

Konstrukcija kalupa za izradu gumene brtve

Delić, Nikola

Master's thesis / Diplomski rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:837856>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-28**

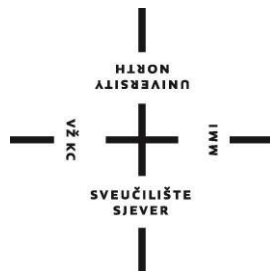


Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)



**SVEUČILIŠTE SJEVER
SVEUČILIŠNI CENTAR
VARAŽDIN**



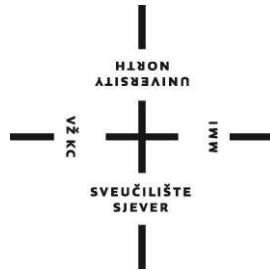
DIPLOMSKI RAD br. 062/STR/2022

Konstrukcija kalupa za izradu gumene brtve

Nikola Delić

Varaždin, srpanj 2022.

SVEUČILIŠTE SJEVER
SVEUČILIŠNI CENTAR
VARAŽDIN
Studij Strojtarstvo



DIPLOMSKI RAD br. 062/STR/2022

Konstrukcija kalupa za izradu gumene brtve

Student:
Nikola Delić, 1009/336D

Mentor:
doc.dr.sc. Zlatko Botak

Varaždin, srpanj 2022.

Prijava diplomskog rada

Definiranje teme diplomskog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ diplomski sveučilišni studij Strojarstvo

PRISTUPNIK Nikola Dečić

JMBAG

1009/336D

DATUM 17.6.2022

KOLEGIJ

Konstruktivski moduli

NASLOV RADA

Konstrukcija kalupa za izradu gumene brtve

NASLOV RADA NA
ENGL. JEZIKU

Construction for a mold for making a rubber seal

MENTOR

doc.dr.sc. Zlatko Botak

ZVANJE

docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc.dr.sc. Matija Bušić, predsjednik povjerenstva

2. doc.dr.sc. Zlatko Botak, mentor

3. doc.dr.sc. Tomislav Veliki, član

4. prof.dr.sc. Željko Kondić, rezervni član

5. _____

Zadatak diplomskog rada

BR01

062/STR/2022

OPIS

Cilj diplomskog rada je konstruirati metalni kalup za izradu gumene brtve.

U uvodnom dijelu rada potrebno je općenito opisati polimerne materijale te navesti osnovne karakteristike plastomera, elastomera i duromera.

Potrebno je detaljnije razraditi izradu prototipa brtve, uključujući dimenzijsko mjerenje, konstrukciju 3D modela te pripremu modela za 3D ispis.

U nastavku je potrebno opisati karakteristike i vrste kalupa za izradu proizvoda od gume.

U praktičnom dijelu diplomskog rada treba konstruirati metalni kalup za izradu gumene brtve, uvažavajući oblik, dimenzije i materijal brtve, uz primjenu temeljnih znanja iz tehnologije kalupljenja.

Na kraju treba opisati pojedine faze procesa izrade brtve te napraviti troškovnik izrade metalnog kalupa i brtve.

ZADATAK URUČEN

20.06.2022.

POTPIS MENTORA

Botak Zlatko



Sažetak

U diplomskom radu prikazan je postupak izrade gumene brtve vulkanizacijom u kalupu. Najprije će se izraditi prototip brtve tehnologijom 3D printa, koji će kasnije poslužiti za provjeru dimenzija brtve.

Nakon toga prikazana je konstrukcija i izrada kompresijskog (klasičnog) kalupa s jednim gnijezdom, te izrada gumene brtve vulkanizacijom od odabrane smjese. Također je opisan odabir odgovarajuće gumene smjese ovisno o uvjetima eksploatacije brtve.

Na kraju će biti prikazana konstrukcija injekcijskog kalupa s više gnijezda, koji bi se koristio u slučaju velikoserijske narudžbe brtvi, npr. 2000 ili više komada.

Za izradu 3D modela brtve i kalupa te za izradu tehničke dokumentacije korišten je programski paket SolidWorks 2020, dok je za postprocesiranje prilikom 3D printa korišten program Ultimaker Cura 4.13.

Ključne riječi: gumena brtva, vulkanizacija, kompresijski kalup, 3D print, injekcijski kalup, kalupna šupljina

Summary

This master's thesis will present the production of a rubber seal by vulcanization in a mold. First, a prototype of the seal will be made by 3D printing technology, which will be used to make a dimensional check of the seal.

Then, the construction and production of a compression (classic) mold with one nest and the production of a rubber seal by vulcanization of the selected mixture will be presented. The selection of the appropriate rubber compound depending on the operating conditions of the seal will be shown. Finally, the construction of a multi-nest injection mold will be shown as would be used in the case of a large-scale order of seals, eg 2000 or more pieces.

The SolidWorks 2020 software package was used to create the 3D model of the seal and the mold and to create the technical documentation, while the Ultimaker Cura 4.13 software was used to post-process the 3D print.

Keywords: Rubber seal, vulcanization, compression mold, 3D print, injection mold, mold cavity

Popis oznaka

Oznaka	Mjerna jedinica	Značenje
-	ShA	Tvrdoća gume, mjeri se u Shore-ima po A skali
<i>D</i>	mm	Vanjski promjer kalupne šupljine
<i>d</i>	mm	Unutarnji promjer kalupne šupljine
<i>h</i>	mm	Visina kalupne šupljine
ρ	g/mm ³	Gustoća gumenog sirovca

Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Izrada prototipa brtve tehnologijom 3D printa	2
2.1.	Mjerenje brtve	2
2.2.	Izrada 3D modela brtve	4
2.3.	Priprema 3D modela za 3D print.....	6
2.4.	3D print brtve	8
3.	Kalupi za izradu gumenih proizvoda	10
3.1.	Vrste kalupa za proizvodnju gumenih proizvoda.....	11
3.1.1.	<i>Kompresijski kalup</i>	11
3.1.2.	<i>Injekcijski kalup</i>	14
3.1.3.	<i>Transfer kalup</i>	19
4.	Konstrukcija kalupa za brtvu	21
4.1.	Odabir materijala brtve.....	22
4.2.	Programsko rješenje za konstrukciju kalupa	24
4.3.	Konstrukcija prototipnog kalupa s jednim gnijezdom	25
4.3.1.	<i>Oblikovanje donje ploče kalupa</i>	30
4.3.2.	<i>Oblikovanje gornje ploče kalupa</i>	34
4.4.	Konstrukcija injekcijskog kalupa s 24 gnijezda	36
4.4.1.	<i>Oblikovanje donje ploče injekcijskog kalupa s 24 gnijezda</i>	36
4.4.2.	<i>Oblikovanje gornje ploče injekcijskog kalupa s 24 gnijezda</i>	43
5.	Izrada brtve od kaučukove smjese u prototipnom kalupu	49
5.1.	Općenito o gumenim smjesama	49
5.2.	Preradbeni svojstva gumenih smjesa	51
5.3.	Izrada brtve.....	53
6.	Troškovnik izrade kalupa i brtvi	59
7.	Zaključak.....	61
8.	Literatura.....	63
	Popis slika	64
	Prilozi.....	66

1. Uvod

Polimeri su kemijske tvari sastavljene od makromolekula, velikih molekula (monomera), koje su povezane u lance. Prema podrijetlu polimeri mogu biti prirodni ili sintetski. Prema svojim svojstvima polimeri se dijele na plastomere, elastomere i duromere, a pripadnost polimera određenoj grupi određuje se na temelju njihovog ponašanja uslijed vanjskog opterećenja, pri sobnoj ili povišenoj temperaturi okoline. Dok duromeri gotovo i ne mijenjaju svoj oblik uslijed opterećenja i povišene temperature, kod plastomera se javlja plastična deformacija koja ne nestaje po prestanku djelovanja vanjskog opterećenja. To svojstvo često se naziva plastičnost materijala, a takvi polimeri plastikom.

Za razliku od plastomera, elastomeri se nakon prestanka djelovanja opterećenja vraćaju u prvobitno stanje, odnosno imaju svojstvo elastičnosti. Postoji puno vrsta elastomera, a najčešći naziv za tu grupu materijala je guma. Upravo svojstvo elastičnosti i vraćanja u prvobitni položaj nakon prestanka djelovanja opterećenja, čini elastomere pogodnim za rad u određenim specifičnim uvjetima, gdje nijedan drugi materijal nije pogodan. Elastomeri danas imaju vrlo široku primjenu u svim granama industrije, a najčešće se koriste kao pneumatici automobila, razna brtvila, spojni elementi, ublaživači vibracija, membrane, manžete itd.

Proizvodi od elastomera, odnosno gume dobivaju se pod djelovanjem specifičnih uvjeta, tlaka i temperature. Taj proces naziva se vulkanizacija, prilikom čega se pod djelovanjem određenog tlaka i temperature umrežavaju molekule elastomera, kako bi se dobio proizvod željenih svojstava i oblika. Osnovna sirovina za proizvodnju gumenih proizvoda je kaučuk, koji može biti prirodan ili sintetski, a njemu se radi poboljšanje svojstava dodaju različiti aditivi.

Željeni oblik gumenog proizvoda dobiva se pomoću kalupa, odnosno kalupne šupljine koja je zapravo negativ proizvoda, ali uvećan za postotak toplinskog skupljanja gume. Postoje mnoga pravila koja treba poštivati prilikom konstrukcije kalupa uzimajući u obzir vrstu gumene smjese, vrstu kalupa, oblik gumenog proizvoda, uvjete vulkanizacije itd. Postoji nekoliko vrsta kalupa za vulkanizaciju gumenih proizvoda, a ovdje su spomenute dvije: kompresijski(klasični) i injekcijski. Kompresijski kalupi najčešće se koriste kod manjih serija proizvoda dok su injekcijski namijenjeni za velike serije.

Konstruiranje kalupa za gumene proizvode (iako ima neka pravila), ipak nije egzaktna znanost, već uvelike ovisi o iskustvu konstruktora. [1,2]

2. Izrada prototipa brtve tehnologijom 3D printa

Vrlo često se u praksi događa da kupac treba zamjeniti neki gumeni dio, koji se tokom vremena i rada potrošio, a nema nikakvu tehničku dokumentaciju već samo istrošeni i oštećeni uzorak. Takav slučaj prikazan je u ovom radu.

2.1. Mjerenje brtve

Kupac je dostavio uzorak brtve koji je puknuo u toku rada. Kako bi bilo moguće izraditi traženu brtvu, potrebno je naprije izvršiti mjerenje postojeće brtve. Za potrebu mjerenja oštećeni uzorak će biti zalijepljen, no treba imati na umu da takav uzorak nije više u svom izvornom obliku te je moguće odstupanje pojedinih mjera prilikom mjerenja. Kako bi se potvrdile dimenzije brtve, najprije će se izraditi prototip tehnologijom 3D printa. Kako bi se napravio 3D model brtve, a zatim i 3D printani uzorak, najprije treba izmjeriti originalnu brtvu.

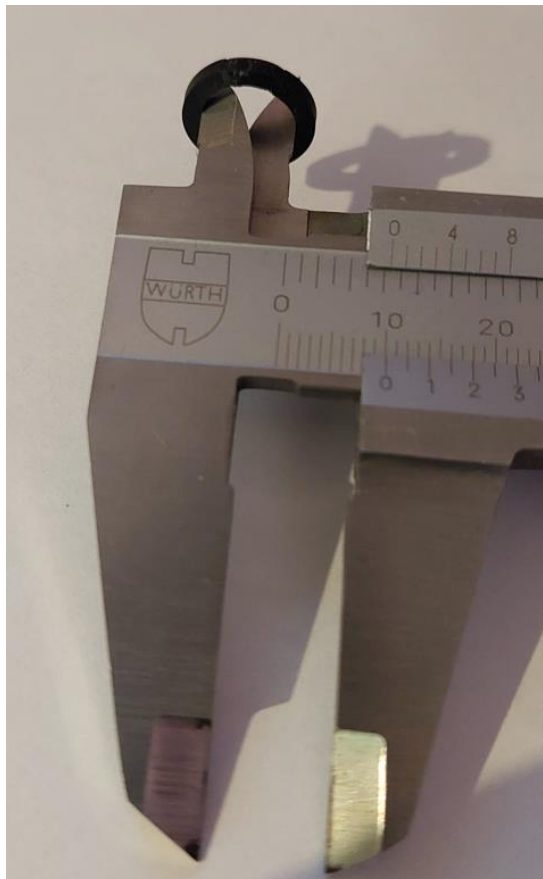


Slika 1 Oštećena brtva, fotografirano 29.4.2022.

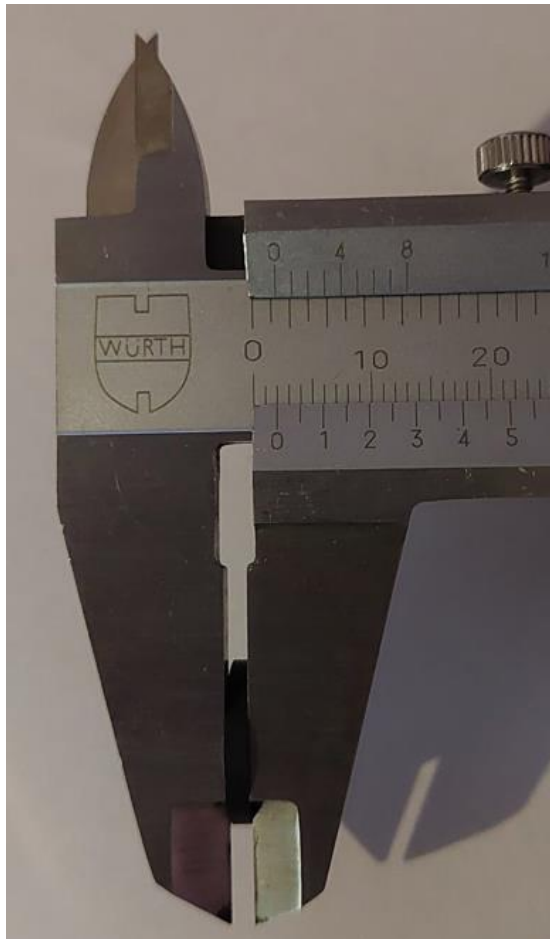
Na slici 1 vidljivo je oštećenje na gornjem dijelu brtve, koje je za potrebe mjerenja sanirano ljepilom. Na slikama 2, 3 i 4 prikazano je mjerenje brtve pomičnim mjerilom. Budući da se radi o gumenom komadu koji nije krut već je elastičan, mjerenje pomičnim mjerilom je otežano, jer postoji opasnost od prejakog pritiska na brtvu i očitavanja pogrešne vrijednosti. Zbog toga je potrebno imati iskustva prilikom mjerenja kako bi se dobila što točnija vrijednost. Druga mogućnost je mjerenje pomičnim mjerilom s konstatnom silom, no ona su često vrlo skupa.



Slika 2 Mjerenje vanjskog promjera brtve, fotografirano 29.4.2022.



Slika 3 Mjerenje unutarnjeg promjera brtve, fotografirano 29.4.2022.



Slika 4 Mjerenje debljine brtve, fotografirano 29.4.2022.

