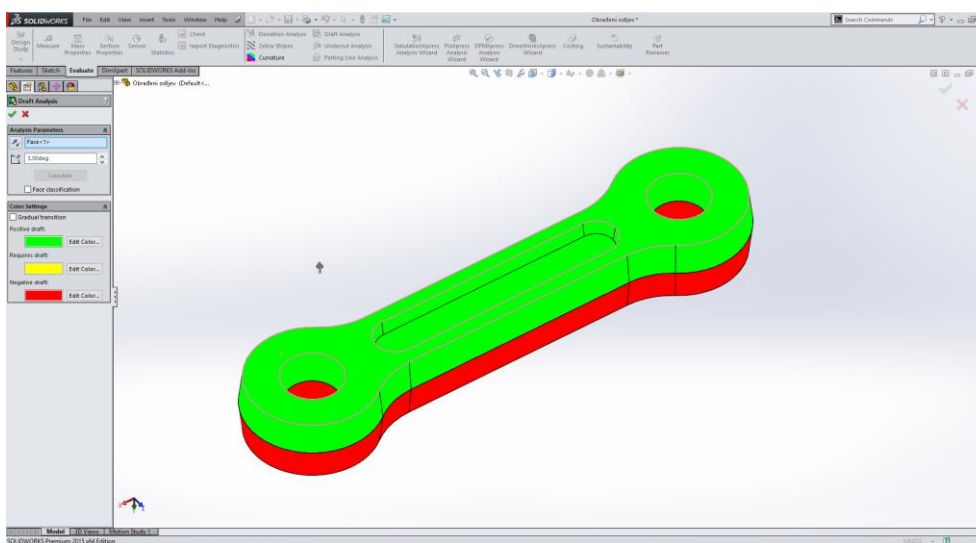


*Slika 3.7 Dodavanje konusa od 1 mm*



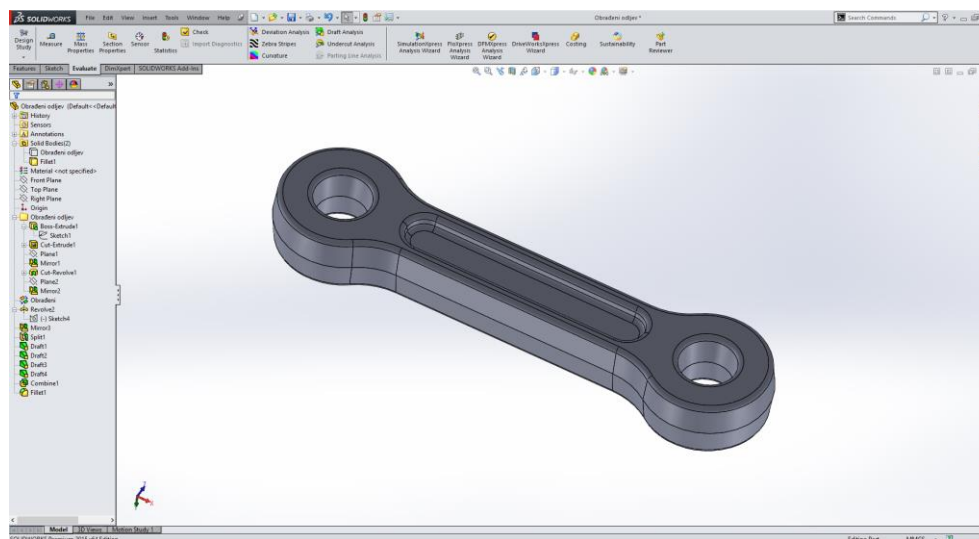
*Slika 3.8 Dodavanje konusa na donjak modela*

Žuta boja na slici 3.8 prikazuje  $0^\circ$  konusa što nije dobro, jer dolazi do krhanja kalupa prilikom vađenja modela. Crvena boja na slici prikazuje dodani konus. U tom slučaju model bez problema izlazi iz pijeska (kalupa). Zelena boja prikazuje plohe paralelne s ravninom vučenja modela iz pijeska.



