

UNIVERZA V MARIBORU  
FAKULTETA ZA STROJNIŠTVO

Boštjan PETEK

**RAZVOJ ORODJA ZA BRIZGANJE GUMIJASTIH  
ZAŠČITNIH OBROB MERILNEGA INSTRUMENTA**

Diplomsko delo  
visokošolskega strokovnega študijskega programa  
Strojništvo

Maribor, avgust 2016



Univerza v Mariboru

---

Fakulteta za strojništvo

Diplomsko delo

# **RAZVOJ ORODJA ZA BRIZGANJE GUMIJASTIH ZAŠČITNIH OBROB MERILNEGA INSTRUMENTA**

Študent: Boštjan PETEK  
Študijski program: Visokošolski strokovni študijski program  
Strojništvo  
Smer: Energetika in procesno strojništvo  
Mentor: doc. dr. Jasmin KALJUN  
Somentor: doc. dr. Matej ZADRAVEC

Maribor, avgust 2016

# SKLEP

## IZJAVA

Podpisani Boštjan PETEK izjavljam, da:

- je diplomsko delo rezultat lastnega raziskovalnega dela,
- da je predloženo delo v celoti ali v delih ni bilo predloženo za pridobitev kakršnekoli izobrazbe po študijskem programu druge fakultete ali univerze,
- da so rezultati korektno navedeni,
- da nisem kršil avtorskih pravic in intelektualne lastnine drugih,
- da soglašam z javno dostopnostjo diplomskega dela v Knjižnici tehniških fakultet ter Digitalni knjižnici Univerze v Mariboru, v skladu z Izjavo o istovetnosti tiskane in elektronske verzije zaključnega dela.

Maribor, \_\_\_\_\_

Podpis: \_\_\_\_\_

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Jasminu Kaljunu in somentorju doc. dr. Mateju Zadravcu za pomoč in vodenje pri opravljanju diplomskega dela.

# RAZVOJ ORODJA ZA BRIZGANJE GUMIJASTIH ZAŠČITNIH OBROB MERILNEGA INSTRUMENTA

**Ključne besede:** brizganje gume, konstruiranje orodij, parametri rezkanja, programiranje CNC-rezkalnih strojev, vulkanizacija

**UDK klasifikacija:** 621.7.07-11(043.2)

## POVZETEK

*Diplomsko delo opisuje proces razvoja in konstruiranja orodja za tlačno brizganje gumijastih obrob. V fazi izdelave testnega orodja odpravimo čim več pomanjkljivosti, da bo končna verzija delovala s čim manj zapleti. Predstavljeni so tudi postopki in parametri rezkanja posameznih sklopov orodja na CNC-rezkalnem stroju. Izdelan je preračun potreb po toplotni energiji za temperiranje orodja in postopek vulkanizacije gume. Najpomembnejši rezultat te naloge pa so pridobljene izkušnje in znanje, ki bodo služili kot napotki in vodila za razvoj podobnih orodij v prihodnosti.*

# DEVELOPMENT OF INJECTION MOULDING TOOL FOR A RUBBER STRAKES OF A MEASURING INSTRUMENT

**Key words:** rubber molding, design tools, milling parameters, programming CNC milling machines, vulcanization

## ABSTRACT

*This diploma thesis describes the process of the development and construction of pressure spraying tools for rubber strakes. During the construction of the test tools, the majority of faults were repaired for the final version of the tool to work with as few complications as possible. Apart from that, the diploma thesis introduces the milling procedures and parameters of individual components on the CNC milling machine. Furthermore, the need for heat energy for tool tempering and rubber vulcanization is calculated. The most important result of this diploma thesis was the experience and skills gained that will in the future serve as guidelines and directions for the development of similar tools.*

## KAZALO

<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1 Opredelitev problema .....	1
1.2 Prestavitev podjetja in izdelka .....	1
1.3 Izbira in predstavitev programskega paketa .....	3
<b>2 RAZVOJ IN MODELIRANJE ORODJA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Razvoj testnega orodja.....	5
2.2 Modeliranje testnega orodja.....	6
2.3 Izdelava in testiranje testnega orodja.....	9
2.4 Ugotovitve in napotki za izdelavo pravega orodja .....	10
2.5 Razvoj orodja .....	11
2.6 Osnovni sestavni deli orodja .....	17
<b>3 IZDELAVA DELOV ORODJA.....</b>	<b>18</b>
3.1 Predstavitev strojnega parka.....	18
3.2 Izbira materiala in normalij za sestavne dele orodja .....	20
3.3 Programiranje CNC-rezkalnih strojev in izdelava G-kode .....	21
3.4 Določitev parametrov rezkanja .....	25
3.4.1 Splošno .....	25
3.4.2 Osnovne enačbe za določitev parametrov .....	26
3.5 Zunanje usluge .....	28
<b>4 TESTIRANJE IN KONTROLA ORODJA.....</b>	<b>29</b>
4.1 Sestavljanje orodja .....	29
4.2 Poizkusno brizganje in ugotavljanje napak .....	29
4.3 Popravki.....	30
<b>5 TEMPERIRANJE ORODJA.....</b>	<b>32</b>
5.1 Tehnologija brizganja silikonske gume.....	32
5.2 Temperirni sistem stroja .....	34
5.2.1 Temperiranje orodja.....	34
5.2.2 Temperiranje polža in brizgalnega cilindra .....	34
5.3 Določitev snovnih lastnosti brizganega materiala .....	36
5.4 Analitična določitev potrebne toplotne energije v ciklu.....	37



5.4.1	Potrebna toplotna energija za segrevanje orodja na delovno temperaturo	37
5.4.2	Potrebna toplotna energija za segrevanje zmesi	37
5.4.3	Izgube toplote zaradi ohlajanja orodja	38
5.4.4	Celotne toplotne izgube v enem ciklu brizganja	39
<b>6</b>	<b>ZAKLJUČEK</b>	<b>41</b>
6.1	Konstruktivska priporočila za bodoče razvijanje orodij za brizganje gume	41
6.2	Možnosti nadgradnje orodja za samodejno snemanje izdelkov	45
<b>7</b>	<b>LITERATURA IN VIRI</b>	<b>46</b>
<b>8</b>	<b>PRILOGE</b>	<b>47</b>

## KAZALO SLIK

Slika 1.1	: Enojni in dvojni »krypton« s termokonektorji [1]	2
Slika 1.2	: Primer montaže instrumenta v neposredni bližini motorja vozila [1]	2
Slika 1.3	: Medsebojna vezava [1]	3
Slika 2.1	: Model obrobe »dual back«	5
Slika 2.2	: Povečanje modela obrobe za 2 %	6
Slika 2.3	: Obroba, potopljena v spodnji del gravurne plošče	7
Slika 2.4	: Spodnja gravurna plošča	7
Slika 2.5	: Testno orodje »dual back«	8
Slika 2.6	: Šoba stroja	8
Slika 2.7	: Sestav testnega orodja	9
Slika 2.8	: Izdelava spodnjega dela testnega orodja	9
Slika 2.9	: Testno orodje z označenimi popravki	10
Slika 2.10	: Dolivna šoba orodja	11
Slika 2.11	: Stroj za brizganje gume	12
Slika 2.12	: Shema orodja	12
Slika 2.13	: Medsebojna lega gravurnih vložkov	13
Slika 2.14	: Gravuri v spodnji gravurni plošči	13
Slika 2.15	: Zgornja gravurna plošča	14
Slika 2.16	: Plošča pomika z jedri	14
Slika 2.17	: Spodnja gravurna plošča	15

Slika 2.18: Spodnji del orodja s podložno ploščo .....	15
Slika 2.19: Zgornja gravurna plošča s centrirnim obročem in šobo .....	16
Slika 2.20: Vodila.....	16
Slika 2.21: Sestavni deli orodja .....	17
Slika 3.1: ARIX V750 .....	18
Slika 3.2: DMG MORI ecoMill 50 .....	19
Slika 3.3: Meusburger spletni katalog [5] .....	20
Slika 3.4: Izbrani materiali .....	21
Slika 3.5: Modul manufacturing .....	22
Slika 3.6: Izdelek, surovec in koordinatni sistem.....	22
Slika 3.7: Režimi rezkanja .....	23
Slika 3.8: Seznam orodij.....	23
Slika 3.9: Osnovni parametri .....	24
Slika 3.10: Simulacija poti orodja.....	24
Slika 3.11: Del programa v G-kodi .....	25
Slika 3.12: Priporočila enega od proizvajalcev orodij [6] .....	27
Slika 3.13: Priprava za hitro določanje parametrov .....	27
Slika 4.1: Orodje med sestavljanjem .....	29
Slika 4.2: Nepopolno zalivanje.....	30
Slika 4.3: Rezkanje dodatnega volumna .....	30
Slika 5.1: Shema brizgalnega stroja .....	32
Slika 5.2: Električni grelec moči 800 W .....	34
Slika 5.3: Temperirna sistema polža in brizgalnega cilindra.....	35
Slika 6.1: Model orodja za tesnilo.....	41
Slika 6.2: Orodje za tesnilo naprave za merjenje tesnosti ulitkov.....	42
Slika 6.3: Testno orodje gumijastega blažilca trismučnika [11] .....	43
Slika 6.4: Tesnjenje z režo, stikom in koničnim nasedom .....	44
Slika 6.5: Dodatni volumni na novem orodju .....	44

## KAZALO TABEL

Tabela 3.1: Parametri fine obdelave gravurnih vložkov .....	28
---	----

## UPORABLJENI SIMBOLI

- $a_e$  (mm) - širina rezkanja  
 $a_p$  (mm) - globina rezkanja  
 $c_p$  (J/kgK) - specifična toplota  
 $E$  (MPa) - modul elastičnosti  
 $f_z$  (mm) - podajanje na zob  
 $n$  ( $\text{min}^{-1}$ ) - vrtilna hitrost  
 $P$  (W) - moč  
 $Q$  (J) - toplotna energija  
 $R_m$  (MPa) - natezna trdnost  
 $v_c$  (m/min) - rezalna hitrost  
 $v_f$  (mm/min) - hitrost podajanja  
 $\alpha$  ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ) - toplotna prestopnost  
 $\lambda$  ( $\text{W}/\text{mK}$ ) - toplotna prevodnost  
 $\nu$  ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ) - kinematična viskoznost  
 $\rho$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) - gostota  
 $\varphi$  (W) - toplotni tok

## **UPORABLJENE KRATICE**

BNC – Bayonet Neill Concelman

CAD – Computer Aided Design

CAM - Computer Aided Manufacturing

CNC – Computer Numeric Control

DIN – Deutshes Institut fur Normung

IP – Ingress Protection

STG – Spud To Grip

# 1 UVOD

## 1.1 Opredelitev problema

Za namen velikoserijske proizvodnje je potrebno razviti in izdelati orodje za brizganje zaščitne obrobe merilnih instrumentov.

Ti se montirajo blizu zajema podatkov (senzorjev), zato guma ščiti merjenec in instrument pred poškodbami. Instrumenti se sestavljajo med sabo v večje sisteme in tudi tu guma preprečuje medsebojno drgnjenje eloksiranih aluminijastih ohišij instrumenta. Poleg tega je dvobarvna kombinacija (oranžne zaščite - črno ohišje) razpoznavni znak podjetja. Deluje tudi kot tesnilo, ki preprečuje vdor prahu in vode (IP65 in IP67), delno blaži sunke, saj instrument prenaša tudi pospeške, večje od 100 g.

Stopnja zaščite IP (Ingress Protection) po standardu EN 60529 je izražena kot dvomestno število, pri čemer prva številka določa velikost prašnih delcev, ki še lahko prodrejo v napravo, druga številka pa se nanaša na način izpostavljenosti vodi. V našem primeru številka šest pomeni popolno zatesnitev pred prašnimi delci, št. 5 določa, da je lahko instrument pod vplivom vodnih curkov z vseh smeri, št. 7 pa omogoča začasne potopitve pod vodo.

V nadaljevanju bomo videli, da potrebujemo štiri različne gume, torej štiri gravure.

## 1.2 Prestavitev podjetja in izdelka

Podjetje Dewesoft razvija in proizvaja merilne instrumente za zajemanje in analiziranje podatkov v različnih aplikacijah.

Instrumenti so plod domačega razvoja tako strojne kot tudi programske opreme. Podjetje ima svojo proizvodnjo ohišij in sestavo izdelkov, lastno prodajno mrežo in podporo uporabnikom.

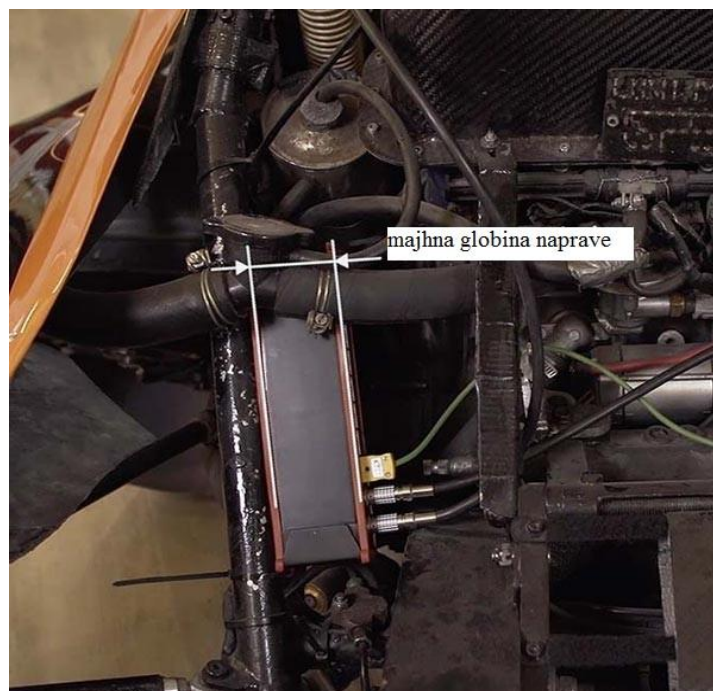
Eden od izdelkov je tudi instrument s tržnim imenom KRYPTON (slika 1.1.). Izdelava ene komponente tega izdelka je tema te diplomske naloge.



Slika 1.1 : Enojni in dvojni »krypton« s termokonektorji [1]

Za razliko od ostalih produktov je »krypton« zasnovan tako, da se postavi v neposredno bližino zajema podatkov (senzorjev). Zaradi tega je izpostavljen najrazličnejšim vplivom, kot so visoka ali nizka temperatura (od  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), prah, blato, voda in sneg. Notranjost je zalita z gumo, tako da je popolnoma vodotesen. Prenašati mora tudi močne udarce in vibracije. [1]

Ohišje je aluminijasto, rezkano, polirano, eloksirano, z lasersko gravuro. Pred manjšimi udarci in praskami ga varujejo gumijaste zaščitne obrobe.



