

FAKULTETA ZA TEHNOLOGIJO POLIMEROV

Sara HAFNER

**KONSTRUIRANJE PROTOTIPNEGA ORODJA  
ZA BRIZGANJE GUME**

Diplomsko delo

Slovenj Gradec, september 2022

FAKULTETA ZA TEHNOLOGIJO POLIMEROV

# KONSTRUIRANJE PROTOTIPNEGA ORODJA ZA BRIZGANJE GUME

Diplomsko delo

Študentka:	Sara HAFNER
Študijski program:	Tehnologija polimerov
Mentor:	izr. prof. dr. Blaž NARDIN
Delovni mentor:	Gašper ŠUBIC, univ. dipl. inž. str.

Slovenj Gradec, september 2022

## IZJAVA

Podpisana Sara Hafner izjavljam, da:

- je bilo predloženo diplomsko delo pripravljeno samostojno pod mentorstvom;
- predloženo diplomsko delo v celoti ali v delih ni bilo predloženo za pridobitev kakršnekoli izobrazbe na drugi fakulteti ali univerzi;
- diplomsko delo zaradi zagotavljanja konkurenčne prednosti, varstva industrijske lastnine ali tajnosti podatkov naročnika:

ne sme biti javno dostopno do

Po preteku časovno omejenega javnega dostopa v skladu s 1. odstavkom 21. člena in 23. členom Zakona o avtorski in sorodnih pravicah (Ur. l. RS, št. 16/2007-UPB in spremembe) dovoljujem, da se zgoraj navedeno diplomsko delo shrani v Knjižnici Fakultete za tehnologijo polimerov. Na Fakulteto za tehnologijo polimerov neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve diplomskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico ponuditi diplomsko delo javnosti na svetovnem spletu prek repozitorija DiRROS.

Slovenj Gradec, \_\_\_\_\_

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

## **POVZETEK**

### **Konstruiranje prototipnega orodja za brizganje gume**

V diplomskem delu se bomo osredotočili na konstrukcijo prototipnega orodja za brizgani kos, narejen iz gume, saj je glede na njegovo geometrijo najbolj primerna za končno serijsko proizvodnjo s tehnologijo brizganja. Preden se začne z izdelavo serijskega orodja, se v mnogih primerih izvede prototipna stopnja, ki proizvajalcu in kupcu omogoča enostavnejša in cenejša testiranja za odpravljanje potencialnih težav pri kasnejšem proizvodnem procesu. Prototipna orodja so v veliki večini manjša in poenostavljena (1–4-gnezdna), manjših dimenzij, lahko se izvajajo z različnimi izmenljivimi vložki. Pri konstrukciji prototipnega ali serijskega orodja je treba upoštevati lastnosti materiala, tehnologije in značilnosti predvidenega stroja. Tudi pri prototipnih orodjih je treba upoštevati zeleno hitrost prototipne produkcije (število gnezd v orodju), volumen brizga, zapiralno silo, vertikalno oz. horizontalno postavitev stroja in razne posebne zahteve. Proces izdelave orodja zahteva izdelavo 3D-modela orodja (CAD – computer-aided design), izdelavo programov za obdelavo (CAM – computer-aided manufacturing), CNC (computer numerical control) obdelavo, končno ročno obdelavo in testiranje. Prek testiranja izdelamo nastavno kartico stroja za to orodje, ki nam prikazuje serijske parametre brizganja, ki se nastavijo, da dobimo ustrezno nabrizgane kose. Na nabrizganih kosih nato izvedemo meritve, s katerimi potrdimo, da je bilo prototipno orodje narejeno ustrezno, saj so meritve kosa znotraj toleranc.

### **Ključne besede:**

Prototipno orodje, brizganje gume, konstruiranje, izdelava orodja, serijski parametri brizganja.

## **SUMMARY**

### **Construction of a prototype rubber injection tool**

In this thesis, we will focus on the construction of a prototype tool for an injection-molded part made of rubber, as it is the most suitable for the final series production due to its geometry. Before starting production of serial tools, in many cases a prototype phase is carried out, which allows both the manufacturer and the customer easier and cheaper tests to eliminate potential problems in the later production process. Prototype tools are in most cases smaller and simplified (1-4 nests), of smaller dimensions, and can be made with different exchangeable inserts. When designing a prototype or serial tool, it is necessary to take into account the properties of the material, technology and characteristics of the intended machine. Even with prototype tools, it is necessary to take into account the desired speed of prototype production (number of nests in the tool), injection volume, closing force, vertical or horizontal placement of the machine and various special requirements. The tool manufacturing process requires the creation of a 3D model of the tool (CAD - computer-aided design), the creation of machining programs (CAM - computer-aided manufacturing), CNC (computer numerical control) processing, final manual processing and testing. Through testing, we create a machine setting card for this tool that shows us the serial injection parameters that are set to get properly injected pieces. We then perform measurements on the injected pieces to confirm that the prototype tool was made appropriately, as the measurements of the piece are within tolerances.

### **Keywords:**

Prototype tooling, rubber injection molding, design, tooling manufacturing, serial injection molding parameters.

**KAZALO**

<b>1 UVOD</b>	<b>1</b>
1.1 Podjetje Siliko, d. o. o.	1
1.2 Definicija problema	1
1.2.1 Zahteve kupca	2
1.3 Cilji	2
<b>2 TEORETIČNI DEL</b>	<b>3</b>
2.1 Osnove konstruiranja	3
2.1.1 Razvoj, oblikovanje ali konstruiranje	4
2.1.2 Pomen sistematičnega razvoja	5
2.1.3 Cenovni inženiring	6
2.2 Programi za konstruiranje	8
2.3 Prototipna orodja	8
2.4 Materiali za orodja	9
2.4.1 Jekla	9
2.5 Tehnologije obdelav orodja	12
2.5.1 Rezkanje	13
2.5.2 Brušenje	13
2.5.3 Struženje	14
2.5.4 Potopna erozija – EDM	14
2.5.5 Vrtanje	16
2.6 Tehnologija brizganja gume	16
2.6.1 Guma z osnovo naravnega kavčuka (NR)	16
2.6.2 Načini predelave elastomerov	18
2.6.3 Orodja za brizganje gume	19
2.6.4 Stroji za brizganje gume	21
<b>3 EKSPERIMENTALNI DEL</b>	<b>22</b>
3.1 Pregled zahtev kupca	22
3.2 Konstruiranje prototipnega orodja	22
3.3 Izdelava orodja	27
3.3.1 CAM-programiranje	28
3.3.2 Rezkanje, brušenje, vrtanje in potopna erozija	28
3.3.3 Sestava orodja	29
3.3.4 Meritve sestavljenega orodja	29
3.3.5 Testiranje orodja	29
<b>4 REZULTATI IN DISKUSIJA</b>	<b>32</b>
4.1 Konstrukcija orodja za prototipni gumeni kos	32
4.2 Postopek konstruiranja	32
4.3 Proces izdelave orodja	33
4.4 Proces brizganja gumениh kosov	33
4.5 Meritev kosov	34

---

<b>5 SKLEP</b>	<b>35</b>
SEZNAM LITERATURE IN VIROV	36
SEZNAM SLIK	37
SEZNAM TABEL	38
SEZNAM UPORABLJENIH SIMBOLOV	39
SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC	40
PRILOGE	41
Priloga 1: Prikaz kupčevih zahtev	41
Priloga 2: Nastavna kartica stroja	42





## 1 UVOD

V času študija na Fakulteti za tehnologijo polimerov v Slovenj Gradcu smo v zadnjem letniku opravljali prakso v podjetju Siliko, d. o. o., smer Razvojna tehnologija. Podjetje je razvojni dobavitelj in proizvajalec tehničnih izdelkov iz elastomerov in termoplastov. V času prakse smo od kupca dobili naročilo za prototipno orodje. Glede na stopnjo zahtevnosti orodja se je ponudila priložnost, da skonstruiramo prototipno orodje za brizganje gume. S konstrukcijo smo pridobili veliko novega znanja, ki nam bo koristilo tudi pri nadaljnji karieri.

### 1.1 Podjetje Siliko, d. o. o.

Podjetje Siliko, d. o. o., je razvojni dobavitelj in proizvajalec tehničnih izdelkov iz elastomerov in termoplastov z več kot 30-letno tradicijo. Primarne panoge so avtomobilska industrija in bela tehnika. V tem obdobju se je proizvodni program razširil in danes obsega dejavnosti, s katerimi lahko kupec dobi celovito storitev od idejne zasnove, konstrukcije in izdelave orodja do velikoserijske proizvodnje. Proizvodnja izdelkov poteka na najsodobnejših in ustrezno vzdrževanih strojih za brizganje in le z ustrezno usposobljenim kadrom. Ob tesnem sodelovanju s svetovno najpomembnejšimi proizvajalci strojne opreme, kot so Maplan, Engel, LWB, Desma in KraussMaffei, dosegajo največjo možno stopnjo fleksibilnosti na vseh stopnjah proizvodnega procesa.

Glavne dejavnosti v podjetju so:

- samostojno brizganje elastomerov, tehničnih termoplastov in tekočih silikonov,
- kombinirano brizganje elastomer-termoplast-kovina,
- 2K-brizganje ali robotski prenos med stroji,
- montaža kosov ter
- predobdelava in poobdelava kosov (čiščenje kosov: ročno ali strojno, nanos lepil, kondicioniranje, temperiranje, kontrola kosov: ročna ali strojna).

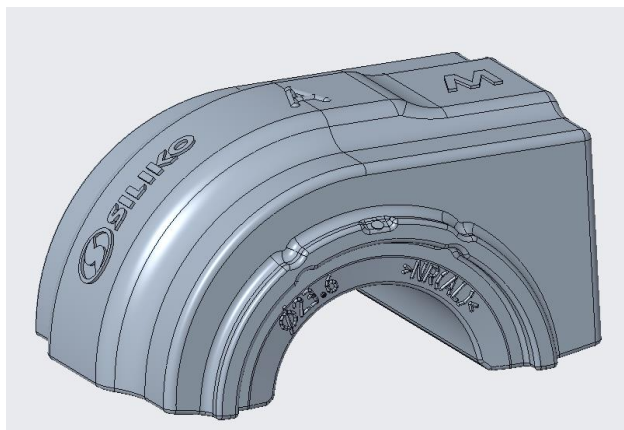
V podjetju se ukvarjajo z razvojem izdelkov, razvojem zmesi, imajo tudi lastno orodjarno, kjer orodje skonstruirajo in izdelajo, v primeru poškodb oz. t. i. napak pa imajo možnosti popravil v podjetju. Poleg tega se ukvarjajo tudi z avtomatizacijo procesa. Za konstruiranje uporabljajo programski paket Creo Parametrics 4.0 [1].

### 1.2 Definicija problema

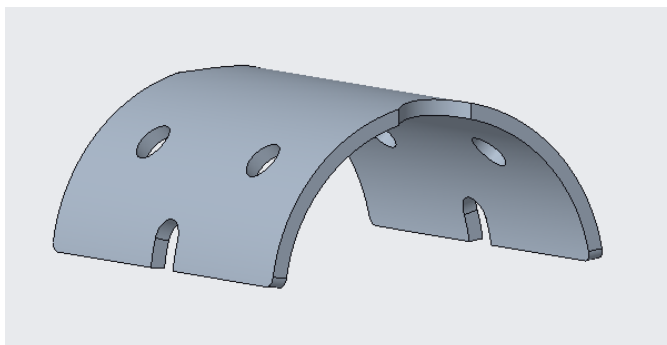
Moderna tehnologija brizganja zahteva zanesljiva, trajna orodja za izdelke z najvišjo preciznostjo in brezhibnim izgledom. Poleg tega pa je potrebno upoštevati tudi vse zahtevke, ki jih kupec želi. Da lahko izpolnimo vse zahteve kupca, se zato naredijo prototipna orodja, na katerih preverimo začetne parametre brizganja in obliko kosov.

### 1.2.1 Zahteve kupca

Od kupca smo prejeli naročilo za izdelavo gumenega izdelka (Slika 1), ki vsebuje kovinski vložek (Slika 2). Za omenjeni izdelek je bilo treba najprej skonstruirati prototipno orodje. Ko je to orodje dokončano in so kosi testirani, se nato lahko naredi serijsko orodje, ki je v osnovi večje in ima več gnezd.



Slika 1: Prikaz 3D-model izdelka



Slika 2: Prikaz 3D kovinskega vložka v izdelku

V prilogi 1 je priložena tehnična risba, ki vsebuje vse podatke in zahteve kupca. Na risbi je opisano, kakšen material bo uporabljen za kos, iz materiala se nato določi skrček, ki je pomemben za izdelavo orodja. Poleg tega imamo na risbi tudi kotiran kos, ki smo ga prejeli tudi v step datoteki, da ga lahko uvozimo v modelirni program in izdelamo orodje. S kupcem imamo dogovor, da se prototipna orodja izdelujejo s 4 gnezd. Dolivni sistem ni določen in ga mora konstruktor izdelati sam.

### 1.3 Cilji

Cilj diplomskega dela je samostojno skonstruirati prototipno orodje za gumeni kos. Prav tako je cilj naučiti se metodiko konstruiranja, proces izdelave orodja in proces brizganja. Ko je orodje izdelano, so cilji tudi vzorčenje izdelkov, izdelava merilnega protokola s ciljem potrjevanja vzorcev in shranba orodja.

## 2 TEORETIČNI DEL

Konstruiranje je zelo kompleksen proces, pri katerem moramo ugoditi vsem zahtevam, ki nam jih podaja kupec in so včasih zelo težko rešljive. Za določen problem je vedno možno več rešitev, zato je naloga konstruktorja, da izbere optimalno rešitev, ki bo zagotavljala najboljšo rešitev ob čim nižjih stroških. Pri konstruiranju orodij moramo v večini primerov paziti, da bo orodje, ki ga konstruiramo, možno izdelati na čim lažji način, saj s konstrukcijo močno vplivamo na stroške izdelave [2].

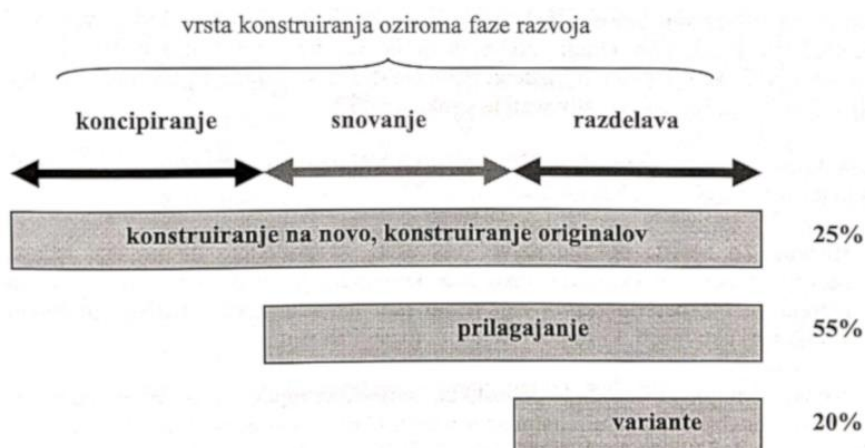
### 2.1 Osnove konstruiranja

Vsak izdelek gre skozi vse stopnje razvoja, kot so na primer načrtovanje, koncipiranje, snovanje in razdelava. To, kdaj se prične razvoj izdelka, je odvisno od vrste konstruiranja oziroma od tega, kako originalen je izdelek. Glede na originalnost lahko izdelke razdelimo v tri kategorije. V prvi kategoriji so resnično originalni izdelki, v drugo kategorijo spadajo takšni izdelki, ki jih prilagajamo za neke druge pogoje obratovanja, v tretjo kategorijo pa uvrščamo izdelke, ki so zgolj izpeljanka določenega izdelka [2].

**Konstruiranje originalnih izdelkov** – originalni izdelki so tisti, ki zahtevajo razvoj novih rešitev posameznih problemov. Za originalne izdelke je pogosto značilno, da moramo do rešitve problemov priti po določeni sistematiki. Ponavadi so za te izdelke značilne povsem nove funkcije ali pa so pri njih uporabljeni novi fizikalni principi. Na originalnih izdelkih se torej najdejo nove rešitve. To pa pomeni, da se razvoj originalnih izdelkov začne s stopnjo koncipiranja. Ocenjuje se, da je le okoli 25 % razvoja izdelkov posvečenega razvoju originalnih izdelkov [2].