*Slika 3.9 Konusi na obje strane modela*

Potrebno je obvezno staviti radijuse na oštre rubove modela, da ne bi došlo do krhanja kalupa. Radijus mora biti što manji da bude bliže oštrm uglu, a stavi se npr. radijus od 3 mm. Nakon svih opisanih postupaka dobije se završni izgled modela.



Slika 3.10 Završni izgled modela

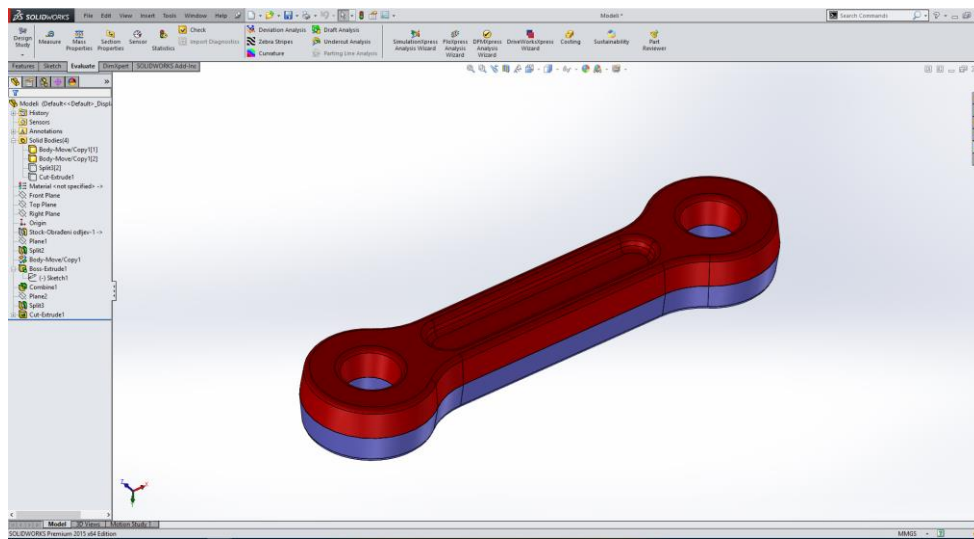
Tablica 3.1 Dodaci zbog skošenja modela

Visina H	Konus T					
	Male težine ( $H/W \leq 1$ )			Velike težine ( $H/W \geq 1$ )		
	Ručno kalupiranje		Strojno kalupiranje	Ručno kalupiranje		Strojno kalupiranje
	Pijesak lijevan na glini	Kemijski vezani ljevaonički pijesak		Pijesak lijevan na glini	Kemijski vezani ljevaonički pijesak	
do 30	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0
preko 30 do 80	2,0	2,0	2,0	2,5	2,0	2,0
preko 80 do 180	3,0	2,5	2,5	3,0	3,0	3,0
preko 180 do 250	3,5	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0
preko 250 do 1000	+1,0 svakih 250mm-razina	+1,0 svakih 250mm-razina	+1,0 svakih 250mm-razina	+1,0 svakih 250mm-razina	+1,0 svakih 250mm-razina	+1,0 svakih 250mm-razina
preko 1000 do 4000	+2,0 svakih 1000mm-razina	+2,0 svakih 1000mm-razina	+2,0 svakih 250mm-razina	+2,0 svakih 250mm-razina	+2,0 svakih 250mm-razina	+2,0 svakih 250mm-razina

W = unutarnje dimenzije

### 3.4. Skaliranje

Kod izrade modela najvažniji je postupak skaliranja modela. Skaliranje je potrebno zbog stezanja materijala prilikom skrućivanja. Za materijal za lijevanje poluge odabran je sivi lijev oznake EN-GJL-250. Stezanje kod tog materijala je 2% prilikom skrućivanja. Dakle, svaka mjera je 2% veća od željene (konačne). Taj skalirani odljev presiječe se na pola i dobiju se dva modela, gornjak i donjak. Završna fizička kontrola vrši se provjerom mjera pomoću 2%-tnog metra.