Slika 1.2: Primer montaže instrumenta v neposredni bližini motorja vozila [1]

Z glavnim računalnikom ga povežemo z enim samim kablom, preko katerega poteka napajanje, prenos podatkov in sinhronizacija. (slika 1.3.) Z istim kablom lahko zaporedno povežemo več »kryptonov« in s tem zmanjšamo količino kablov na minimum. Senzorje lahko priključimo z različnimi konektorji: mini thermocuple, BNC, STG, Lemo OB 6 pin [2] itd.



Slika 1.3: Medsebojna vezava [1]

Imamo dve velikosti »kryptonov«: enojnega in dvojnega, odvisno od števila in vrste konektorjev. Ohišje je sestavljeno iz vlečenega profila, dodatno obdelanega z rezkanjem, sprednje in zadnje stranice so rezkane iz polnega aluminija, ter sprednjih in zadnjih gumijasti zaščitnih obrob. Ker sta dve velikosti instrumenta, rabimo štiri različne obrobe.

### 1.3 Izbira in predstavitev programskega paketa

V podjetju že od samega začetka proizvodnje lastnih instrumentov uporabljamo programski paket ProEngineer, kasneje CREO Parametric, podjetja PTC. Razlog je v tem, da sem bil v podjetju prvi konstrukter in programer ter operater na CNC-strojih, prej pa sem bil zaposlen v šolstvu, kjer je bil to uradni programski paket za poučevanje.

Uporabljamo CAD- in CAM-modul. Imeli smo že nekaj poizkusov z zamenjavo CAM-modula s programom Mastercam, vendar neuspešno.

Zlasti v fazi razvoja izdelka in tudi kasneje prihaja do nenehnih sprememb oblike modela. Zato je zaradi parametričnosti med CAD in CAM bolj smiselno ostati znotraj enega programskega paketa.

O prednostih in pomanjkljivostih posameznih programskih paketov je težko soditi, če ne poznaš vseh v detajle. Tudi v prihodnosti bomo uporabljali CREO, saj nam omogoča izdelavo vsega, kar potrebujemo.



## 2 RAZVOJ IN MODELIRANJE ORODJA

Beseda razvoj opisuje največ okoliščin, ki pripeljejo do novega izdelka. V razvojni proces so tako vključene faze konstruiranja, oblikovanja in še mnogo več. [3]

Modeliranje se nanaša predvsem na izris in grafični prikaz posameznih elementov in sestavov, ki so nam pri nadaljnjem delu v pomoč pri izdelavi tehniške dokumentacije, pri programiranju strojev, pri pripravljanju navodil za sestavljanje in vzdrževanje.

### 2.1 Razvoj testnega orodja

Ker smo morali izdelati štiri različne gravure za dva končna izdelka (enojnega in dvojnega), smo se odločili, da bomo v končni verziji izdelali eno ogrodje orodja, v katero bomo lahko vstavili po dve gravuri. Tako se bo hkrati brizgala sprednja in zadnja guma za enojni in ob zamenjavi gravur enako za dvojni »krypton«.

Glede na dosedanje izkušnje z izdelavo enostavnih orodij za brizganje gume in izkušnje gumarja (Podjetje GITES iz Kranja) se odločimo za izdelavo testnega orodja za obrobo dvojnega »krytona«. Gre za zelo dolge in tanke stene, za to je pomembna postavitev in število dolivnih mest, odzračevanje, tesnjenje gravur itd. Nenazadnje se tako ugotovi, ali bo sam izdelek sploh funkcionalen, preden se lotimo pravega orodja.



Slika 2.1: Model obrobe »dual back«

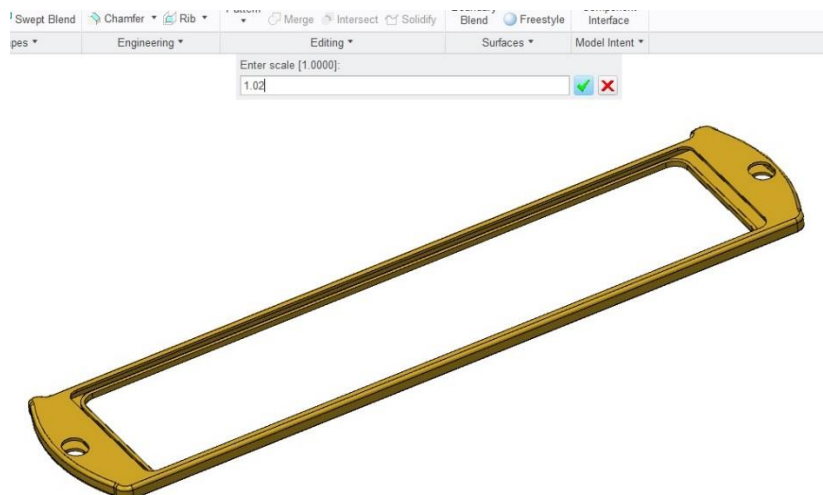
Odločili smo se, da izdelamo testni orodji obeh obrob za »kryton dual«. Ti sta največji in bosta definirali velikost celega orodja. Hkrati pa bomo že po testnem brizganju imeli obe obrobi in

tako izdelali komplet instrument. Tako gre lahko izdelek na sejme in testiranja, še predno steče proizvodnja.

## 2.2 Modeliranje testnega orodja

V nadaljevanju bomo predstavili konstruiranje in izdelavo samo ene obrobe, ker bo postopek enak.

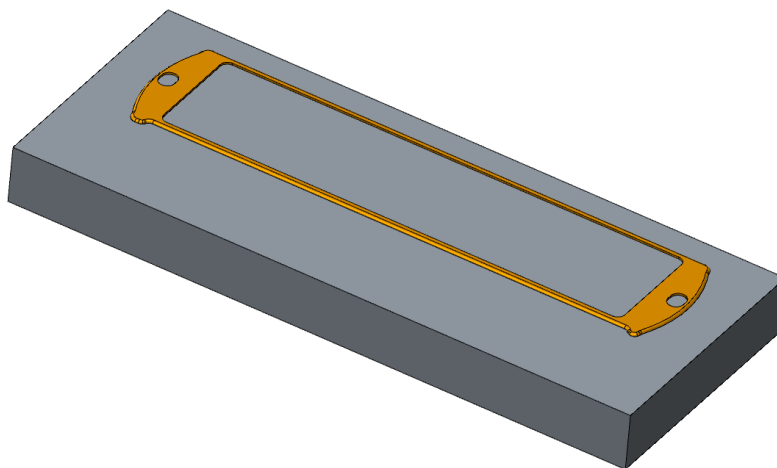
Od konstrukterja smo dobili modele obrob v merilu 1:1 (slika 4). Ker se silikonska guma po ohlajanju skrči, je potrebno izdelati gravure, ki so za 2 % večje od končnega izdelka. Velikost skrčka je določil gumar, ki sodeluje z dobaviteljem zmesi. Zaradi lažjega nadaljnjega dela povečamo model obrobe (slika 2.2).



Slika 2.2: Povečanje modela obrobe za 2 %

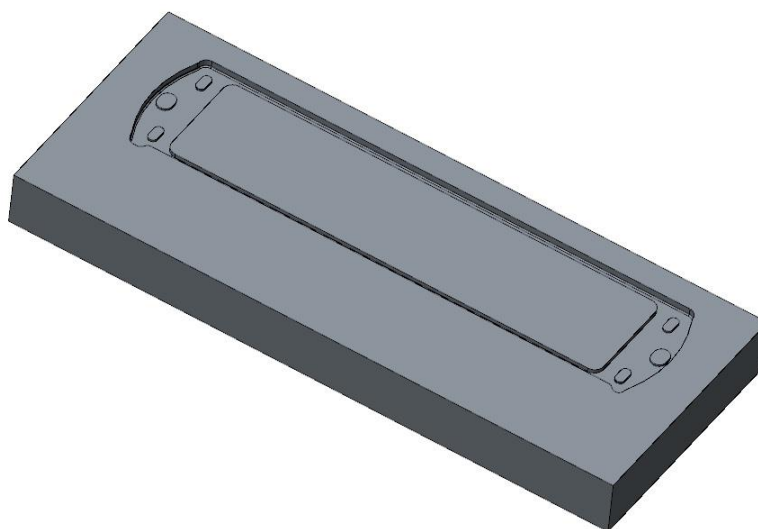
Ta ukaz se nahaja v ukaznem traku pod zavihkom Model – Operations – Scale Model.

Zaradi notranje oblike obrobe bo orodje sestavljeno iz zgornje in spodnje plošče ter jedra, ki bo imelo tudi funkcijo izmetača. Za zgornjo in spodnjo ploščo ter jedro izbermo material 1.1730 (C 45) [4]. Plošče imajo že brušene čelne ploskve, tako da večjih stroškov z izdelavo testnih orodij ne bomo imeli. Velikost orodja mora biti večja od obrobe, po širini pa potrebujemo še dodaten prostor za brizgalno šobo, ker smo se odločili, da brizgnemo material v eno od stranic. Z delom nadaljujemo v sestavu, kjer glede na obrobo pozicioniramo spodnji del gravure.



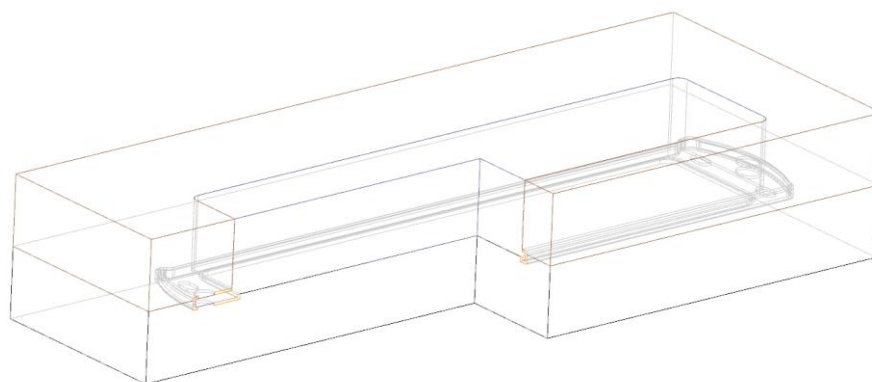
Slika 2.3: Obroba, potopljena v spodnji del gravurne plošče.

Delilno ravnino določimo na prehodu stranske ravne ploskve v radij. Sledi izdelava gravure z orodjem Cut Out, ki odstrani ves material v spodnji gravurni plošči, ki ga zavzema obroba. Še z nekaj dodatnimi »ekstrudi« odvezamemo material, ki ga bo kasneje zavzemalo jedro. Dobimo ploščo, ki je prikazana na sliki 2.4.



Slika 2.4: Spodnja gravurna plošča

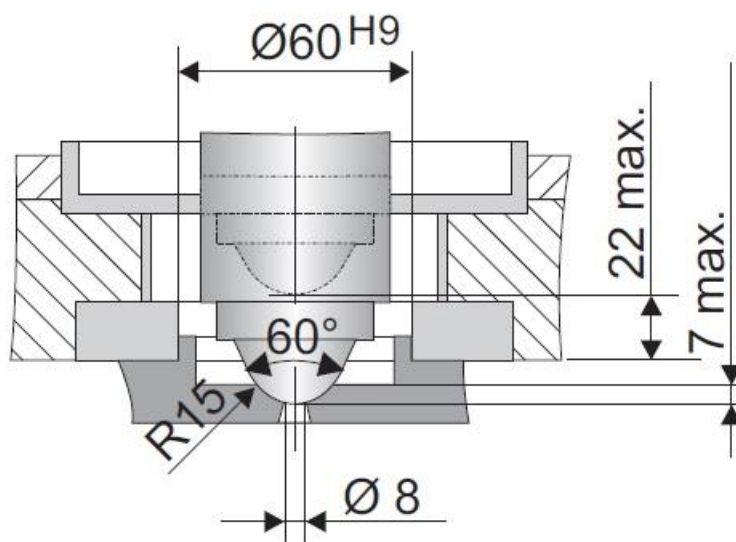
Enako storimo še z zgornjo gravurno ploščo in jedrom. Pravilnost izdelave preverimo v vzdolžnem in prečnem prerezu (slika 2.5).



Slika 2.5: Testno orodje »dual back«

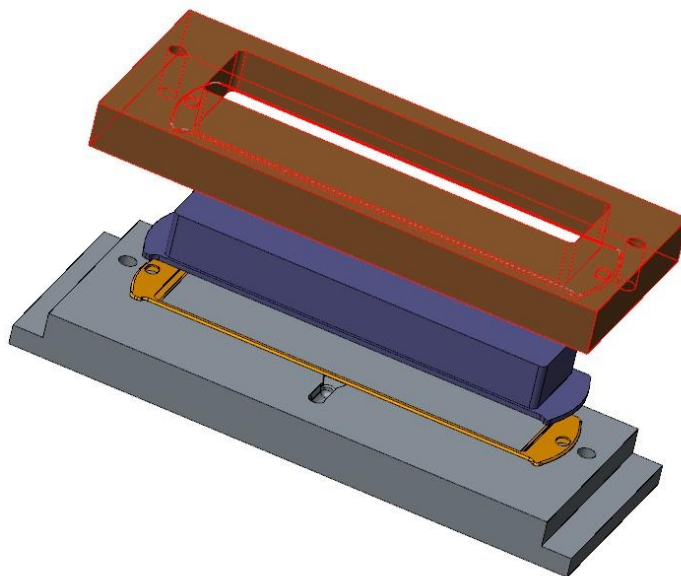
Tesnjenje med zgornjo gravurno ploščo in jedrom zagotavljamo z zračno režo 0,02 mm. Hkrati ta reža omogoča tudi odzračevanje gravurne votline. Velikost reže smo dočili s predpostavko, da bo orodje po končanem brizgu enostavno razstaviti. Ker ima stroj, na katerem bomo brizgali testne kose, šobo spodaj, izdelamo dolivni kanal na spodnji gravurni plošči. Gre za starejši stroj za brizganje gume z ročnim polnjenjem, ki ga gumar uporablja za manjše serije. Dolivno režo izdelam po navodilih gumarja v velikosti 12 x 0,2 mm.

Na spodnji strani pa še sferično vdolbino R40, v katero nalega šoba stroja (slika 2.6).