**Konstruiranje izdelkov, na katerih nekaj prilagajamo** – pri konstruiranju, kjer prilagajamo izdelke, uporabimo že znane rešitve določenih problemov, le da jih prilagodimo za opravljanje novega dela. Splošna struktura izdelka je dobro znana že vnaprej. Podrobneje je treba raziskati nove oblike, vrste gibanja ali pa nov material. Tovrstno konstruiranje je najbolj pogost primer pri konstruiranju izdelkov [2].

**Konstruiranje različic izdelka** – pri konstruiranju druge različice izdelka se oblikuje nove velikosti, uvajajo se drugi materiali, novi načini proizvodnje oziroma neke nove prireditve nekih že obstoječih izdelkov. V to vrsto konstruiranja se prišteva tudi modulna gradnja. V vseh teh slučajih je treba pri posameznem izdelku na novo narediti le določene podrobnosti. Smatra se, da je takšnega okoli 20 % vsakega konstruktorskega dela. Vrste konstruiranja in kako so te vrste povezane ena z drugo prikazuje Slika 3 [2].



Slika 3: Vrsta konstruiranja in stopnje razvoja [2]

### 2.1.1 Razvoj, oblikovanje ali konstruiranje

Pogosto se za ustvarjanje novega izdelka uporablja več izrazov. Nekateri govorijo, da se izdelke oblikuje ali dizajnira. Drugi pravijo, da ljudje izdelke konstruirajo. Nekateri pa trdijo, da je to razvojni proces, da se torej izdelki razvijajo. Vsak ima po svoje prav. Razlika je zgolj v detajlih, ki jih znajo razlikovati le strokovnjaki. Za strokovnjaka pa je pomen besed razvoj, konstruiranje in oblikovanje, ki vse skupaj opisujejo nastanek novega izdelka, takšen [2]:

- **Razvoj.** Ta beseda opisuje največ okoliščin, ki pripeljejo do novega izdelka. V razvojni proces so vključene stopnje konstruiranja in oblikovanja ter številne druge. Z besedo razvoj zajamemo tudi laboratorijska testiranja prototipov in včasih tudi aktivnosti, ki so povezane z dogajanjem na trgu.
- **Konstruiranje.** Ta beseda je pogosto zamenjava za tujko dizajn. Po pomenu pa ji ni povsem enaka. S konstruiranjem se v našem okolju razume bolj ali manj modeliranje ali risanje izdelka ter predvsem izdelovanje dokumentacije, ki jo po navadi potrebujejo tehnologi oziroma tisti, ki pripravljajo stroje in procese, da bi stekla proizvodnja. Kakorkoli že, konstruiranje je zgolj eden od procesov razvoja izdelka. Ta proces je sicer tisti, ki pripelje do dokumentacije, a sam po sebi še zdaleč ne predstavlja vsega, kar je treba narediti, da se ideja pripelje do uresničitve. Konstruktorji, ki preozko gledajo na razvoj izdelka, se pogosto preveč posvečajo funkcionalnosti izdelka in zanemarjajo oblikovalski pristop. Največja nevarnost konstruiranja pa je v tem, da sčasoma podcenjujejo preračune vseh vrst in svojih storitev sploh več ne testirajo.
- **Oblikovanje.** To ni v vseh primerih enako dizajnu, čeprav se pogosto misli prav to. Včasih je z oblikovanjem mišljen postopek konstruiranja, bolj poredko pa celo ves razvoj. Oblikovanje v smislu dizajna je vsekakor le del razvoja, vendar ne moremo reči, da je to del konstruiranja. Oblikovanje je že samo po sebi samostojno področje, ki zajema veliko več kot zgolj dobesedno oblikovanje izdelka. Oblikovalec se pogosto ukvarja predvsem s človekom in okoljem v širšem pomenu. Oblikovalca zanima, kako bo človek sprejel nov izdelek, občutljiv je povsem na

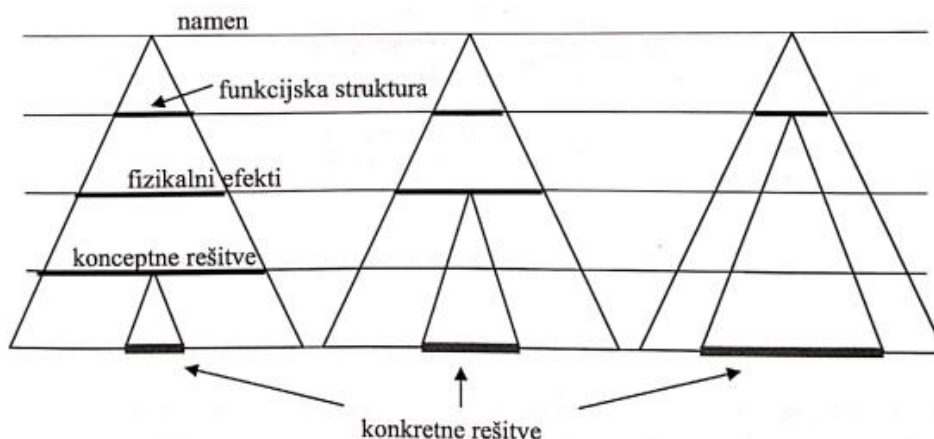
obliko, toda ukvarja se tudi z barvami, površinami, hrapavostjo, svetlobnimi učinki, materiali, vonjem, ergonomijo itd. Pogosto je šibka točka oblikovalcev, da precenijo psihološke učinke, ki jih imajo izdelki na okolje, podcenijo pa funkcionalnost izdelka.

## 2.1.2 Pomen sistematičnega razvoja

Tudi konstruktorji, ki imajo manj izkušenj, lahko s skrbnim analiziranjem funkcij izdelka že na stopnji koncipiranja izberejo takšnega, ki se ga zelo verjetno splača razvijati še naprej. Morda lahko izkušen konstruktor to stopnjo razvoja kar preskoči, a je vendarle koristna, saj sistematika pomaga, da lahko zgolj zaradi tega, ker sledimo opisanemu razvojnemu postopku, za neko funkcijo vendarle najdemo novo rešitev in tako dvignemo kakovost izdelka [2].

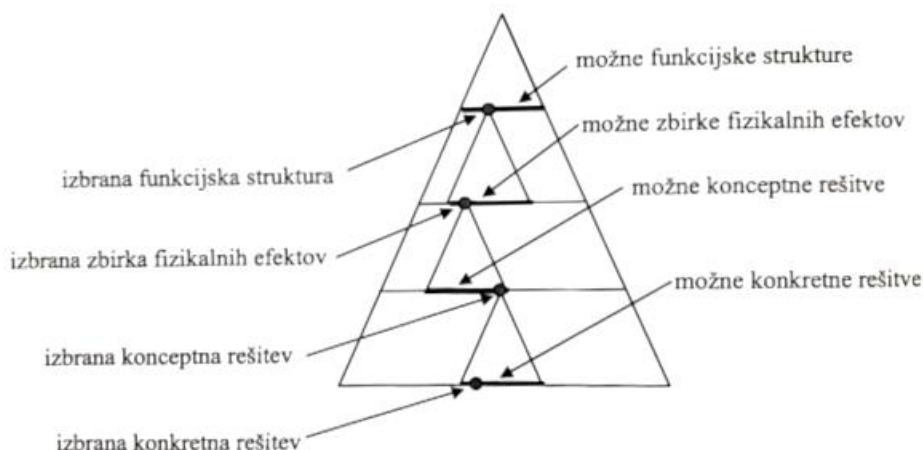
Velika korist sistematičnega pristopa h konstruiranju je, da na vsaki stopnji razvoja izdelka dobimo več alternativ, med katerimi lahko kasneje izbiramo. Če začnemo na najvišji ravni, je jasno, da določeno nalogo lahko rešimo z različnimi funkcijskimi strukturami. Vsako od funkcij lahko rešimo z uporabo različnih fizikalnih principov, kar spet pripelje do še večje množice povsem geometrijskih rešitev. Koncept nato preide na stopnjo snovanja, kjer se izdelek zasnuje tako, da se opredeli njegova oblika, določijo material in razni tokovi. Množica konkretnih rešitev je tem večja, čim bolj zgodaj se razvoj prične, kot prikazuje Slika 4 [2].

Slika 4 je shematski prikaz, kako z bolj zgodnjo stopnjo povečamo množico konkretnih rešitev. Na levem velikem trikotniku je prikazana implementacija konkretnih rešitev (manjši trikotnik znotraj večjega) na dokaj pozni stopnji razvoja (konceptne rešitve). Na srednjem velikem trikotniku imamo konkretnih rešitev že več, saj smo jih začeli iskati na bolj zgodnji stopnji razvoja (fizikalni učinki) kot pri prejšnjem primeru. Desni velik trikotnik pa prikazuje še večjo množico konkretnih rešitev, saj smo z iskanjem konkretnih rešitev začeli na najbolj zgodnji stopnji od spodnjih treh primerov (funkcijska struktura).



Slika 4: Sistemski razvoj lahko pripelje do množice konkretnih rešitev [2]

Po vsakem razvojnem koraku je na razpolago množica rešitev, zato moramo te rešitve neprestano vrednotiti in se odločati za najboljše, ki jih potem peljemo na nadaljnje razvojne stopnje. Če ne bi vrednotili sproti in se odločali le za najboljše, bi bila množica vseh mogočih konstrukcij nekega izdelka na koncu nepregledna in nekoristna. Če predpostavimo, da po končanih razvojnih stopnjah z določeno tehniko vrednotenja izberemo le vsakokrat po eno rešitev, ki jo najdlje obravnavamo, bo množica dobrih konkretnih rešitev na koncu bistveno manjša od množice vseh mogočih rešitev, kot prikazuje Slika 5 [2].



Slika 5: Odločitve zmanjšajo množico mogočih rešitev na eno dobro rešitev [2]

### 2.1.3 Cenovni inženiring

Cenovni inženiring je prizadevanje za največjo ali maksimalno vrednost izdelka. Namesto cenovnega inženiringa se uporabljajo še druga imena, na primer vrednostna analiza, vrednostna kontrola ali vrednostni management. Ta tehnika se je prvič pojavila okoli leta 1940 v podjetju General Electric. Vrednost izdelka je definirana s preprosto enačbo:

$$\text{vrednost} = \frac{\text{funkcija izdelka in njegove karakteristike}}{\text{stroški izdelave izdelka}}$$

S cenovnim inženiringom si prizadevamo zagotoviti maksimalne karakteristike izdelka pri minimalnih stroških. Pri cenovnem inženiringu se zaposli ekipe z različnimi izkušnjami, ki imajo nalogo ovrednotiti različne korake v procesu nastajanja izdelka. Preveriti je treba razvoj, nabavo in proizvodnjo, torej vsa področja, ki imajo odločilen vpliv na vrednost izdelka. Cenovni inženiring je sestavljen iz različnih stopenj, ki so naštetje v nadaljevanju. Pri vsaki stopnji je pojasnjeno, kakšne aktivnosti so potrebne za njeno izpeljavo [2].

Pripravljalna faza je sestavljena iz več podstopenj. Na podstopnji izbire izdelka definiramo izdelke, ki bodo analizirani. Potem se izbire člane ocenjevalne ekipe oz. skupine, ki bodo poskrbeli za ocenjevanje rešitev. Na podstopnji zbiranja tehničnih in

ekonomskih podatkov ter podatkov o stroških pridobimo vse podatke za nadaljnje delo. Pri merjenju sprejemljivosti za uporabnika se zbira podatke o uporabnikih in ugotavlja ciljne skupine. Na koncu sledi še anketiranje [2].

Stopnja informiranja je sestavljena iz funkcijske analize, stroškov in sprejemljivosti. Po vsem tem sledi primerjalna vrednostna analiza. Po končani stopnji informiranja sledi stopnja analize, kjer se identificira cilje, nato sledi definicija problemskega področja [2].

Na ustvarjalni stopnji se razvijajo ideje in inovacije, nato sledi možganska nevihta (angl. brainstorming) [2].

Pri stopnji sinteze se spreminjajo ideje v rešitve. Sledi stopnja razvoja, ki načrtuje načrt za uvajanje sprememb. Nato se sprejmejo odločitve o spremembah. Vse skupaj je na koncu predstavljeno s pripravo predstavitev, uporabo vizualnih pripomočkov in poročil. Na koncu se uredijo dokumentacija, politika podjetja in ostali postopki [2].

V zvezi z izboljšanjem lastnosti izdelka oz. njegovih karakteristik ter zmanjšanja stroškov se cenovni inženiring še posebej posveti procesu konstruiranja, uporabljenim materialom in proizvodnim procesom. Skupina, ki izvaja cenovni inženiring, mora postavljati vprašanja s področij, ki jih prikazuje Slika 6 [2].

Pri končnem izdelku so zaželeno najboljše možne lastnosti na vseh treh področjih. Pri konstruiranju želimo imeti enostaven, lahek, tog in stabilen izdelek iz čim več standardnih elementov. Zaželeno je, da je material izdelka poceni, ima dobre obdelovalne lastnosti, dimenzijsko stabilnost in je lahko dobavljiv. Pri proizvodnji izdelka je zaželeno, da je hitra, poceni, brez specialnih orodij, brez izmeta, z avtomatiziranim procesom in enostavno kontrolo kakovosti. To so kriteriji posameznih področij, ki po navadi dobijo najvišje ocene pri vrednotenju. V realnosti pa vseh teh najboljših kriterijev ni mogoče združiti, zato izberemo kombinacijo kriterijev, ki je za nas najbolj ustrezna.

področje	vprašanja
konstruiranje	Se da poenostaviti konstrukcijo?
	Je kakšna alternativna konstrukcija?
	Se da kombinirati ali eliminirati karakteristike in dele?
	Se da narediti manjše in lažje?
	Se dajo sprostiti tolerance?
	Ali je možno poenostaviti montažo?
	Se da narediti stvar brez spojnih elementov?
	Ali lahko naredimo izdelek v hiši?
	Se dajo uporabiti standardni elementi?
	So kakšni zunanji viri?
materiali	Ali material zadošča minimalnim zahtevam?
	Se da nadomestiti s cenejšim?
	Ali je material primeren za obdelavo?
	Ali je material na razpolago v zahtevani obliki, obdelavi, velikosti, tolerancah?
	Ali je dobavitelj materiala zanesljiv?
proizvodnja	So bile obravnavane tudi druge tehnologije proizvodnje?
	So izbrani najboljši materiali in postopki za količine, ki se izdelujejo?
	Ali bi se lahko proizvajalo ceneje, če bi le nepomembno spremenili obliko?
	Ali so potrebne zaključne faze proizvodnje?
	Se zahtevajo specialna orodja?
	Ali se proizvaja mnogo odpada – koliko in kakšna je njegova vrednost?
	So raziskane avtomatizacije procesov in tehnologije, kjer se več procesov dogaja istočasno?
	Ali je kontrola kakovosti vključena v proces?

Slika 6: Področja vprašanj pri cenovnem inženiringu [2]

## 2.2 Programi za konstruiranje

Na področju konstruiranja poznamo več različnih programov za izdelavo orodij. Odvisno je, za katerega ima podjetje pridobljeno licenco. V podjetju Siliko, d. o. o., imajo za konstruiranje program Creo Parametrics, ki omogoča veliko knjižnico standardnih elementov za orodja. Poznamo pa tudi Siemens NX, Catio in še mnogo drugih programov za konstruiranje izdelkov, orodij.

Creo Parametric 4.0 je 3D programsko okolje, v katerem skonstruiramo celotno orodje, ki je sestavljeno iz standardnih elementov iz bogate knjižnice in elementov, ki so specifični za posamezno orodje.