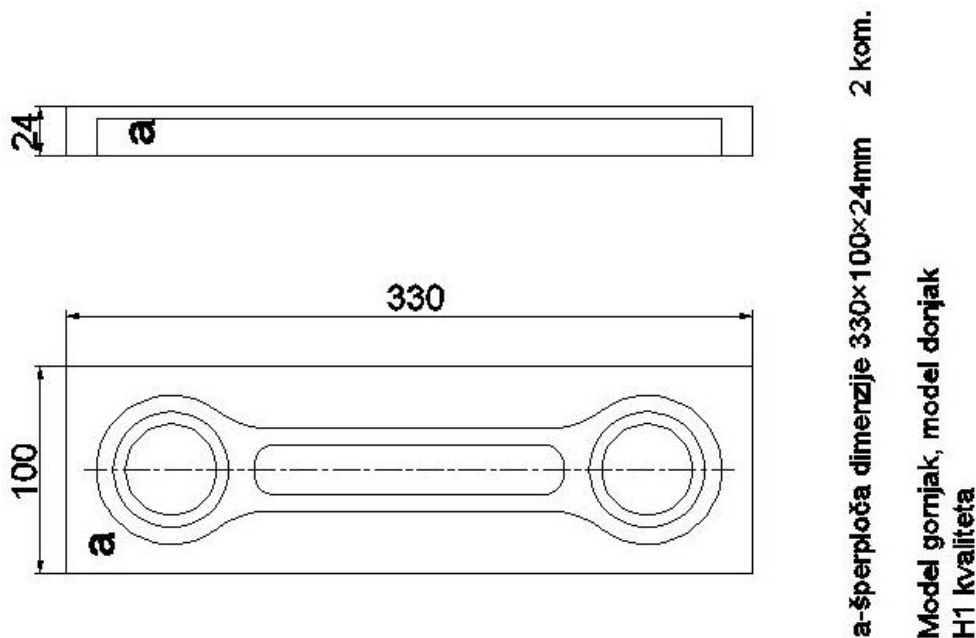
Slika 3.11 Skalirani gornjak i donjak modela

## 4. Praktični dio završnog rada

Praktični dio završnog rada sastojao se od izrade modela pomoću gotove tehnološke dokumentacije u proizvodnom pogonu. Prilikom asistiranja radnicima u pogonu i izradi modela pridržavao sam se zaštite na radu, te nosio zaštitnu opremu. Na odjelu lijepljenja izrezane su dvije šperploče većih dimenzija od osnovnog komada, sa dodatkom za obradu glodanjem. Kod glodanja pomogao sam prilikom pozicioniranja komada na stroju. Nakon glodanja komad je bio spreman za montažu. Na odjelu montaže komad je prvo trebalo polirati grubo, pokitati, ponovo polirati malo finije, potom je slijedilo tamplanje, šprickitanje, ponovno fino poliranje i nakon toga uslijedilo je završno farbanje modela.

### 4.1. Izrezivanje ploča

Pomoću programa Solidworks, 3D model pretvori se u 2D AutoCad crtež u formatu dwg. 2D crtež je tlocrt modela, pomoću kojeg se crta skica za kasnije izrezivanje ploča za strojnu obradu. Visina ploča iznosi 24 mm, tako da ih je potrebno i čeonno poravnati zbog dobrog sjedanja modela gornjaka na model donjak. U skici je model smješten unutar pravokutne ploče dimenzija 330×100×24 mm. Početni materijal je šperploča od breze. Koriste se dvije ploče zato što je model podijeljen u dva dijela, tj. model donjak i model gornjak.