Slika 2.6. Šoba stroja [12]

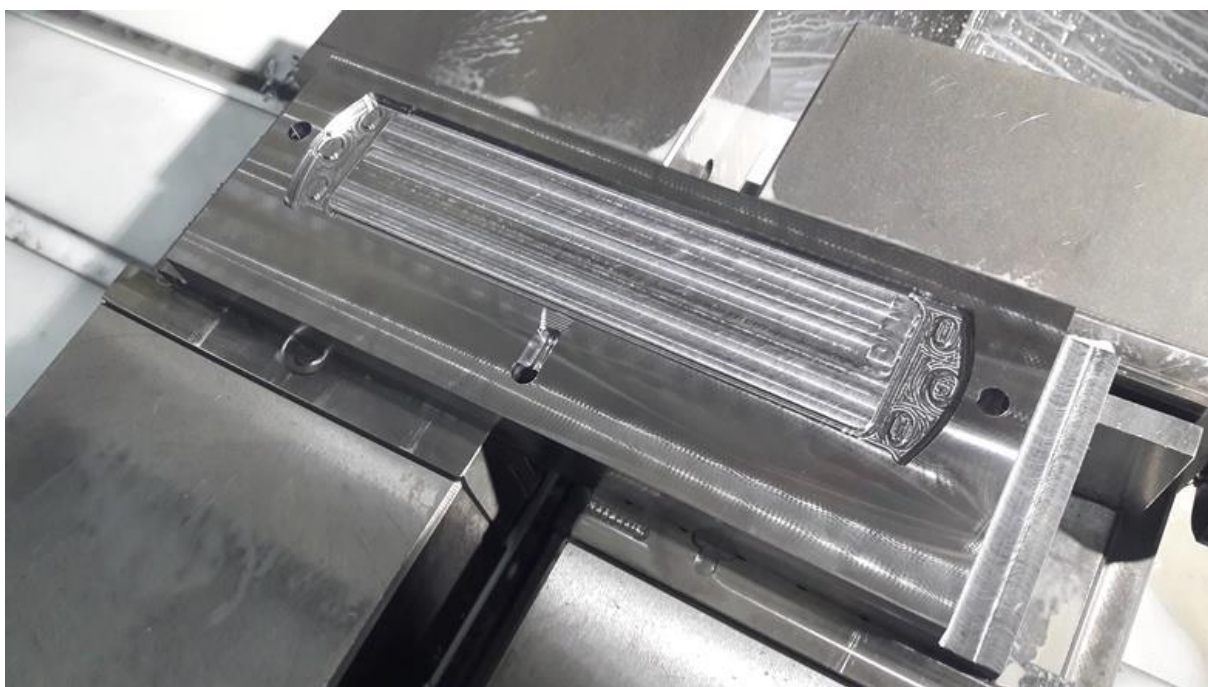
Medsebojno centriranje zgornje in spodnje plošče zagotavljamo s cilindričnima zatičema  $\phi 8 \times 30$ , na spodnji plošči pa izdelamo še ušesa za pritrditev na brizgalni stroj.



Slika 2.7: Sestav testnega orodja

### 2.3 Izdelava in testiranje testnega orodja

Ker smo testno orodje izdelali iz materiala 1.1730 (C 45), tudi z rezkanjem ni bilo nobenih težav. Centriranje jedra in zgornje gravure ni bilo potrebno, saj je bila zračnost med njima le 0,02 mm.



Slika 2.8: Izdelava spodnjega dela testnega orodja

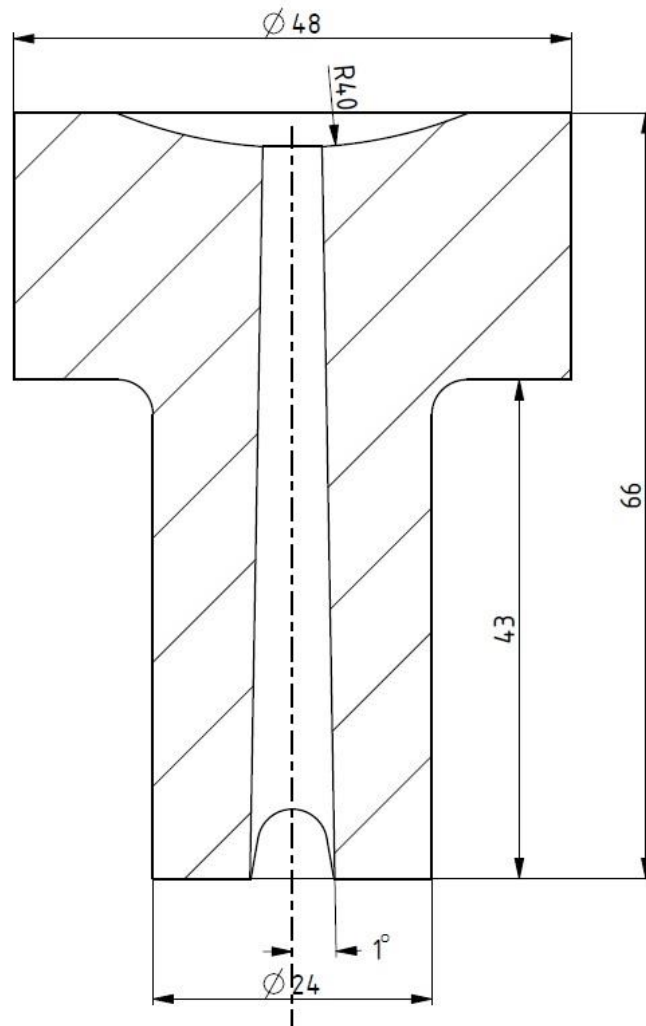
## 2.4 Ugotovitve in napotki za izdelavo pravega orodja

Po končanem testiranju smo prišli do naslednjih ugotovitev:

- a) Tesnjenje med zgornjo gravurno ploščo in jedrom z režo 0,02 mm ni zadostno. Velika količina gume pride vmes, kar otežkoča odpiranje orodja. Potrebna bo izvedba s stikom ali celo koničnim nalegom med obema elementoma. Ker je potrebno gravurno votlino odzračiti, to izvedemo na nasprotni strani dolivnega kanala, ker predpostavimo, da tam material nazadnje zalije gravuro (slika 2. 9).
- b) Okrog gravure je potrebno izdelati prelivni kanal, v katerega se steče odvečni material. Da se zagotovi popolno zalitje kalupa, je potrebno vbrizgniti malenkost večjo količino materiala, kot pa je volumen gravure in dolivnih kanalov. Višek materiala se tako prelije v prelivni kanal, ki pa ga je potrebno po vulkanizaciji odstraniti (čiščenje orodja).
- c) Prerez dolivne reže povečamo za petkrat na 60 x 0,7 mm. S tem omogočimo hitrejše polnjenje kalupa. Do te dimenzije smo prišli po nekajkratnem postopnem povečevanju.
- d) Dolivna izvrtina šobe orodja mora imeti konično obliko, kar omogoča, da se po končani vulkanizaciji material, ki ostane v tej izvrtini, odtrga od dolivne šobe stroja, hkrati pa je možno tudi lažja odstranjevanje gume (slika 2.10).



Slika 2.9: Testno orodje z označenimi popravki



Slika 2.10: Dolivna šoba orodja

## 2.5 Razvoj orodja

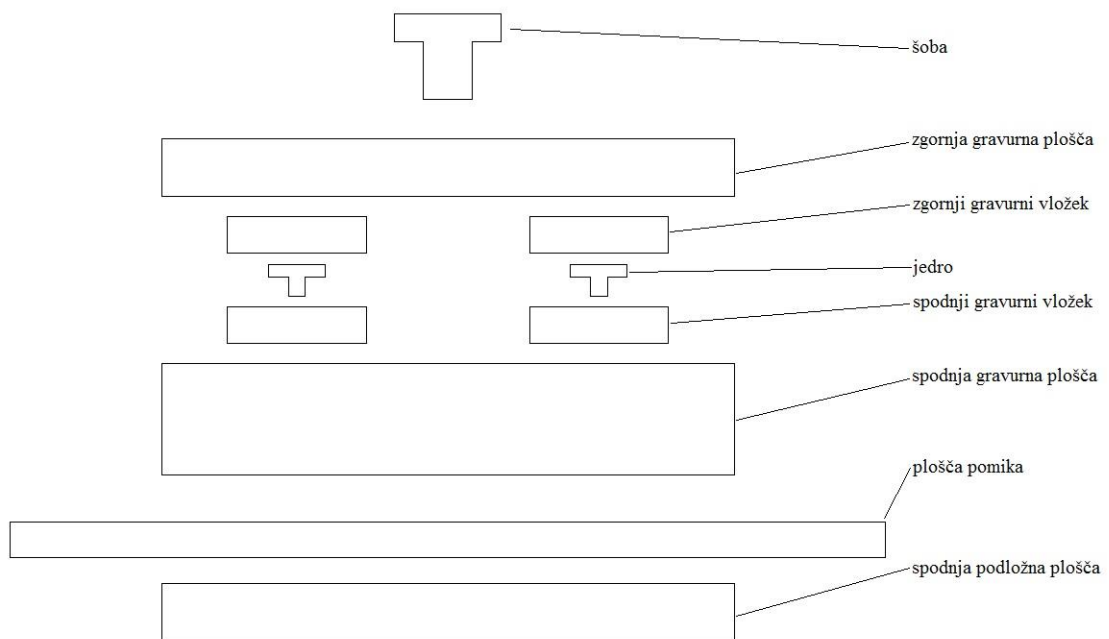
Preden začnemo s konstrukcijo orodja, moramo poznati tudi stroj, na katerem se bo izvajalo brizganje. Tako spoznamo način vpetja in postavitvev orodja, mesto vbrizga, pritisno silo, največje gabarite orodja itd.

Stroj na sliki 2.11 je vertikalne izvedbe z brizgalno enoto zgoraj in spodnjo pomično ploščo. Pritisna sila je 1100 kN, največja količina brizgane zmesi pa 1000 ml.



Slika 2.11: Stroj za brizganje gume

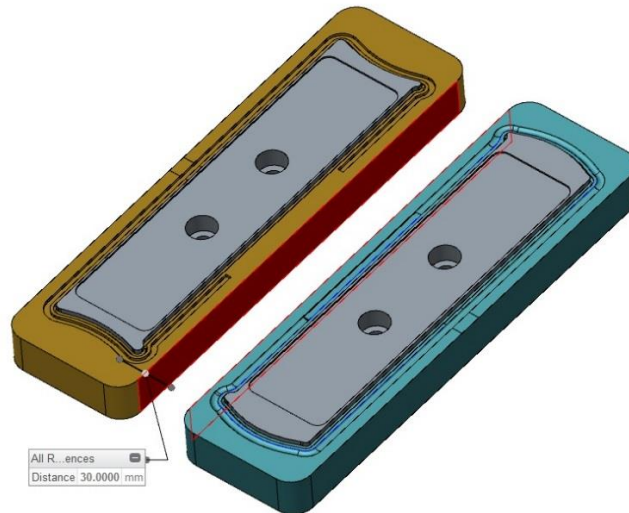
Koncept orodja prikazuje slika 2.12. Na njej so označeni vsi pglavitni deli orodja.



Slika 2.12: Shema orodja

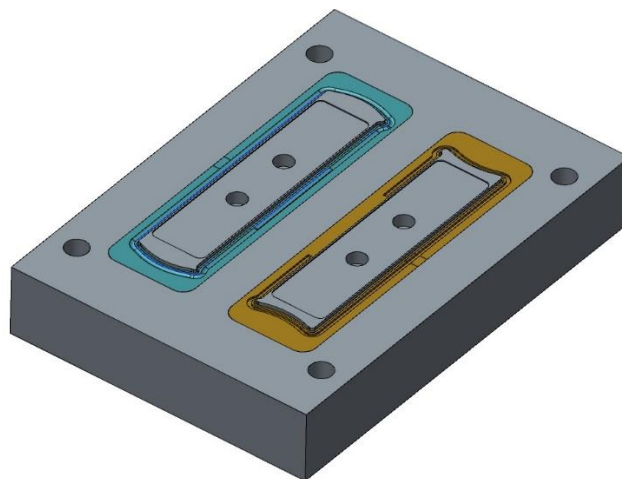
Izdelamo dvoje gravurnih vložkov za zgornjo in spodnjo obrobo. Za osnovo vzamemo modele testnih orodij, samo zunanjo obliko prilagodimo, da lahko gravurne vložke vstavimo v nosilne plošče. Medsebojno razdaljo med vložkoma vzamemo 30 mm. S tem si zagotovimo prostor za dolivno šobo (slika 2. 13).





Slika 2.13: Medsebojna lega gravurnih vložkov

Skonstruiramo spodnjo gravurno ploščo. Imeti mora tudi izvrtine za vodilne trne, ki bodo zagotavljali medsebojno lego zgornje in spodnje gravurne plošče, s tem pa tudi samih gravur. Imeti mora zadostno debelino, ker bo v njej tudi plošča pomika, ki bo s pomočjo dodatnega pogona na brizgalnem stroju privzdignila jedri in s tem omogočila snemanje izdelkov.

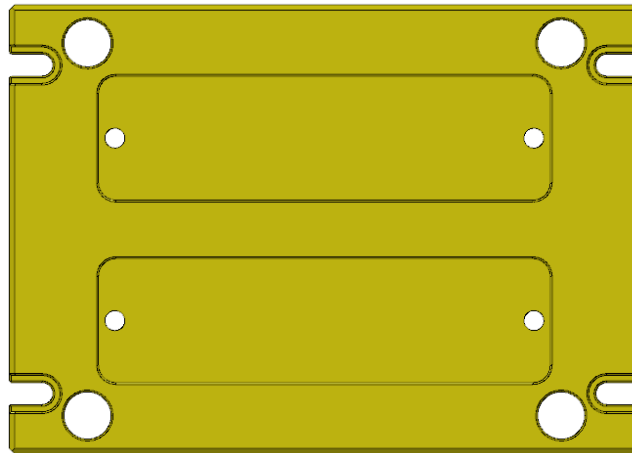


Slika 2.14: Gravuri v spodnji gravurni plošči

Zaenkrat izberem standardno normalijo dimenzij 346 x 246 x 56 mm. S tem imamo definirano dolžino in širino orodja. Tudi orodje bo možno vstaviti v brizgalni stroj, ki ima dimenzijo mize 600 x 500 mm.

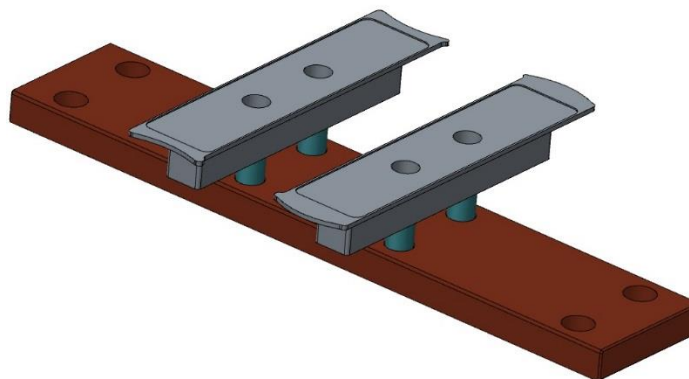
Na podoben način zmodeliramo tudi zgornjo gravurno ploščo enakih zunanjih dimenzij, razen debeline, ki znaša 46 mm, ker je v njej tudi dolivna šoba. Izdelamo tudi izvrtine za vodilne puše

in ušesa za pritrditev na stroj. Izvrtine premera 11 mm služijo za pritrdjevanje gravurnih vložkov z vijaki M10.