Izmjerene dimenzije brtve su:

- vanjski promjer: 14 mm
- unutarnji promjer: 10 mm
- debljina: 2 mm

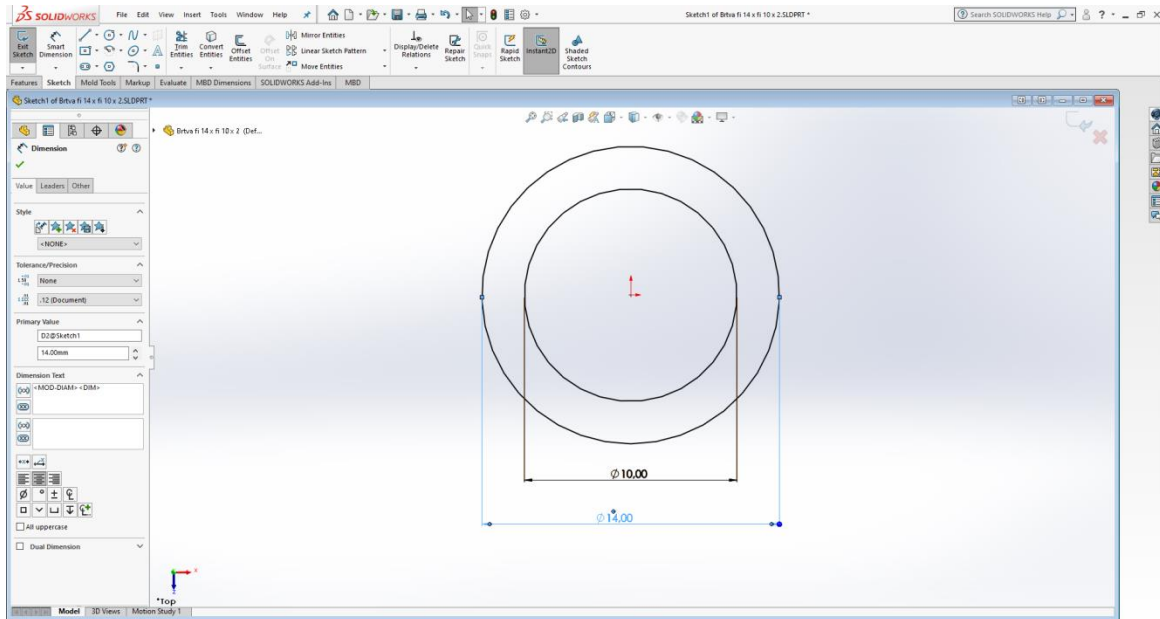
2.2. Izrada 3D modela brtve

Nakon što su određene dimenzije brtve, potrebno je naprije izraditi 3D model iste, kako bi se moglo pristupiti izradi prototipa, a kasnije i konstrukciji kalupa. Za tu namjenu koristit će se programski paket SolidWorks 2020, koji je jedan od najpopularnijih rješenja za 3D modeliranje.

U svakom programu za 3D modeliranje postoji više načina kako napraviti neki model, a sve ovisi o pristupu i znanju korisnika. Budući da se radi o jednostavnom modelu brtve, ovdje će se prikazati i najjednostavniji način za izradu 3D modela.

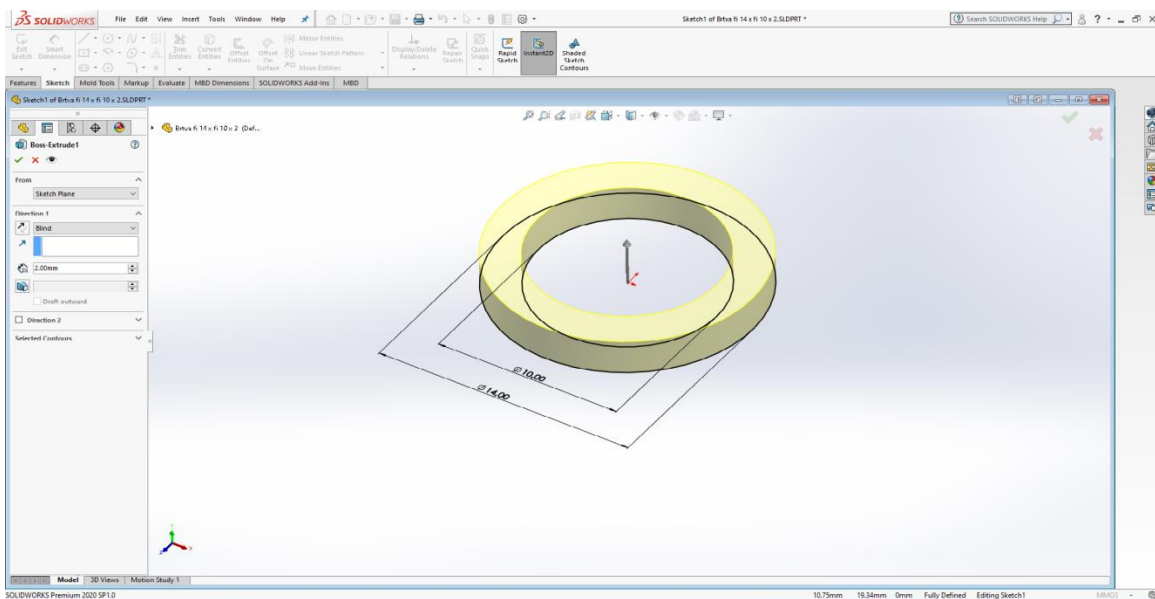
Najprije je potrebno nacrtati 2D skicu(sketch) brtve, a zatim se toj skici dodaje treća dimenzija.

Slika 5 prikazuje 2D skicu brtve sa odgovarajućim dimenzijama.



Slika 5 2D skica brtve

Nakon što su određeni unutarnji i vanjski promjer brtve potrebno je zadati još i debljinu kako bi se dobio gotov 3D model.



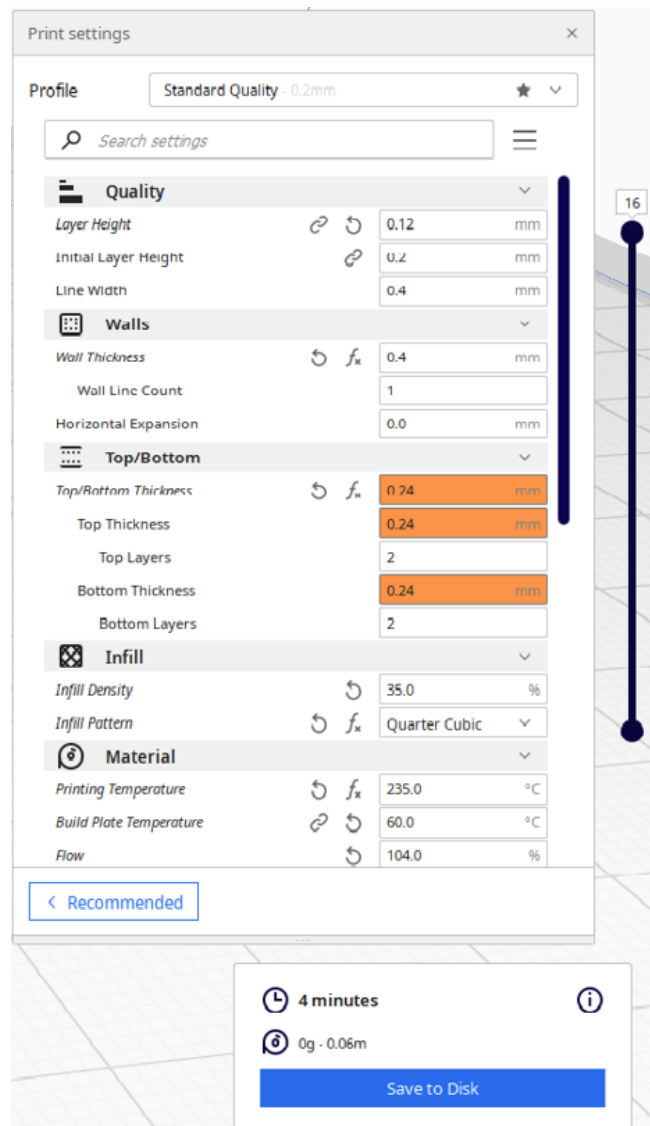
Slika 6 Određivanje debljine brtve

Kako bi se definirala debljina brtve koristi se naredba Extrude, kod koje je potrebno samo upisati željenu vrijednost debljine, a koja se po potrebi može naknadno mijenjati. To je prikazano na slici 6.

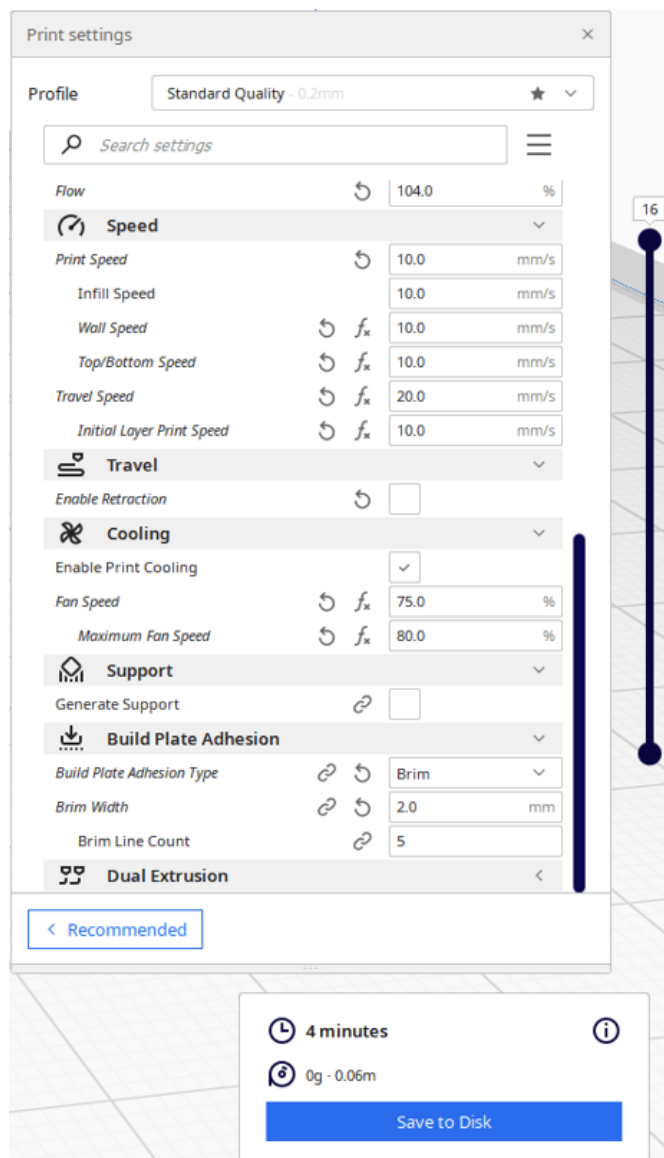
2.3. Priprema 3D modela za 3D print

Da bi se uopće mogao isprintati bilo koji predmet, potrebno je prvo 3D model pretvoriti u programski kod koji 3D printer može razumjeti. Tome služe takozvani „sliceri”, programi koji 3D model podijele na slojeve određene debljine, iz razloga što printer izrađuje predmet sloj po sloj, počevši od donjeg koji prijanja uz podlogu, te svaki sljedeći sloj nanosi na prethodni. Kao izlazna vrijednost ovog postupka dobiva se G-kod koji se zatim unosi u 3D printer. U ovom slučaju koristi se program koji se naziva Ultimaker Cura 4.13.

Iako 3D printanje nije nova tehnologija, ona je tek relativno nedavno našla svoju komercijalnu primjenu pojavom jeftinih verzija printera na tržištu. Upravo iz tog razloga, ta tehnologija izrade nije još uvijek dovoljno znanstveno istražena, u usporedbi s konvencionalnim tehnologijama izrade strojnih dijelova. Zbog toga podešavanje parametara i postavki stroja najviše ovisi o iskustvu operatera. Proizvođač sirovine (filamenta) daje upute u smislu temperature sapnice i temperature podloge na 3D printeru, dok svi ostali parametri ovise o iskustvu i znanju operatera. Neki od osnovnih parametara koje treba podesiti prije početka postupka 3D printa su debljina sloja, debljina sapnice, postotak ispune komada, temperature, brzina printanja, brzina hlađenja itd. Ovi parametri neće se posebno razmatrati jer nisu tema rada, a prikazani su na slikama 7 i 8.



Slika 7 Parametri 3D printa



Slika 8 Parametri 3D printa

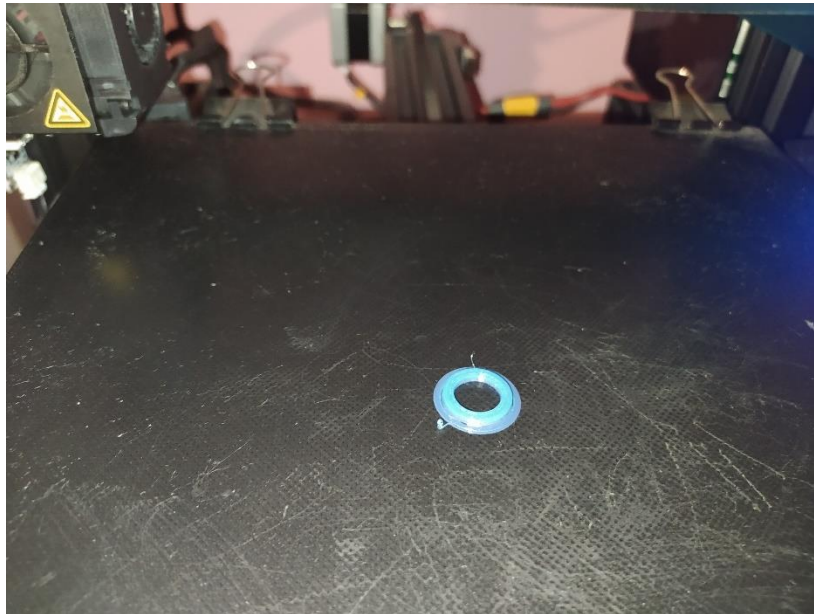
2.4. 3D print brtve

3D print brtve izvršit će se na stolnom 3D printeru proizvođača Creality, model Ender 3 Pro. Materijal koji se koristi za izradu je TPU, odnosno termoplastični poliuretan, materijal koji kombinira svojstva elastomera i plastomera. Iako se svojstvima razlikuje od elastomera, to jest konkretno gume i neće zadovoljiti zahtjeve koje mora ispuniti tražena brtva, to u ovom slučaju nije bitno, jer će printani prototip služiti samo za dimenzijsku provjeru. Nakon toga će se izraditi funkcionalni komad od odgovarajućeg materijala u kalupu.

Na slikama 9 i 10 prikazan je postupak 3D printanja brtve.



Slika 9 Postupak 3D printa, fotografirano 2.5.2022.



Slika 10 Gotov 3D printani komad, fotografirano 2.5.2022.

3. Kalupi za izradu gumenih proizvoda

Za izradu gumenih proizvoda nije dovoljan samo kalup, već se radi o sustavu koji se sastoji iz više dijelova. Najjednostavniji prikaz takvog sustava je podjela na 3 osnovna dijela:

- Sustav za ubrizgavanje smjese
- Sustav za temperiranje
- Kalup

Funkcijska struktura jednog takvog sustava prikazana je na slici na stranici 75 koja se nalazi u Prilogu ovog rada. Ona prikazuje tokove materijala, energije i informacija te veze među pojedinim elementima sustava.

Budući da su sustavi za temperiranje i ubrizgavanje smjese najčešće definirani strojevima koji se mogu koristiti za izradu široke palete proizvoda i kalupa, ili su potpomognuti ljudskim radom, njih se neće razmatrati. Za razliku od stroja koji su univerzalni, za svaki pojedini proizvod potrebno je konstruirati zaseban kalup. Razlog tome je što za svaki proizvod, oblik i dimenzije kalupne šupljine direktno ovise o dimenzijama i obliku proizvoda.

U praksi se proizvode gumeni proizvodi raznih dimenzija i oblika, te masa od nekoliko grama pa i do 1000 kilograma. Na temelju zahtjeva kupca u smislu svojstava gume, oblika proizvoda i njegove količine, proizvođač određuje postupak dobivanja traženog proizvoda. Izradom proizvoda u kalupu mogu se dobiti visokokvalitetni proizvodi i također u velikim količinama. Kako bi se moglo započeti s konstruiranjem kalupa, potrebno je poznavati oblik, dimenzije, materijal i ostala zahtijevana svojstva gotovog proizvoda.

Postoje mnoga pravila koja se moraju poštivati prilikom konstrukcije i izrade kalupa, a u zavisnosti su od vrste sirovine iz koje se radi proizvod, vrste stroja na kojem se proizvodi, obliku i dimenzijama proizvoda, količini proizvoda koju treba proizvesti, dijelovima koji se ugrađuju u proizvod itd.