Slika 4.1 Skica za izrezivanje ploča



*Slika 4.2 Izrezivanje ploča na kružnoj pili (cirkular)*

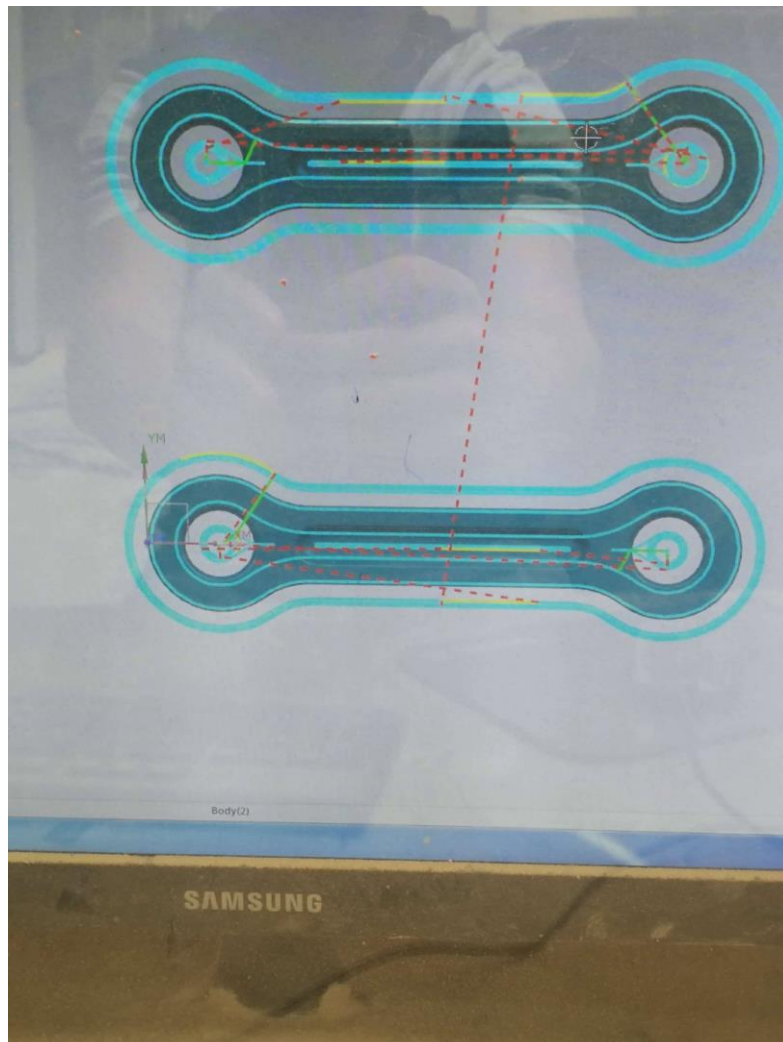
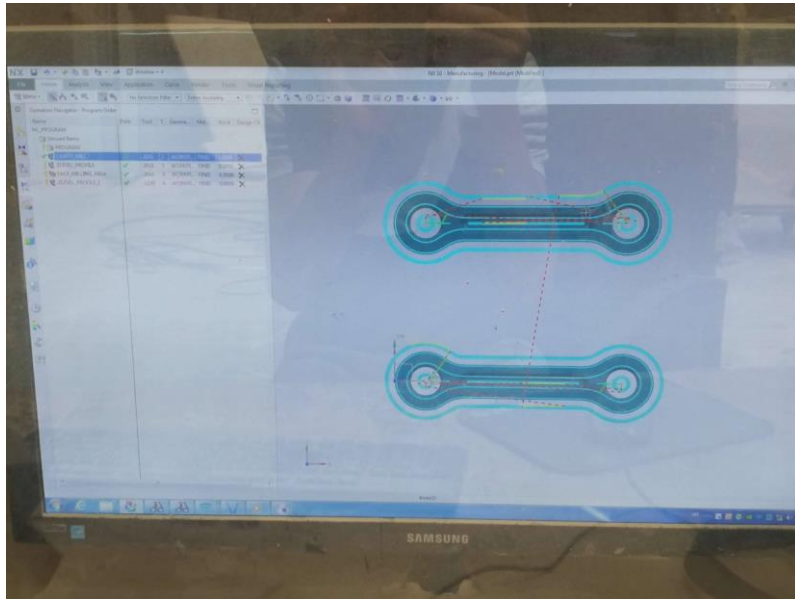


*Slika 4.3 Ploča dimenzija 330×100×24mm*

## **4.2. Glodanje modela**

Glodanje komada izvodilo se na jednoj od manjih glodalica koje posjeduje tvrtka. Prethodno izmodeliran model u Solidworks-u prebaci se u upravljačku jedinicu glodalice. Programiranje glodanja na glodalici vrši se u programu Siemens NX. Operator odgovoran za rad na glodalici pozicionirao je komad u radnom prostoru stroja, u programu zadao nul točke za komad, te pustio program u proces. Postupak izvođenja programa za glodanje pohranjen ju u poduzeću i nije ga moguće otvoriti na drugim računalima izvan tvrtke. Iz tog razloga nije moguće ući u problematiku izrade programa za glodanje, već je moguće samo informativni uvid u proces.