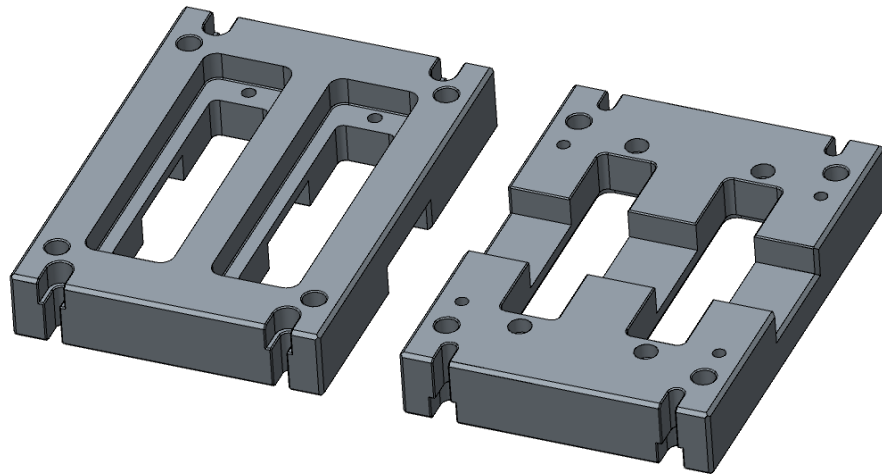
Slika 2.15: Zgornja gravurna plošča

Naslednja je plošča pomika dimenzij 396 x 80 x 18 mm. Njena naloga je, da s pomočjo dodatnega hidravličnega pogona stroja dvigne jedra iz spodnjih gravur. Jedra in ploščo povežemo z distančniki. Vse skupaj privijamo z imbus vijaki M8.



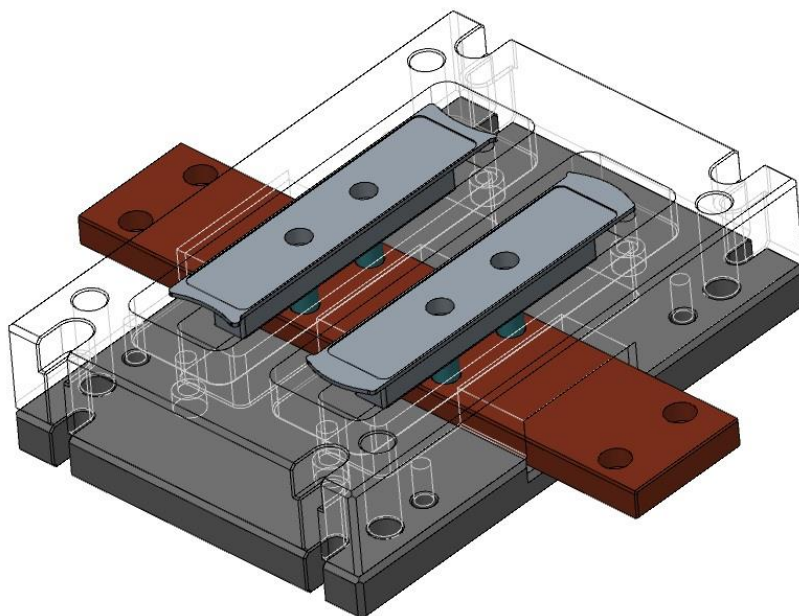
Slika 2.16: Plošča pomika z jedri

Zaradi tega je potrebno v spodnji gravurni plošči izdelati izrez. Hkrati jo tudi dokončno oblikujemo. Izdelamo tudi izvrtine za pritrditev spodnjih gravur in ušesa za pritrditev na brizgalni stroj.



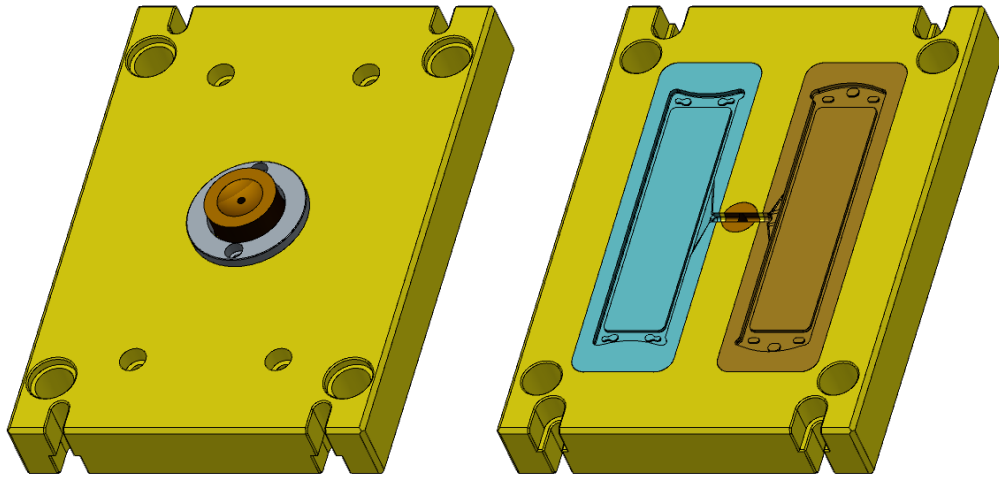
Slika 2.17: Spodnja gravurna plošča

Zaradi plošče pomika izdelamo še spodnjo podložno ploščo, ki omogoča večji gib plošče pomika. Izberemo debelino 30 mm. Hkrati so v njej tudi nasedi za vodilne trne s tesnim ujemom, ušesa za pritrditev spodnjega dela orodja na stroj in izvrtine za pritrditev spodnje gravurne plošče.



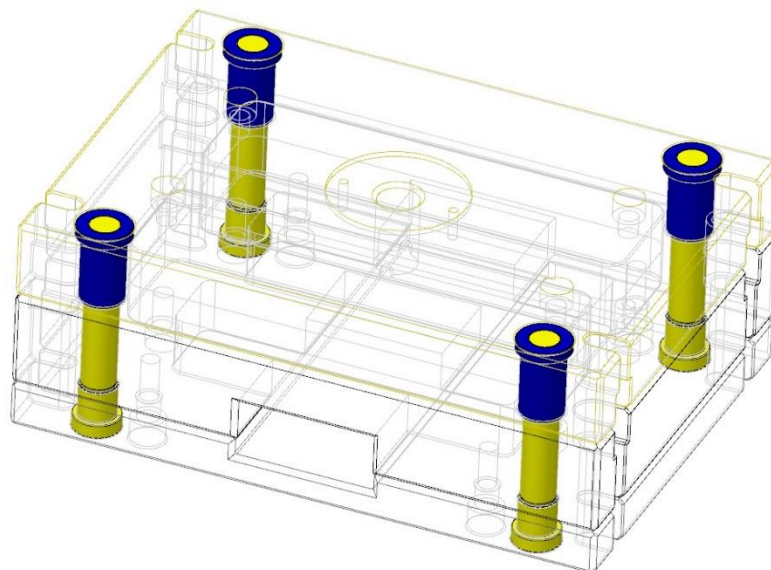
Slika 2.18: Spodnji del orodja s podložno ploščo

Nazadnje je potrebno izdelati še dolivni sistem. Ta je sestavljen iz centrirnega obroča, ki omogoča natančno postavitev orodja glede na šobo stroja in šobe. Oboje vgradimo v zgornjo gravurno ploščo.



Slika 2.19: Zgornja gravurna plošča s centrirnim obročem in šobo

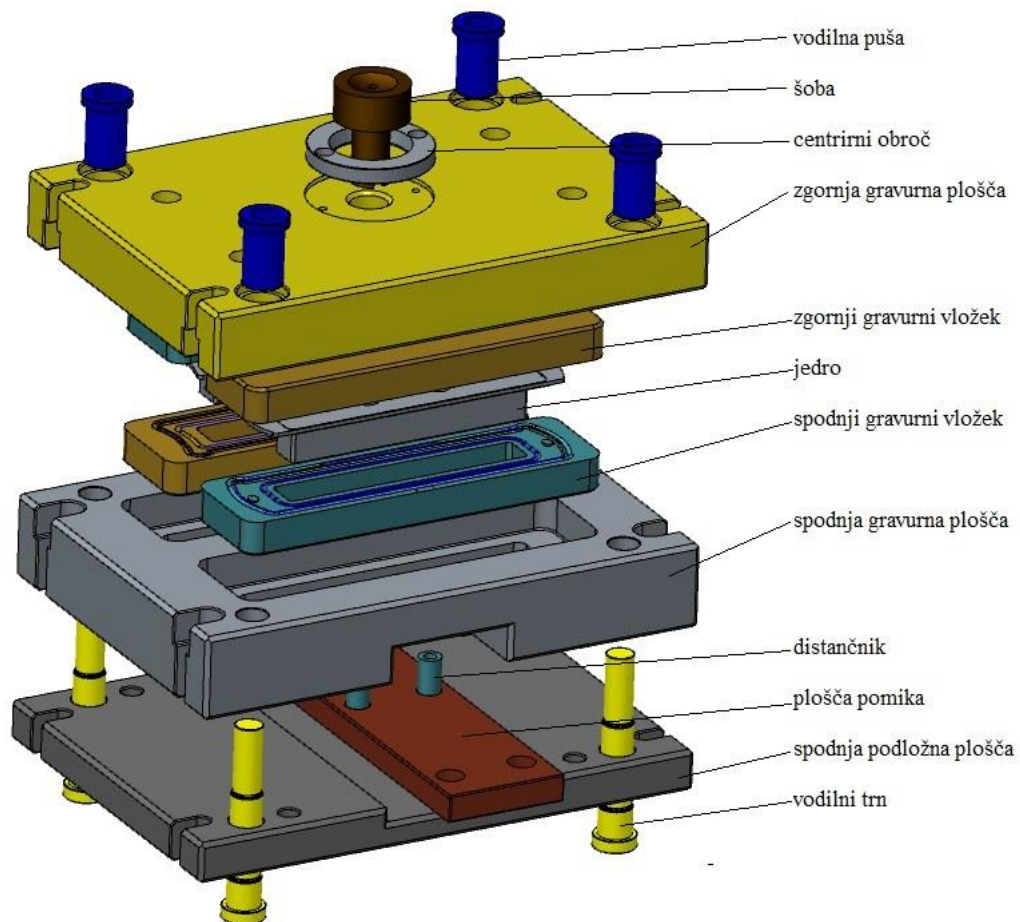
Natančno pozicioniranje med zgornjim in spodnjim delom zagotovimo z vodilnimi trni in pušami. Med vodilnim trnom in spodnjo podložno ploščo zagotovimo tesni ujem, s čimer preprečimo izpadanje trnov. Enako naredimo med vodilnimi pušami in zgornjo gravurno ploščo.



Slika 2.20: Vodila

## 2.6 Osnovni sestavni deli orodja

Na sliki 2.20 so prikazani vsi sestavni deli orodja brez vijakov.



Slika 2.21: Sestavni deli orodja

### 3 IZDELAVA DELOV ORODJA

#### 3.1 Predstavitev strojnega parka

Ker je glavna dejavnost oddelka strojne obdelave v podjetju Dewesoft izdelava aluminijastih ohišij iz polnega materiala, si je podjetje v desetih letih ustvarilo naslednji strojni park:

- 3 x CNC-vertikalni rezkalni stroj VMC 1060

Gre za tri enake stroje tajvanskega podjetja Quick-TECH. To so triosni stroji z delovnim območjem 1060 x 600 x 600 mm. Glavno vreteno ima max 8000 vrt./min. V zalogovniku orodij je prostora za 24 orodij z vpenjalnimi trni BT 40. Njihova značilnost je ta, da imajo vgrajena drsna vodila, zato lahko prenašajo velike obremenitve mize (do 500 kg).

- 2 x CNC-vertikalni rezkalni stroj ARIX V450

To sta prav tako 3-osna rezkalna stroja tajvanskega proizvajalca s podobnimi karakteristikami kot zgornja, le delovno območje je 450 x 400 x 400 mm. Vgrajena imata kotalna linearna vodila, kar je s stališča vzdrževanja enostavneje.

- 1 x CNC-vertikalni rezkalni stroj ARIX V750

Soroden stroj zgornjima, le da je delovno območje nekoliko večje, in sicer 750 x 400 x 400 mm.



Slika 3.1: ARIX V750

- 2 x CNC-vertikalni rezkalni stroj DMG MORI ecoMill 50

To sta 5-osna obdelovalna centra, ki omogočata obdelavo z več strani z enim vpetjem. V bistvu gre za 3 + 2 obdelavo, kar pomeni, da ni možna 5-osna simultana obdelava. Ena izmed prednosti tega stroja je relativno veliko delovno območje glede na samo velikost. Miza ima premer 600 mm. V zalogovniku je prostora za 16 orodij.



Slika 3.2: DMG MORI ecoMill 50

- Tračna žaga

Služi za pripravo surovcev, vendar večino materiala nabavimo že nažaganega na dimenzijo.

- Stružnica

Služi samo za manjša vzdrževalna dela in izdelavo vpenjalnih priprav. Nikakor ni primerna za orodjarska dela, ker je stroj premalo tog. Zaradi tega ni mogoče dosežati gladkih površin in ozkih toleranc. Za okrogle dele obravnavanega orodja bomo koristili zunanje usluge, ker nimamo ustreznih orodij in kadra.

Vsa orodja izdelujemo na stroju ARIX 750, ker je to najmlajši in najbolj natančen stroj v našem strojnem parku.