## 2.3 Prototipna orodja

Pri razvoju izdelka je testiranje ključni dejavnik. V nekaterih primerih morajo inženirji pokazati, kako se bo nova zasnova obnesla kot del odobritve vodstva za naložbo v proizvodnjo. V drugih primerih zakonske zahteve zahtevajo testiranje izdelkov iz reprezentativnih materialov in postopkov, ki ustrezajo predvidenim. Kot del svoje metodologije izdelave prototipov proizvajalci pogosto uporabljajo različne strategije za izvedbo prototipov, odvisno od namena delov. Uporaba posebnih inženirskih polimerov povzroči potrebo po brizganju kosov v prototipno orodje, ki se jih nato uporabi pri testiranju, da bi dobili zanesljive rezultate glede obnašanja materiala. Odvisno od okoliščin se lahko uporabijo končna proizvodna orodja za brizganje ali pa se lahko uporabi ločeno prototipno orodje. Cilj je zagotoviti kakovostni prototip in pravočasno



testiranje, ki pomaga prepoznati spremembe dizajna, preden se izdelek začne s polno proizvodnjo [3].

Obstaja več ključnih odločitev, ki gredo v proces izdelave prototipa orodij, ki oblikovalski skupini omogoča izbiro ustrezne strategije izdelave. Ključni element, ki ga je treba upoštevati, je stopnja negotovosti ali edinstvenosti določene zasnove. Bolj kot je določena zasnova edinstvena glede na prejšnje proizvodne izkušnje podjetja, bolj kritično je zgodnje testiranje postopka in izdelka. Podobno pomemben je tudi splošni terminski načrt izvedbe projekta. Komponenta, ki jo je treba preizkusiti, je lahko le del celotnega sestava, ki se razvija. Časovnica izdelave orodja za končno proizvodnjo mora biti usklajena s celotnim razvojnim načrtom sestava. Če ni tako, je čakanje na končano proizvodno orodje lahko drago tveganje, ki odloži dragocen čas testiranja, zato se v teh primerih preprosto prototipno orodje, ki omogoča zgodnjo oceno komponente ali podsistema, lahko izkaže kot odlična naložba. Nazadnje bi morala biti verjetnost, da se izdelek lahko spremeni, tudi dejavnik pri presoji, ali je treba uporabiti ločeno prototipno orodje. Če je sprememba konstrukcije potrebna ali verjetna, je bolje, da to ugotovimo zgodaj, kot pa da izvedemo spremembo končnega proizvodnega orodja, ki bi lahko zahtevalo varjenje orodnega jekla ali druge spremembe, ki bi lahko ogrozile celovitost orodja za dolgoročno uporabo [3].

## 2.4 Materiali za orodja

Prototipna orodja so večinoma narejena iz orodnih jekel, aluminija, lahko pa so tudi silikonska, raznovrstni kompoziti, poleg tega pa v prototipnih orodjih srečamo tudi druge materiale, kot so:

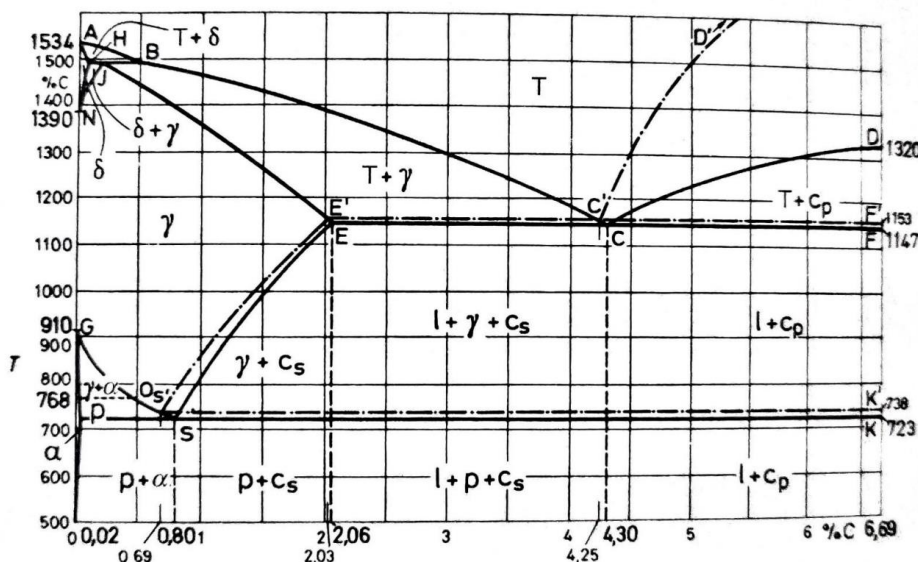
- izolacija (polimerni materiali),
- priključki za hidravliko in vodo (medenina) ter
- konektorji za elektriko (polimerni materiali).

### 2.4.1 Jekla

Kovine so sestavljene iz kristalnih zrn, ki so med seboj zraščena na kristalnih mejah. Pogoste so točkaste, linijske (dislokacije) in ploskovne napake v kristalih v kristalni mreži. Pod vplivom napetosti dislokacije potujejo skozi kristal (plastična deformacija). Pri tem se zasidrajo (utrjevanje kovine) ali kopičijo in povzročajo razpoke. Za železo je značilen polimorfizen, to je spreminjanje kristalne strukture pri določenih temperaturah (premenah) iz ene oblike (alotropske modifikacije) v drugo. V kovinah so prisotne škodljive nečistoče in neškodljivi oligoelementi, če namerno dodajamo druge kovine, pa dobimo zlitino [4].

Medsebojno topne kovine tvorijo homogene zmesne kristale trdne raztopine. Pri strjevanju se ena od kovin izloča počasneje, zato je njena koncentracija v pozneje nastalih kristalih večja. Razlike pri počasnem strjevanju izginejo z difuzijo, sicer dobimo nehomogene kristale (kristalne izceje). Med seboj delno netopni kovini imata določeno

razmerje z maksimalno topnostjo (evtektik), ki ima najnižje tališče (točka E) (Slika 7). Evtektična zmes se pri tej temperaturi strdi v enoten (sicer notranje heterogen) evtektični kristal. V evtektiku sta pri temperaturah nad E topni obe komponenti, pri nižjih temperaturah pa se izločata (uporabimo ju za izločilno utrjevanje) [4].



Slika 7: Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C [5]

Legenda oznak s slike 7: T – talina,  $\gamma$  – avstenit,  $\alpha$  – ferit,  $c_p$  in  $c_s$  – primarni in sekundarni cementit, l – ledeburit, p – perlit.

Za gnezda se pogosto uporabljajo večkrat potopljena jekla visoke čistoče in brez tekstur, kar omogoča brezhibno površinsko oblikovanje in poliranje. Za nekatere termoplaste in predvsem duroplaste dosegajo orodja temperaturo 150–250 °C. Tedaj moramo izbrati ustrezne materiale, pri katerih krivulja popuščanja [trdota je  $f(T)$ ] kaže, da je temperatura popuščanja vsaj 30–50 °C nad delovno. Dobra izmenjava toplote lahko zelo poceni izdelke, odvisna pa je predvsem od legirnih elementov. Zarezno odpornost lahko povečamo s površinskim ogljičenjem oz. nitriranjem. Pri brizganju utegnejo nastati agresivne spojine (solna ali očetna kislina, formaldehid), tedaj moramo preprečiti korozijo gravure s kromiranjem ali nikljanjem, pri zahtevnih gravurah pa je edina rešitev uporaba korozijsko odpornega jekla. Za nosilne dele orodij rabimo jekla, za katera razen visoke trdnosti in nizke cene ni drugih zahtev. Običajno pa uporabljamo utrjena ali poboljšana jekla [4].

Poboljšana jekla: jekla so poboljšana, tj. utrjena in nato popuščana nad 500 °C, pri čemer razpade martenzit v karbid in  $\alpha$  mešane kristale. Pri tem padeta trdnost in trdota, a narasteta žilavost in razteznost, čim višja je temperatura popuščanja. Čas popuščanja je 1–2 uri. Uporabna je trdnost 1.200–1.400 N/mm<sup>2</sup>, jekla večje trdnosti pa ni več moč obdelovati. Obdelava teh jekel je počasnejša, a odpadeta toplotna obdelava in tveganje spremembe mer in zamika z dodatnim delom za korekture. Jekla se pogosto uporabljajo za večja orodja. Po poskusih omogočajo korekture. Priporočljivo je orodja pred dokončno obdelavo žariti do popuščanja napetosti. Dostikrat kakovost

in obrabna trdnost površine nista zadostni, tedaj jo dodatno kromiramo ali nitriramo, npr. tenifer postopek pri 570 °C s hlajenjem v olju, majhnim zamikom in trdoto 1.000 HV [4].

Tabela 1 prikazuje legirana orodna jekla, ki se najpogosteje uporabljajo za izdelavo orodij [5].

Tabela 1: Sestava in vrsta legirnih jekel [5]

Oznaka SIST 10027-1	EN	Številka SIST 10027-2	EN	Sestava % <sup>1)</sup>							
				C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W
<b>za delo v hladnem:</b>											
100V1		1.2833		1,05	<0,35	<0,35	-	-	-	0,2	-
70Si7		1.2823		0,60	1,75	0,75	-	-	-	-	-
51CRV4		1.2241		0,51	0,25	0,85	1,05	-	-	0,15	-
45WCrV7		1.2542		0,45	0,95	0,30	1,05	-	-	0,20	2,00
60WCrV7		1.2550		0,60	0,95	0,30	1,05	-	-	0,20	2,00
102Cr6		1.2067		1,00	0,25	0,30	1,50	-	-	-	-
105WCr6		1.2419		1,05	0,25	0,85	0,95	-	-	-	1,3
90MnCrV8		1.2842		0,90	0,25	1,95	-	-	-	0,20	-
100MnCrW4		1.2510		0,95	0,25	1,20	0,50	-	-	0,15	0,55
x100CrMoV5-1		1.2363		1,00	0,25	0,50	5,00	1,15	-	0,35	-
X155CrVMo12-1		1.2379		1,6	0,25	0,30	12,00	0,85	-	0,65	-
X210CrW12		1.2080		2,1	0,25	0,30	12,00	-	-	-	-
X210CrW12		1.2436		2,1	0,25	0,30	12,00	-	-	-	0,95
6CrMo15-5		1.2341		<0,07	0,15	0,15	4,00	0,50	-	-	-
40CrMnMo7		1.2311		0,35	0,55	1,00	1,85	0,50	-	-	-
X21Cr13		1.2082		0,20	<1,0	<1,0	13,00	-	<1,0	-	-
X42Cr13		1.2083		0,40	<1,0	<1,0	13,50	-	<1,0	-	-
X36CrMo17		1.2316		0,38	<1,0	<1,0	16,00	1,25	-	-	-
Oznaka SIST 10027-1	EN	Številka SIST 10027-2	EN	Sestava % <sup>1)</sup>							
				C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W
<b>za delo v hladnem:</b>											
X105CrMo17		1.2316		1,10	<1,0	<1,0	17,00	0,60	-	-	-
<b>Za delo v vročem:</b>											
30NiCrMo16		1.2766		0,40	0,25	0,50	1,85	0,50	3,85	0,15	-
56NiCrMoV7		1.2714		0,55	0,25	0,80	1,10	0,40	1,75	0,15	-
40CrMnMo7		1.2311		0,35	0,55	1,00	1,85	0,50	-	-	-
32CrMoV12-28		1.2365		0,30	0,25	0,30	3,00	2,75	-	0,55	-
X38CrMoV5-1		1.2343		0,35	1,05	0,40	5,00	1,45	-	0,40	-
X40CrMoV5-1		1.2344		0,40	1,05	0,40	5,00	1,45	-	1,00	-
30WCrV17-1		1.2567		0,30	0,25	0,30	2,50	-	-	0,55	4,80
X30WCrV9-3		1.2587		0,30	0,25	0,30	3,00	-	-	0,40	9,00

<sup>1)</sup> Srednje oz. največje (<) vrednosti

Tabela 2 prikazuje, kakšno toplotno obdelavo in trdoto imajo legirna orodna jekla [5].

*Tabela 2: Toplotna obdelavo in trdota legirnih orodnih jekel [5]*

Vrsta	Trdota (mehko žarj.) HB maks.	Kaljenje °C ± 10	<sup>1)</sup> sredstvo	Popušcanje °C ± 10	Trdota (popušcanje) HB min.
<b>Za delo v hladnem:</b>					
1.2833	212	790	v	180	61
1.2823	248	855	o	180	55
1.2241	241	865	o	180	55
1.2542	229	910	o	180	56
1.2550	229	910	o	180	58
1.2067	223	840	o	180	60
1.2419	229	820	o	180	61
1.2842	229	790	o	180	60
1.2510	229	800	o	180	60
1.2363	241	970	z	180	60
1.2379	255	1020	z	180	61
1.2080	248	970	o	180	62
1.2436	255	970	o	180	62
1.2341	121	<sup>2)</sup>	<sup>2)</sup>	<sup>2)</sup>	<sup>2)</sup>
1.2311	<sup>3)</sup>	<sup>3)</sup>	<sup>3)</sup>	<sup>3)</sup>	<sup>3)</sup>
1.2082	223	1.010	o	180	45
1.2083	255	1.010	o	180	51
1.2316	285	1.010	o	180	46
1.4125	285	1.030	o	180	58
<b>Za delo v vročem:</b>					
1.2766	277	850	o	500	40
1.2714	248	850	o	500	42
1.2311	<sup>2)</sup>	<sup>2)</sup>	<sup>2)</sup>	<sup>2)</sup>	<sup>2)</sup>
1.2365	229	1.040	o	550	46
1.2343	229	1.020	o	550	48
1.2344	229	1.020	o	550	48
1.2567	235	1.060	o	600	46
1.2581	241	1.150	o	600	48

1) v – voda, o – olje, z – zrak.

2) Za cementiranje.

3) Brez toplotne obdelave; trdota ≈ 300 HB

## 2.5 Tehnologije obdelav orodja

Z izdelavo gravur se uporabljajo različni postopki in njihove kombinacije. Nobeden med njimi ni optimalen za vse primere. Izdelava z mehanskim ali elektrokemijskim odvzemanjem je najbolj razširjena in znana ter daje dobre rezultate. Obenem je najdražja, zahteva visoke naložbe. Pri zelo zapletenih konturah je postopek

odvzemanja časovno potraten, kar pripelje do višjih stroškov. Zaradi tega se v svetu vse bolj širijo tudi alternativne tehnologije [4].

Alternativne tehnologije so obdelava z abrazivnim vodnim curkom, ultrazvočna obdelava, elektroerozijska obdelava, plazemsko rezkanje, lasersko rezkanje, plamensko rezkanje, elektrokemična obdelava in kemična obdelava.

### 2.5.1 Rezkanje

Rezkanje je prekinjen, večrezilni postopek odrezavanja, pri katerem glavno, rotirajoče gibanje opravlja orodje, podajalno gibanje pa se razlikuje glede na stroj in način obdelave. Os vrtenja rezalnega orodja je pravokotna na smer podajanja, kar je ena od ključnih značilnosti, ki razlikuje rezkanje od vrtenja, kjer je os vrtenja vzporedna smeri podajanja [6].

Ločimo dva načina rezkanja [7]:

- obodno rezkanje, ker je os orodja vzporedna s površino, ki se obdeluje, rezanje pa opravljajo rezalni robovi na zunanjem obodu rezalne glave ter
- čelno rezkanje, ker je os orodja pravokotna na površino, ki jo obdelujemo, rezanje pa opravljajo rezalnimi robovi tako na čelni strani kot tudi na obodu rezalne glave.

Glede na vrtenje orodja in smer podajanja se zgornja načina delita še na istosmerno in protismerno rezkanje [7].

Rezkanje se uporablja za obdelavo tako površin kot tudi ukrivljenih površin, navojev, utorov in profilov [8].

### 2.5.2 Brušenje

Brušenje je fini večrezilni odrezovalni postopek, pri katerem odrezavanje opravljajo majhni abrazivni delci, ki so z vezivom povezani v brusno kolo. Abrazivna zrna so lahko različne velikosti in imajo nedefinirano obliko. Glavno vrtilno gibanje opravlja brus, podajalno pa je odvisno od tipa stroja [9].

Načine brušenja ločimo [5]:

- po obliki obdelovanca: zunanje okroglo brušenje, notranje brušenje in plano brušenje ter
- po obliki brusa: profilno brušenje.

Brušenje se uporablja kot končna obdelava skoraj vseh površin, za površino, ki je bila predhodno grobo obdelana, ali za odstranjevanje odvečnega materiala, ki je pretrd, da bi ga lahko odstranili drugi obdelovalni postopki. Natančnost brušenja je v nekaj mikronih ali celo manj [8].