*Slika 4.4 Dodavanje putanje i nul točki u programu Siemens NX*



*Slika 4.5 Glodanje gornjaka i donjaka*

### 4.3. Grubo brušenje

Grubo brušenje vrši se zbog trganja tankog sloja drva kod glodanja. Bruse se svi uglovi (radijusi) na komadu. Šperploča je slojevito drvo, pa su nakon glodanja vidljivi slojevi koje treba pobrusiti da površina bude glatka. Brušenje se izvodi brusnim papirom hrapavosti 80.



*Slika 4.6 Model nakon grubog brušenja*

### 4.4. Kitanje modela

Kitanje gornjaka i donjaka modela izvodi se zbog toga da rub između njih bude što ujednačeniji, tj. da nema udubljenja između vanjskih površina modela. Također treba pokitati mjesta gdje je komad bio stegnut tijekom glodanja.



*Slika 4.7 Kitanje modela*

Fino brušenje modela izvodi se nakon osušivanja komada poslije kitanja. Potrebno je odstraniti višak nanesenog kita sa modela i pripremiti površine za sljedeći postupak u proizvodnom procesu. Fino brušenje izvodi se brusnim papirom hrapavosti 100.



*Slika 4.8 Fino brušenje*

#### **4.5. Tiplanje**

Tiplanje se izvodi zbog lakšeg i preciznijeg pozicioniranja modela gornjaka na model donjak. Oni se moraju fizički razdvajati, no kod kalupljenja moraju biti spojeni. Provrti koji su se morali izraditi zbog stavljanja tipli, kasnije se zapune kitom.



*Slika 4.9 Tiplanje modela*

#### **4.6. Nanošenje šprickita**

Nanošenjem šprickita na model popunjuju se eventualne pukotine i udubljenja na modelu. Nanosi se tanki sloj šprickita, jer treba pobrusiti višak na površini.



*Slika 4.10 Nanošenje šprickita na model*

#### **4.7. Završno brušenje i poliranje**

Završno brušenje vrši se radi odstranjivanja viška šprickita. Brušenje se izvodi brusnim papirom hrapavosti 120. Nakon brušenja slijedi poliranje. Poliranje prethodi završnom bojenju modela. Model mora biti ispoliran, tako da sve površine na dodir budu glatke. Kod poliranja koristi se polirka, a to je spužvica koja na sebi ima sitna brusna zrnca hrapavosti 160.

#### **4.8. Bojenje modela**

Nakon izvršenih svih prethodnih procesa slijedi završno bojenje i to je posljednja operacija u izradi modela. Model gornjak obojen je crvenom, a model donjak plavom bojom.



*Slika 4.11 Bojenje modela*

Na slikama 4.12 , 4.13 i 4.14 prikazan je izgled gotovog modela.



*Slika 4.12 Model gornjak i model donjak*



*Slika 4.13 Model gornjak i model donjak s unutarnje strane*



*Slika 4.14 Gotov izgled modela*

## 5. Zaključak

U završnom radu prikazana je problematika konstruiranja i izrade modela za lijevanje u pijesak.

Prilikom konstruiranja modela koristilo se vlastito iskustvo, te pomoć djelatnika iz poduzeća u kojem se izrađivao model. U završnom radu koristili su se materijali, alati i strojevi kojima raspolaže poduzeće.

Konstruiranje se vršilo u programu SolidWorks, koji je najkorišteniji program za modeliranje u ovoj regiji. Prilikom konstruiranja modela nije bilo problema jer se modeli, kao i jezgrenici, konstruiraju šablonski. Moguće poteškoće mogu se eventualno pojaviti zbog krivog postavljanja modela, tj. kod nepravilnog određivanja ravnina, linija dijeljenja modela, itd. U pravilu se pogreške ne događaju zbog samokontrole svakog programera, a također i nakon svakog konstruiranog modela stoji osoba koja kontrolira ispravnost modeliranja. Ukoliko je model neispravan, može doći do materijalnih gubitaka i gubitka kupaca, a to naravno nije poželjno.