Kako bi kalup mogao normalno funkcionirati i proizvoditi dobar proizvod mora zadovoljiti nekoliko temeljnih funkcija:

- Prihvaćanje sirovine
- Razdjeljivanje sirovine
- Praoblikovanje sirovine
- Održavanje toplinske ravnoteže pri propisanoj temperaturi
- Prevođenje taljevine u čvrsto stanje željene strukture i svojstava
- Odzračivanje
- Vađenje proizvoda iz kalupne šupljine

- Mogućnost montaže na stroj
- Mogućnost ostvarivanja velikog broja ciklusa rada

Također, kalup mora biti sposoban prihvatiti sile i tlakove koji se razvijaju u kalupnoj šupljini, prenijeti gibanja i omogućiti međusobno vođenje pojedinih dijelova.

Iz navedenog proizlazi da kalup mora sadržavati dijelove koji omogućuju zadovoljavanje tih funkcija, a to su kalupna šupljina, sustav za vođenje, kanali za izlaz viška gume, kanali za odzračivanje, sustav za montažu na stroj, uljevni sustav kod injekcijskih kalupa, te neki specijalni dijelovi kod pojedinih kalupa koji to zahtijevaju (npr. pozicioniranje metalnih dijelova).

Još jedna vrlo bitna stvar kod konstrukcije i izrade kalupa je poznavanje postotka temperaturnog skupljanja gume prilikom hlađenja jer za taj postotak treba uvećati dimenzije kalupne šupljine, kako bi se na kraju dobio proizvod željenih dimenzija.

Općenito bi svi kalupi trebali ispuniti navedene zahtjeve u cilju ispravnog rada i dobivanja ispravnog gotovog proizvoda. [1,2,4]

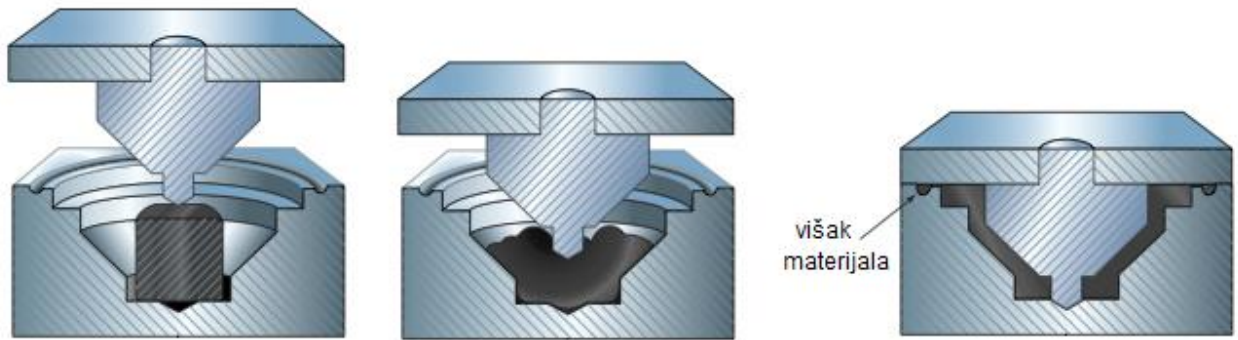
3.1. Vrste kalupa za proizvodnju gumenih proizvoda

S obzirom na funkcionalnost, način rada i vrstu ubrizgavanja gumene smjese razlikuju se 3 osnovne vrste kalupa:

- Kompresijski (klasični)
- Injekcijski
- Transfer kalup

3.1.1. Kompresijski kalup

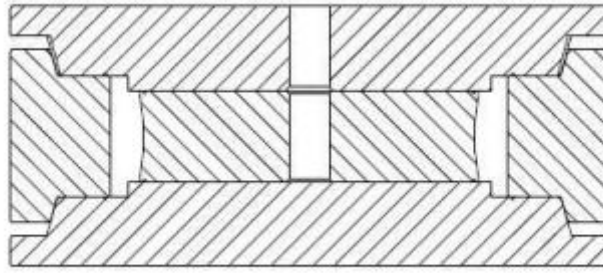
Osnovna karakteristika kompresijskog kalupa je da nema klasični sustav za ubrizgavanje smjese već se sirovac stavlja ručno u kalupnu šupljinu, a zatim se kalup zatvara i pomoću stroja stavlja u uvjete povišene temperature i tlaka. Ovo je najjednostavnija vrsta kalupa, sastoji se najčešće od najmanjeg broja dijelova i u pravilu su najjeftiniji za izradu. Nedostatak ove vrste kalupa je to što ostavljaju dosta prostora za mogućnost ljudske pogreške, stoga je potrebno veliko iskustvo operatera prilikom rada. Slika 11 prikazuje jednostavan koncept jednog kompresijskog kalupa.



Slika 11 Koncept kompresijskog kalupa[8]

Princip rada ove vrste kalupa svodi se na nekoliko faza u ciklusu. Najprije je kalup potrebno zagrijati na određenu temperaturu, a to se postiže tako da grijачe ploče stroja (preše) za vulkanizaciju naliježu na donju i gornju ploču kalupa. Nakon što kalup postigne željenu temperaturu, on se otvara te se u kalupnu šupljinu ručno stavlja prethodno oblikovani sirovac. S obzirom da je kod ovakve proizvodnje teško dozirati točnu količinu sirovca, u praksi se stavlja oko 10% veća masa sirovca nego što je masa gotovog proizvoda. Oblik sirovca određuje se prema obliku kalupne šupljine. Sljedeća faza ciklusa je zatvaranje kalupa. Kako se kalup sve više približava potpuno zatvorenom stanju on istovremeno zagrijava sirovac s kojim je u kontaktu. Pritom se sve više smanjuje viskoznost sirove gume smjese te ona počinje popunjavati kalupnu šupljinu. Kada je kalup potpuno zatvoren i smjesa popuni kalupnu šupljinu, započinje faza vulkanizacije. Vulkanizacija je proces pri kojem se uz djelovanje povišenog tlaka i temperature događa umrežavanje molekula sirove smjese, kako bi nastao gumeni proizvod. Trajanje vulkanizacije ovisi o temperaturi i vrsti sirove smjese. Nakon vulkanizacije kalup se otvara te preostaje jedino izvaditi gotov proizvod iz kalupa i omogućiti mu hlađenje do sobne temperature. Time je završen jedan ciklus te može započeti novi, fazom punjenja kalupne šupljine.

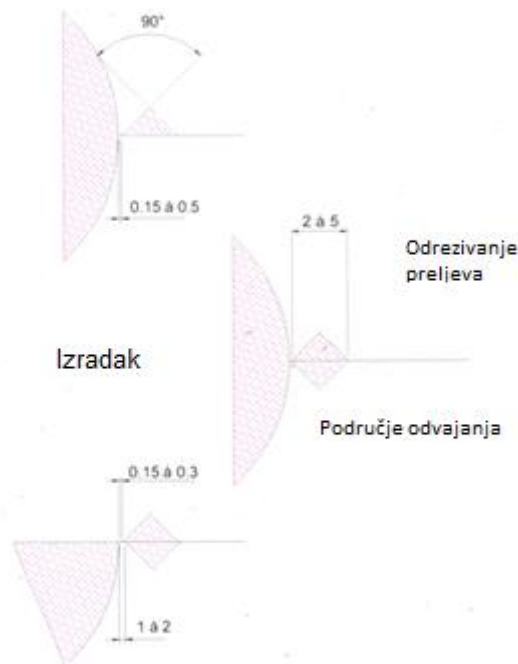
Kako bi čitav proces mogao funkcionirati te davati dobar gotovi proizvod, kalup mora imati pojedine dijelove koji izvršavaju prethodno navedene funkcije i zahtjeve. Dimenzijski točan proizvod zahtijeva izradu sustava za vođenje na kalupu, koji može biti izveden na dva načina: pomoću konusa za vođenje i pomoću vodilica i čahura za vođenje. Osnovna namjena sustava za vođenje je omogućiti centriranje i nalijeganje jednog dijela kalupa na drugi. Kod rotacijski simetričnih kalupa koji se izrađuju na tokarskom stroju, najčešće se upotrebljava vođenje pomoću konusa. To podrazumijeva da jedna ploča kalupa ima ženski konus, a druga muški koji su istog nagiba i istih dimenzija s određenom zračnošću.



Slika 12 Primjer kalupa s konusnim vođenjem[5]

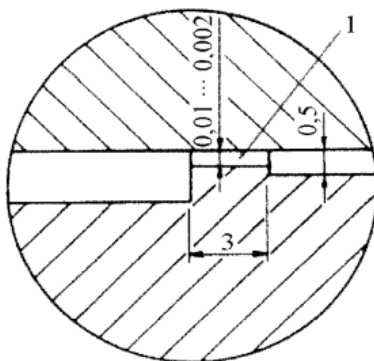
U slučaju rada s dimenzijski malim kalupima, česta je praksa da se kalup ne učvršćuje na stroj već se njime manipulira ručno. Kako bi se kalup mogao otvoriti nakon vulkanizacije, potrebno je između ploča izraditi utore za ručne poluge. Naime, tokom vulkanizacije u kalupnoj šupljini stvara se vakuum, te se iz tog razloga kalup ne može otvoriti rukom već pomoću poluge. Ti utori također su vidljivi na slici 12.

Budući da se punjenje kalupne šupljine vrši ručno, teško je točno dozirati količinu sirovine. Iz tog razloga potrebno je izraditi kanale za izlaz viška gume. Oni mogu biti različitog oblika, a najčešće je poprečni presjek okrugli ili u obliku kvadrata ili trokuta. Na slici 13 prikazana je jedna vrsta izvedbe kanala za izlazak viška gume s nekim od pravila koje treba poštovati prilikom konstruiranja.



Slika 13 Izvedba kanala za višak gume[6]

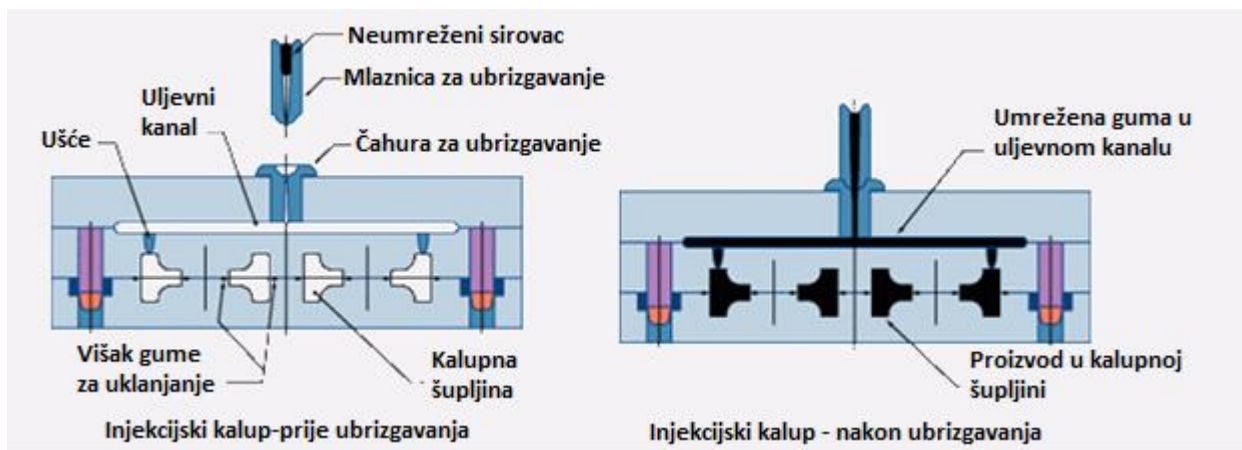
Jedna od najčešćih pogrešaka kod vulkanizacije proizvoda, a samim time i uzroka škarta je zarobljavanje zraka u kalupnoj šupljini. To se na gotovom proizvodu manifestira kao mjehurić. Kako bi se to izbjeglo, potrebno je izraditi kanale za odzračivanje. To su kanali koji vode zrak iz kanala za višak gume van iz kalupa, prema okolini, odnosno atmosferskom tlaku, a primjer je vidljiv na slici 14.



Slika 14 Detalj kanala za odzračivanje[1]

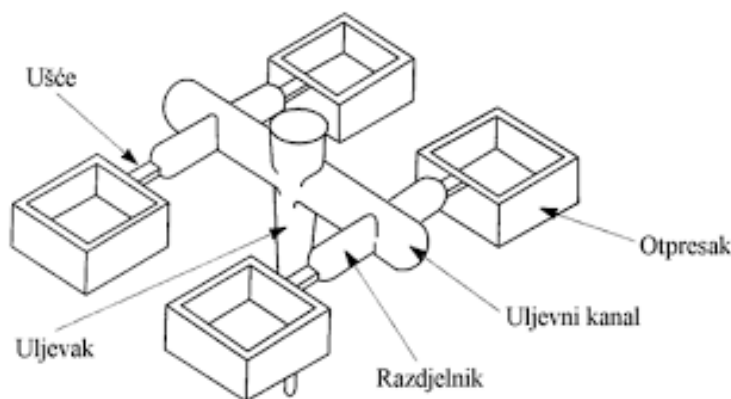
3.1.2. Injekcijski kalup

Za razliku od kompresijskog kalupa, kod injekcijskog se ubrizgavanje smjese u kalupnu šupljinu vrši automatski, odnosno tu radnju obavlja stroj. Najčešće se injekcijski kalupi izrađuju za velikoserijsku proizvodnju i imaju više gnijezda, kako bi se povećala produktivnost. Stroj (preša) ima ugrađenu jedinicu za ubrizgavanje gume, koja se sastoji od puža za uvlačenje sirovine u cilindar, cilindra u kojem se sirova smjesa predgrijava na određenu temperaturu te klipa ili puža koji tu sirovu smjesu istiskuje u kalup. Predgrijavanje gume vrši se na neku nižu temperaturu od temperature vulkanizacije s ciljem smanjenja viskoznosti, a posljedično i lakšeg ubrizgavanja, ali još uvijek ne dolazi do umrežavanja molekula. Ta temperatura kreće se najčešće u rasponu od 80 do 100°C. Takva smjesa istiskuje se kroz sapnicu na stroju u kalup gdje ulazi u uljevni sustav koji ima zadaću dovesti sirovinu do svakog pojedinog gnijezda u kalupu. Za potpuno funkcioniranje uljevnog sustava, on mora sadržavati sve potrebne elemente: uljevak, uljevne kanale, razdjelnike i ušće. Koncept injekcijskog kalupa prikazuje slika 15.



Slika 15 Koncept injekcijskog kalupa[9]

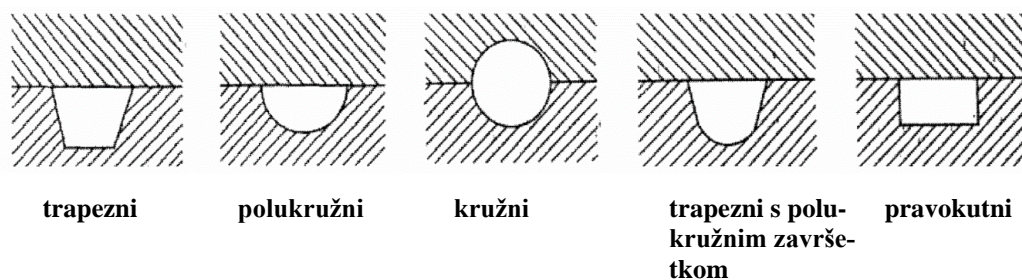
Elementi uljavnog sustava vidljivi su na slici 16.



Slika 16 Elementi uljavnog sustava[1]

Uljevak je dio uljavnog sustava koji prihvaća sirovinu iz mlaznice stroja i prosljeđuje je u uljevne kanale. U slučaju injekcijskog kalupa s jednim gnijezdom, uljevak može vršiti funkciju uljavnih kanala, razdjelnika ili ušća. Kako bi se omogućilo lakše vađenje uljevka iz kalupa, on se izrađuje u obliku krnjeg stošca. Izrađuje se na gornjoj nepomičnoj ploči kalupa. [1]

Uljevni kanali dovode sirovinu od uljevka do razdjelnika i/ili ušća, to jest osiguravaju dobavu sirovine do kalupne šupljine. Kako bi se osiguralo istovremeno punjenje svih kalupnih šupljina, uljevni kanali moraju biti izbalansirani, što znači da moraju biti istog oblika i dimenzija te iste dužine. Duljina kanala treba biti što manja kako bi se smanjio pad tlaka u samim kanalima. Vrlo važno je kod izrade postići što manju hrapavost površine uljavnih kanala, kako bi se smanjio otpor tečenju sirovine. Također treba izbjegavati oštre rubove i nagle promjene površine presjeka. Slika 17 prikazuje uobičajene poprečne presjeka uljavnih kanala.