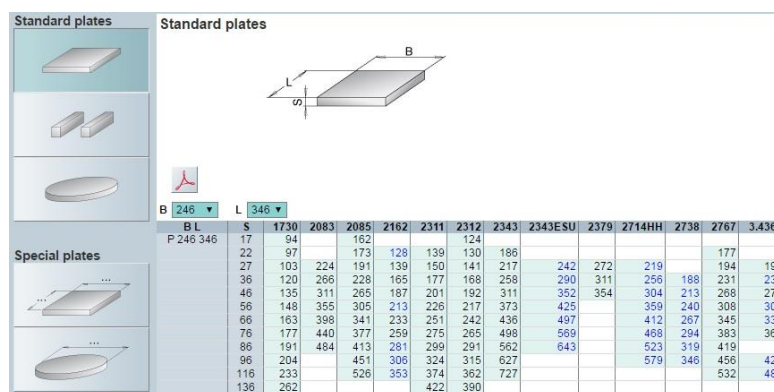
### 3.2 Izbira materiala in normalij za sestavne dele orodja

Za sestavne dele orodja potrebujemo naslednji material:

	Dimenzije:	Material:	Št. kosov:
zgornja gravurna plošča	346 x 246 x 46	1.1730 (C 45)	1
spodnja gravurna plošča	346 x 246 x 56	1.1730 (C 45)	1
spodnja podložna plošča	346 x 246 x 18	1.1730 (C 45)	1
plošča pomika	396 x 80 x 18	1.1730 (C 45)	1
gravurni vložki	250 x 70 x 23	1.2312 (40 CrMnMoS 86)	4
jedra	215 x 50 x 30	1.2312 (40 CrMnMoS 86)	2
vodilna puša	Ø32 x 44	1.2312 (40 CrMnMoS 86)	4
vodilni trn	Ø28 x 129	1.2312 (40 CrMnMoS 86)	4
šoba	Ø48 x 66	1.2312 (40 CrMnMoS 86)	1
centrirni obroč	Ø80 x 10	1.2312 (40 CrMnMoS 86)	1
distančnik	Ø15 x 29	1.2312 (40 CrMnMoS 86)	4

Izdelavo okroglih delov naročimo pri zunanjemu izvajalcu, tako da je nabava okroglih delov njegova. Možno bi bilo tudi naročilo standardnih vodil, vendar smo se zaradi pogostega sodelovanja s tem orodjarjem odločili drugače.

Plošče naročimo pri podjetju Meusburger po njihovem spletnem katalogu. Normalije se izdelujejo serijsko, zato je njihova cena nižja, kot če bi jih delali sami. S tem tudi zelo skrajšamo čas izdelave orodja.

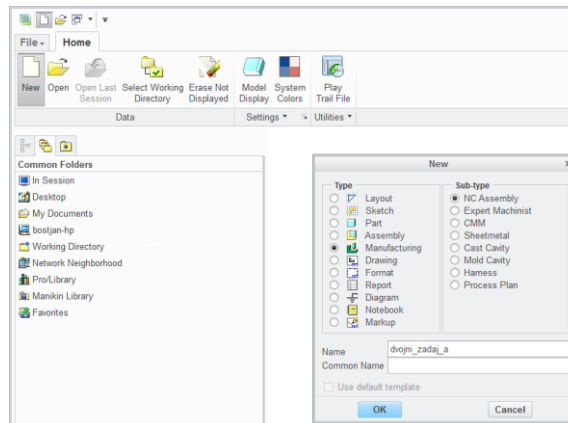


B	L	S	1730	2083	2085	2162	2311	2312	2343	2343ESU	2379	2714HH	2738	2767	3.4365
P.246	346	17	94		162			124							177
		22	97		173	128	139	130	188						194
		27	103	224	191	139	150	141	217	242	272	219			198
		36	120	266	228	165	177	168	258	290	311	256	188	231	233
		46	135	311	265	187	201	192	311	352	354	304	213	268	271
		56	148	355	305	213	226	217	373	425		350	240	308	309
		66	163	398	341	233	251	242	436	497		412	267	345	339
		76	177	440	377	259	275	265	498	569		468	294	383	367
		86	191	484	413	281	299	291	562	643		523	319	419	
		96	204		451	306	324	315	627			579	346	456	429
		116	233		526	353	374	362	727					532	486
		136	262				422	390							

Slika 3.3: Meusburger spletni katalog [5]

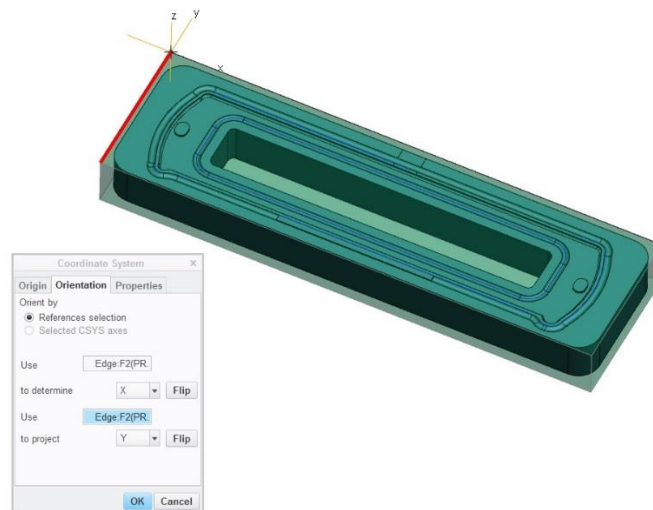






Slika 3.5: Modul manufacturing

- b) Določimo velikost in obliko surovca, iz katerega se bo izdelal kos.
- c) Na surovcu določimo koordinatni sistem, ki bo kasneje na stroju ničelna točka obdelovanca, ter izhodiščno ravnino. S tem je definirana operacija. Število operacij nam pove, koliko vpetij je predvidenih. Orientacija koordinatnega sistema določi tudi smer vpetja na stroju.



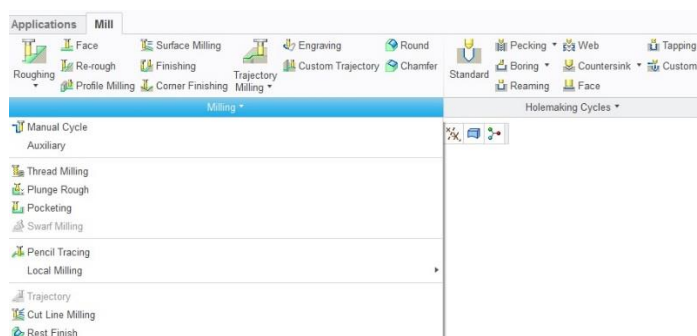
Slika 3.6: Izdelek, surovec in koordinatni sistem

- d) Izberemo ustrezen stroj in definiramo orodja, s katerimi bomo izvajali posamezne sekvence rezkanja.

- e) Znotraj sekvence rezkanja je potrebno definirati posamezne elemente. Nekateri so obvezni, ostale pa programer definira po želji.

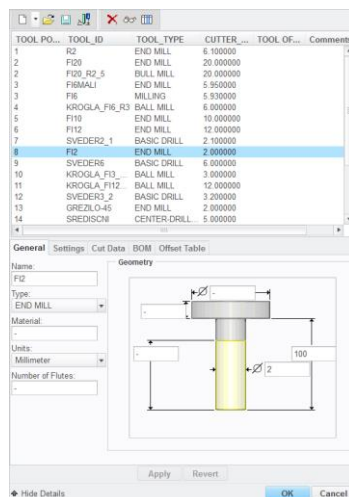
Najbolj pogosti so naslednji:

- Izbira režima rezkanja, npr.: grobo rezkanje, rezkanje površin, graviranje, fino rezkanje, vrtnanje, vrezovanje navojev ...



Slika 3.7: Režimi rezkanja

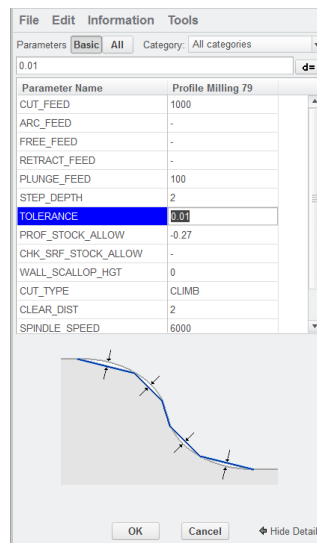
- Ime sekvence zaradi lažjega popravljanja (središčenje, priravnava ...).
- Določitev ali izbira orodja; te lahko definiramo sproti, lahko pa jih izbiramo iz predhodno izbranega stroja.



Slika 3.8: Seznam orodij

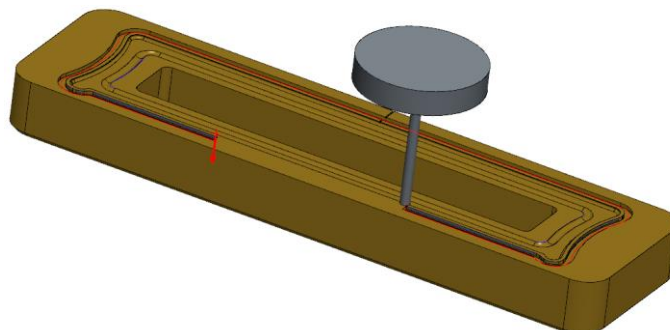
- Določitev parametrov rezkanja za posamezno sekvenco (hitrosti pomikov, število vrtljajev, prekritje, globino rezkanja itd.); do teh lahko pridemo na podlagi navodil proizvajalca, z izračuni, ali pa izkustveno. V praksi gre po navadi za kombinacija vseh

treh variant.



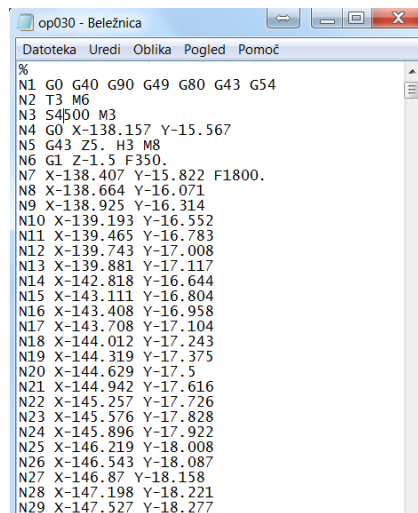
Slika 3.9: Osnovni parametri

- Izberemo področje rezkanja ali na kosu pokažemo posamezne elemente, ki jih želimo z določeno sekvenco obdelati.
  - Določimo dodatne poti orodja pred začetkom in po koncu rezkanja, da se izognemo morebitnim oviram.
- f) Simulacija poti orodja ali odvzema materiala nam pokaže, kakšne so poti orodja in koliko materiala bomo odvzeli s posameznim orodjem. Preverimo tudi morebitne kolizije med orodjem in izdelkom oziroma vpenjalnimi pripravami in nenazadnje tudi med strojem in ostalimi elementi.



Slika 3.10: Simulacija poti orodja

- g) Postprocesiranje. Je prevajanje programskega jezika CREO v prepoznavno obliko za krmilnik CNC-stroja. Zadeva se izvede sama z nekaj kliki, seveda pa je potreben ustrezen program, prilagojen za točno določen stroj. Dobimo G-kodo, ki jo pošljemo na stroj.



```
op030 - Beležnica
Datoteka Uredi Oblika Pogled Pomoč
%
N1 G0 G40 G90 G49 G80 G43 G54
N2 T3 M6
N3 S4500 M3
N4 G0 X-138.157 Y-15.567
N5 G43 Z5. H3 M8
N6 G1 Z-1.5 F350.
N7 X-138.407 Y-15.822 F1800.
N8 X-138.664 Y-16.071
N9 X-138.925 Y-16.314
N10 X-139.193 Y-16.552
N11 X-139.465 Y-16.783
N12 X-139.743 Y-17.008
N13 X-139.881 Y-17.117
N14 X-142.818 Y-16.644
N15 X-143.111 Y-16.804
N16 X-143.408 Y-16.958
N17 X-143.708 Y-17.104
N18 X-144.012 Y-17.243
N19 X-144.319 Y-17.375
N20 X-144.629 Y-17.5
N21 X-144.942 Y-17.616
N22 X-145.257 Y-17.726
N23 X-145.576 Y-17.828
N24 X-145.896 Y-17.922
N25 X-146.219 Y-18.008
N26 X-146.543 Y-18.087
N27 X-146.87 Y-18.158
N28 X-147.198 Y-18.221
N29 X-147.527 Y-18.277
```

Slika 3.11: Del programa v G-kodi

## 3.4 Določitev parametrov rezkanja

### 3.4.1 Splošno

Tu se bomo omejili samo na določitev parametrov pri obdelavi gravurnih vložkov in jeder, saj so ti narejeni iz kvalitetnejšega jekla, hkrati pa smo imeli fino obdelavo tudi po kaljenju.

Za določitev orodja moramo poznati material obdelovanca, njegovo trdnost in trdoto ter material in izvedbo orodja.

Pri fini obdelavi pa ima velik vpliv tudi sam stroj. Zlasti v orodjarstvu je zelo pomembna togost stroja, ki preprečuje nastanek vibracij. Po naših izkušnjah pa tudi starost stroja, saj je pri tajvanskih strojih zelo slaba kvaliteta vgrajenih delov in se s staranjem strojev zelo povečuje zračnost vodil in vležajenja navojnih vreten. Tako bomo vse rezkanje opravili na eno leto starem stroju ARIX V750.

Poleg ustrezno izbranih parametrov pa je potrebno pri rezalnih orodjih upoštevati naslednje:

- rezalna dolžina orodja mora biti kar se da kratka,
- imeti mora čim večji možni premer,
- čim manjše izpetje,
- material in prevleke orodja,
- orodja z več zob imajo manj prostora za odrezke, vendar imajo večjo trdnost in omogočajo večje pomike.