### 2.5.3 Struženje

Struženje je strojni postopek z geometrijsko določenim rezalnim robom, ki ima rotacijsko rezalno gibanje in poljubno prečno translacijsko podajalno gibanje [DIN8589a]. Za kinematično klasifikacijo se vedno upošteva relativno gibanje med obdelovancem in orodjem. Metode struženja lahko razvrstimo z različnih zornih kotov. Na primer različni cilji strojne naloge vodijo do razlikovanja med zaključnim in grobim struženjem. Pri grobem struženju je dosežen visok odvzem materiala. V primeru končnega struženja je cilj doseči visoko raven dimenzij, natančnost in kakovost površine zaradi majhnih presekov nedeformiranega čipa. Prilagodljivost tega proizvodnega procesa omogoča ekonomično uporabo od prototipa in množično proizvodnjo. V primeru avtomatiziranih in NC-operacij se lahko več orodij vključi hkrati med postopkom strojne obdelave, da se zmanjša čas izdelave in poveča stopnja odstranjevanja materiala [6].

Struženje je neprekinjen enorezilni postopek z geometrijsko definiranim rezalnim robom. Glavno rotacijsko gibanje opravlja obdelovanec, orodje pa opravlja prečno translacijsko podajalno gibanje [6].

Ločimo več načinov struženja [6]:

- vzdolžno,
- prečno,
- oblikovno,
- profilno in
- vrezovanje navojev.

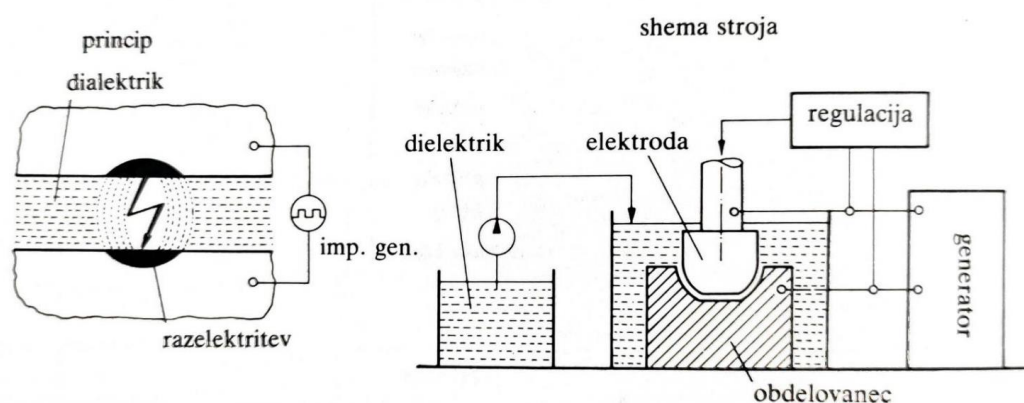
Glede na hitrost odvzema materiala in kakovosti površine razlikujemo med finim in grobim struženjem. Pri grobem struženju je dosežen visok odvzem materiala. V primeru finega struženja je cilj doseči visoko dimenzijsko natančnost in kakovost površine [6].

Zaradi kinematike procesa s struženjem po navadi izdelujemo cilindrične izdelke. Prilagodljivost tega proizvodnega procesa pa omogoča ekonomično obdelavo prototipov in množico proizvedenih kosov [6].

### 2.5.4 Potopna erozija – EDM

Potopna elektroerozija (Slika 8) je odvzemanje materiala s hitrimi zaporednimi preskoki elektrike skozi dielektrično tekočino med orodjem (elektrodo) z obliko izdelka in obdelovancem. Pri vseh elektroerozijskih postopkih sta obdelovanec in orodje spojena z virom električne energije (generatorjem električnih impulzov) in predstavljata elektrodi, med katerima teče proces razelektritev skozi dielektrik, v katerega sta potopljena [4].

Kot dielektrik se uporablja destilirana voda ali emulzija na osnovi naftnih derivatov. Pri vsakem preskoku se del materiala na obdelovancu in elektrodi segreje do vrelišča ter se v obliki male eksplozije pomeša v tekoč dielektrik. »Kraterji« na materialu so premosorazmerni energiji preboja. Ločimo grobo (»šropanje«) in fino obdelavo. Oboje daje hrapavo motno površino brez sledov brušenja. Odtrgani delci se iz rege med obdelovancem in elektrodo odstranijo s tlačnim ali sesalnim izpiranjem in se zadržijo v rezervoarju z dielektrikom. Oba pola napetosti se priključita različno glede na kombinacijo materiala. Elektroda mora imeti odlično toplotno in električno prevodnost ter čim višje tališče. Izdelujemo jih z mehansko obdelavo, hladnim ali vročim vlekrom, plamenskimi nabrizgavanjem ali galvanskim obdelovanjem. Zaradi obrabe moramo delati z več elektrodami. Z mikroerozijo dosegamo točnost pod 1  $\mu\text{m}$  in hrapavost 0,1  $\mu\text{m}$ , tako da je potrebno le še zaključno poliranje. Za visoko obremenjena ali nadaljnje fotojedkanje namenjena orodja postopek ni zadosten [4].



Slika 8: Princip elektroerozije – potopne erozije [4]

Tabela 3 prikazuje materiale za elektrode pri potopni eroziji. Poleg tega tabela obrazloži tudi, kakšna je povprečna obraba elektrod, kako se elektrode predela in kakšna so priporočila za določeno elektrodo.

Tabela 3: Pregled materialov za elektrode [4]

Material za elektrode	Povprečna obraba	Predelava	Priporočila
Volfram	05 2	Vlečenje, brušenje	Male odzračevalne vrtine
Volfram – baker	0,5 2	Odrežovanje, brizganje, litje	Male kompliciranje gravure
Baker – krom	1 5	Odrežovanje, brizganje, litje	Bolje se obdeluje kot Cu
Elektrolitski – baker	1 5	Odrežovanje, brizganje, litje, galvanoform	Najpogostejši
Grafit	1 5	Odvzemanje, prešanje	Za impulz generator boljši od Cu
Medenina	25 40	Odvzemanje, brizg, litje, galvanoform	Predvsem za profilne dele
Jeklo	40	Odvzemanje	Za tuširanje delov orodja
Aluminij	20 30	Litje	Primeren za impulzgenerator
Cink in legure	70 100	Litje	Primeren za impulzgenerator

Potopna erozija omogoča za zahtevne oblike 40 % cenejšo izvedbo gravur kot mehanska obdelava, možno pa je uporabiti vse kovine, tudi na primer sintrane kovine, ki jih zaradi trdote ni mogoče [4].

### 2.5.5 Vrtanje

Vrtanje je neprekinjen, navadno dvorezilni odrezovalni postopek, ki se uporablja za izdelavo lukenj v obdelovanec. Orodje (sveder) opravlja glavno, rotirajoče, kot tudi podajalno gibanje, ki je vzporedno osi rotacije orodja [6].

Posebnosti vrtanja vključujejo [6]:

- hitrost rezanja, ki proti središču svedra pade na nič,
- težko odstranjevanje odrezkov,
- neugodna porazdelitev toplote na rezalni konici,
- povečana obraba ostrih rezalnih robov in
- trenje boka svedra ob steno vrtine.

## 2.6 Tehnologija brizganja gume

Pri brizganju lahko uporabimo različne materiale, najbolj osnovni so termoplasti, lahko pa uporabimo tudi elastomere.

### 2.6.1 Guma z osnovo naravnega kavčuka (NR)

Elastomeri so polimeri, ki so sposobni velike elastične deformacije, če so izpostavljeni relativno nizkim obremenitvam. Nekateri elastomeri lahko prenesejo 500 % ali več raztezka in se še vedno vrnejo v prvotno obliko. Bolj priljubljen izraz za elastomer je guma [7].

Razdelimo jih lahko v dve kategoriji [7]:

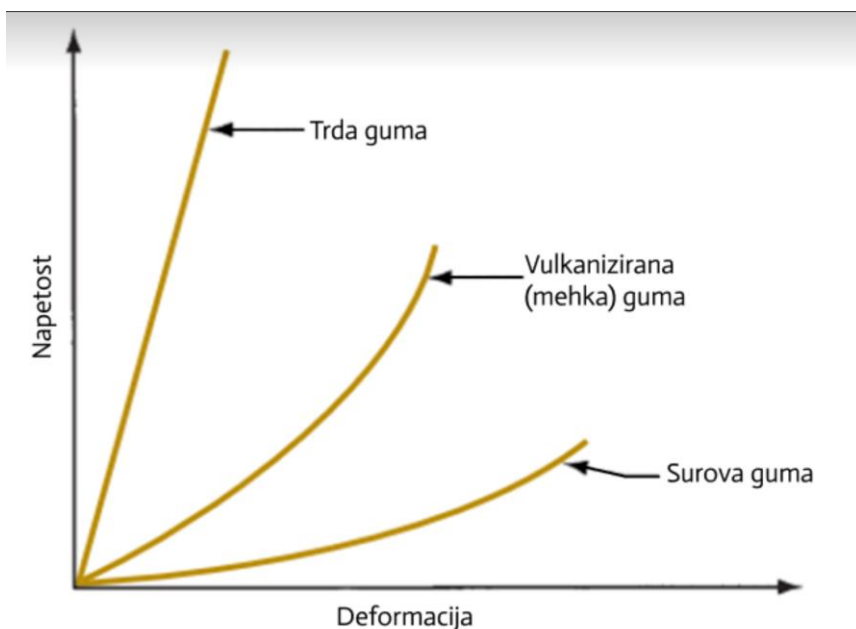
- naravna guma, ki je rastlinskega izvora in
- sintetični elastomeri, proizvedeni s postopki polimerizacije, podobnimi tistim, ki se uporabljajo za termoplastične polimere in duroplaste.

Naravni kavčuk (NR) je sestavljen predvsem iz poliizoprena, polimera izoprena ( $C_5H_8$ )<sub>n</sub> z visoko molekulsko maso. Pridobiva se iz lateksa, mlečne snovi, ki jo proizvajajo različne rastline, med katerimi je najpomembnejša kavčukovec (*Hevea brasiliensis*) [7].

Lateks je vodna emulzija poliizoprena iz 30–35 % kavčuka, 60 % vode in 5–10 % ostalih snovi. Kavčuk se pridobiva iz lateksa z različnimi metodami (npr. koagulacija, sušenje in pršenje), ki odstranijo vodo. Za tvorbo elastomera s koristnimi lastnostmi mora biti naravna guma vulkanizirana. Tradicionalno se je vulkanizacijo doseglo z mešanjem majhnih količin žvepla in drugih kemikalij v surovo gumo in s segrevanjem.



Kemični učinek vulkanizacije so navzkrižno povezane polimerne molekule, mehanski rezultat pa sta povečana trdnost in togost. Dramatično spremembo lastnosti, ki jo povzroča vulkanizacija, je mogoče videti na krivuljah napetosti in deformacije, kot prikazuje Slika 9 [7].



Slika 9: Prikaz napetosti od deformacije za elastomerne zmesi [7]

Z uporabo samo žvepla sicer lahko dosežemo vulkanizacijo, vendar je proces počasen in traja več ur, zato se žveplu dodajajo druge kemikalije za pospešitev vulkanizacije.

Kot inženirski material je vulkanizirana guma uporabna zaradi svoje visoke natezne trdnosti, odpornosti na trganje, zmožnosti povrnitve oblike po deformaciji in odpornosti proti obrabi in utrujanju. Njegove slabosti so, da se razgradi, ko je izpostavljen vročini, sončni svetlobi, kisiku, ozonu in olju. Nekatere od teh omejitev se lahko zmanjša z uporabo dodatkov. Tipične lastnosti in druge podatke za NR prikazuje Tabela 4 [10].

Tabela 4: Lastnosti naravnega kavčuka [7]

Polimer:	Poliizopren (C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> ) <sub>n</sub>
Simbol:	NR
Elastični modul:	18 MPa (2.500 lb/in <sup>2</sup> ) pri 300 % raztežku
Natezna trdnost:	25 MPa (3.500 lb/in <sup>2</sup> )
Raztezek:	700%
Gostota:	0,93
Meja najvišje temperature:	80 °C (180 °F)
Meja najnižje temperature:	-50 °C (-60 °F)
Približni tržni delež:	22 %

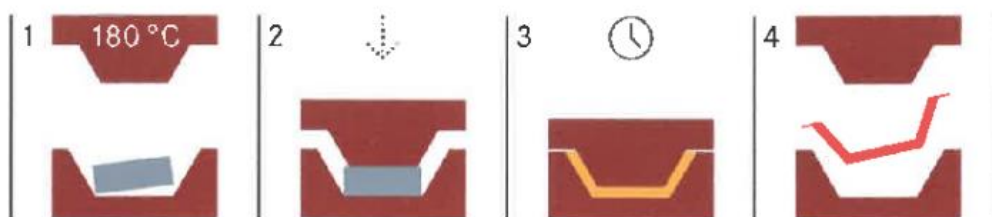
Trdota gume po Shore je merilo odpornosti, ki jo ima material (kot je silikon ali EPDM) proti vtiskovanju, ali preprosto trdota gume. Višja kot je številka, večja je odpornost materiala, kar v splošnem pomeni trši material. Trdoto gume merimo s Shore durometrom. Obstaja več lestvic durometra, pri čemer sta najpogostejši lestvici ASTM D2240 tipa A in tipa D [11].

## 2.6.2 Načini predelave elastomerov

Vsi postopki predelave elastomerov zajemajo v osnovi nekaj glavnih korakov – transfer elastomera v orodje, stiskanje za zapolnitev oblike, gretje in vulkanizacija ter odzjem kosa iz orodja [12].

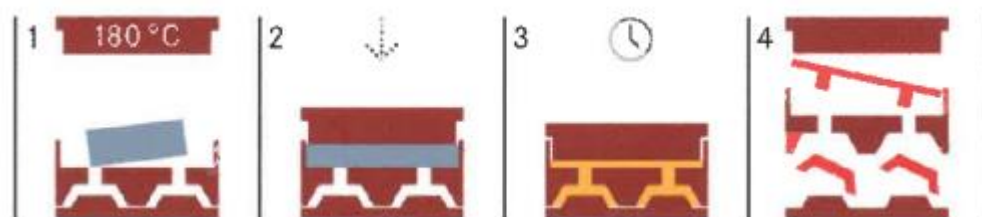
Ločimo naslednje načine predelave [12]:

**Vulkanizacijsko stiskanje** (Slika 10): to je najbolj osnoven način predelave elastomera. Najprej narezane kocke surove gume vstavimo v odprto orodje, guma se nato ob zaprtju orodja razporedi in zapolni gnezdo. Po poteku vulkanizacije izdelek izvzamemo iz orodja. Dolivka pri tem postopku ni, imamo pa veliko odpadnega materiala v obliki prelitja.



Slika 10: Prikaz vulkanizacijskega stiskanja [12]

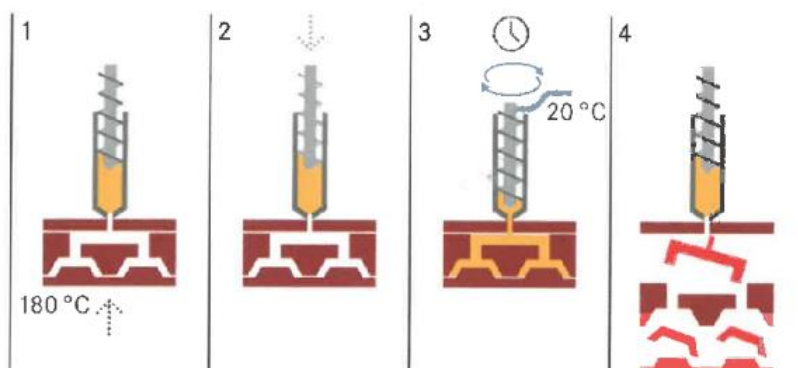
**Transferno stiskanje** (Slika 11): Podobno kot pri vulkanizacijskem stiskanju tudi to v odprto orodje vstavimo narezano kocko gume, vendar tokrat ne neposredno v gnezdo, ampak v transferno posodo. Ob zaprtju orodja nato guma prek dolivnih kanalov steče in zapolni gnezda. Po končani vulkanizaciji moramo iz orodja odstraniti tudi dolivno ploščo [12].