Slika 17 Poprečni presjeci uljernih kanala[1]







Najpovoljniji od svih je kružni oblik jer u najvećoj mjeri zadovoljava uvjete strujanja, a prednost drugih vrsta kanala je što se izrađuju u samo jednoj ploči. Uljevni kanali dimenzioniraju se na temelju volumena sirovine kojeg moraju dovesti do kalupne šupljine. [1]

Razdjelnici imaju zadaću povezati uljevne kanale s ušćima, a oblikom i dimenzijama slični su uljevnim kanalima te imaju iste zahtjeve. [1]

Ušće predstavlja završetak uljavnog sustava kroz koje sirovina ulazi u kalupnu šupljinu. Jedan od najvećih problema kod konstrukcije je odrediti pravilan oblik i dimenzije ušća. To ovisi o dimenzijama i obliku proizvoda, a utječe na parametre ciklusa te svojstva i kvalitetu gotovog proizvoda. Slike 18 i 19 prikazuju neke od mogućih izvedbi ušća. S obzirom na broj mogućnosti lako je zaključiti kako je konstrukcija ušća jedna od najkompleksnijih operacija prilikom konstrukcije kalupa. [1]

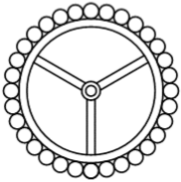
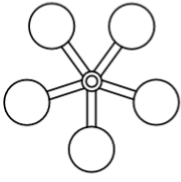

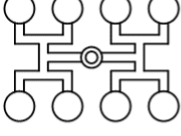
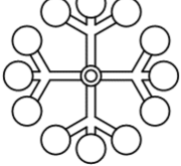

Vrsta ušća	Tip ušća	Shema	Primjedba
<i>Točkasto</i>	Nepostojeće (lažno)		Uljevak preuzima ulogu ušća; omogućen visoki naknadni pritisak.
	Normalno (obično) središnje		Spriječen povratni tok taljevine; ne zahtijeva naknadnu obradbu; najčešća uporaba kod tankostijenih otpresaka; pogodni za stvaranje orijentirane strukture.
	Normalno (obično) rubno		
	Podušće (tunelno)		Omogućeno automatsko otkidanje uljevka i njegovo zadržavanje na izvlačilu.
<i>Lepezasto</i>			Uzrokuje manju orijentiranost strukture nego točkasta ušća; prikladnije je pri povišenim udjelima ojačala u plastomeru.
<i>Filmsko</i>			Primjena pri izradbi otpresaka velike površine; postižu smanjenu orijentiranost strukture.

Slika 18 Vrste ušća[1]

Vrsta ušća	Tip ušća	Shema	Primjedba
<i>Čekičasto</i>			Ostvaruje se sniženje tlaka u kalupnoj šupljini; poboljšana optička svojstva otpreska.
<i>Prstenasto</i>	Vanjsko		Za kružne, rotacijski simetrične šuplje otpreske. Kalupna šupljina se počinje puniti tek kada se uljevni prsten ispuni plastomernom taljevinom; pri vadenju otpresaka automatski se otkida uljevni sustav
	Unutrašnje		
<i>Kružno</i>	Ljevkasto		Uporaba pri izradbi otpresaka oblika tuljca, prstena, valjka i sl.; omogućuje jednoliko punjenje kalupne šupljine; postižu se jednolike debljine stijenki.
	Membransko		
	Pločasto		

Slika 19 Vrste ušća[1]

Kod kalupa s više gnijezda vrlo je važno postići optimalni broj i raspored gnijezda, te težiti što manjem putu tečenja sirovine od uljevka do kalupne šupljine. Također je bitno postići simetrični raspored gnijezda kako bi put tečenja sirovine do svake kalupne šupljine bio jednak, a time se dobiva i pravilna raspodjela tlaka u kalupu. Slika 20 prikazuje neke od primjera kako pravilno rasporediti gnijezda u kalupu.

		PREDNOSTI	NEDOSTACI
ZVJEZDASTI RASPORED			
Neuravnoteženi 	Uravnoteženi 	Isti put tečenja do svih kalupnih šupljina. Povoljan raspored za vađenje, naročito kod kalupa s mehaničkim odvrtanjem navojne jezgre.	Ograničen broj kalupnih šupljina. Kod većeg broja kalupnih šupljina veliki je utrošak materijala (iči na redni raspored).
REDNI RASPORED			
Neuravnoteženi 	Uravnoteženi 	Mogući veći broj kalupnih šupljina nego kod zvjezdastog rasporeda. Kod većeg broja kalupnih šupljina razdjelnici su kraći nego kod zvjezdastog rasporeda (manji utrošak materijala).	Nejednolik put tečenja do svih kalupnih šupljina. Istovremeno punjenje kalupnih šupljina je moguće samo uz različite presjeka razdjelnika i/ili ušća (korekcija poprečnog presjeka ušća).
SIMETRIČNI RASPORED			
Neuravnoteženi 	Uravnoteženi 	Isti put tečenja do svih kalupnih šupljina. Nije potrebna korekcija poprečnog presjeka ušća.	Veliki obujam uljavnog sustava, veliki otpad. Preporučuje se primjena vrućeg uljavnog sustava.

Slika 20 Preporuke za raspored kalupnih šupljina[1]

Kalupi s više gnijezda u pravilu su pravokutnog oblika i kod njih se ne primjenjuje vođenje pomoću konusa, već pomoću vodilica i čahura za vođenje. Na vodilicama se izrađuje utor za podmazivanje u kojem se zadržava mast i omogućuje lakše vođenje dijelova kalupa. Slika 21 prikazuje elemente sustava za vođenje i centriranje.



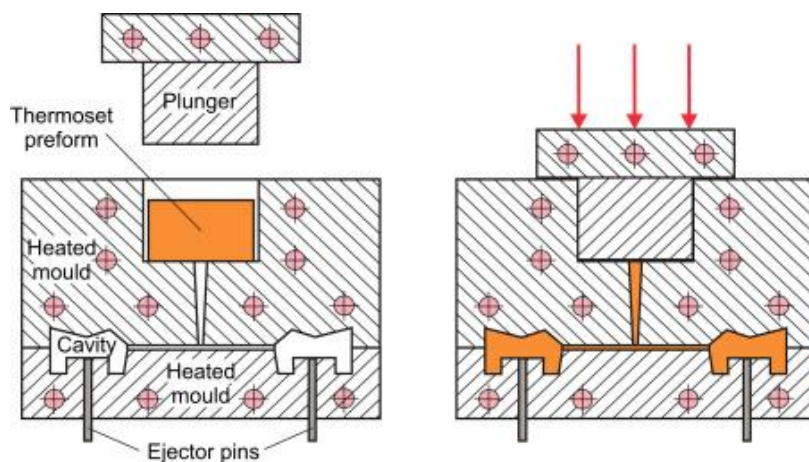
Slika 21 Elementi sustava za vođenje i centriranje[1]

Kada su svi elementi kalupa pravilno konstruirani i izvedeni, može se započeti s proizvodnjom brtvi. Ciklus započinje zagrijavanjem kalupa na zadanu temperaturu. Kalup je pričvršćen na stroj,

te su gornja i donja ploča kalupa u kontaktu s grijaćim pločama stroja. Gornja i donja ploča kalupa zatim provode toplinu na sve ostale dijelove kalupa. Kad je kalup zagrijan, započinje ubrizgavanje sirovine u kalup kroz sapnicu stroja. Zatim guma kroz uljevak dolazi u uljevne kanale koji je dalje raspoređuju prema razdjelnicima i ušćima. Na taj način sirovina dolazi do svake kalupne šupljine te ju ispunjava. Količina ubrizgane sirovine lako se podešava preko kontrolnog sustava na stroju, uzimajući u obzir volumene kalupnih šupljina ali i uljevnog sustava, jer i on ostaje ispunjen tokom vulkanizacije. Razlika u odnosu na kompresijski kalup je u tome što se u ovom slučaju sirovina ubrizgava u zatvoreni kalup. To je prednost u odnosu na kompresijske kalupe jer su svi dijelovi kalupa u kontaktu, a istovremeno je i kalup u kontaktu s grijaćim pločama stroja, pa nema neželjenog hlađenja kalupa. Kod kompresijskog kalupa je prilikom stavljanja sirovine kalup otvoren i u kontaktu s okolinom, pa dolazi do rasipanja topline. Posljedica spomenute pojave je kraće vrijeme vulkanizacije u injekcijskom kalupu, odnosno duže vrijeme vulkanizacije u kompresijskom kalupu. Nakon vulkanizacije se kalup otvara, a tu radnju vrši stroj te operateru preostaje izvaditi gotov proizvod iz kalupa. Ponovnim pritiskom na tipku START na stroju, kalup se zatvara te započinje novi ciklus.

3.1.3. Transfer kalup

Transfer kalup zapravo je kombinacija kompresijskog i injekcijskog kalupa. Razlika u odnosu na prethodne dvije vrste kalupa je u tome što transfer kalup ima zasebnu komoru u koju se ručno stavlja sirovina, a ta komora nalazi se izvan kalupne šupljine. U praksi se ta komora naziva cilindar. Također, takav kalup mora sadržavati i klip koji iz cilindra potiskuje sirovinu u kalupnu šupljinu. Slika 22 prikazuje koncept transfer kalupa.



Slika 22 Koncept transfer kalupa[10]

Kod konstrukcije treba obratiti pozornost na zračnost između cilindra i klipa, koja u pravilu može

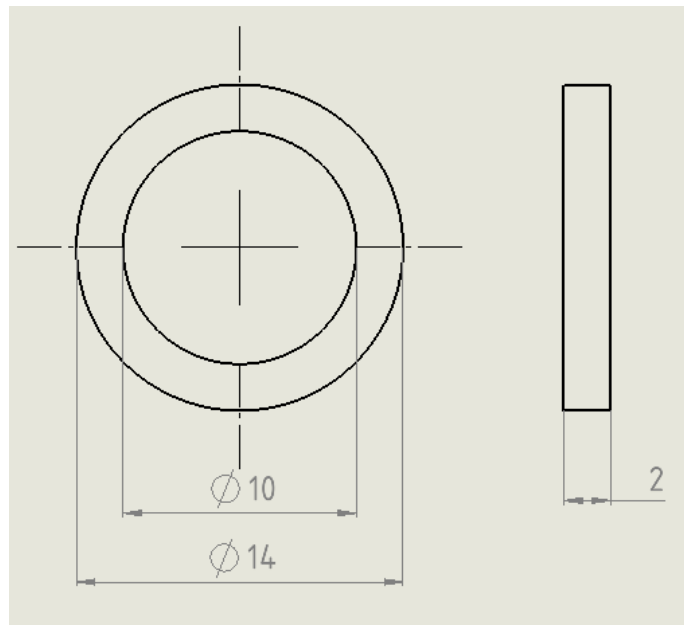
biti od 0,05 do 0,2 mm. U slučaju prevelike zračnosti klip nebi cijelu količinu sirovine potisnuo u kalupnu šupljinu već bi dio prolazio van između klipa i cilindra. Također, vrlo je važno obratiti pažnju na odabir materijala. Naime, cilindar i klip ne smiju biti iz istog materijala kako nebi došlo do oštećenja kliznih ploha, što može dovesti do zaglavljenja. Tada bi se kalup morao otvoriti pomoću velike sile, što bi dodatno oštetilo klizne dijelove. Posljedica bi bila sanacija dijelova kalupa ili u najgorem slučaju izrada novih dijelova, što predstavlja dodatne neželjene troškove. Zbog toga se najčešće klip izrađuje od materijala s dobrim kliznim svojstvima. Također, materijal mora biti i dobar vodič topline, pa se kao rješenje nameću metali poput bronce, sivog lijeva ili nodularnog lijeva. Isključivo iz ekonomskih razloga, u pravilu se primjenjuje sivi lijev za izradu klipa. Dimenzioniranje cilindra i klipa izvodi se u ovisnosti o količini sirovine koju treba staviti u cilindar, odnosno količini sirovine koju treba ubrizgati u kalupnu šupljinu ili više njih. Transfer kalup također mora sadržavati uljevni sustav, koji se može sastojati samo iz uljevka (npr. kod ubrizgavanja u jednu kalupnu šupljinu), ili može biti kompletni uljevni sustav kao kod injekcijskog kalupa. Svi ostali elementi kalupa koji ispunjavaju tražene funkcije moraju biti prisutni, kao što su sustav za vođenje, kanali za izlazak viška gume, kanali za odzračivanje, sustav za pričvršćivanje kalupa na stroj itd.

Kod ovakvog kalupa ciklus započinje isto kao i kod prethodnih, zagrijavanjem na željenu temperaturu. Nakon toga otvara se klip i u cilindar se ručno stavlja prethodno predgrijana guma. Sirovac se oblikuje prema obliku i dimenzijama cilindra. Guma mora biti predgrijana kao i kod injekcijskih kalupa na temperaturu između 80 i 100°C s ciljem smanjenja viskoznosti i lakšeg tečenja. Nedostatak ovakvog kalupa je što se guma mora predgrijavati u posebnoj komori koja nije dio stroja na kojem se vrši vulkanizacija. Nakon toga slijedi zatvaranje klipa i cilindra, pri čemu se sirovina dodatno zagrijava na temperaturu kalupa, te joj se dodatno smanjuje viskoznost kako bi se što lakše mogla ubrizgati u kalupnu šupljinu. U trenutku kad se klip i cilindar potpuno zatvore, ukupna količina sirovine ubrizgana je u kalupnu šupljinu te započinje proces vulkanizacije, kao i kod prethodno opisanih kalupa. Posljednja faza ciklusa je otvaranje kalupa te vađenje proizvoda. Nakon toga otvaraju se klip i cilindar, ponovo se stavlja sirovina i započinje novi ciklus.

Primjena ovakve vrste kalupa započinje tamo gdje započinju ograničenja primjene injekcijskih kalupa, odnosno strojeva za injekcijsko prešanje gume. Najveći problem strojeva za injekcijsko prešanje gume je ograničeni volumen ubrizgavanja. Primjerice, stroj s grijaćim pločama veličine 1200x1000 mm (kalup može biti iste veličine), ima volumen ubrizgavanja od 8,5 litara, dok bi gumeni proizvod (ili više proizvoda tj. više gnijezda u kalupu) na takvoj površini kalupa mogao imati puno veći volumen. U tom slučaju koristi se transfer kalup kod kojeg se može napraviti cilindar s puno većim volumenom ubrizgavanja. Također, transfer kalup se često primjenjuje kod gumiranja metalnih dijelova te gumiranja velikih ventila za cjevovode.

4. Konstrukcija kalupa za brtvu

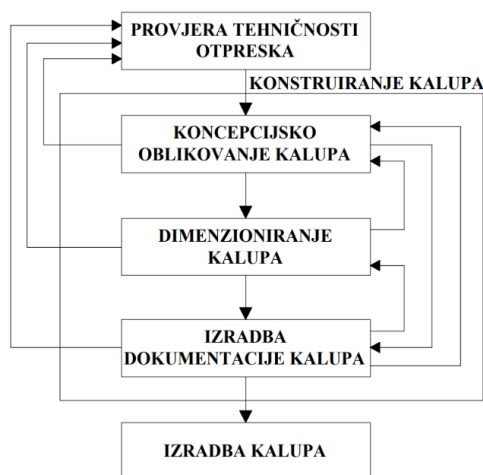
U ovom poglavlju prikazat će se odabir materijala brtve, konstrukcija prototipnog kompresijskog kalupa s 1 gnijezdom, te konstrukcija injekcijskog kalupa s 24 gnijezda. Dimenzije i oblik brtve određeni su mjerenjem i prikazani na slici 23.