### 3.4.2 Osnovne enačbe za določitev parametrov

#### a) Rezalna hitrost

Je hitrost potovanja rezalnega roba orodja skozi material. Njena velikost je močno odvisna od trdnosti in trdote obdelovalnega materiala in materiala ter postopka izdelave rezalnega orodja. Največkrat jo podajajo proizvajalci rezalnih orodij in je določena izkustveno. Njeno soodvisnost od premera orodja in številom vrtljajev prikazuje spodnja enačba.

$$V_c = \frac{d * \pi * n}{1000} \quad (m/min) \quad (1)$$

d – premer orodja (mm)

n – vrtljaji orodja ( $min^{-1}$ )

#### b) Število vrtljajev rezalnega orodja

Manjša se z večanjem premera orodja in številom zob.

$$n = \frac{V_c * 1000}{\pi * d} \quad (min^{-1}) \quad (2)$$

#### c) Hitrost podajanja

Opisuje hitrost premikanja orodja glede na obdelovanec. Močno vpliva na izdelovalne čase.

$$V_f = f_z * z * n \quad (mm/min) \quad (3)$$

z – število zob na orodju

#### d) Podajanje na zob

Velikokrat imamo v katalogih podano tudi podajanje na zob. Ta veličina nam pove, koliko materiala odreže en zob v enem obratu orodja.

$$f_z = \frac{V_f}{z * n} \quad (mm) \quad (4)$$

e) Globina in širina rezanja

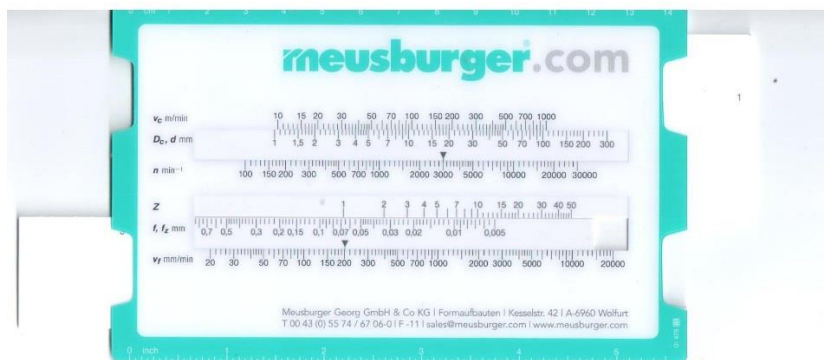
$a_p$  – globina rezkanja (mm)

$a_e$  – širina rezkanja (mm)

LIST	PAGE	APPLICATION		$V_c$ TiAlN	Fz feed per tooth (mm) D diameter (mm)							
		SIDE MILLING			m/min	6	8	10	12	16	20	25
		$a_p$	$a_e$									
D 5 0 7	17	1.5D	0.05D	180	0.024	0.034	0.042	0.05	0.07	0.07		
D 5 1 8	17	1.5D	0.05D	150	0.024	0.034	0.042	0.05	0.07	0.076	0.1	
7 5 0 5	14	D	0.25D	80	0.02	0.03	0.04	0.045	0.05	0.06	0.08	
7 5 2 5	14	D	0.25D	80	0.015	0.02	0.03	0.04	0.045	0.05	0.07	
7 5 4 5	14	D	0.25D	80	0.02	0.03	0.04	0.045	0.05	0.06	0.08	
7 6 7 0	13	0.8D	0.25D	70	0.01	0.012	0.02	0.03	0.04	0.045	0.045	
4 9 4 0	16	D	0.3D	80	0.012	0.017	0.022	0.027	0.033	0.044	0.047	
4 9 7 0	17	1.5D	0.25D	80	0.01	0.015	0.02	0.025	0.03	0.04	0.045	
4 9 0 6	17	D	0.3D	80	0.012	0.015	0.02	0.021	0.027	0.03	0.033	
4 9 H 6	17	D	0.3D	80	0.012	0.015	0.02	0.021	0.027	0.03	0.033	
M 1 5 2	18		3D	45	0.12	0.16	0.20	0.24	0.32	0.40		

Slika 3.12: Priporočila enega od proizvajalcev orodij [6]

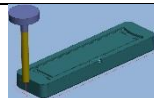
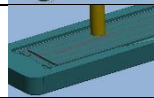
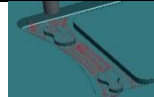
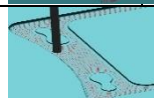
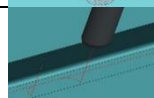

V praksi se za preračun uporabljajo razni računalniški programi in tudi aplikacije za mobilne telefone. Posebej zanimiva je priprava na sliki z drsniki.



Slika 3.13: Priprava za hitro določanje parametrov

Dejanski parametri, ki smo jih uporabljali za nekatera orodja pri fini obdelavi gravurnih vložkov po kaljenju, so prikazani v tabeli 3.1. Vsi so bili trdokovinski. Omejeni smo bili tudi z maksimalnim številom vrtljajev stroja (12000 vrt./min).

Tabela 3.1: Parametri fine obdelave gravurnih vložkov

Orodje		sekvenca	V <sub>c</sub> (m/min)	f <sub>z</sub> (mm)	n (vrt./min)	V <sub>f</sub> (mm/min)	a <sub>p</sub> (mm)	a <sub>e</sub> (mm)
d (mm)	z							
12	4	 fino obod	100	0.04	2650	420	max.	/
12	4	 priprav. Dna	100	0.04	2650	420	max.	8
4	4	 grobo gravura	80	0.02	6350	500	0.4	3
2 R0.5	2	 fino dno	80	0.015	12000	380	max.	0.5
2 R1	2	 radij	80	0.01	12000	120	max.	/
1 R0.5	2	 čep nagib	40	0.01	12000	255	0.1	/

### 3.5 Zunanje usluge

Zaradi večkratnega medsebojnega sodelovanja z lokalnim orodjarjem smo se odločili, da pri njem naročimo izdelavo vseh okroglih delov, čeprav bi lahko vodilne puše in trne naročili kot standardne elemente.

Prav tako smo pri njem koristili tudi usluge kaljenja in ploskovnega brušenja. Pred fino obdelavo gravurnih vložkov in jeder smo jih kalili na 42 HRC. S tem smo povečali trdoto in obstojnost gravurnih vložkov, hkrati pa je bila še možna mehanska obdelava na naših strojih. Z brušenjem zgornjih in spodnjih ploskev smo zagotovili natančno debelino in paralelnost naležnih ploskev, s čimer je bilo zagotovljeno čim boljše tesnjenje gravurne votline.

Potrebno je bilo tudi koriščenje uslug reparaturnega laserskega varjenja.



## 4 TESTIRANJE IN KONTROLA ORODJA

### 4.1 Sestavljanje orodja

Pred sestavljanjem orodja je bilo potrebno posamezne kose raziglati, to je z brušenjem odstraniti ostre robove po obdelavi z odrezovanjem, saj so ostri robovi velikokrat vzrok za globoke ureznine. Najpomembnejši postopek po rezkanju je bilo poliranje gravurnih votlin in ploskev jeder, ki so v stiku s končnim izdelkom. To smo opravili v naši polirnici, ki je v osnovi namenjena poliranju aluminijastih ohišij inštrumentov. S tem so se odstranile vse sledi rezkarjev, ki bi lahko pustile sledi tudi na končnem izdelku.

V fazi rezkanja smo zagotovili tesen ujem med vodilnimi pušami in zgornjo gravurno ploščo ter med vodilnimi trni in spodnjo podložno ploščo. S tem smo odpravili neželene izpade vodil med prestavljanjem in montažo orodja na stroj za brizganje. Med sestavljanjem smo ugotovili, da so gravurni vložki pregloboko v gravurnih ploščah, zato je bilo potrebno te plošče ploskovno zbrusiti.

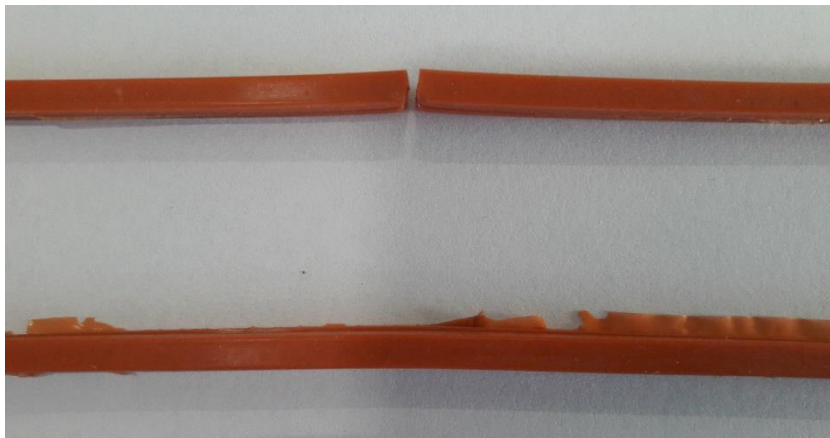


Slika 4.1: Orodje med sestavljanjem

### 4.2 Poizkusno brizganje in ugotavljanje napak

Tudi z odpravo vseh napak, ki so bile ugotovljene med brizganjem s testnim orodjem, brizganje še vedno ni steklo tekoče. Kljub različnim kombinacijam nastavitve parametrov na brizgalnem stroju, kjer lahko nastavljam praktično vsak korak cikla, izdelki niso bili dobri. Imeli smo namreč dvognezdno orodje z različnima volumnoma. Težav zaradi tega dejstva pač nismo

mogli predvideti na testnem orodju, ki je bilo enognezдно. Prihajalo je do nezalitja na nasprotni strani dolivnega mesta na obrobi z večjim volumnom.



Slika 4.2: N popolno zalivanje

Zaradi nesinhroniziranega dviganja in spuščanja dodatnih linearnih pogonov se jedra pred zapiranjem niso lepo ulegla v ležišče, zato jih je poravnalo šele zapiranje orodja. To pa bi lahko močno poškodovalo jedra in gravurne vložke.

### 4.3 Popravki

Prvi popravek se je nanašal na nepopolno zalivanje. Sprednja, nekoliko manjša obroba ima volumen  $4444,3 \text{ mm}^3$ , zadnja pa  $5350 \text{ mm}^3$ . Zato smo izdelali v gravuri z manjšim volumnom dodaten prostor velikosti razlike, približno  $900 \text{ mm}^3$ . S tem smo nekoliko povečali izgubo materiala, vendar močno zmanjšali izmet.



Slika 4.3: Rezkanje dodatnega volumna

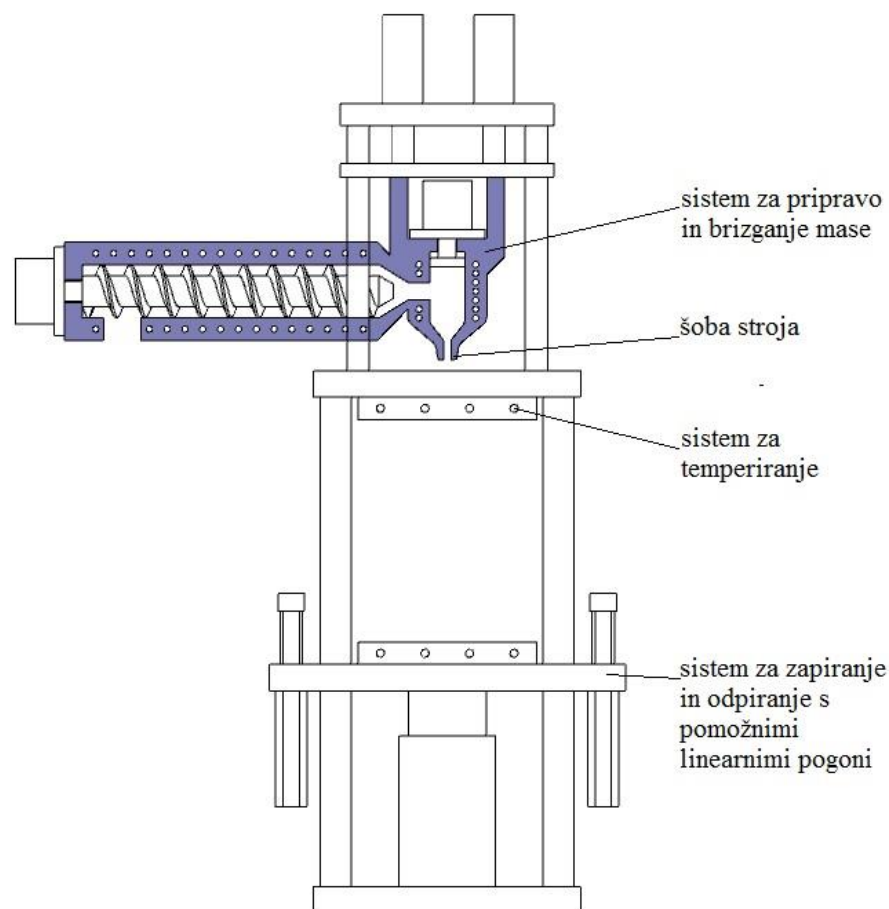
Drugi popravek je bila dodatna izdelava vodil za jedra. V spodnjo podložno ploščo smo dodatno vgradili vodilne trne, v jedra pa vodilne puše. Vsako jedro je sedaj vodeno z dvema paroma puš in trnov.

## 5 TEMPERIRANJE ORODJA

### 5.1 Tehnologija brizganja silikonske gume

Proces brizganja je podoben brizganju plastike, z bistveno razliko temperiranja orodja. Pri brizganju plastike je potrebno orodje hladiti, da pride do strjevanja izdelka. V našem primeru pa je potrebno zalito zmes segreti, da steče proces vulkanizacije.

Gre za stroškovno zelo učinkovit postopek oblikovanja gume, če imamo velikoserijsko proizvodnjo zelo natančnih izdelkov brez naknadne obdelave. Na samih strojih je možno uravnavati posamezne parametre, kot so tlak brizganja, temperatura posameznih con, hitrosti, časi itd. Na ta način lahko stroškovno učinkovito izdelamo kompleksne izdelke. Shema delovanja prikazuje slika 5.1.



Slika 5.1: Shema brizgalnega stroja

Osnovna deli stroja so:

- sistem za pripravo in brizganje mase (polž za pripravo mase in brizgalni cilindri),
- sistem za zapiranje in odpiranje orodja s pomožnimi linearnimi pogoni za premike jeder,
- sistem za temperiranje,
- krmilni del.

Postavitev posameznih elementov je odvisna od izvedbe stroja. Tako je lahko postavitev sistema za brizganje nad, pod ali zraven orodja. V našem primeru je ta sistem nad orodjem (slika 5.1.).

V primeru našega brizganja dveh večjih obrob je postopek brizganja naslednji. Polž vleče nastavljeno količino zmesi v obliki traku 50 x 7 mm in jo nagnete v nabiralno komoro pred polžem. Ta količina znaša približno 10 cm<sup>3</sup>. Komora je temperirana na 40 °C. Polž potisne zmes v brizgalni cilindri, ki je ravno tako temperiran, vendar na 75 °C. To zmes nato brizgalni cilindri potisne v orodje s tlakom 150 bar, ki je predhodno ogreto na 180 °C.

Takšen tlak je potreben, da se premaga notranje trenje v tekočini (viskoznost), linijske izgube, ki nastanejo zaradi trenja med gibajočo zmesjo in stenami orodja. Prisotne so tudi lokalne izgube zaradi lokalnih sprememb toka zmesi, na primer zaradi zožitve, razširitve, razcepa, spremembe smeri toka [7] glede na geometrijo naprave.

Čas vulkanizacije traja 180 s. Na uro gumar izvede 12 ciklov, kar ni veliko. Ves preostali čas se porabi za snemanje gotovih izdelkov in čiščenje orodja. Po končanem brizganju se izdelke še očisti srha, to so tanki ostanki gume, ki so nastali na delilni ravnini izdelka. Čiščenje se opravi s tekočim dušikom pri -162 °C. Pri tej temperaturi ti ostanki odpadejo.

Vulkanizacija je enosmerni proces, kjer pride pod vplivom temperature in zamreževalnih sredstev (žveplo, peroksid itd.) do zamreženja. To je proces, pri katerem se povežejo polimerne molekule z drugimi polimernimi molekulami. Nastane guma, ki je trša, odporna na kemijske reakcije, obrabo in staranje. Tak zamrežen polimer ima močne kovalentne vezi, močne sile med verigami in je netopljiva snov [8].

## 5.2 Temperirni sistem stroja

### 5.2.1 Temperiranje orodja

Temperiranje orodja poteka z električnimi grelci (slika 5.2), ki so vstavljeni v zgornjo in spodnjo grelno ploščo, na kateri se pritrdi zgornji in spodnji del orodja. Na ta način pride do prenosa toplote z grelnih plošč na orodje. V vsaki grelni plošči so po štirje električni grelci z močjo 800 W. Za ogrevanje orodja imamo na voljo 6,4 kW toplotne moči.