Slika 11: Prikaz transfernega stiskanja [12]

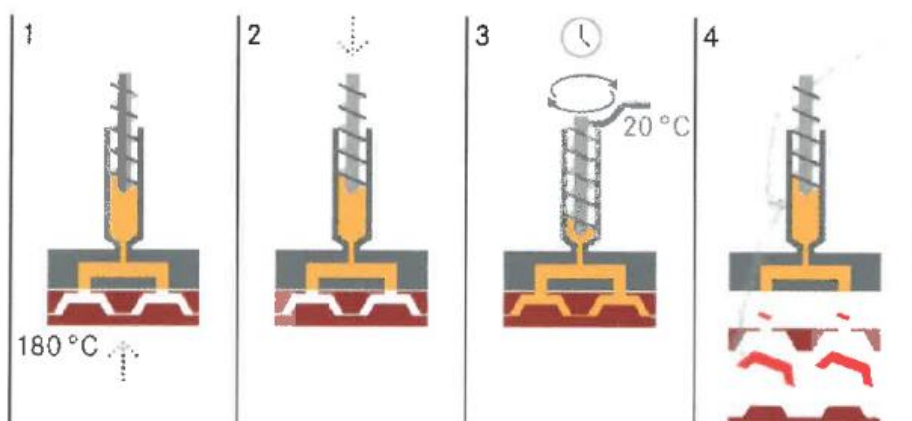
**Brizganje** (Slika 12): Pri tem postopku se doziranje in transfer materiala izvede s pomočjo polža, katerega potiska hidravlični bat. Material se v obliki traku dozira v polž, kjer se segreje in meša. Hidravlični bat nato preko dolivnih kanalov gumo vbrizga v

gnezda. Časi vulkanizacije so nižji zaradi predgretja materiala, prav tako imamo manjšo količino odpadnega materiala zaradi boljšega nadzora nad volumnom vbrizganega materiala [12].



Slika 12: Prikaz brizganja [12]

**Brizganje s hladnim kanalom** (Slika 13): Postopek je enak kot pri navadnem brizganju, le da je na dolivni strani orodja dodatni blok – hladni kanal, ki je hlajen, da preprečimo vulkanizacijo dolivka. Ta proces omogoča dodatno zmanjšanje izmeta, saj gume v dolivku ne zavržemo, temveč je uporabljena v naslednjem ciklu brizganja [12].



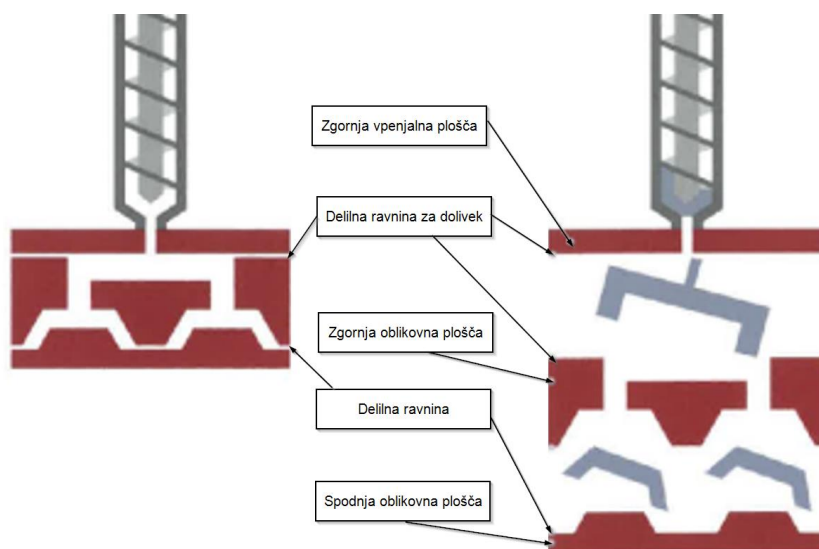
Slika 13: Prikaz brizganja s hladnim kanalom [12]

**Ostali postopki:** Poznamo tudi druge postopke predelovanja gume, kot so na primer: kompresijsko brizganje, transferno brizganje, transferno brizganje s hladnim blokom. Ti načini so kombinacije zgoraj naštetih procesov in združujejo dobre lastnosti več procesov [12].

### 2.6.3 Orodja za brizganje gume

Orodja za brizganje so sestavljena iz posameznih plošč, s katerimi se oblikujejo izdelki in dolivki. Na splošno se uporablja čim manj posameznih plošč, da se minimizira stroške in srh. Srh je nezaželen oz. nefunkcionalen material, ki ostane na mestu, kjer se združita dve različni plošči orodja in prihaja do prelivanja. Velikost srha je različna

glede na stopnjo natančnosti izdelave ujema med dvema ploščama. Bolj kot se plošči med seboj ujemata, manjši je srh. Različne plošče orodja prikazuje Slika 14 [12].



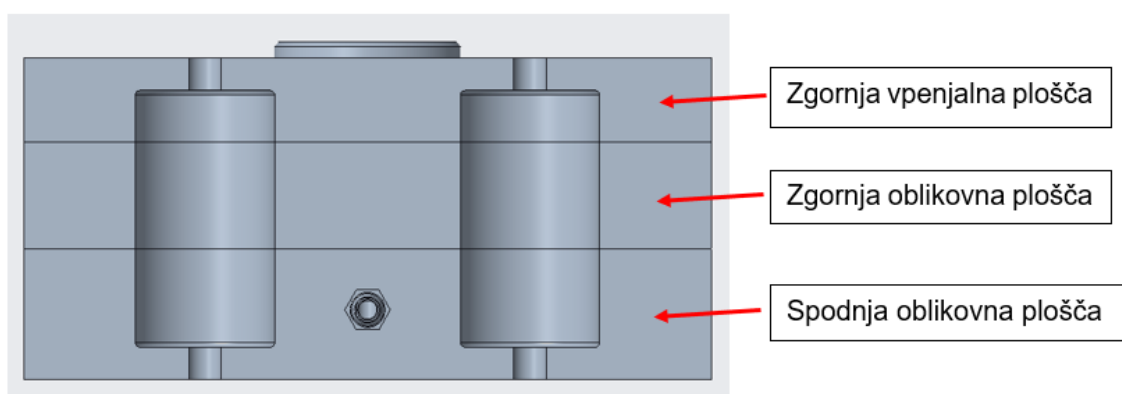
Slika 14: Prikaz slike posameznih plošč na odprtem orodju [12]

Vsak stroj mora imeti tudi grelne elemente, ki skrbijo za dovolj visoko temperaturo, da lahko poteče proces vulkanizacije, ter odzračevalne kanale, ki so povezani z vakuumsko črpalko, kar preprečuje ujemanje zraka in dvig tlaka v gnezdu [13].

Ker imamo tako veliko procesov brizganja gumenih zmesi, potrebujemo orodja različnih velikosti, različnih namenov, osnovna, zahtevnejša in tako dalje.

V našem primeru orodje spada pod osnovno, saj je sestavljeno le iz treh plošč in standardnih elementov. Slika 15 prikazuje sestavo osnovnega orodja za brizganje gume.

Prototipna orodja so manjša orodja, s katerimi testiramo skrčke na izdelku, zalivanje izdelka, zapiranje zraka (zračni mehurčki), zbijanje kosov in delilno ravnino. Serijsko orodje pa je večje in bolj kompleksno.



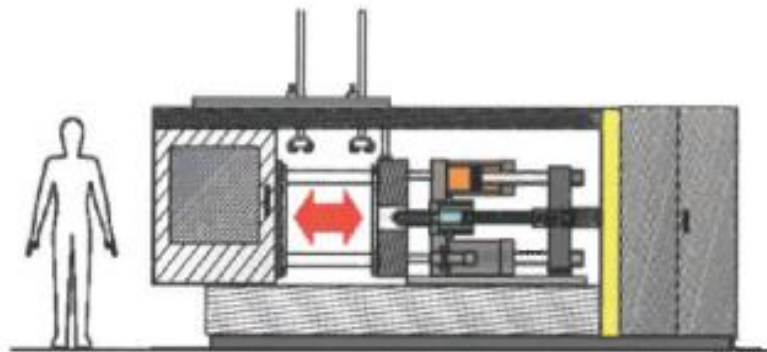
Slika 15: Prikaz sestave osnovnega orodja

## 2.6.4 Stroji za brizganje gume

Stroji se med seboj razlikujejo po velikosti vpenjalnih plošč in zapiralni sili. Ločimo vertikalne in horizontalne izvedbe strojev za brizganje gume, odvisno od smeri odpiranja orodja [12].

**Horizontalni stroji** (Slika 16) [12]:

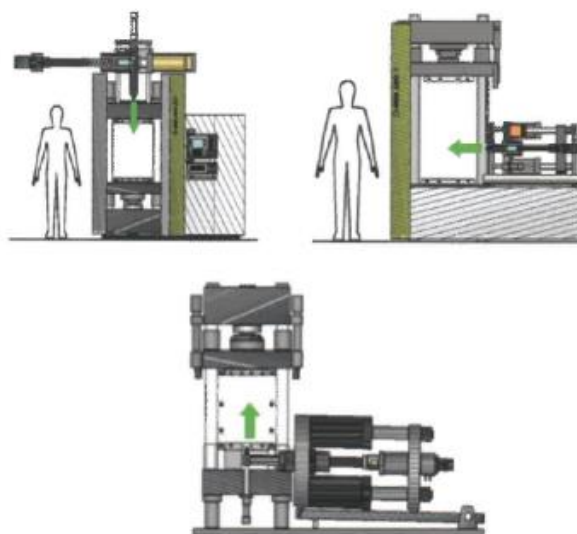
- primerni za majhne izdelke brez vložkov,
- možnost avtomatizacije procesa (gravitacija pomaga pri izmetu izdelka) ter
- centralni vbrizg v orodje.



Slika 16: Prikaz horizontalnega brizgalnega stroja [12]

**Vertikalni stroji** (Slika 17) [12]:

- primerni za izdelavo kosov z vložki,
- delavec upravlja stroj ter
- več izvedb oz. lokacij vbrizgavanja (centralno od zgoraj, centralno od spodaj, vbrizgavanje prek delilne ravnine).



Slika 17: Prikaz vertikalnega stroja za brizganje [12]

### 3 EKSPERIMENTALNI DEL

V eksperimentalnem delu smo se najprej lotili pregleda zahtev kupca, na podlagi katerih smo nato skonstruirali orodje. Ko smo izdelali posamezne komponente prototipnega orodja, smo ga sestavili v celoto. Na njem smo izvedli tudi meritve in testiranja, da smo se prepričali o ustreznosti izdelave.

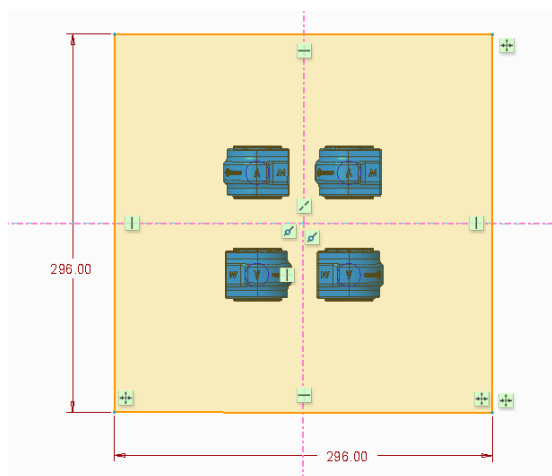
#### 3.1 Pregled zahtev kupca

Material, ki smo ga imeli predpisanega na risbi, je naravni kavčuk trdote 50 Shore A. Prek materiala nato upoštevamo skrček, ki smo ga dobili iz internih testiranj v laboratoriju. S strani kupca smo imeli predpisano 4-gnezdno prototipno orodje. Ker smo imeli za serijsko orodje predpisana kosa A in B, smo prototipno orodje izdelali le za kos A. Kosa sta si med seboj zelo podobna, zato ni potrebno izdelati novega prototipnega orodja, ampak samo dodatni oblikovni vložek za kos B. V prilogi 1 se nahajajo vse zahteve kupca, ki jih v tej nalogi lahko tudi razkrijemo.

#### 3.2 Konstruiranje prototipnega orodja

Po pregledu zahtev kupca smo si morali načrtovati časovnico, da ne zamudimo z roki oddaje, testiranj in prvih kosov.

Po časovnici smo se lotili konstruiranja orodja po vrsti. Najprej smo preverili, kaj vse kupec zahteva od nas, in nato začeli z razvojem. V prvem koraku je treba preveriti, koliko kosov je v orodju. To zahtevo in hkrati odgovor pri kupcu smo prejeli, da je orodje 4-gnezdno. Nato smo morali pregledati zahteve glede velikosti orodja in na kateri stroj bomo orodje vpeli. Ker imamo v podjetju Siliko d.o.o. določena kupčeva orodja že izdelana, imamo tudi prakso, da je 4-gnezdno orodje primerno za brizgalni stroj proizvajalca LWB z oznako 30. Dimenzije delovne mize na stroju so 296 x 296 mm. Slika 18 prikazuje dimenzije delovne mize na stroju, velikost orodja in usmerjenost kosov.

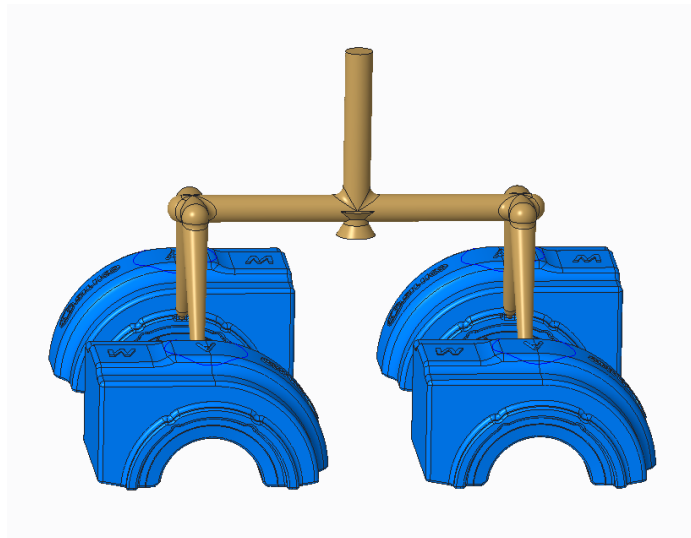


Slika 18: Prikaz dimenzije orodja, položaja in usmerjenosti kosov

Ker imamo predpisano 4-gnezdno orodje, je treba kose na orodju tudi pravilno usmeriti, da bodo imeli enako točko, kjer bo dolivek in bo gumena zmes tekla najbolj optimalno. Pri našem kosu gre za orodje, kjer so kosi simetrični, kar pomeni, da bodo vsi 4 kosi v orodju enaki. Imamo tudi primere, ko gre za nesimetrične kose. V primeru simetričnih kosov so v orodju lahko usmerjeni v isto smer, lahko pa so obrnjeni za  $180^\circ$  v horizontalni ravnini. Tukaj se konstruktor sam odloči, kako jih bo postavil, vendar je za kos v večgnezdnem orodju boljše, da je dolivna točka na enakem mestu. To pomeni, da je dolivna točka na vseh 4 kosih na enakem mestu, tako imajo vsi kosi enake brizgalne pogoje.

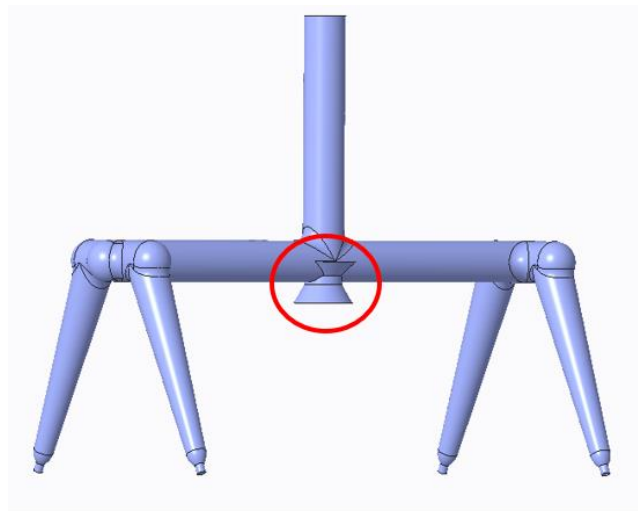
S strani kupca prejmemo step datoteko našega končnega izdelka, ki je definiran po risbi v določenih tolerancah. To pomeni, da če bi uporabili kos tak, kot je, bi na koncu imeli nabrizgan kos, ki je zunaj toleranc. Zaradi tega se moramo v vsakem primeru še spustiti tudi na raven materialnih lastnosti in upoštevati skrček. Skrček definira, za koliko se zmanjša velikost kosa med procesom vulkanizacije, ko naš kos preide v ohlajeno stanje (sobna temperatura). Za vsak material imamo različne empirično določene vrednosti, v našem primeru moramo upoštevati skrček naravnega kavčuka. Ta ima določen razpon vrednosti skrčka, v našem primeru pa upoštevamo 2 %.