Slika 23 Skica brtve

Osim oblika i dimenzija proizvoda, potrebno je poznavati i vrstu gumene smjese iz koje će se izrađivati proizvod, jer će upravo o tome ovisiti konačne dimenzije kalupne šupljine. Razlog tome nalazi se u činjenici da svaka gumena smjesa ima različiti postotak temperaturnog skupljanja nakon vulkanizacije i hlađenja. Materijal brtve odabire se na temelju zahtjeva kupca i uvjeta rada.

Metodičkim pristupom konstruiranju kalupa za izradu gumenih proizvoda teži se postizanju optimalne izvedbe parcijalnih funkcija kalupa, što na kraju rezultira optimalnom ukupnom funkcijom kalupa. Uz to, veoma važnu ulogu kod konstrukcije kalupa također imaju iskustvo i intuicija konstruktora, što dovodi do manjeg broja optimizacijskih koraka u razvoju potpuno funkcionalnog kalupa. Slika 24 prikazuje algoritam koji je potrebno slijediti prilikom konstrukcije i razvoja kalupa, kako bi inicijalni rezultat bio što bolji i kako bi naknadno bilo potrebno što manje optimizacijskih koraka za dobivanje konačnog rješenja.



Slika 24 Algoritam za konstrukciju kalupa[1]

4.1. Odabir materijala brtve

S obzirom da kupac nije postavio nikakve specijalne zahtjeve za brtvu, materijal brtve će se izabrati prema uvjetima rada. Brtva radi na atmosferskom zraku, u uvjetima sobne ili blago povišene temperature, nije izložena velikom vanjskom opterećenju ni djelovanju ulja, masti i sličnih medija, ali se nalazi između pomičnih dijelova i prenosi gibanje, te je moguća pojava trošenja. Prema tome, pri izboru materijala u obzir se uzima ekonomsko stajalište, otpornost na ozon (atmosferske uvjete), te otpornost na trošenje. Iz tabele na slici 25 vidljivo je da tražene uvjete zadovoljavaju EPDM i CR.

	Vrlo dobro	Dobro	Prosječno	Loše	Nije preporučljivo							
Osnovno svojstvo	NBR	HNBR	EPDM	FKM	CR	ACM	AEM	SBR	AU/EU	VMQ	FVMQ	NR
Ekonomičnost materijala	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Otpornost na kompresiju	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Elastičnost	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Otpornost na kidanje	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Otpornost na temp. starenje	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Otpornost na ozon	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Otpornost na ulja i masti	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Otpornost na benzin	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Otpornost na bubrenje	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Nepropusnost za plinove	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Otpornost na trošenje	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Visoke temp.-standardno	100°C	150°C	150°C	200°C	120°C	150°C	150°C	100°C	80°C	230°C	205°C	105°C
Visoke temp.-specijalno	120°C	-	-	-	-	-	-	-	-	250°C	-	-
Niske temp.-standardno	-30°C	-30°C	-50°C	-15°C	-40°C	-50°C	-40°C	-45°C	-50°C	-60°C	-60°C	-50°C
Niske temp.-specijalno	-50°C	-40°C	-	-35°C	-	-	-	-	-	-	-	-

Slika 25 Vrste elastomera i njihova svojstva[7]

U ovom slučaju izabrat će se EPDM smjesa, na temelju iskustva koje govori da ima bolja svojstva preradljivosti u kalupu nego CR smjesa. Kada je definiran materijal brtve, sljedeći korak je pronaći podatak o toplinskom skupljanju EPDM gumene smjese. Tabela na slici 26 prikazuje postotke skupljanja najčešće korištenih gumenih smjesa u tvrtki Gumiimpex-GRP d.d.

Šifra	vrsta gume	Tvrdoća [ShA]	Obilježje	Dodatne karakteristike	Postotak skupljanja
M	EPDM	60	GUMIIMPEX-6001	-	2.10%
	EPDM	60		ZA I PLATNOM (MEMBRANA)	1.50%
	EPDM	70	AA7KWZ		1.70%
	EPDM	70	ŠVICARAC		2.00%
M	EPDM	80	AA8BVZ	Ø260/ Ø390x25	1,7%/1,8%
	EPDM	85±5	AA9BAZ	ZA PITKU VODU	1.50%
	EPDM	85±5		ZA PROFILRING	1.40%
	NR	70	GUMIIMPEX-7001	Ø130x14	1.70%
	NR	72	GUMIIMPEX-7201		2.50%
	NBR	40	20725	CRNI	2.20%
	NBR	70	GUMIIMPEX 7002		1.30%
	NBR	80	PP8BFZ		1.60%
	NBR	80	GUMIIMPEX 8001		2.10%
	NBR	80		OBICNI	1.80%
	NBR	90	GUMIIMPEX 9001		1.50%
	H-NBR	60±5			1.70%
	SBR	80		Ø162,2X23	1.80%
	VITON	70		SMEDI	2.60%
	VITON	80		SMEDI - Ø187/Ø100x6	1,85%/1,75%
	FKM VITON	80		ZA PROFILRING	1.50%
	SILIKON	40		CREVENI	3.00%
	SILIKON	60		TRANSPARENTNI	2.50%
	SILIKON	70		CREVENI	2.50%
	SILIKON	70		TRANSPARENTNI	2.50%
	FVMQ SILI	70		CRNI	3.00%
	FVMQ SILI	-		PLAVI	3.00%
	FMQ SILIK	70			2.50%
	SILIKON	80		TRANSPARENTNI	2.50%
	PU	55		PLAVI	2.50%
	PU	65		NARANČASTI	2.50%
	PUR	85		LJEVANI	1.70%

Slika 26 Postoci skupljanja nekih gumenih smjesa[4]

Mjerenjem tvrdoće pomoću uređaja koji se zove shoremetar, utvrđeno je da je originalna brtva tvrdoće 60 Shore-a po A skali (60ShA). Uzevši u obzir sve navedene parametre iz tablice se odabire gumena smjesa EPDM 60 ShA GUMIIMPEX-6001. Budući da se ta sirova smjesa proizvodi u tvrtki Gumiimpex-GRP d.d., njezina cijena niža je u odnosu na smjese istih svojstava vanjskih dobavljača.

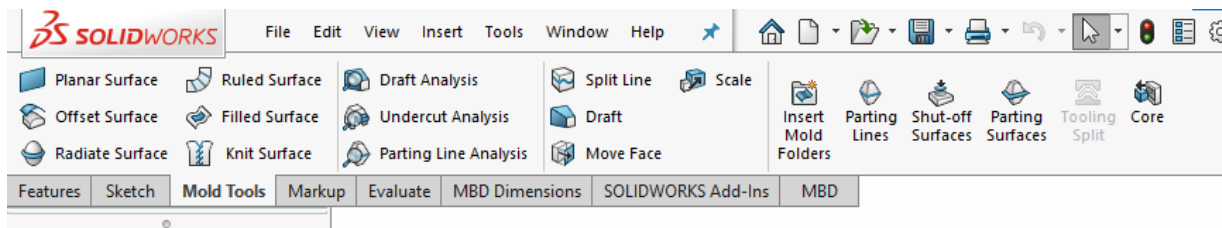
Temperaturni postotak skupljanja za tu smjesu je 2,1%. Taj podatak izuzetno je važan zbog samog dimenzijskog oblikovanja kalupne šupljine. No, to nije jedini podatak bitan u procesu izrade kalupa i proizvoda. Tabela na slici 27 prikazuje neka od najbitnijih svojstava koja treba uzeti u obzir prilikom odabira sirovine za izradu nekog proizvoda.

MATERIJAL: EPDM 60 Sh (EPDM60s 6001c)			
Br/ No	Oznaka / Characteristic / Bezeichnung Metoda / Method / Methode	Jedinica mjere/ Units / Einheit	Rezultati / Results / Ergebnisse
1.	Tvrdoća / Hardness / DIN 53 505	ShA	61
2.	Prekidna čvrstoća / Tensile strenght/ DIN 53 504	MPa	12,91
3.	Prekidno istezanje /Elongation at break/ DIN 53 504	%	603
4.	Otpornost na kidanje/ Tear DIN 53 506	N/mm	58,22
5.	Specifična težina/ Density/ DIN53 550	g/cm ³	1,13
6.	Habanje/Abrasion/ DIN 53 516	mm ³	229

Slika 27 Neka mehanička svojstva odabrane smjese[4]

4.2. Programsko rješenje za konstrukciju kalupa

Konstrukcija kalupa izvršiti će se u programskom paketu SOLIDWORKS 2020. Radi se o jednom od najpopularnijih programskih rješenja u sferi 3D modeliranja i izrade tehničke dokumentacije. SolidWorks ima ugrađene module za rad sa čvrstim tijelima, rad sa površinama, rad sa limovima, modul za zavarene konstrukcije te mnoge druge. Modul za konstrukciju kalupa vrlo je koristan i može uvelike pomoći i ubrzati samu konstrukciju kalupa. Slika 28 prikazuje izgled modula za konstrukciju kalupa u SolidWorksu 2020 te njegove funkcije.



Slika 28 Naredbe modula za konstrukciju kalupa

Najčešće korištene funkcije su:

- Scale – funkcija za uvećanje 3D modela za određeni postotak
- Split Line – dijeli površine 3D modela u odnosu na zadanu ravninu
- Parting Lines – kreira liniju dijeljenja kalupa na 3D modelu
- PartingSurfaces – kreira površinu (plohu) dijeljenja kalupa s vanjske strane 3D modela
- Shut-offSurfaces - kreira površinu (plohu) dijeljenja kalupa s unutarnje strane 3D modela
- Tooling Split – kreira 3D model gornje i donje ploče kalupa

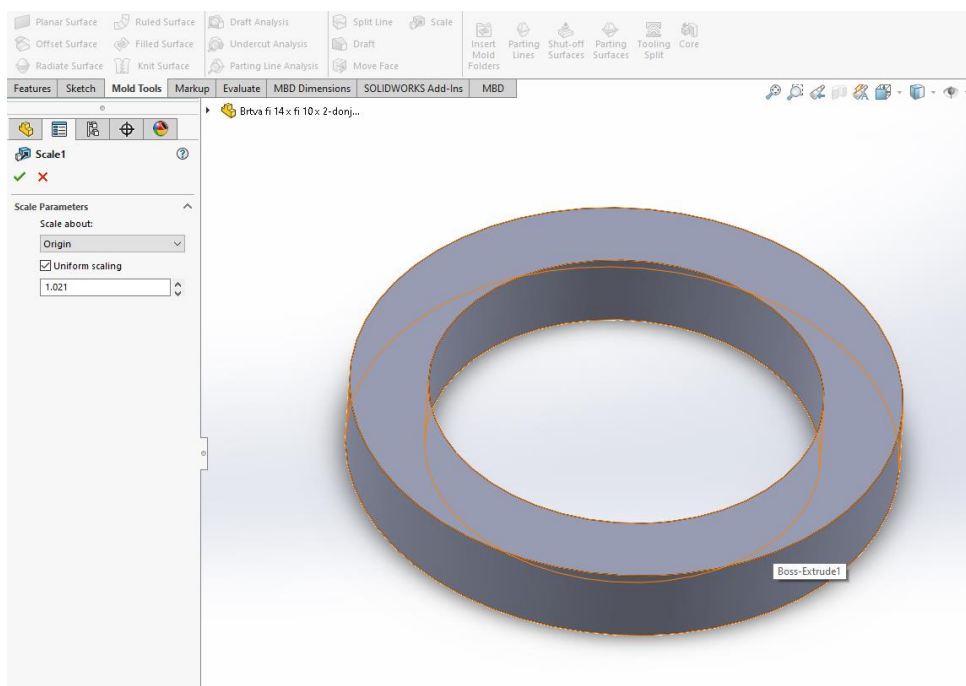
Spomenute funkcije biti će detaljnije prikazane na konkretnom primjeru konstrukcije prototipnog kalupa s 1 gnijezdom za traženu brtvu.

4.3. Konstrukcija prototipnog kalupa s jednim gnijezdom

Konstrukcija svakog kalupa kreće uvijek od iste faze: izrade 3D modela gotovog proizvoda. Nakon toga slijedi konceptijsko oblikovanje kalupa, gdje se načelno određuju svi elementi koje kalup mora imati kako bi mogao pouzdano funkcionirati. Ukoliko je to potrebno, ovaj korak se može ručno skicirati na papiru, kako bi konstruktor bio siguran da je sve elemente i funkcije kalupa uzeo u obzir. Iskusniji konstruktori često ovaj korak preskaču, odnosno odrade taj dio „u glavi“.

Uvećanje 3D modela proizvoda

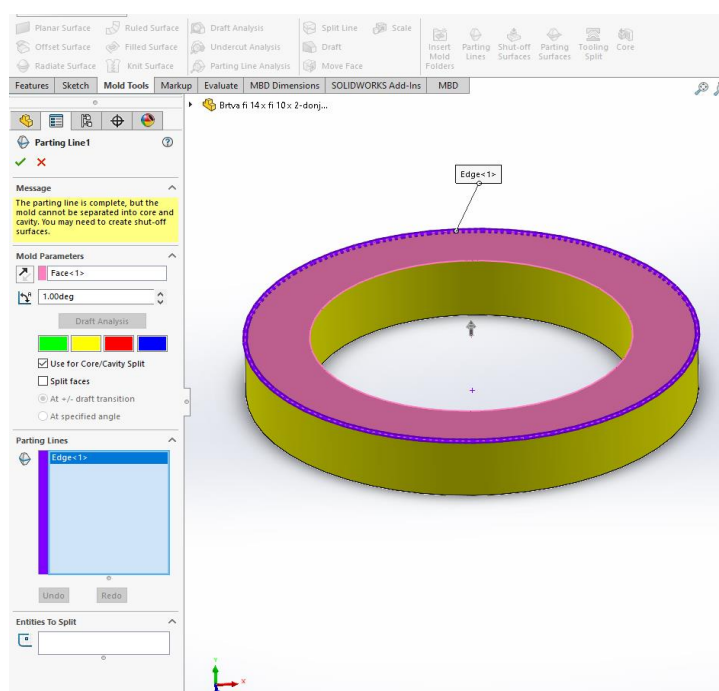
Kako bi se dalje moglo pristupiti konstrukciji potrebno je odmah u početku 3D model proizvoda uvećati za postotak temperaturnog skupljanja odabrane smjese. Taj korak prikazan je na slici 29.



Slika 29 Funkcija Scale - uvećanje dimenzija proizvoda

Određivanje linije dijeljenja

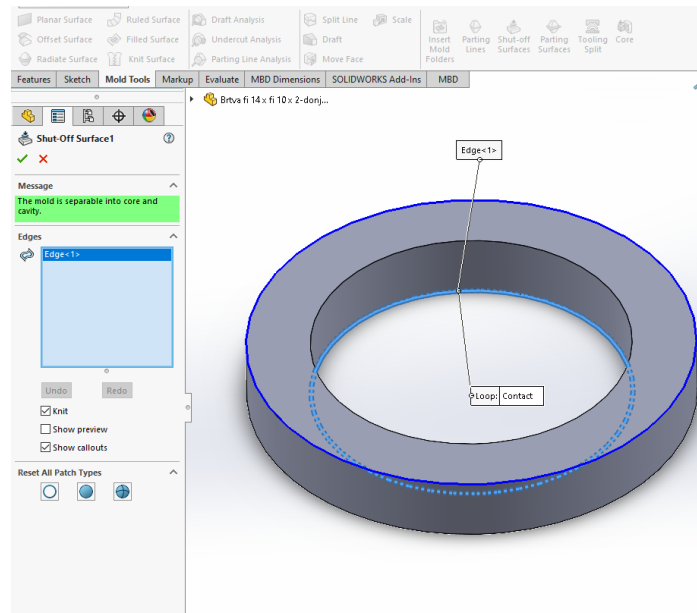
Sljedeća faza je određivanje položaja otpreska u kalupu. To podrazumijeva odrediti liniju dijeljenja kalupne šupljine. Na toj liniji, odnosno plohi, gornja i donja ploča kalupa će nalijegati jedna na drugu. Pritom treba razmišljati o mogućnosti vađenja gotovog proizvoda iz kalupa. Kod rotacijsko-simetričnih proizvoda najčešće je ta linija u ravnini najvećeg promjera otpreska, stoga je odabran brid koji je na slici 30 označen ljubičastom bojom.