Slika 5.2: Električni grelec moči 800 W

Za uravnavanje temperature skrbi krmilna enota stroja. Orodju je potrebno ves čas dovajati toplotno energijo zaradi izgub, ki nastanejo zaradi:

- vbrizgavanja hladnejše mase v orodje in postopka vulkanizacije,
- sevanja toplote v okolico,
- prestopa toplote na ostale dele stroja in
- prestopa zaradi naravne konvekcije na okoliški zrak.

### 5.2.2 Temperiranje polža in brizgalnega cilindra

Ta sistem je zahtevnejši, ker je potrebno zelo natančno uravnavanje temperature, zato mora ta temperirni sistem omogočati tako segrevanje kot tudi ohlajanje (slika 5.3). Po daljšem času delovanja stroja bi lahko toplota, ki se prenaša z grelnih plošč na stroj, preveč pregrela sistem za brizganje mase, tako da bi se masa pregrela, postopek vulkanizacije pa bi stekel v brizgalnem valju. To bi povzročilo velik zastoj oziroma bi ustavilo brizganja.

Okrog polža in brizgalnega cilindra so nameščene grelne cevi, po katerih se pretaka grelno olje,

in hladilne cevi z vodo iz vodovoda, lahko pa se za hlajenje uporablja tudi zaprt sistem, če imamo v vodi iz vodovoda preveč kamna.

Ker morata imeti polž in brizgalni cilindri različne temperature zaradi samega tehnološkega procesa, sta tudi ogrevalno-hladilna sistema dva. Vsak sistem ima električne grelnice moči 4 kW za segrevanje grelnega olja in svojo krmilno enoto za nadziranje temperature. Krmilnik po potrebi vklaplja črpalko z grelnim oljem oziroma črpalko za hladilno tekočino.

Sam stroj za brizganje ima vgrajen sistem za odmik brizgalne enote. S tem zmanjša čas dotikanja šobe stroja in šobe orodja, s čimer se prepreči prenos toplote z orodja na šobo stroja. S tem zmanjšamo možnost vulkanizacije zmesi v šobi stroja (slika 5.1.)



Slika 5.3: Temperirna sistema polža in brizgalnega cilindra

### 5.3 Določitev snovnih lastnosti brizganega materiala

Silikonska guma je sintetični elastomerni material. Pogosto so eno- ali dvodelni polimeri z različnimi dodatki za izboljšanje lastnosti. Glavne značilnosti tega materiala so:

- temperaturna obstojnost med -60 in 300 °C,
- ne reagira z ostalimi materiali, zato se uporablja tudi v prehranski industriji,
- elastičnost.

Zaradi teh lastnosti najdemo ta material v najrazličnejših aplikacijah v avtomobilski in prehranski industriji, medicini itd.

Proizvajalci silikonske gume po navadi razvijejo namensko recepturo za posamezen namen, s čimer spreminjajo trdoto, barvo, natezno trdnost, raztezek, odbojno elastičnost in odpornost na medije.

Dobavitelji surovine dobavljajo material v ploščah, blokih ali trakovih.

Ena glavnih veličin, ki se meri, je trdota. Enota je Shore A. Gre za merjenje globine vtiskovalnega telesa. To je valjček, ki je zbrušen v prisekan stožec. Preko ustrezne skale razberemo trdoto, ki znaša med 10 in 95 ShA. Gre za brezrazsežno število.

Lastnosti uporabljene snovi so naslednje (Priloga 1 in 2 (Merilno poročilo EN 10204-3.1 in Report Test)):

- Oznaka: VMQ 70 ShA
- Gostota  $\rho = 1,184 \text{ g/cm}^3$
- Specifična toplota  $c_p = 1200 \text{ J/kgK}$
- Natezna trdnost  $R_m = 9,2 \text{ MPa}$
- Trdota 71 ShA
- Raztezek pri pretrgu 327,6 %
- Zarezna trdnost  $15,9 \text{ N/mm}^2$
- Modul elastičnosti  $E = 2,76 \text{ Mpa}$
- Temperatura vulkanizacije 180 °C



## 5.4 Analitična določitev potrebne toplotne energije v ciklu

Omejili se bomo samo na določitev toplote, ki je potrebna za začetno segrevanje orodja, in toploto, ki je potrebna za segrevanje zmesi. Od izgub bomo upoštevali samo izgube zaradi prestopa toplote z orodja v okolico.

### 5.4.1 Potrebna toplotna energija za segrevanje orodja na delovno temperaturo

Izhajamo iz naslednjih podatkov:

- začetna temperatura orodja  $T_{\text{orodja zač.}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- končna temperatura orodja  $T_{\text{orodja kon.}} = 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- masa orodja  $m_{\text{orodja}} = 80 \text{ kg}$
- specifična toplota za jeklo  $c_p = 0,46 \text{ kJ/kgK}$  [9]

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{orodja}} &= m_{\text{orodja}} * c_p * \Delta T \\
 Q_{\text{orodja}} &= 80 \text{ kg} * 0,46 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 160\text{K} \\
 Q_{\text{orodja}} &= 5888 \text{ kJ}
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Izračunamo čas, ki je potreben za segrevanje orodja.

$$t = \frac{Q_{\text{orodja}}}{P} = \frac{5888000 \text{ Ws}}{6400\text{W}} = 920 \text{ s}
 \tag{6}$$

To je približno 15 minut. V praksi je ta čas okrog uro in pol, ker med segrevanjem orodja prihaja do izgub zaradi prestopa toplote na okoliški zrak in ostale dele stroja.

### 5.4.2 Potrebna toplotna energija za segrevanje zmesi

Izhajamo iz naslednjih podatkov:

- začetna temperatura zmesi  $T_{\text{zmesi zač.}} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- končna temperatura zmesi  $T_{\text{zmesi kon.}} = 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- masa zmesi  $m_{\text{zmesi}} = 11,84 \text{ g}$

- specifična toplota za zmes VMQ 70 ShA  $c_p = 1,2 \text{ kJ/kgK}$

$$Q_{zmesi} = m_{zmesi} * c_p * \Delta T$$

$$Q_{zmesi} = 0,01184 \text{ kg} * 1,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 160 \text{ K} \quad (7)$$

$$Q_{zmesi} = 2,273 \text{ kJ}$$

### 5.4.3 Izgube toplote zaradi ohlajanja orodja

Ker je temperatura ambienta, v katerem je postavljen stroj, okrog  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , toplota z orodja prehaja na okoliški zrak. To je toplotni tok, ki predstavlja izgube toplote. Odvisen je od razlike temperatur med orodjem in okolico, površine orodja, ki je izpostavljena, in toplotne prestopnosti.

Toplotna prestopnost  $\alpha$  je analitično določljiva le za zelo enostavne primere toka, kot je laminaren tok okrog teles enostavnih oblik. V splošnem pa jo določimo iz eksperimentalno dobljenih obrazcev oz. empiričnih nastavkov. Toplotna prestopnost ni samo snovna lastnost, saj je odvisna ne le od snovi, temveč tudi od temperature, hitrosti, oblike kanalov itd. [10]

- Temperatura orodja  $T_{\text{orodja}} = 180 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura okolice  $T_{\text{okolice}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
- Površina orodja (oboda)  $A = 0.16 \text{ m}^2$
- Višina orodja  $z = 0.13 \text{ m}$
- Toplotno prestopnost  $\alpha$  izračunam z empiričnimi obrazci pri naravni konvekciji:

Določimo toplotne lastnosti zraka pri  $T_{\text{povp.}} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$

Gostota  $\rho = 0,916 \text{ kg/m}^3$

Specifična toplotna kapacitivnost  $c_p = 1,021 \text{ kJ/kgK}$

Toplotna prevodnost  $\lambda = 0,0307 \text{ W/mK}$

Kinematična viskoznost  $\nu = 23,6 \text{ mm}^2/\text{s}$

Prandtlovo število

$$Pr = \frac{\rho * c_p * \nu}{\lambda} = \frac{0,916 * 1,021 * 23,6 * 10^{-6}}{0,0307} = 0,719 \quad (8)$$

Grashofovo število

$$Gr = \frac{g * z^3 * \Delta T}{\nu * T_{pov}} = \frac{9,81 * 0,13^3 * 160}{(23,6 * 10^{-6})^2 * 373} = 15,4 * 10^6 \quad (9)$$

Rayleighovo število

$$Ra = Gr * Pr = 15,4 * 10^6 * 0,719 = 11 * 10^6 \quad (10)$$

Ker je  $Ra < 10^9$ , imamo laminarni tok.

Zato Nusseltovo število izračunamo po naslednji enačbi

$$Nu = 0,59 * Ra^{0,25} = 0,59 * (11 * 10^6)^{0,25} = 33,97$$

Iz spodnje enačbe izrazimo  $\alpha$

$$Nu = \frac{\alpha * z}{\lambda} \quad (11)$$

$$\alpha = \frac{\lambda * Nu}{z} = \frac{0,0307 * 33,97}{0,13} = 8,02 \text{ W/m}^2\text{K} \quad (12)$$

Toplotni tok je tako:

$$\begin{aligned} \Phi &= \alpha * A * \Delta T \\ \Phi &= 8,02 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} * 0,16\text{m}^2 * 160\text{K} \\ \Phi &= 205\text{W} \end{aligned} \quad (13)$$

Ker en cikel traja okrog 6 minut, je količina toplotnih izgub zaradi prestopa naslednja:

$$\begin{aligned} Q_{izg} &= \Phi * t \\ Q_{izg} &= 205\text{W} * 360\text{s} \\ Q_{izg} &= 73800\text{Ws} = 73,8\text{kJ} \end{aligned} \quad (14)$$

#### 5.4.4 Celotne toplotne izgube v enem ciklu brizganja

Sestavljene so iz toplotne energije, ki je potrebna za segrevanje zmesi, in toplotne energije, ki

prestopa z orodja v okolico.

$$\begin{aligned}Q_{total} &= Q_{zmesi} + Q_{izg} \\Q_{total} &= 2,273 + 73,8 \\Q_{total} &= 76,073kJ\end{aligned}\tag{15}$$

Za to porabo toplote izračunamo potrebno moč grelcev.

$$P = \frac{Q_{total}}{t} = \frac{76073Ws}{360s} = 211 W\tag{16}$$

Iz rezultata vidimo, da je potrebna toplota za sam tehnološki proces zelo majhna v primerjavi z izgubami, ki pa so praktično še veliko večje, kot smo izračunali.

Inštalirana moč grelcev je torej več kot dovolj za sam tehnološki proces, saj imamo na voljo 14,4 kW toplotne moči. Večina toplote se porabi za temperiranje celega stroja in pokrivanje izgub zaradi toplotne prestopnosti s stroja na okoliški zrak in sevanja v okolico. Nekaj toplote se porabi tudi za segrevanje hladilne vode. Gumar tako pozimi ne potrebuje dodatnega vira toplote za ogrevanje delavnice.

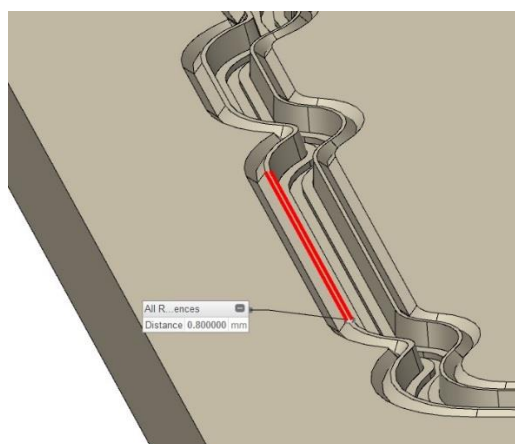
## 6 ZAKLJUČEK

### 6.1 Konstruktivna priporočila za bodoče razvijanje orodij za brizganje gume

Glede na to, da nismo tipična orodjarna in smo bili v začetku skoraj brez znanja, zlasti praktičnega s področja orodjarstva, predstavlja orodje, opisano v tej nalogi, za nas velik korak naprej. Če bi delali kalkulacijo stroškov izdelave orodja, bi bilo verjetno cenejše naročiti orodje pri kateri od orodjarn, ki se s tem profesionalno ukvarjajo. Težko pa je ovrednotiti znanje in izkušnje, ki smo jih pridobili med konstruiranjem, izdelavo in testiranjem tega in predhodnih orodij. Nova znanja in izkušnje smo pridobili tudi na področju rezkanja kvalitetnih jekel. Rezkanje zahtevnih jekel z ozkimi tolerancami ne zahteva samo kvalitetnega stroja, pač pa tudi ustrezno izbiro orodij, parametrov in strategij rezkanja. Nenazadnje je potrebna tudi kvalitetna merilna oprema.

#### Priporočila pri izdelavi orodij za tesnila

Naša najenostavnejša orodja so enodelna orodja za izdelavo tesnil. Pri teh je gravura samo v eni plošči. Pri izdelavi tesnila se v gravuro ročno vstavi nekoliko večji volumen materiala, kot je volumen gravurne. Gravura se zapre z ravno ploščo, stisne v stiskalnici in vulkanizira. Zato mora višek materiala v prostor, ki ga izdelamo zraven gravure. Na sliki 6.1 sta volumna za odvečni material trikotnega prereza na obeh straneh gravure.



Slika 6.1: Model orodja za tesnilo

Oblika samega prostora za odvečno maso ni pomembna, pomembno je, da je dovolj velika, večja, kot je razlika med teoretično potrebnim in dejansko dovedenim materialom, pomembna pa je oddaljenost tega prostora od gravure. Če je ta razdalja prevelika, po dosedanjih izkušnjah več kot 1 mm, preveč materiala ostane na tej ploskvi in plošč ni mogoče popolnoma stisniti. V nasprotnem primeru - če je ta razdalja premajhna, pa se preveč materiala prelije iz gravurne votline v ta dodaten volumen. Seveda je odvisno tudi od pritiskne sile, ki jo lahko stroj zagotavlja.

V obeh primerih pridemo do neustreznega izdelka oziroma tesnila. Izkustveno smo prišli do vrednosti 0,8 mm.