Dolivni sistem je del orodja, prek katerega dovajamo tekočo gumeno zmes v oblikovni del orodja. Tukaj si moramo vzeti čas, da pripravimo pravi položaj dolivkov, da bo vsako gnezdo v celoti zapolnjeno. Elastomerne zmesi, v našem primeru naravni kavčuk, so nekoliko drugačne kot termoplasti. Zaradi tega moramo biti pozorni, da se izvedejo numerične simulacije, prek katerih analiziramo tek materiala po orodju in hkrati zagotovimo, da bo elastomerna zmes pravilno zalila kos. Numeričnih simulacij se v okviru diplomskega dela ni izvedlo, ker imamo v podjetju veliko podobnih orodij in se je upoštevalo že narejene simulacije. Poleg tega pazimo na potencialno ujemanje zraka po obliki kosa v orodju, kar lahko privede do nezvulkaniziranega kosa. Kot rečeno, imamo v podjetju zelo raziskane gumene zmesi, kar nam v večini primerov olajša definiranje oz. izbiro dolivnega sistema. Dolivni sistem se razlikuje le v tem, kako si ga konstruktor zamisli, da je dolivna točka na nemotečem oziroma nefunkcionalnem delu in v primeru estetskih kosov na čim bolj skritem, nevidnem delu. V našem primeru smo položaj dolivnega sistema postavili na stran, ker je pri tem kupcu že določeno, da je to najbolj optimalno. Slika 19 prikazuje dolivni sistem v orodju.



Slika 19: Prikaz dolivnega sistema v orodju

Dolivek smo morali skonstruirati tako, da smo pri tem upoštevali, kako se orodje odpira in kje bomo dolivek odstranili. Postaviti smo ga morali na sredino in ga podaljšati oziroma povečati za toliko, da je prišel v drugi del orodja, pri tem pa upoštevati zadrževanje (Slika 20). Zadrževanje je del dolivka, ki služi za zadrževanje, v orodjarskem jeziku oziroma konstruktorskem jeziku pa je to negativna geometrija v plošči, kar zagotovi, da dolivek ostane na določenem mestu. V našem primeru, da ostane na zgornji vpenjalni plošči.



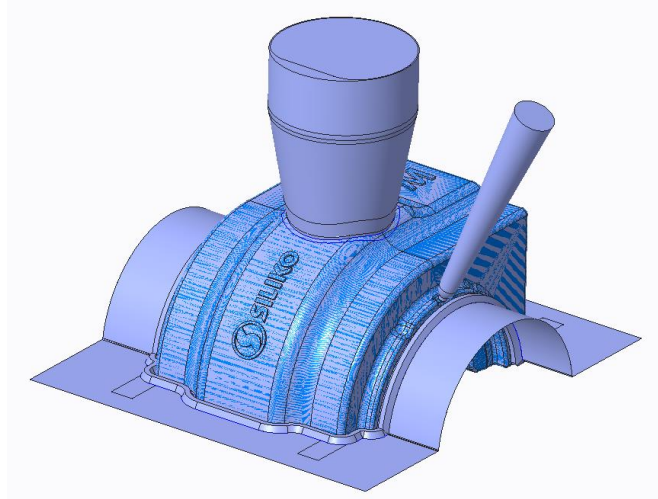
Slika 20: Negativna geometrija na dolivku

Po postavitvi in orientaciji kosov v določeni velikosti orodja je treba določiti delilno ravnino. Delilna ravnina je linija, ki na kosu loči spodnjo oblikovno ploščo od zgornje oblikovne plošče. Ker se obe oblikovni plošči v realnem stanju ne zapreta popolnoma, se pri gumenih izdelkih na delilni ravnini lahko pojavi srh oziroma prelitje, če je orodje preveč zapolnjeno z materialom. Za gumene izdelke je značilen iztis, ki se ga upošteva



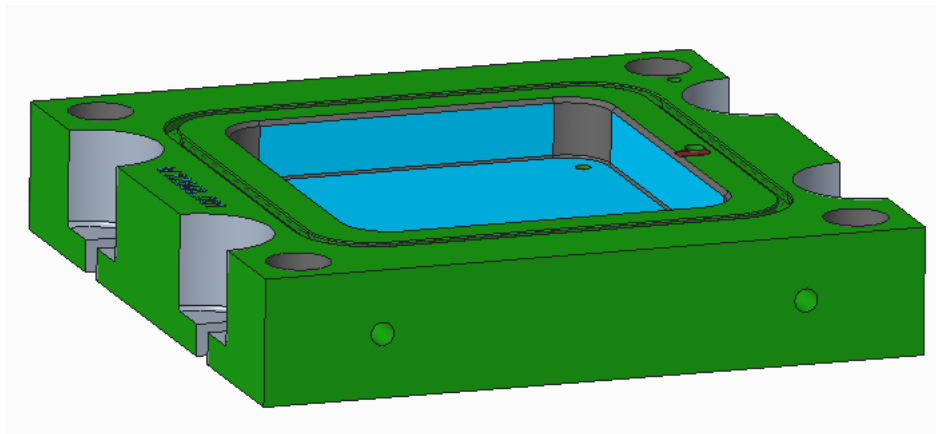
okoli kosa. Iztis je dodatna geometrija okoli kosa, ki zagotavlja, da gumena zmes pri brizganju vedno zapolni celotno obliko kosa.

Pri nabrizganih kosih iztis nato predstavlja odvečni material, ki se loči od brizganega kosa in ga zavržemo. Slika 21 prikazuje kos, na katerem je delilna ravnina, in vse reference za konstrukcijo dolivnega sistema, oblikovnega vložka, iztis in odzračevanje.



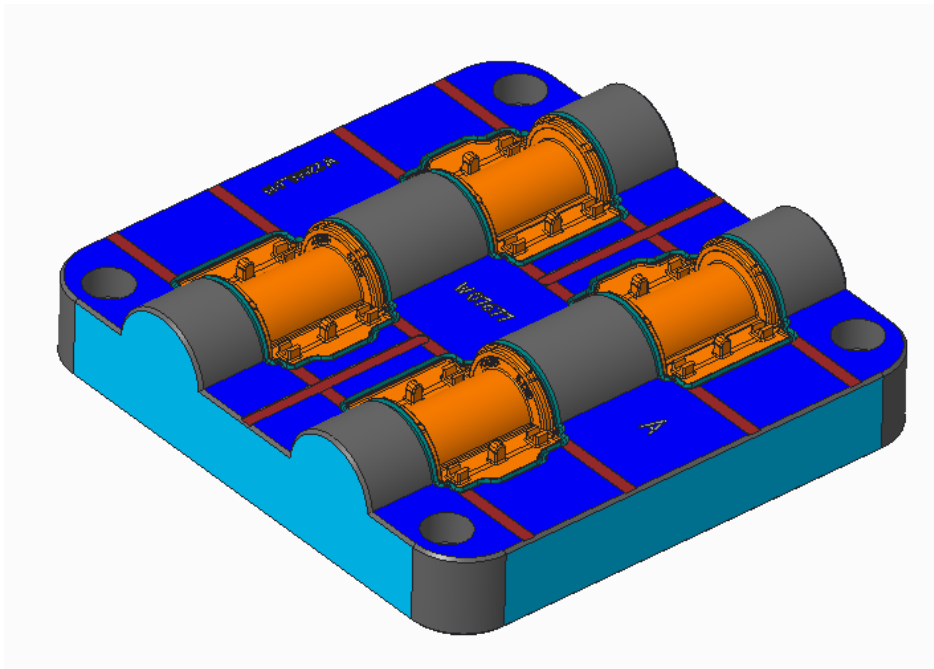
*Slika 21: Prikaz delilne ravnine in referenčne geometrije*

Ko imamo definirane osnovne referenčne geometrije orodja na izdelku, lahko skonstruiramo še ogrodje orodja, to pomeni spodnjo oblikovno ploščo, zgornjo oblikovno ploščo in zgornjo vpenjalno ploščo. Na spodnji oblikovni plošči (Slika 22) naredimo utor, v katerega se nato vstavi tesnila vrvice. Ta zatesni orodje, ki ga priključimo na podtlak, ki pomaga pri tečenju materiala, da dobimo polne kose.



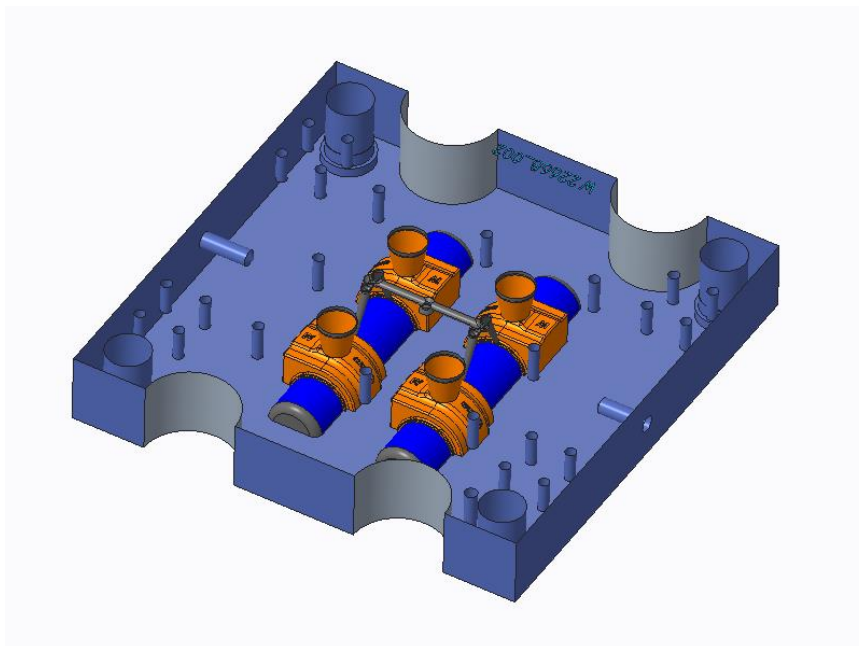
*Slika 22: Prikaz spodnje oblikovne plošče*

V spodnjo oblikovno ploščo nato pride tudi oblikovni vložek (Slika 23). Za kupčeve kose v podjetju velikokrat dobimo podobne izdelke, imajo le različne velikosti radijev in zato zaradi prevelikih stroškov izdelave orodja skonstruiramo oblikovne vložke posebej in jih lahko kasneje menjamo, kar je glavna značilnost modularnih orodij.



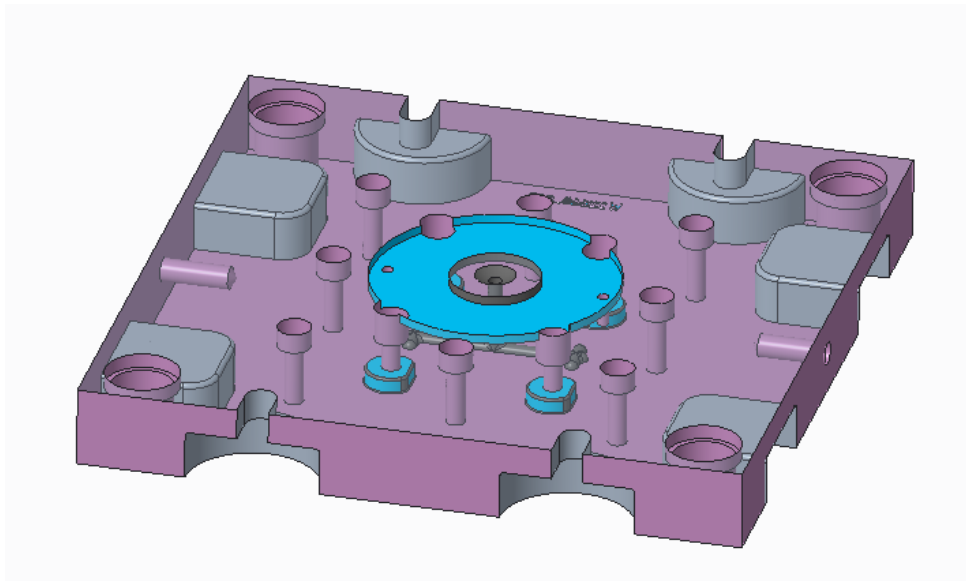
*Slika 23: Prikaz oblikovnega vložka*

Nad spodnjo oblikovno ploščo se nahaja zgornja oblikovna plošča (Slika 24), katere namen je, da odstranimo dolivek in kose s spodnje oblikovne plošče.



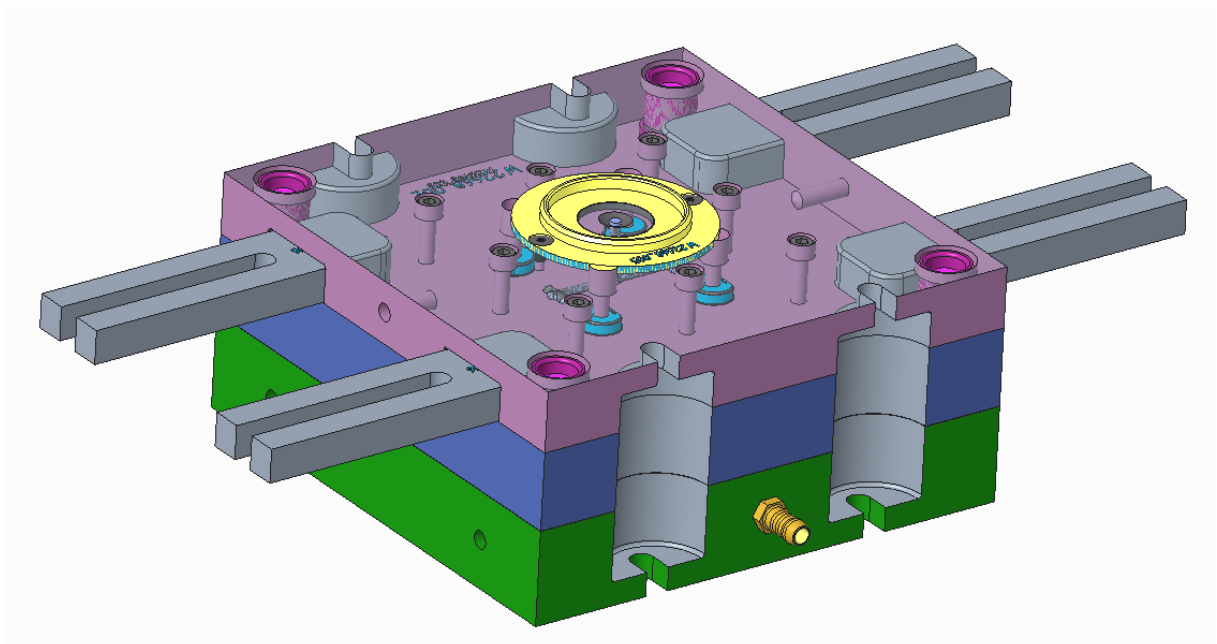
*Slika 24: Prikaz zgornje oblikovne plošče*

Zadnja oblika ogrodja orodja je zgornja vpenjalna plošča (Slika 25). Na našem stroju, ki je vertikalno usmerjen, je to fiksno vpleta plošča v orodje.



Slika 25: Prikaz zgornje vpenjalne plošče

Ko imamo ogrodje orodja načrtano, nanj namestimo še posamične standardne elemente, kot so centrini obroč, vodilni stebri, vijaki različnih dimenzij, vpenjalne roke in vakuumski priključek (Slika 26).