Slika 30 Linija dijeljenja kalupa

Određivanje unutarnje površine dijeljenja

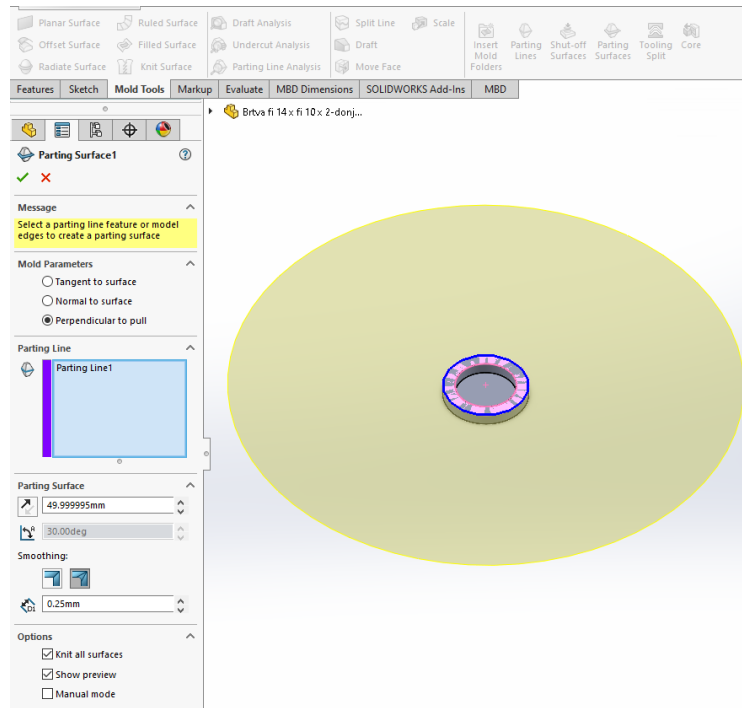
Nakon što je određena linija dijeljenja kalupa, potrebno je odrediti površinu dijeljenja unutrašnje strane kalupne šupljine. Ta površina biti će definirana bridom koji je na slici 31 označen svijetlo plavom bojom. Izabire se brid sa suprotne strane od linije dijeljenja s vanjske strane, kako bi prilikom otvaranja kalupa vanjski dio kalupne šupljine ostao na jednoj strani kalupa a unutrašnji dio na drugoj strani. To omogućuje lakše vađenje proizvoda iz kalupa.



Slika 31 Određivanje unutrašnje površine dijeljenja

Određivanje površine dijeljenja kalupa

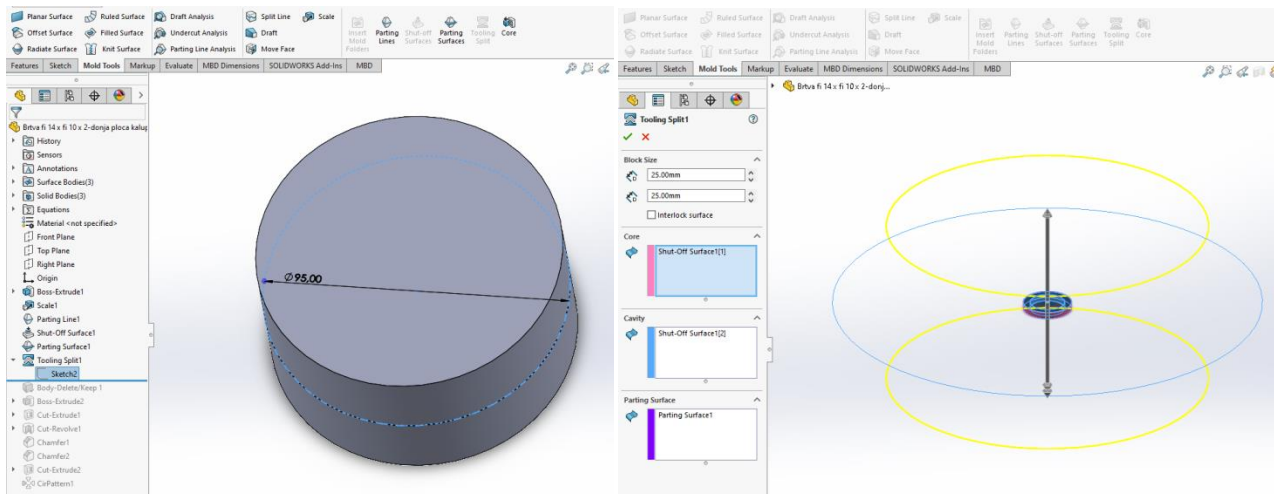
Sljedeći korak je odrediti površinu (plohu) dijeljenja kalupa koja je zapravo već određena linijom dijeljenja. Površina dijeljenja prikazana je žutom bojom na slici 32, a njezina veličina može se mijenjati ovisno o gabaritima kalupa. To je površina kontakta gornje i donje ploče kalupa, odnosno površina zatvaranja kalupa. Važno je da ta površina bude vrlo kvalitetno izrađena i male hrapavosti kako bi se ostvarivao što bolji kontakt, jer to izravno utječe na kvalitetu proizvoda, posebice na vizualni dio, koji je kupcu vrlo često jako bitan, a ponekad može biti i razlog reklamacije proizvoda.



Slika 32 Površina dijeljenja kalupa

Određivanje gabarita kalupa

Kad je određen koncept dijeljenja kalupa, preostaje odrediti gabaritne dimenzije kalupa. Potrebno je odrediti oblik i dimenzije kalupnih ploča. Budući da se radi o osnosimetričnom proizvodu, najlakše je i najbrže kalup izraditi operacijom tokarenja. Prema tome, logično je odabrati kružni oblik kalupa zbog samog postupka izrade. Određivanje dimenzija kalupa ne ovisi samo o dimenzijama kalupne šupljine, već i o specifikacijama stroja na kojem se proizvod izrađuje. Kako su dimenzije grijaćih ploča stroja 300x300 mm, ustaljena praksa je izrađivati kalupe najmanjeg promjera 95 mm. Kalup manjih dimenzija imao bi premalu površinu kontakta s grijaćim pločama stroja, što bi moglo oštetiti vodilice i cilindre stroja u slučaju da kalup nije dobro centriran na stroju. Budući da takvi dimenzijski mali kalupi najčešće nisu pričvršćeni na grijaće ploče, već se njima manipulira ručno, to se može vrlo lako dogoditi u praksi. Slika 33 prikazuje određivanje gabaritnih dimenzija kalupa.



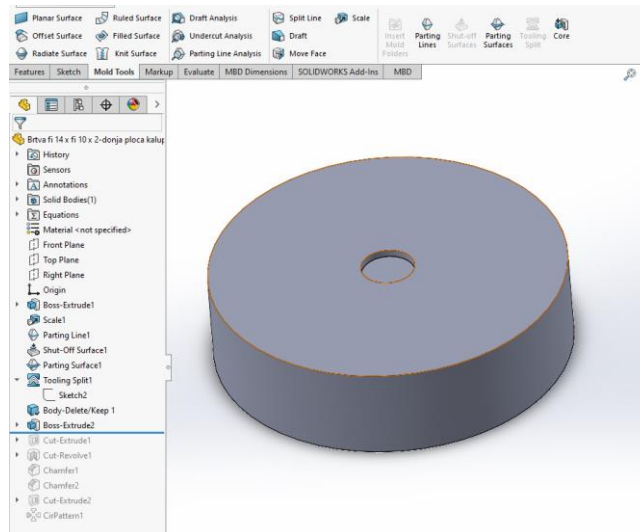
Slika 33 Određivanje gabaritnih dimenzija kalupa

Prethodno opisanim koracima konstruirane su donja i gornja ploča kalupa, odnosno konceptualno je oblikovan kalup i kalupna šupljina. No, da bi kalup mogao optimalno funkcionirati, on mora sadržavati sve potrebne elemente kako bi zadovoljio parcijalne funkcije opisane u poglavlju 3. Ipak, ne mora svaki kalup sadržavati sve nabrojane elemente, već treba prepoznati što je potrebno, a što nije. Primjerice, kompresijski kalup ne mora sadržavati uljevni sustav, jer se kalupna šupljina puni ručno, ili dimenzijski mali kalupi ne trebaju sustav za pričvršćivanje na stroj jer se njima manipulira ručno.

Tako u ovom slučaju kalup mora sadržavati kanale za višak gume, sustav za odzračivanje, sustav za vođenje te utora za otvaranje pomoću poluge.

4.3.1 Oblikovanje donje ploče kalupa

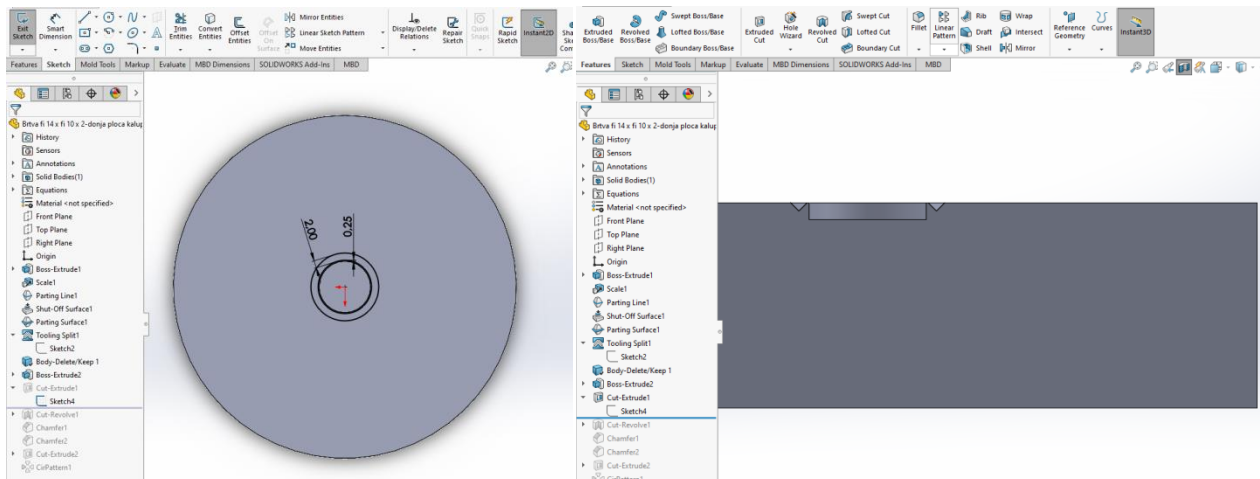
Nakon što su konstruirane donja i gornja ploča kalupa, sada je potrebno svakoj ploči zasebno dodati prethodno spomenute elemente. Najprije će biti prikazana donja ploča.



Slika 34 Koncept donje ploče kalupa

Oblikovanje kanala za izlaz viška gume

Od svih spomenutih oblika kanala za izlaz viška gume, najčešće se koristi onaj trokutastog poprečnog presjeka i to zbog same jednostavnosti izrade. Dimenzije kanala i udaljenost kanala od gnijezda ovise o dimenzijama kalupne šupljine, odnosno volumenu proizvoda. Što je veći volumen proizvoda, a samim time i volumen sirovine koja stavlja u kalupnu šupljinu, to su veće i dimenzije kanala za višak gume, ali i njegoa udaljenost od kalupne šupljine. Slika 35 prikazuje oblikovanje kanala za višak gume konkretno na ovom kalupu. Ovi kanali ujedno služe i za lakše čišćenje srha sa proizvoda koji ostaje nakon vulkanizacije. Ukoliko ih nebi bilo, između ploča kalupa pojavila bi se tanka gumena folija koju bi bilo teško očistiti, potrebno bi je bilo mehanički odrezati. U slučaju kada postoje kanali za višak gume, taj višak se može lako rukom odstraniti, budući da tanki dio između kalupne šupljine i kanala služi kao neka vrsta „noža“. Stručna literatura propisuje okvirne vrijednosti dimenzija tih kanala, pa je konačni rezultat najčešće kombinacija propisanih vrijednosti i iskustva.

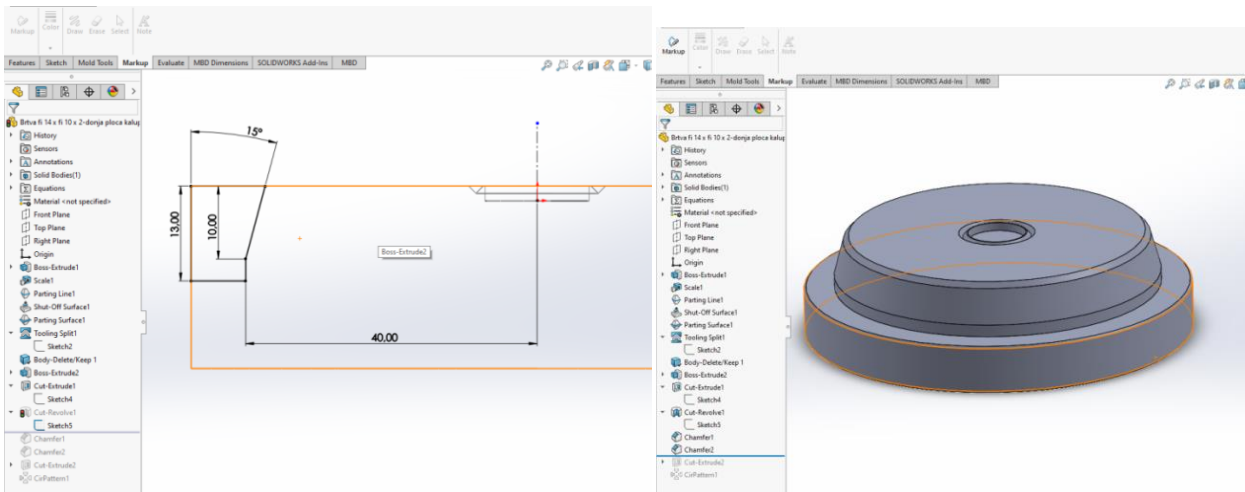


Slika 35 Oblikovanje kanala za višak gume

Oblikovanje sustava za vođenje i centriranje

Sustav za vođenje i centriranje ima veliku važnost prilikom izrade kalupa, jer omogućava točno međusobno pozicioniranje i centriranje pojedinih dijelova kalupa. Samim time omogućava izradu dimenzijski ispravnih proizvoda. Primjerice, ako sustav za vođenje nije izveden ispravno, moguća su oštećenja dijelova kalupa prilikom rada, ali isto tako moguće su dimenzijske i geometrijske nesavršenosti proizvoda, kao što su nejednolika debljina stijenke proizvoda, zamaknuće na liniji dijeljenja kalupa itd. Sustav za vođenje i centriranje treba biti izveden tako da njegovi dijelovi ulaze u zahvat prije ostalih dijelova kalupa, kako bi se postiglo centriranje na vrijeme, da se ne oštete ostali dijelovi kalupa. Postoje dvije vrste sustava za vođenje i centriranje, a to su vođenje pomoću vodilica i vodećih čahura te vođenje oblikom. U ovom slučaju vođenje će biti izvedeno oblikom i to pomoću muškog konusa na donjoj ploči kalupa i ženskog konusa na gornjoj ploči. Razlog odabira ovakve vrste sustava za vođenje je cijena, odnosno jeftinije je nego kupovati vodilice i vodeće čahure. Ispod konusa izrađuje se i ravni dio dubine 3 mm, koji će poslužiti kao utor za otvaranje kalupa pomoću poluge.

Slika 36 prikazuje oblikovanje konusa za vođenje.