Slika 6.2: Orodje za tesnilo naprave za merjenje tesnosti ulitkov

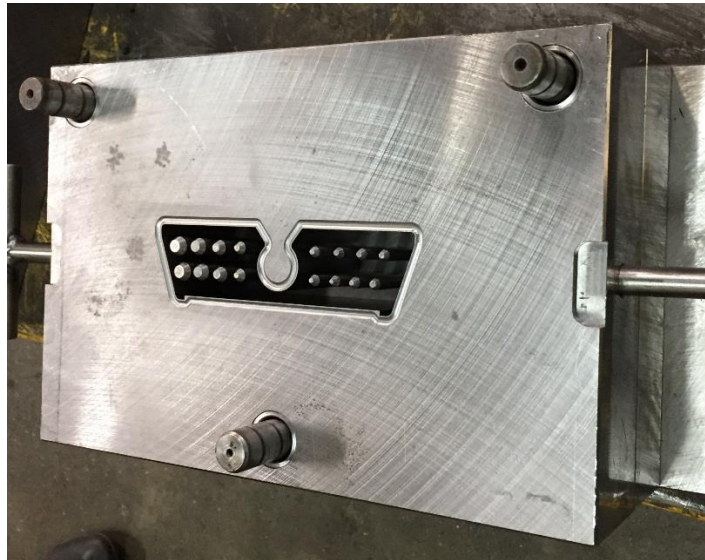
### **Testna orodja**

Razen pri orodjih za tesnila smo do sedaj vedno izdelali testno orodje. Zlasti pri brizganju je zelo težko predvideti vse težave, ki pri tem lahko nastanejo. Upamo, da bomo v prihodnje postali tako kompetentni, da testnih orodij sploh ne bomo potrebovali.

Takšno orodje je sestavljeno samo iz gravur in morebitnih jeder. Kvaliteta materiala ni pomembna, ker bodo ta orodja izpostavljena samo nekaj ciklom, zdržijo pa tudi manjše serije. Bistvena prednost je v tem, da hitro in poceni pridemo do prvih kosov, ki služijo testiranju in morebitni promociji samega izdelka. V tej fazi najlažje in najceneje delamo popravke.

Podjetje Dewesoft velikokrat pomaga inovativnim podjetnikom, da uresničijo svoje zamisli.

Tako so prišli z idejo za osemgnezdno orodje, ker so predvidevali velik prodajni potencial. Prepričali smo jih v testno orodje, ki je sicer tehnološko delovalo popolno, vendar so imeli težave tako s samim izdelkom kot tudi s trženjem. V tem primeru je bila odločitev za testno orodje pravilna.



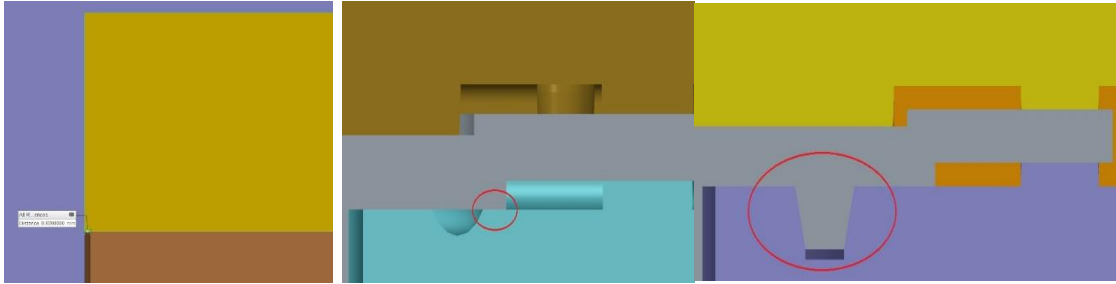
Slika 6.3: Testno orodje gumijastega blažilca trismučnika [11]

Tudi pri našem obravnavanem orodju je bila odločitev za izdelavo testnega orodja pravilna, saj so se pokazale nepravilnosti pri konstrukciji. Imeli smo težave s tesnjenjem, velikostjo dolivne reže, vodenjem jedra, odzračevanjem itd. Vendar pa smo imeli izdelek, ki je bil konstrukcijsko ustrezen in smo ga že lahko vgrajevali v inštrument ter ga že takoj tržili. V vmesnem času smo tako lahko skonstruirali novo orodje z upoštevanjem vseh predhodno ugotovljenih napak.

### Orodja za brizganje gume

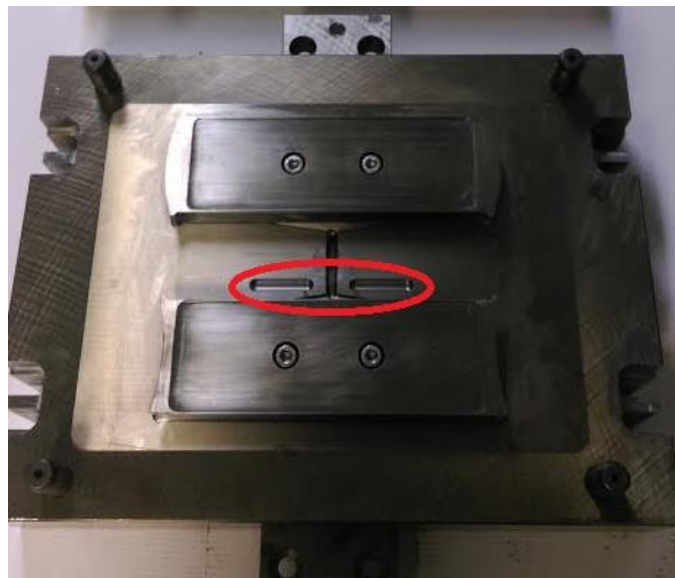
Pri načrtovanju orodij je zlasti pri kompleksnih izdelkih potrebno upoštevati naslednje:

- a) Gravurna votlina mora biti neprodušno zaprta s pritiski med posameznimi stičnimi ploskvami. Pri tesnjenju med gravurnim vložkom in jedrom nikakor ni dovolj samo tesnjenje z režo širine 0,02 mm, kot smo sprva predvideli na testnem orodju, ampak mora biti to izvedeno z neposrednim stikom. Na enem od naslednjih orodij smo celo izdelali tesnjenje s konusnim nasedom. Slika 6.4 prikazuje tesnjenje med jedrom in gravurnim vložkom.



Slika 6.4: Tesnjenje z režo, stikom in koničnim nasedom

- b) Gravurni vložek mora biti za malenkost (0,05 – 0,1 mm) dvignjen iz gravurne plošče, s čimer zagotovimo pritisk in s tem tesnjenje med obema stičnima ploskvama gravurnih vložkov.
- c) Odzračevalni kanal izdelamo po testnem brizganju, saj le tako lahko najdemo mesto, kjer masa nazadnje zapolni gravuro. Za odzračevanje izdelamo režo 6 x 0,02 mm. Verjetno bi si lahko pomagali tudi s kakšnim programskim paketom za simulacijo brizganja. Če bo postala izdelava orodij pomembnejši produkt za naše podjetje, bo to vsekakor potrebno.
- d) Pri več gnezdnih orodjih, kjer hkrati brizgamo volumsko različne izdelke, je smiselno izdelati dodatne volumne, da izenačimo količino mase v vseh gnezdih. S tem omogočimo enakomernejše polnjenje posameznih gnezd. S tem je tudi manj izmeta, s čimer kompenziramo izgubo materiala v dodatnih volumnih.



Slika 6.5: Dodatni volumni na novem orodju



- e) Če imamo jedra, je smiselno izdelati tudi vodenje le-teh, saj dodatni pogon na stroju ne zagotavlja enakomernega dviganja jeder.
- f) Za velikost dolivne reže pri brizganju gume nismo našli nobenega podatka ali enačbe, zato smo začeli z manjšo in jo večali postopoma. Mi smo se omejili na širino 0,7 mm maksimalno.
- g) Če ima stroj za brizganje možnost vakuumiranja gravurne votline, se tega poslužujemo. V tem primeru mora biti orodje izdelano tako, da je gravurna votlina zaprta neprodušno. To je lahko izvedeno z zelo natančno izdelavo ali pa z dodatnimi tesnili okrog gravure.

## **6.2 Možnosti nadgradnje orodja za samodejno snemanje izdelkov**

Po pogovorih z gumarjem bi bilo sicer snemanje izdelkov iz orodja možno z robotizirano 6-osno robotsko roko. Sploh po vseh popravkih na orodju, ker ne prihaja več do prelivanja mase in ni več potrebnega toliko čiščenja odvečne gume. Količine proizvedenih izdelkov so zaenkrat še majhne in ne upravičujejo takšne investicije, ki bi po grobih ocenah znašala okrog 30 000 EUR.

## 7 LITERATURA IN VIRI

- [1] Dewesoft. Dostopno na WWW: <http://dewesoft.com> [28.5.2016].
- [2] LEMO. Dostopno na WWW: <http://www.lemo.com/> [8.8.2016].
- [3] Pehan, Stanislav. *Metodika konstruiranja*. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2005.
- [4] Meusburger Georg GmbH & Co KG. Material No.: 1.1730 tool steel. Dostopno na WWW: <http://www.meusburger.com/sl/normalije/material-grades/11730-tool-steel.html> [8.8.2016].
- [5] Meusburger Georg GmbH & Co KG. Dostopno na WWW: <http://meusburger.com> [28.5.2016].
- [6] HANITA, Pocket user guide.
- [7] Škerget, Leoplod. *Mehanika tekočin*. Maribor: Tehniška fakulteta, 1994.
- [8] Wikipedia. Vulkanizacija. Dostopno na WWW: <http://wikipedia.org> [28.5.2016].
- [9] Kraut, Bojan. *Strojniški priročnik*. Ljubljana: Littera picta, 2003.
- [10] Alujevič, Andro in Škerget, Polde. *Prenos toplote*. Maribor: Tehniška fakulteta, 1990.
- [11] Hillstrike. Dostopno na WWW: <http://hillstrike.com/> [8.8.2016].
- [12] DESMA, Operating Instructions.

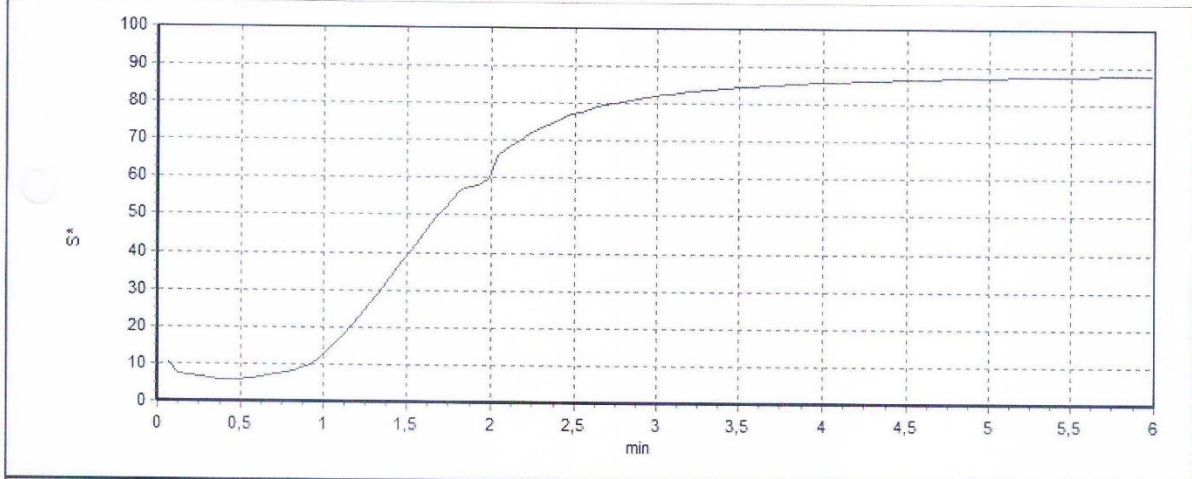
# 8 PRILOGE



## Report Test RheoCheckOD

Test		Identification		VMQ, 180°C, 6min	
Job	(Generic)	Product	011980	Oscillation angle	3 deg
Order:	6L0180	Product Code:	VMQ 70 ShA	Upper Plate Temperat.	180  C
Lot	6L010272	Treatment	Original State	Lower Plate Temperat.	180  C
Instruments :	RCC 2015058	Customer	GiTeS d.o.o.	Test Time	6 min
Date	30.1.2016	Cust. Code		Temperature Tolerance	0,5  C
		User	Administrator		

Notes:	ShoreA Hardness	71
	IRHD Hardness	
	Density [g/cm3]	1,192



Batch / Sample	MH dN*m	ML dN*m	Ts 2 mm.cc	t' 90 mm.cc
Max.Tol	104,08	7,38	0,94	3,50
Min. Tol	69,38	4,92	0,62	2,34
■ 1	87,97	5,82	0,78	2,70
Max	0,00	0,00	0,00	0,00
Min	0,00	0,00	0,00	0,00
Ave	0,00	0,00	0,00	0,00
St.dev	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Cp	0,00	0,00	0,00	0,00
Cpk	0,00	0,00	0,00	0,00
Median	0,00	0,00	0,00	0,00

Signature   
 d.o.o.  
**gomLINE**  
 Cesta v Gorice 42  
 1000 LJUBLJANA



Processed by Gibitre Instruments srl

Stampato:1.2.2016

**MERILNO POROČILO EN 10204-3.1****ID 011980.R15**Sredstvo vulkanizacije:  
"Peroxid"

Elastomer:

Article: **ZMES EVOSIL 15 MM  
ORANŽNA, GITES, PO VZORCU****5L150264****VMQ 70 ShA**Embalaža/Način dostave: **R15**

Datum: 27.7.2016 Stran: 1 / 1

Kupec: **101761****GITES, PODJETJE ZA**

Opis:	Vs	Metoda	Medij	Temp.	Čas	Zahtevano	Izmerjeno	EM
-------	----	--------	-------	-------	-----	-----------	-----------	----

**Pogoji vulkanizacije**

Testni vzorec 2 mm				180 °C	10 min		<input checked="" type="checkbox"/>	
Testni vzorec 2 mm		Post curing		200 °C	4 h		<input checked="" type="checkbox"/>	
Testni vzorec 6 mm				180 °C	5 min		<input checked="" type="checkbox"/>	
Testni vzorec 6 mm		Post curing		200 °C	4 h		<input checked="" type="checkbox"/>	

**Fizikalne lastnosti**

Trdota pred P.C.	ASTM D 2240						<b>71</b>	ShA
Trdota po P.C.	ASTM D 2240						<b>71</b>	ShA
Natezna trdnost	ASTM D 412/C						<b>9,2</b>	MPa
Raztezek pri pretrgu	ASTM D 412/C						<b>327,6</b>	%
Specifična teža	ASTM D 297						<b>1,184</b>	g/cm <sup>3</sup>
Zarezna trdnost	ASTM D 624/B						<b>15,9</b>	N/mm
Modul Elast. 100%	ASTM D 412/C						<b>2,76</b>	MPa

**Opombe:**

As Absolutna sprememba

Rs Relativna sprememba

**GOMLINE d.o.o.**

C. v Gorice 42

SI 1000 Ljubljana

tel +386 1 25 74 394

fax +386 1 25 74 381

Podani rezultati so dobjeni s skrbnimi meritvami. Ne garantiramo, da bodo dobjeni enaki rezultati, v kolikor bodo priprave in meritve opravljene pri drugačnih pogojih.

Odgovorna oseba:

Mandič Žiga

AUTHORISED DISTRIBUTOR OF **WACKER**