Slika 26: Prikaz celotnega sestava orodja

### 3.3 Izdelava orodja

Pred začetkom fizične izdelave orodja moramo narediti načrt oz. program, kako bomo posamezno komponento izdelali na obdelovalnem stroju. Za vsako ploščo se naroči surovce, ki se jih potem obdelava s pomočjo obdelovalnih postopkov.

### 3.3.1 CAM-programiranje

Po tem, ko smo izdelali orodje v Creo Parametrics 4.0, smo izdelali vso potrebno dokumentacijo za vsak del posebej. Model nato v datoteki .step pošljemo v oddelek CAM-programiranja, kjer za vsak del izdelajo programe, da lahko surovce nato vrnemo v stroj in obdelamo. Ker imajo posamezni deli orodja različne oblike, je treba preveriti, katera oblika se lahko naredi na katerem stroju. Za tem se sestavijo koraki, kako se bo orodje izdelalo. Vsak kos posebej nato dobi primerno velikost surovca skupaj s spisanim programom in gre na različne obdelave.

### 3.3.2 Rezkanje, brušenje, vrtanje in potopna erozija

Prvi in osnovni postopek je brušenje, s katerim na surovcu dobimo osnovno površino. Surovce se vrne na delovno mizo in se jih v stroju v programu umesti v prostor, tako da stroj pobrusi surovec, kot želimo.

Nato sledi rezkanje oz. freziranje, za katero je spisan program za vsak del orodja posebej. Obdelan surovec po brušenju nato postavimo na delovno mizo rezkalnega stroja ter v stroj vstavimo program za rezkanje. Pri tem moramo zagotoviti, da je usmerjenost plošče pravilna, saj postopek rezkanja izvedemo na vseh straneh plošče. Slika 27 prikazuje vpeti obdelovanec na delovni mizi rezkalnega stroja.



*Slika 27: Prikaz obdelanega surovca – zgornja vpenjalna plošča*

V naslednjem koraku se na risbi preveri, kje na kosu so potrebne luknje. Če se lukenj ne more narediti na stroju za rezkanje, obdelovanec peljemo na stroj za vrtanje, kjer uporabimo vrtalne stroje, za katere je predpisan program in pripravljena dokumentacija za izdelavo. Obdelovanec vrnemo na delovno mizo, vstavimo parametre programa in zaženemo stroj.

Določene oblike ne moremo narediti z rezkalnim strojem, zato je najbolj primeren postopek potopne erozije. Slika 28 prikazuje stroj za potopno erozijo.



*Slika 28: Prikaz stroja za potopno erozijo*

Da lahko izvedemo postopek potopne erozije, je treba izdelati elektrodo. To izvedemo na način, da porezkamo surovec iz grafita na določeno obliko. Po vseh strojnih obdelavah sledi ročna montaža orodja v ročni orodjarni.

### **3.3.3 Sestava orodja**

V ročni orodjarni se pri vsakem delu orodja odstrani ostre robove s pomočjo brusilne naprave. Nato se v luknje, kjer je na risbi predpisano, navrta navoje. Nato sledita sestava orodja po delovni risbi in dodajanje standardnih elementov. Poleg tega v spodnjo oblikovno ploščo pride tudi tesnilna vrstica, ki služi za tesnjenje med uporabo podtlaka. Ko je orodje sestavljeno, sledi postopek tuširanja, s katerim preverimo, da je zapiralna površina v celoti funkcionalna in orodje tesni.

### **3.3.4 Meritve sestavljenega orodja**

Ko je orodje sestavljeno in pripravljeno za uporabo, se ga pelje še na meritve na CMM-stroju. S pomočjo teh meritev se preveri, da je orodje v predpisanih tolerancah, kot smo jih predpisali na konstruiranem izdelku.

### **3.3.5 Testiranje orodja**

Po vseh meritvah je orodje pripravljeno za uporabo in testiranje prvih prototipnih kosov. V podjetju Siliko, d. o. o., imajo posebni prostor, imenovan Tehnikum, v katerem se testira vsa na novo narejena orodja, to pomeni od prototipnih osnovnih orodij pa vse do velikih serijskih orodij. Orodje smo v Tehnikumu vpeli na stroj LWB 30 (Slika 29).



*Slika 29: Prikaz orodja na stroju LWB 30*

Tabela 5 prikazuje osnovne karakteristike brizgalnega stroja LWB 30.

*Tabela 5: Lastnosti brizgalnega stroja LWB 30*

Lastnosti brizgalnega stroja:	
Zapiralna sila [kN]	300
Volumen brizga [ccm]	250
Tip brizgalnega stroja	Vertikalni brizgalni stroj
Velikost grelne plošče (š) [mm]	269
Velikost grelne plošče (d) [mm]	269
Razdalja med ploščami odprtega stroja [mm]	380
Zapiralni gib [mm]	295
Minimalna višina orodja [mm]	85
Gib zgornjega separatorja [mm]	200
Število separatorjev	1
Premer centrirnega obroča [mm]	72
Premer luknje na šobi [mm]	Φ 6
Radij šobe [mm]	R12,5
Električna moč [kW]	30

Pri tem smo na podlagi že obstoječih orodij prilagodili parametre brizganja in pognali prvi cikel. Prek testiranj v Tehnikumu smo nato izdelali nastavno kartico stroja za to

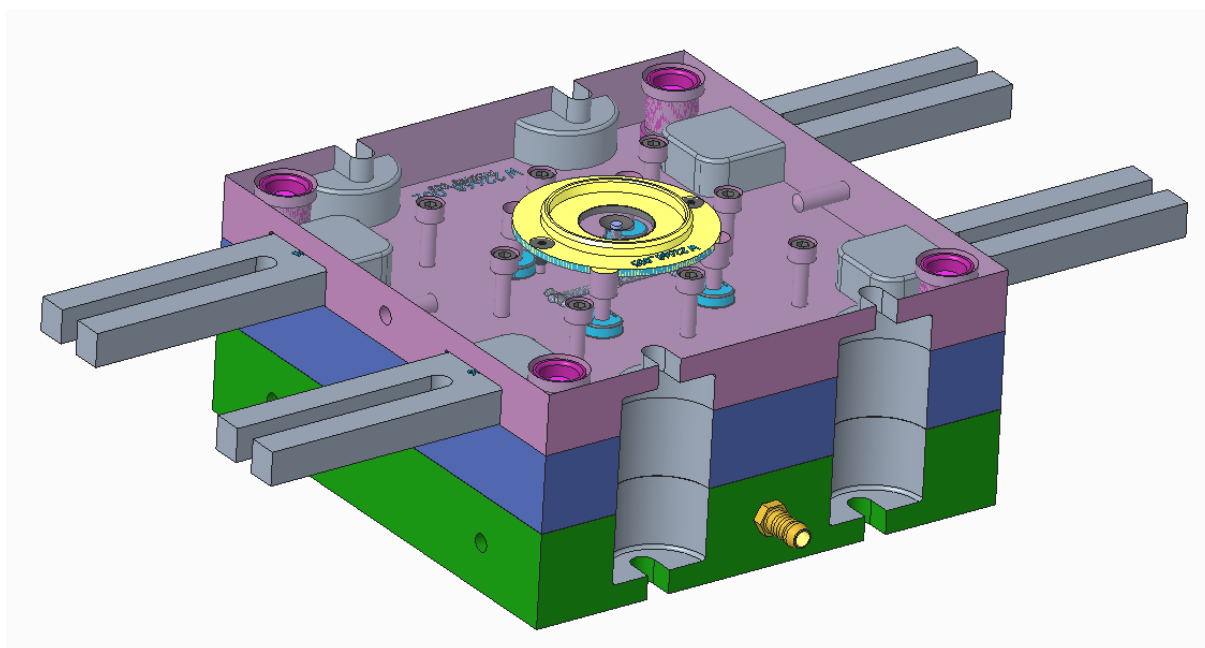
specifično orodje (priloga 2), ki nam prikazuje parametre, ki se nastavijo, da dobimo ustrezno nabrizgane kose. S pomočjo Tehnikuma na orodju odkrijemo tudi določene napake, na primer, če je konstruktor naredil kakšno napako ali pa če je orodje bilo v katerem od postopkov nepopolno obdelano. V primeru, da se določene oblike ni ustrezno porezkalo, kos ni pravilne oblike in orodje lahko popravimo s postopki varjenja in ponovnega postopka strojnega obdelovanja ter ročne montaže.

## 4 REZULTATI IN DISKUSIJA

V diplomskem delu smo opisali konstrukcijo in izdelavo prototipnega orodja za brizganje gume. Do končnega rezultata smo prišli z izpolnjevanjem načrtanih ciljev, ki so nas vodili skozi posamezno stopnjo konstrukcije in izdelave orodja ter na koncu do ustrezno nabrizganega kosa.

### 4.1 Konstrukcija orodja za prototipni gumeni kos

Naloga diplomskega dela je bila skonstruirati prototipno orodje. Pri tem smo se morali naučiti uporabljati modelirni program in njegovo ozadje. Hkrati smo morali upoštevati tudi vse določene zahteve, ki nam jih je kupec podal. Na koncu smo prišli do rezultata. Slika 30 prikazuje končno obliko skonstruiranega orodja.



*Slika 30: Skonstruirano prototipno orodje za gumo*

Pri tem smo se naučili, na katere stvari je treba biti pozoren pri zasnovi in kasnejši konstrukciji orodja. Sodobna programska oprema nam močno olajša celotno konstrukcijo orodja, ki ga v veliki večini sestavimo iz standardnih elementov, ki jih imamo v knjižnici programa. Največji izziv nam je podobno kot v večini primerov konstrukcije orodja predstavljal dolivni sistem, predvsem njegova oblika za optimalno in enakomerno brizganje posameznih kosov.

### 4.2 Postopek konstruiranja

Postopek konstruiranja orodja se je začel z osnovnim kosom in z umestitvijo v prostor. Nato smo osnovnemu kosu upoštevali predviden skrček materiala, da bomo na koncu imeli kos pravih dimenzij. Za tem smo povečanemu kosu načrtali delilno ravnino, ki predstavlja umestitev kosa v orodje. Potem smo kosu določili dolivno točko in oblikovali



dolivni sistem. Ker smo imeli zahtevo, da je orodje 4-gnezdno, smo povečanemu kosu z vsemi referenčnimi oblikami dodali še 3 kose, ki smo jih umestili v prostor, pri tem pa pazili na usmerjenost. Nato smo definirali še končno obliko in velikost orodja. Nazadnje smo orodju dodali še vse standardne elemente in ga oblikovali v celoto.

### 4.3 Proces izdelave orodja

Po končanem konstruiranju smo orodje opremili z dokumentacijo in ga poslali na programsko načrtovanje za strojno izdelavo. Orodje je nato bilo obdelano po vseh postopkih strojne obdelave (rezkanje, brušenje, vrtanje, potopna erozija) in ročne obdelave (pobiranje ostrih kotov, vrezovanje navojev, tuširanje in sestavljanje). Končno izdelano orodje prikazuje Slika 31.



Slika 31: Prikaz izdelanega orodja

### 4.4 Proces brizganja gumenih kosov

Ko je bilo orodje narejeno, smo izvedli testna brizganja na stroju LWB 30. Glavni namen testnega brizganja je bilo definiranje procesnih parametrov (priloga 2), s katerimi iz orodja dobimo ustrezni kos, to pomeni kos, ki dimenzijsko, oblikovno in funkcionalno izpolnjuje kupčeve zahteve. Slika 32 prikazuje kos, ki ustreza vsem kupčevim zahtevam.



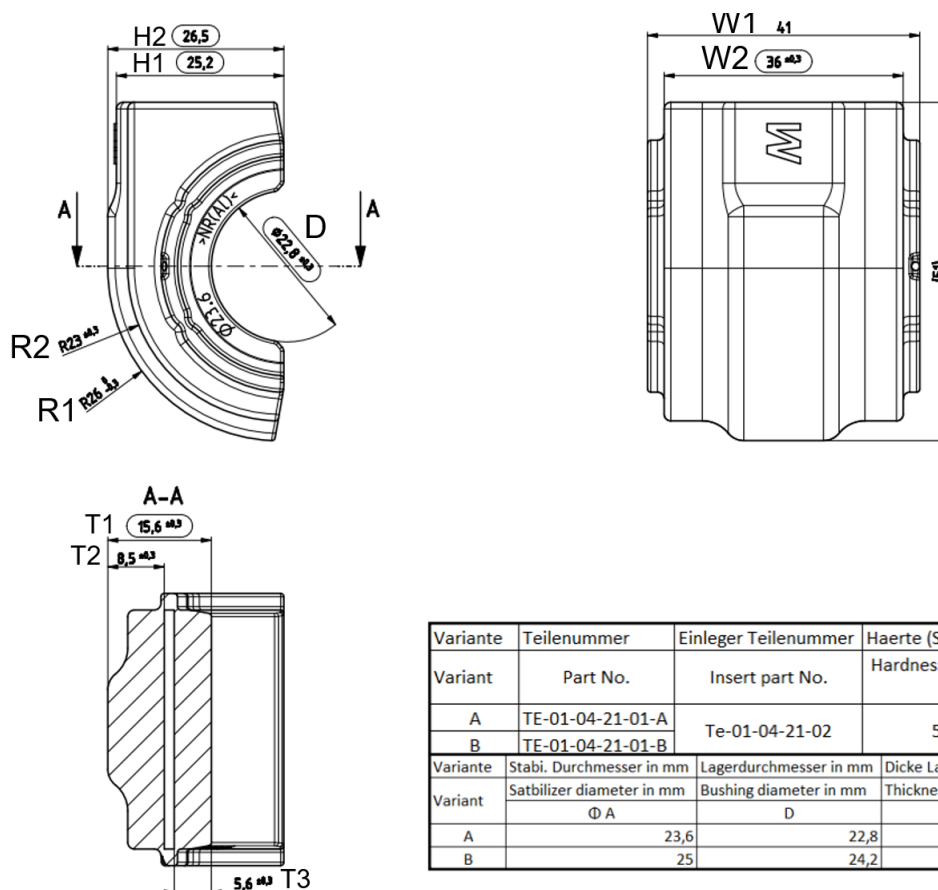
Slika 32: Prikaz brizganega kosa

## 4.5 Meritev kosov

Kose, ki smo jih nabrizgali, odnesemo na meritve, kjer preverimo, da je kos ustreznih dimenzij in parametrov, ki jih je predpisal kupec. Meritve so izdelane na 2D optični kameri in z višinomerom. Tabela 6 prikazuje zbrane rezultate meritev, ki prikazujejo, da je kos v večini meritev znotraj toleranc. Za meritve izven toleranc pa je kupec potrdil ustreznost kosa. To pomeni, da smo prototipno orodje skonstruirali pravilno. Slika 33 prikazuje definirane tolerance na kosu. Masa nabrizganega kosa je 38,25 g, trdota je 50 ShA.

Tabela 6: Rezultati meritev nabrizganih kosov

Št. meritve	D 22,8	R1 26	R2 23	W1 41	W2 36	H1 25,2	H2 26,5	T1 15,6	T2 8,5	T3 5,6
1	23,1	26,21	23,17	40,94	35,97	25,16	26,44	15,17	8,45	5,59
2	23,07	26,01	23,14	40,95	36,02	25,14	26,42	15,14		
3	23,11	25,99	23,12	40,97	35,97	25,15	26,44	15,16		
4	23,1	26,11	23,02	40,97	35,95	25,13	26,41	15,14		



Variante	Teilenummer	Einleger Teilenummer	Haerte (Shore A / Richtwert)	
Variant	Part No.	Insert part No.	Hardness (Shore A / nominal value)	
A	TE-01-04-21-01-A	Te-01-04-21-02	50 +/- 3 Sh. A	
B	TE-01-04-21-01-B			
Variante	Stabi. Durchmesser in mm	Lagerdurchmesser in mm	Dicke Lager in mm	Gewicht in g
Variant	Satbilizer diameter in mm	Bushing diameter in mm	Thickness in mm	Weight in g
	Φ A	D	T	
A	23,6	22,8	5,6	35
B	25	24,2	4,9	34

Slika 33: Prikaz kupčevih zahtev

## 5 SKLEP

Cilj diplomskega dela je bil skonstruirati prototipno orodje za brizganje gume, ki ga je naročil kupec po svojih zahtevah. Na začetni stopnji je bilo treba izdelati konstrukcijo in potrebno dokumentacijo. Skozi celoten proces konstruiranja smo naleteli na določene izzive, ki pa smo jih uspešno sproti premagovali. Ko je bilo orodje skonstruirano, je bilo izdelano v interni orodjarni podjetja, ki ponuja vse glavne postopke izdelovanja in obdelovanja komponent orodja. Posamezne izdelane komponente orodja so bile po izdelavi pomerjene v interni merilnici podjetja, da smo se prepričali o natančnosti izdelave. Vse izdelane komponente orodja so bile znotraj predpisanih toleranc in skupaj s standardnimi elementi smo jih sestavili v končno obliko orodja. Orodje smo namestili na ustrezen stroj in ga testno zagnali. Z začetnim testiranjem smo določili ustrezne parametre brizganja, s končnimi testiranjmi pa smo prišli do načrtanega cilja in pridobili funkcionalni kos.