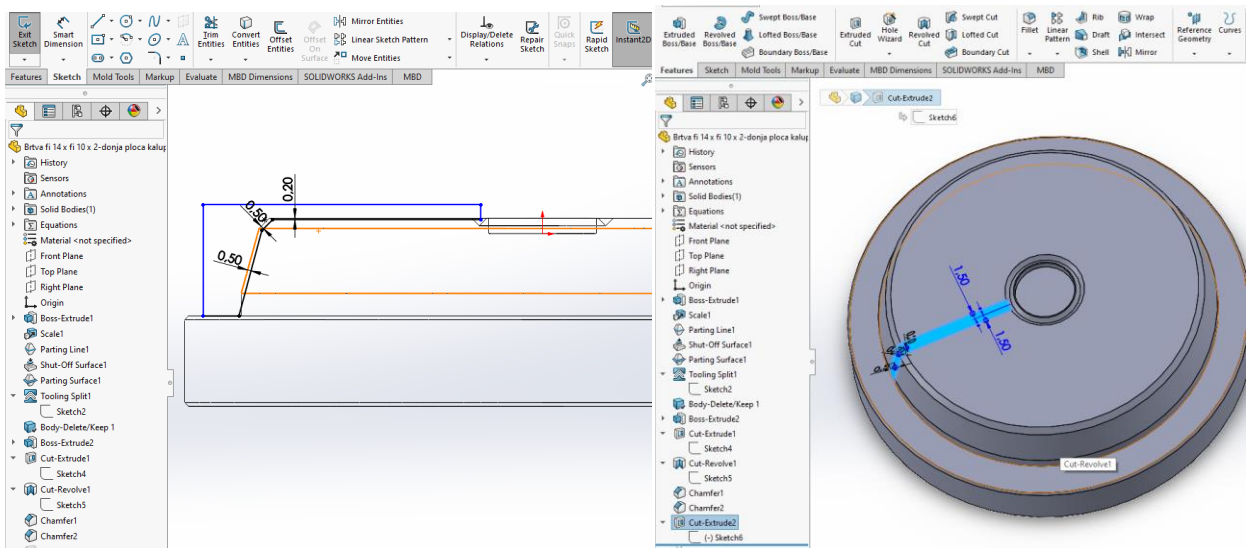


Slika 36 Oblikovanje sustava za vođenje i centriranje

Oblikovanje sustava za odzračivanje

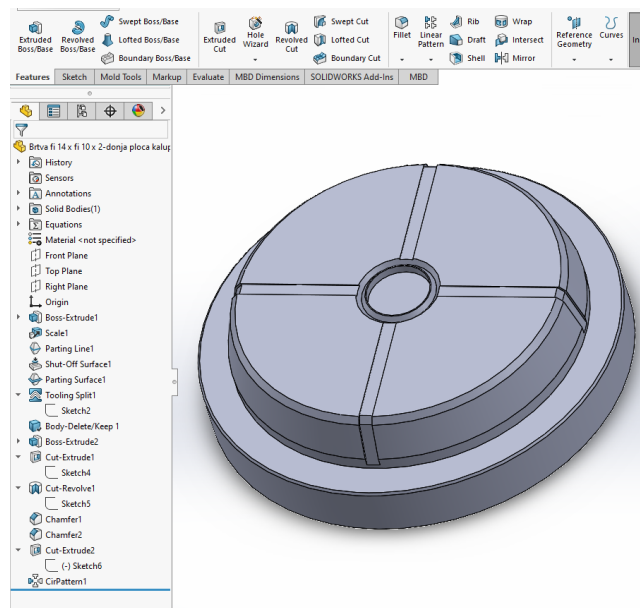
Kao što samo ime govori, ovaj sustav služi za odvođenje zraka iz kalupne šupljine u atmosferu. Kada ovaj sustav ne bi bio izrađen na kalupu, postoji mogućnost zarobljavanja zraka unutar kalupne šupljine tokom vulkanizacije, što se manifestira u mjehurićima na gotovom proizvodu. Prilikom zatvaranja kalupa u kojem se nalazi sirovina, zaostali zrak potiskuje se iz kalupne šupljine u kanale za izlaz viška gume, odakle dalje izlazi u okolinu kalupa kroz kanale za odzračivanje. Kanali za odzračivanje izrađuju se na površini dijeljenja kalupa te moraju biti povezani s okolnom atmosferom kalupa, kako bi zrak mogao izaći. Kanali za odzračivanje najčešće su pravokutnog poprečnog presjeka, što je najlakše za izradu.

Oblikovanje kanala za odzračivanje prikazano je na slici 37.



Slika 37 Oblikovanje sustava za odzračivanje

Jedan kanal za odzračivanje nije dovoljan, već ih je potrebno izraditi više, ali pritom treba paziti na izbalansiranost kalupa, što znači da moraju biti ravnomjerno raspoređeni po obodu. Uvijek je bolje napraviti više sitnih kanala za odzračivanje nego manje većih kanala. U slučaju prevelikog kanala, može se dogoditi da kroz njega izađe i previše sirovine iz kalupne šupljine, što rezultira škartnim proizvodom. Također vrijedi pravilo da su za veći volumen kalupne šupljine potrebni i kanali za odzračivanje većih dimenzija. U ovom slučaju odlučeno je izraditi četiri odzračna kanala, što je prikazano na slici 38. Iako naizgled ovo nije najbitniji dio kalupa, upravo pogrešna konstrukcija kanala za odzračivanje često dovodi do problema u procesu proizvodnje.

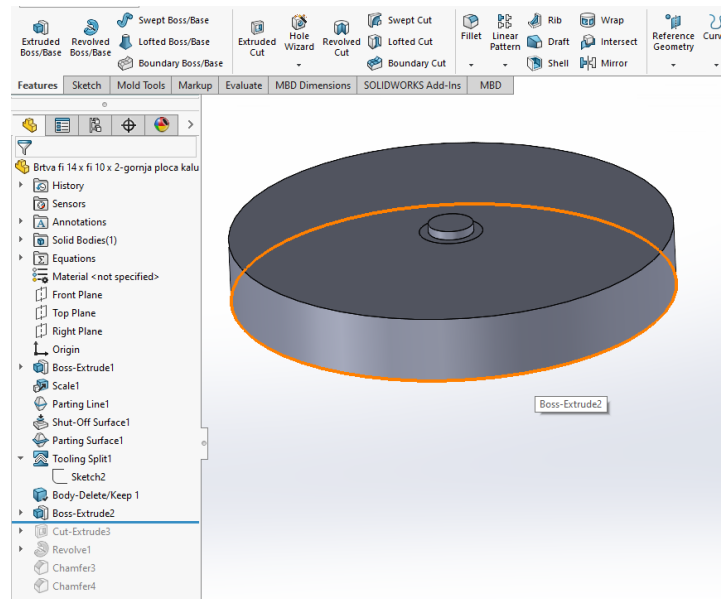


Slika 38 Oblikovanje sustava za odzračivanje

Konstrukcija donje ploče kalupa završava ovim korakom. Oblikovani su svi elementi koje treba sadržavati donja ploča kalupa. Ukoliko se pojavi neki nedostatak u konstrukciji, to će se pokazati prilikom izrade proizvoda, a u tom slučaju kalup mora ići na doradu.

4.3.2. Oblikovanje gornje ploče kalupa

Kao i u slučaju oblikovanja donje ploče kalupa, konstrukcija gornje ploče započinje od koncepta koji je prikaza na slici 39.

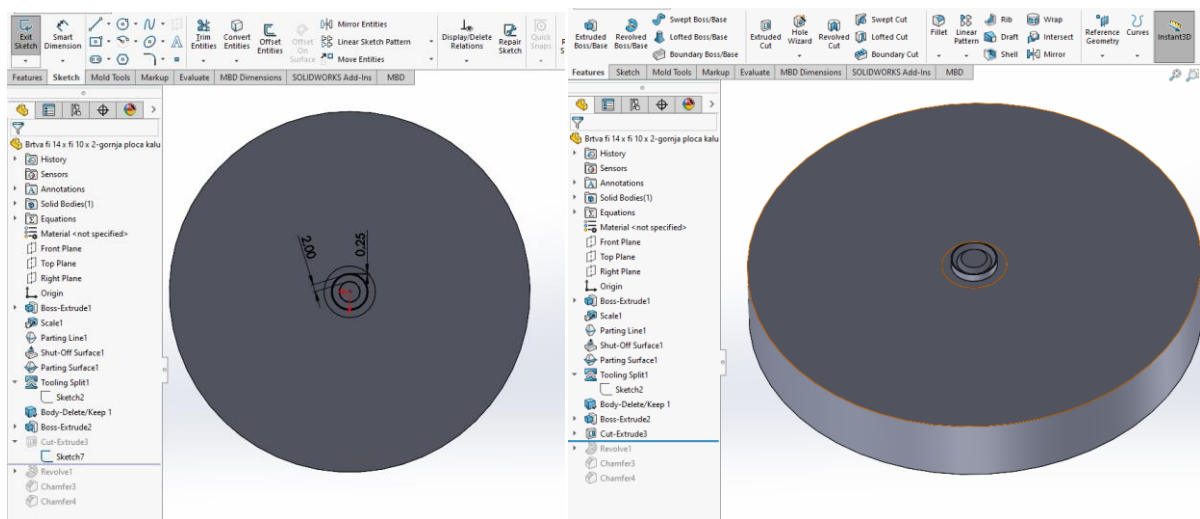


Slika 39 Koncept gornje ploče kalupa

Kako se kalupna šupljina donje ploče sastoji od udubine koja definira vanjski promjer proizvoda, tako gornja ima izbočinu koja definira unutarnji promjer proizvoda.

Oblikovanje kanala za izlaz viška gume

Funkcija kanala za izlaz viška gume već je opisana kod konstrukcije donje ploče kalupa, pa se neće ponovno opisivati. Bitno je napomenuti da se u slučaju gornje ploče kalupa ti kanali izrađuju na izbočenom dijelu, kako prikazuje slika 40.

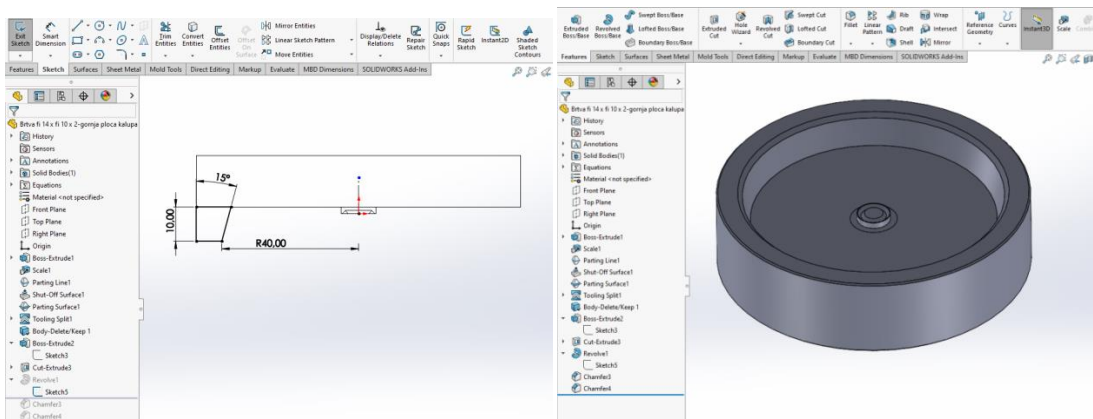


Slika 40 Oblikovanje kanala za višak gume

Oblikovanje sustava za vođenje i centriranje

Gornja ploča kalupa treba sadržavati ženski konus za vođenje koji dimenzijski odgovara konusu na donjoj ploči, kako bi se kalup mogao zatvoriti, a opet mora osigurati precizno vođenje, što znači da taj dio mora biti izrađen u uskim tolerancijama, kako nebi došlo do prevelikog zazora. Tolerancije sustava za vođenje prikazane su na tehničkoj dokumentaciji kalupa u prilogu. Visina konusnog vođenja mora biti veća od visine izbočenih dijelova na ploči kalupa, kako bi dijelovi za vođenje i centriranje prvi ušli u zahvat što je u ovom slučaju zadovoljeno.

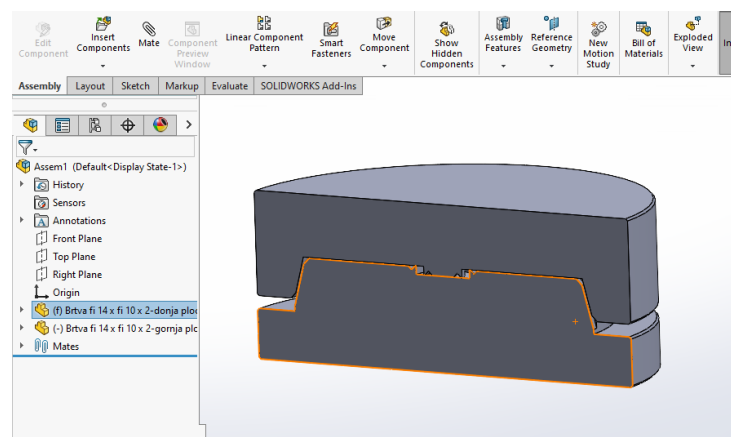
Slika 41 prikazuje oblikovanje konusa za vođenje i centriranje na gornjoj ploči kalupa



Slika 41 Oblikovanje konusa za vođenje i centriranje

Sklop donje i gornje ploče kalupa

Nakon što su definirani svi elementi kalupa koji su predviđeni prilikom izrade koncepta i konstrukcije kalupa, moguće je napraviti sklopni 3D model donje i gornje ploče kalupa, kojeg u presjeku prikazuje slika 42. Sljedeći korak je definiranje materijala od kojeg će se izraditi kalup te izrada tehničke dokumentacije, a zatim i izrada samog kalupa.



Slika 42 Sklop donje i gornje ploče kalupa u presjeku

4.4. Konstrukcija injekcijskog kalupa s 24 gnijezda

U slučaju velikoserijske proizvodnje bi izrada brtvi u kalupu sa samo jednim gnijezdom bila neisplativa. Postoje dva načina kako povećati efikasnost proizvodnje.

Prvi je skratiti vrijeme vulkanizacije, što je prihvatljivo do određene granice, ali tu postoji opasnost od podvulkaniziranosti proizvoda, odnosno preniskog postotka vulkaniziranosti, što dovodi do lošijih mehaničkih svojstava proizvoda te on ne može vršiti svoju funkciju.

Drugi način podrazumijeva izradu većeg broja proizvoda istovremeno. To se postiže istovremenom vulkanizacijom proizvoda u više kalupnih šupljina, odnosno potrebno je izraditi kalup s više gnijezda. Broj gnijezda ovisi o veličini serije proizvoda koja se izrađuje, što znači veća serija zahtijeva veći broj gnijezda, kako bi proizvodnja bila ekonomična. U slučaju većeg broja gnijezda ručno punjenje svake kalupne šupljine znatno bi produljilo vrijeme ciklusa, pa se zbog toga izrađuju injekcijski kalupi kod kojih se ubrizgavanje gume vrši pomoću stroja. Strojevi za injekcijsko prešanje gume imaju posebnu jedinicu za ubrizgavanje koja sirovinu ubrizgava u kalupne šupljine vrlo brzo, ali isto tako omogućava i vrlo precizno doziranje sirovine. U nastavku će biti prikazano oblikovanje injekcijskog kalupa s 24 gnijezda za izradu tražene brtve.