Kod praktičnog dijela izrade modela trebalo je obratiti pažnju na to da se model gornjak i donjak kod postupaka brušenja i poliranja ne oštete, te da se ne odstrani previše materijala što bi u konačnici dovelo do toga, da bi izliveni predmet bio netočnih dimenzija, odnosno manji od zahtijevanog. Također treba paziti na to, da kod obrada ne dođe do zaglađivanja ili zaoštavanja rubova modela koji na sebi imaju radijuse.

U Varaždinu, \_\_\_\_\_

IZJAVA O AUTORSTVU  
I  
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

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

Ja, Andreas Boj (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Izrada modela za lijevanje goluže (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Andreas Boj

(vlastoručni potpis)

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

Ja, Andreas Boj (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Izrada modela za lijevanje goluže (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:  
(upisati ime i prezime)

Andreas Boj

(vlastoručni potpis)



## 6. Literatura

- [1] Z. Bonačić-Mandinić, I. Budić: Osnove tehnologije kalupljenja, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 2001.
- [2] [https://moodle.vz.unin.hr/moodle/file.php/178/Ljevarstvo/Literatura/Literatura/Bauer\\_Mihalic\\_Osnove\\_tehnologije\\_ljevanja.pdf](https://moodle.vz.unin.hr/moodle/file.php/178/Ljevarstvo/Literatura/Literatura/Bauer_Mihalic_Osnove_tehnologije_ljevanja.pdf)
- [3] <http://pib-extra.com/>
- [4] <https://www.ffri.hr/~mdundjer/Strojarska%20tehnologija%20I/02%20Ljevanje.doc>
- [5] Dokumentacija poduzeća PIB extra d.o.o.

## **Popis slika**

Slika 1.1 Izvorni crtež

Slika 2.1 Ljevački kalup sa jezgrom uljevnim sustavom

Slika 2.2 Odljevak sa uljevnim sustavom

Slika 2.3 Blok velikog brodskog diesel motora

Slika 2.4 Kopče mase 50g i broj za kodiranje mase 0,08g

Slika 2.5 Primjeri odljevaka iz automobilske industrije

Slika 2.6 Proizvodni koraci postupaka lijevanja

Slika 2.7 Podjela postupaka lijevanja prema uljevnoj sili, te vrsti kalupa i modela

Slika 2.8 Podjela postupaka lijevanja prema vrsti kalupa

Slika 2.9 Udjeli pojedinih ljevačkih postupaka- SAD 2009. (po masenom udjelu odlivenog metala)

Slika 3.1 Crtež predmeta

Slika 3.2 Sketch vanjskih dimenzija

Slika 3.3 Ekstrudirani utor i bušenje rupa

Slika 3.4 Izmodeliran model

Slika 3.5 Dodavanje obrade na provrt

Slika 3.6 Diobena linija

Slika 3.7 Značenje konusa od 1mm

Slika 3.8 Konusi

Slika 3.9 Konusi s obje strane

Slika 3.10 Obrađeni odljev

Slika 3.11 Skalirani model gornjak i donjak

Slika 4.1 Skica za izrezivanje ploča

Slika 4.2 Izrezivanje ploča na kružnoj pili (cirkular)

Slika 4.3 Ploča dimenzija 330×100×24mm

Slika 4.4 Slike uvida u program glodanja (dodavanje putanje i nultočki alata u programu Siemens NX)

Slika 4.5 Slike glodanja komada u radnom prostoru CNC glodalice

Slika 4.6 Grubo brušenje

Slika 4.7 Kitanje modela

Slika 4.8 Fino brušenje

Slika 4.9 Tiplanje

Slika 4.10 Nanošenje šprickita

Slika 4.11 Farbanje modela

Slika 4.12 Model gornjak i model donjak

Slika 4.13 Model gornjak i model donjak s unutarnje strane

Slika 4.14 Gotov izgled modelaPopis tablica

## **Popis tablica**

Tablica 2.1 Područje primjene najčešćih postupaka lijevanja u jednokratne i trajne kalupe

Tablica 3.1 Tablica konusa

# **Prilog**

CD-R disc