Pri brizganju kosov smo morali biti pozorni, kako lahko proces brizganja vpliva na kakovost rezultatov. Pri tem smo morali vsak kos pregledati, da se ne poznajo sledi delilne linije na kosu, pri prvih brizgih pregledati zapolnjenost oz. gostoto kosa ter paziti, da se med brizganjem v kosu niso nabirali zračni mehurčki. Vse to smo uredili v prvih brizgih s pravnimi parametri, ki so zapisani v prilogi 2. Nato smo dobili estetsko oz. vizualno sprejemljiv in kakovosten kos.

Izdelane kose smo nato premerili in iz dobljenih meritev videli, da so vse kontrolne dimenzije, definirane s strani kupca večinoma znotraj predpisanih toleranc. Tiste, ki pa niso pa smo dobili kupčevo potrditev o ustreznosti kosa, saj ne vplivajo na funkcionalnost. Iz tega sledi, da je bilo prototipno orodje skonstruirano pravilo, saj kos iz tega prototipnega orodja ustreza zahtevam.

V diplomskem delu smo morali najbolj paziti, da smo se držali kupčevih zahtev. V primeru odstopanj od zahtev bi imeli interne visoke stroške, saj orodje ne bi bilo funkcionalno in bi zato morali izdelati novo. V najslabšem primeru pa bi lahko podjetje ostalo brez stranke, saj ne bi bili dovolj zanesljivi dobavitelji kosov.

Ob konstruiranju orodja smo pridobili veliko novih znanj, hkrati pa tudi veliko novih pogledov, s kakšnimi izzivi se spopadajo konstruktorji v moderni tehnologiji. Vsa znanja nam bodo pri nadaljnji poslovni poti na področju dela v industriji v veliko korist.

**SEZNAM LITERATURE IN VIROV**

- [1] Siliko d.o.o., (n.d.). <https://www.siliko.si/> (accessed July 3, 2022).
- [2] Stanislav Pehan, Metodika konstruiranja, 2005.
- [3] Key Differences Between Production and Prototype Tooling, (n.d.). <https://www.gtvinc.com/key-differences-between-production-and-prototype-tooling/> (accessed July 3, 2022).
- [4] Janez Navodnik, Mateja Kopčič, Plastik - orodjar, 2. dopolnjena izdaja, Navodnik d. o. o., Velenje, 1995.
- [5] Krautov strojniški priručnik, 17. izdaja; 3. natis, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 2022.
- [6] Fritz Klocke, Manufacturing Processes 1, 1st ed., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011.
- [7] Fundamentals-of-Modern-Manufacturing-Materials-Processes-and-Systems-Mikell-P.-Groover-z-lib.org, (n.d.).
- [8] R. Singh, Introduction to Basic Manufacturing Processes and Workshop Technology, n.d.
- [9] F. Klocke, Manufacturing Processes 2, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2009. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-92259-9>.
- [10] F.W. Barlow, RUBBER COMPOUNDING: PRINCIPLES. MATERIALS. AND TECHNIQUES, n.d.
- [11] Basics of Rubber Shore Hardness, (n.d.). <https://www.echosupply.com/blog/basics-of-rubber-shore-hardness/> (accessed August 15, 2022).
- [12] Klockner DESMA Elastomertechnik GmbH, Basics of elastomer injection moulding, 3. Print run, Klockner DESMA Elastomertechnik GmbH, 2016.
- [13] J.A. Lindsay, Practical Guide to Rubber Injection Moulding., ISmithers Rapra Pub, 2012.
- [14] Klockner DESMA Elastomertechnik GmbH, Basics of cold runner technology, 2. Print run, Klockner DESMA Elastomertechnik GmbH, 2016.

**SEZNAM SLIK**

Slika 1: Prikaz 3D-model izdelka .....	2
Slika 2: Prikaz 3D kovinskega vložka v izdelku .....	2
Slika 3: Vrsta konstruiranja in stopnje razvoja [2] .....	4
Slika 4: Sistemski razvoj lahko pripelje do množice konkretnih rešitev [2] .....	5
Slika 5: Odločitve zmanjšajo množico mogočih rešitev na eno dobro rešitev [2].....	6
Slika 6: Področja vprašanj pri cenovnem inženiringu [2] .....	8
Slika 7: Diagram Fe-Fe <sub>3</sub> C [5].....	10
Slika 8: Princip elektroerozije – potopne erozije [4].....	15
Slika 9: Prikaz napetosti od deformacije za elastomerne zmesi [7] .....	17
Slika 10: Prikaz vulkanizacijskega stiskanja [12].....	18
Slika 11: Prikaz transfernega stiskanja [12].....	18
Slika 12: Prikaz brizganja [12] .....	19
Slika 13: Prikaz brizganja s hladnim kanalom [12] .....	19
Slika 14: Prikaz slike posameznih plošč na odprtem orodju [12].....	20
Slika 15: Prikaz sestave osnovnega orodja.....	20
Slika 16: Prikaz horizontalnega brizgalnega stroja [12].....	21
Slika 17: Prikaz vertikalnega stroja za brizganje [12] .....	21
Slika 18: Prikaz dimenzije orodja, položaja in usmerjenosti kosov .....	22
Slika 19: Prikaz dolivnega sistema v orodju .....	24
Slika 20: Negativna geometrija na dolivku.....	24
Slika 21: Prikaz delilne ravnine in referenčne geometrije .....	25
Slika 22: Prikaz spodnje oblikovne plošče.....	25
Slika 23: Prikaz oblikovnega vložka .....	26
Slika 24: Prikaz zgornje oblikovne plošče .....	26
Slika 25: Prikaz zgornje vpenjalne plošče .....	27
Slika 26: Prikaz celotnega sestava orodja.....	27
Slika 27: Prikaz obdelanega surovca – zgornja vpenjalna plošča .....	28
Slika 28: Prikaz stroja za potopno erozijo.....	29
Slika 29: Prikaz orodja na stroju LWB 30 .....	30
Slika 30: Skonstruirano prototipno orodje za gumo .....	32
Slika 31: Prikaz izdelanega orodja .....	33
Slika 32: Prikaz brizganega kosa .....	33
Slika 33: Prikaz kupčevih zahtev .....	34

---

**SEZNAM TABEL**

Tabela 1: Sestava in vrsta legirnih jekel [5].....	11
Tabela 2: Toplotna obdelavo in trdota legirnih orodnih jekel [5].....	12
Tabela 3: Pregled materialov za elektrode [4].....	15
Tabela 4: Lastnosti naravnega kavčuka [7].....	17
Tabela 5: Lastnosti brizgalnega stroja LWB 30.....	30
Tabela 6: Rezultati meritev nabrizganih kosov .....	34

## SEZNAM UPORABLJENIH SIMBOLOV

$V$  - volt

$Sh.$  - Shore

$T$  - talina

$\gamma$  - avstenit

$\alpha$  - ferit

$c_p$  - primarni cementit

$c_s$  - sekundarni cementit

$l$  - ledeburit

$p$  - perlit

---

**SEZNAM UPORABLJENIH KRATIC**

NR - natural rubber

oz. - oziroma

t. i. - tako imenovano

EDM - Electric Discharge Machine

LSR - liquid silicone rubber

npr. - na primer

CAD - computer-aided design

CAM - computer-aided manufacturing

CMM - coordinate measuring machine

CM - compression moulding oz. kompresijsko brizganje ali prešanje

ICM - injection compression moulding oz. injekcijsko kompresijsko brizganje

TM - transfer moulding oz. transfersko brizganje

TM-C - transfer moulding with cold pot oz. transfersko brizganje s hladnim surovcem

ITM/TMC - transfer injection moulding oz. transfersko injekcijsko brizganje

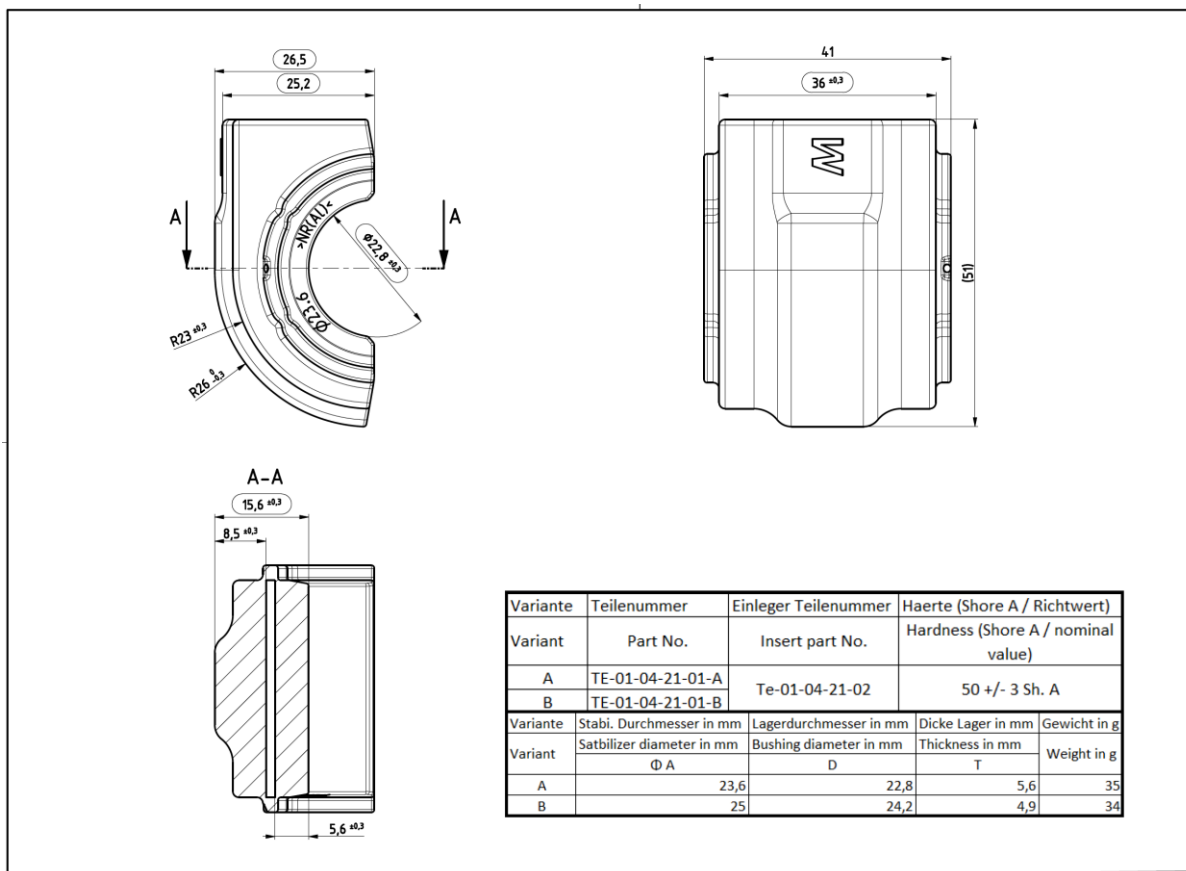
IM - injection moulding oz. injekcijsko brizganje

IM-C - injection moulding with cold runner/hot runner oz. injekcijsko brizganje s toplim ali hladnim kanalom




**PRILOGE**

**Priloga 1: Prikaz kupčevih zahtev**



## Priloga 2: Nastavna kartica stroja

	<b>NASTAVNA KARTICA STROJA</b>		Oznaka: OB_R04_002_01						
			Klasifikacija:						
Stopnja zaupnosti: interno		Avtor: Kaja Žižmond							
Izdelal:		Pregledal in odobril:		Datum:					
Ident izdelka Siliko:		Naziv izdelka:							
Kupčev ident		Številka HK							
Številka orodja		Izmenljiv vložek							
Število gnezd	4								
Neto teža končnega izdelka (g)	38,3	Teža insertov (g)	7,6						
Bruto teža kosa brez inserta(g)	32,7								
Stroj	LWB 30/1								
Material	015785	Z.NR.50							
Ločilno sredstvo	002216	Marbocote W636							
OPOMBA	<b>Dejanske temperature ne smejo presegati 170°C!</b>								
BRIZG	mm	203 ±5%	1. stopnja	2. stopnja	3. stopnja	4. stopnja	5. stopnja	6. stopnja	
Nastavitev brizga	mm	230 ±5%	±5%	±5%	±5%	±5%	±5%	±5%	
Hitrost brizga	%	25 ±20%	±20%	±20%	±20%	±20%	±20%	±20%	
Sila brizga	bar	250 ±10%	±10%	±10%	±10%	±10%	±10%	±10%	
Sila naknadnega tl.	bar	250 ±10%							
Čas naknadnega tl.	s	2,5 ±5%							
Čas brizga	s	12 ±10%							
Zakasnitev brizga	s	0 ±1s							
Čas grupe na orodju	s	35 ±10%							
Preklop volumen nakn. tl.	mm	1,1 ±5%							
Razbre. po doziranju*1	mm	2 ±10%							
Razbre. pred doziranjem*2	mm	2 ±10%							
Obrati polža	O/min	60 #N/A							
Vrtilni moment	bar	#N/A							
Zakasnitev plastificiranja	s	20 ±5s							
VULKANIZACIJSKI ČAS	s	210 ±5s							
ČAS CIKLUSA	s	290 ±5s							
VAKUUM (DA/NE)		DA							
Čas delovanja vakuuma	s	30 ±2s							
Cikel hladnega kanala (DA/NE)		NE							
*1 Po-sesanje; *2 Dekompresija									
		<b>SILA ZAPIRANJA</b>			bar	180 ±5%			
		<b>ODZRAČEVANJE (DA/NE)</b>			<b>NE</b>				
		Sila zračenja	kN	±5%					
		Hitrost odzr.	%	±20%					
		Število odzr.							
		Start prvega odzr.	s	±20%					
		Razmak med odzr.	s	±10%					
		Odzr.pot	mm	±20%					
		Čas odzr.	s	±10%					
		<b>ITM/Preganje (DA/NE)</b>			<b>NE</b>				
		Število stopenj tlaka							
		Hitrost	%	±20%					
		Sila	kN	±5%					
		Čas ITM	s	±5%					
		ITM/vakum reža	mm	±5%					
		Pot visoki tlak	mm	±5%					
<b>TEMPERATURE</b>		<b>Nastavljene</b>			<b>Dejanske</b>				
		<b>Levo/Zunaj</b>	<b>Sredina</b>	<b>Desno/Znot.</b>	<b>Levo/Zunaj</b>	<b>Sredina</b>	<b>Desno/Znot.</b>		
Nepremična plošča (zg)	°C	±5	175 ±5	±5	±5	170 ±5	±5		
Premična plošča (sp)	°C	±5	173 ±5	±5	±5	170 ±5	±5		
*Dodatno gretje1	°C	±5	±5	±5	±5	±5	±5		
*Dodatno gretje2	°C	±5	±5	±5	±5	±5	±5		
*Dodatno gretje3	°C	±5	±5	±5	±5	±5	±5		
*Dodatno gretje4	°C	±5	±5	±5	±5	±5	±5		
Dize	°C	±5	±5	±5	±5	±5	±5		
Hladni kanal 1	°C	±5	±5	±5	±5	±5	±5		
Hladni kanal 2	°C	±5	±5	±5	±5	±5	±5		
Polž	°C		85 ±5						
Brizgalni cilinder	°C		85 ±5					*dopiši: jedro, vmesna plošča,...	