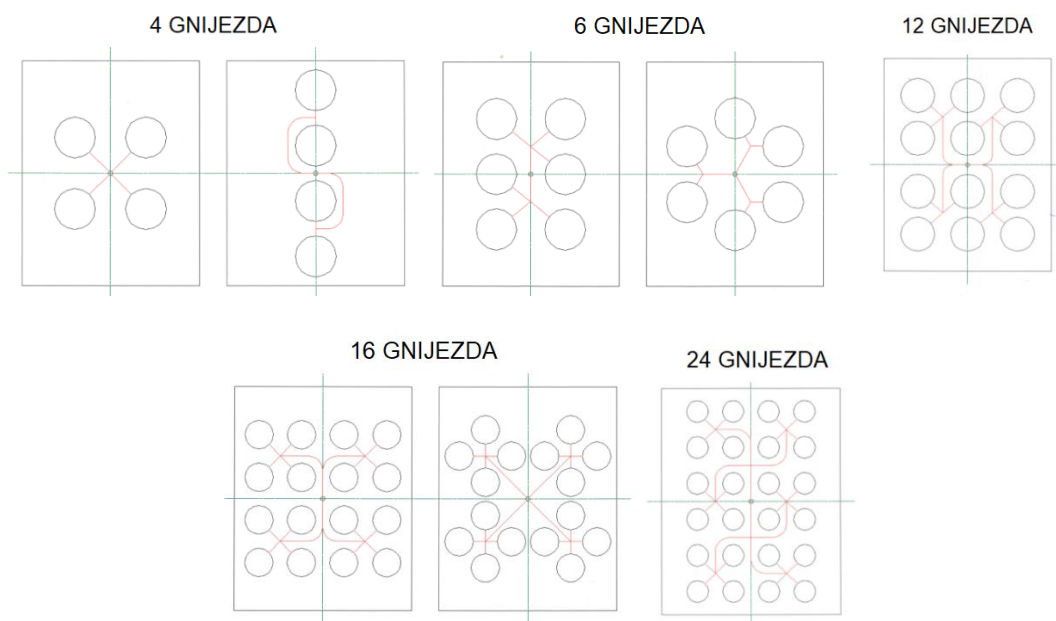
4.4.1. Oblikovanje donje ploče injekcijskog kalupa s 24 gnijezda

Oblikovanje koncepta kalupne šupljine i površine dijeljenja već je prikazano u prethodnom poglavlju i zbog toga se neće ovdje ponovo opisivati. Taj dio konstrukcije uvijek je jednak za svaki kalup, bez obzira na vrstu kalupa i broj gnijezda. Budući da ne postoji konkretna narudžba s definiranom količinom brtvi prema kojoj bi se odredio broj gnijezda, kao primjer prikazat će se konstrukcija kalupa s 24 gnijezda.

Oblikovanje rasporeda gnijezda u kalupu

Kod oblikovanja rasporeda gnijezda u kalupu važno je postići simetričan raspored, odnosno izbalansiranost kalupa. To se postiže tako da put tečenja sirovine od uljevka do svake kalupne šupljine bude jednak. Time se osigurava istovremeno popunjavanje svih kalupnih šupljina i jednake uvjete vulkanizacije te dobivanje proizvoda jednakih svojstava.

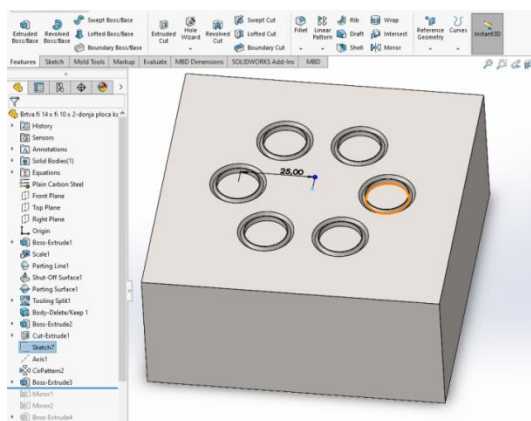
Za dobivanje 24 gnijezda postoji više mogućih kombinacija. Slika 43 prikazuje neke od preporuka kako rasporediti gnijezda da bi se dobio izbalansirani kalup.



Slika 43 Preporuke za raspored gnijezda u injekcijskom kalupu[6]

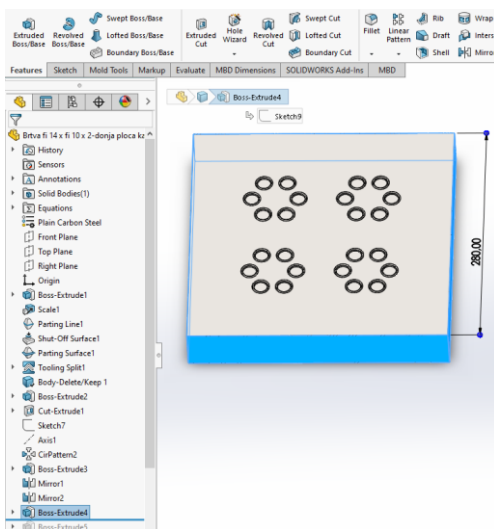
Kako bi se postiglo što bolje i efikasnije ulijevanje sirovine u kalupne šupljine, moguće je koristiti i kombinacije navedenih preporuka. Cilj određivanja rasporeda je skraćivanje puta tečenja sirovine, a samim time i smanjenje otpada. U ovom kontekstu otpadom se smatra guma koja ostaje vulkanizirana u uljevnim kanalima, jer se ona više ne može iskoristiti nego se mora baciti.

U konkretnom slučaju kalupa s 24 gnijezda, kada bi se svaka kalupna šupljina napajala zasebno, odnosno kad bi svaka kalupna šupljina imala svoj uljevni kanal, proizvelo bi se jako puno otpada, što je neisplativo. Također mogla bi se koristiti kombinacija da se po 2 kalupne šupljine napajaju iz jednog uljevnog kanala, pa bi imali 12 uljevnih kanala. Drugi primjer bio bi po 4 kalupne šupljine iz jednog kanala, a u tom slučaju kalup bi imao 6 uljevnih kanala. Optimalnom kombinacijom pokazalo se grupiranje po 6 gnijezda u 4 grupe, te se svakoj grupi zasebno dovodi sirovina. Slika 44 prikazuje jednu grupu od 6 gnijezda pravilno raspoređenih u krug.



Slika 44 Grupiranje gnijezda

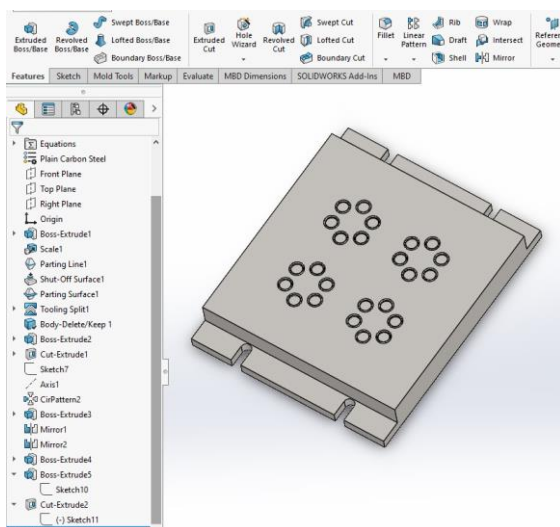
Kada je dobivena grupa od 6 gnijezda, vrlo jednostavno je operacijom zrcaljenja moguće dobiti i preostale grupe od po 6 gnijezda, odnosno svih 24. Slika 45 prikazuje donju ploču kalupa sa svim gnijezdima.



Slika 45 Prikaz donje ploče s 24 gnijezda

Oblikovanje sustava za pričvršćivanje kalupa na stroj

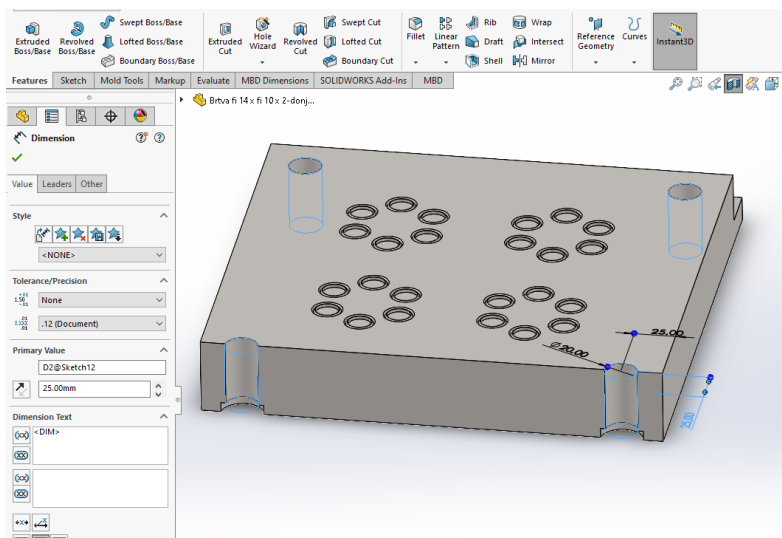
Sustav pričvršćivanja kalupa na stroj ovisi o samom stroju na kojem se proizvod izrađuje. Naime, grijaće ploče stroja na sebi imaju T-utore u koje se ubacuju T-matice, a u koje se pomoću vijaka mogu pričvrstiti ploče kalupa. Najjednostavniji način je izraditi utore na samoj ploči kalupa. Na dijelu kalupa gdje se nalaze utori za pričvršćivanje izrađuje se stepenica, kako bi glave vijaka bile ispod razine površine dijeljenja te da nebi smetale prilikom zatvaranja kalupa, kako prikazuje slika 46.



Slika 46 Oblikovanje sustava za pričvršćivanje kalupa

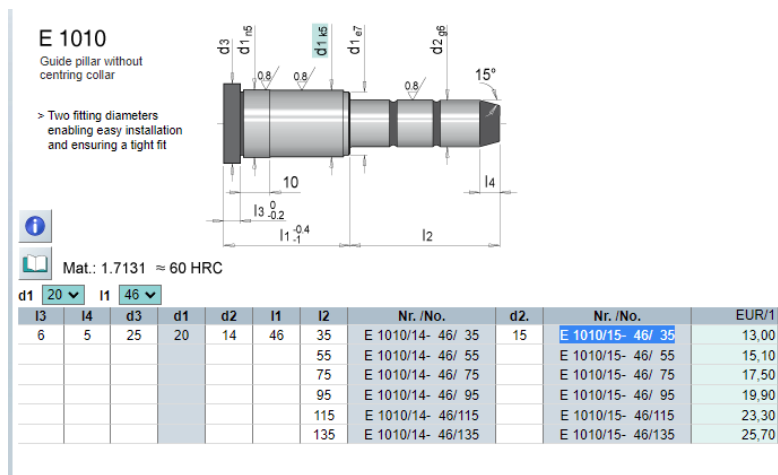
Oblikovanje sustava za vođenje i centriranje

U ovom slučaju odabire se sustav vođenja i centriranja pomoću vodilica i vodećih čahura. Iako bi se i ovdje moglo izvesti vođenje pomoću konusa, to bi ipak znatno produžilo vrijeme izrade kalupa, ali bi i puno materijala otišlo u otpad. Vodilice i vodeće čahure se ne izrađuju, već se naručuju kod dobavljača specijaliziranog za izradu istih. U donju ploču kalupa učvršćuju se vodilice, pomoću steznog spoja, u provrte koji moraju biti izrađeni u određenoj toleranciji, a koja će biti prikazana na tehničkoj dokumentaciji. Provrti za vodilice prikazuje slika 47. Provrti s donje strane imaju veći promjer, jer vodilice imaju „šeširić“ koji dodatno osigurava da se vodilica nebi iščupala iz provrta.



Slika 47 Oblikovanje sustava za vođenje i centriranje

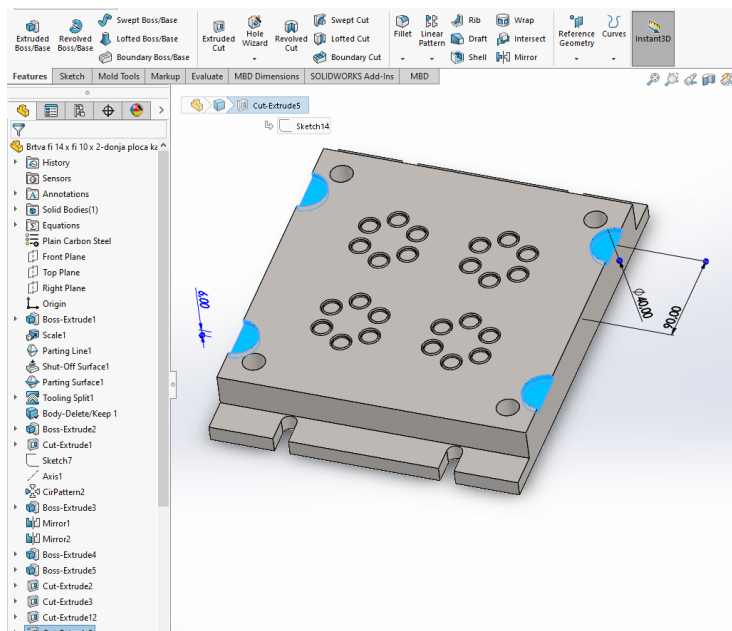
Slika 48 prikazuje vodilicu koja se naručuje kod specijaliziranog dobavljača. Vodilice su kaljene na tvrdoću 60 HRC te kružno brušene na kvalitetu površine $R_a=0,8 \mu\text{m}$. Time su osigurane protiv oštećenja, ali također omogućuju još preciznije i lakše vođenje i centriranje.



Slika 48 Prikaz vodilice[13]

Oblikovanje utora za otvaranje kalupa pomoću poluga

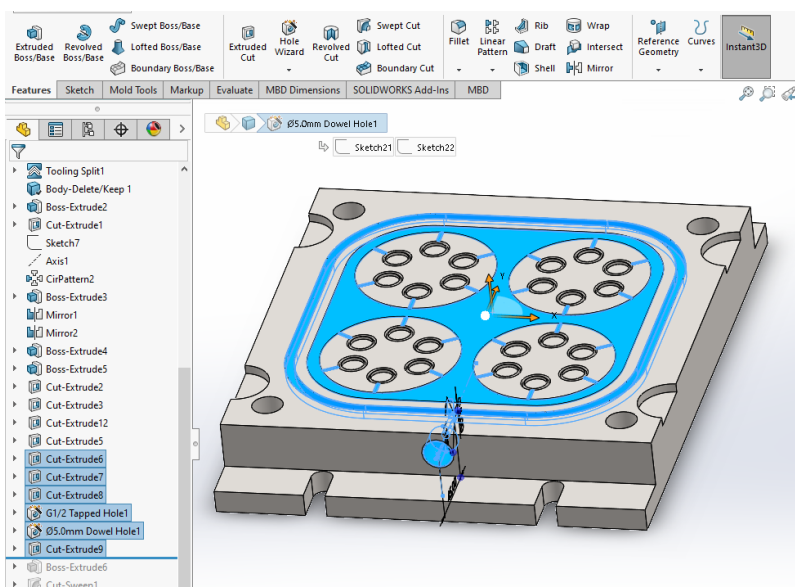
Iako je kalup za vrijeme rada pričvršćen na stroj koji ga i otvara u toku ciklusa, ponekad ga je potrebno otvoriti i kad nije na stroju. Potreba za tim može biti zbog čišćenja, izmjene oznaka ukoliko ih ima, sanacije oštećenja itd. U tom slučaju otvaranje se vrši ručno ili u slučaju teških kalupa pomoću dizalice. Na taj način nije moguće otvaranje vršiti potpuno jednolično kao što to radi stroj, pa se često dogodi da kalup „zapne“. To se događa zbog uskih tolerancija između vodilica i vodećih čahura. Kako bi se u takvom slučaju olakšalo otvaranje kalupa, potrebno je izraditi utore u koje se mogu ručno staviti poluge, kojima se potpomaže otvaranje, kao što je prikazano na slici 49.



Slika 49 Oblikovanje utora za poluge

Oblikovanje sustava za odzračivanje

Za razliku od prototipnog kalupa, kod injekcijskog postoji mogućnost odzračivanja pomoću sustava za stvaranje vakuuma u kalupu. Taj sustav je dio stroja za injekcijsko brizganje gume i priključuje se na kalup pomoću crijeva i priključka s navojem G1/2", stoga je potrebno na kalupu izraditi provrt s istovjetnim navojem. Taj dio nalazi se sa stražnje strane kalupa, kako nebi smetao operateru na stroju tokom rada. Kako bi sustav za vakuum mogao izvlačiti višak zraka, potrebno je izvesti brtvljenje između ploča kalupa kako vakuum nebi vukao okolni zrak, nego direktno iz kalupnih šupljina. Zbog toga se između ploča stavlja brtva, a pozicionira se u utor izveden u ploči kalupa, kako je prikazano na slici 49. Također, oko kalupnih šupljina potrebno je formirati „bazen“ koji povezuje sve kalupne šupljine sa sustavom za stvaranje vakuuma koji se nalazi na stroju. Svaka kalupna šupljina ima kanal za odzračivanje koji povezuje „bazen“ sa kanalima za izlaz viška gume. Kako bi provrt za pričvršćenje sustava za vakuum bio spojen s „bazenom“, potrebno ih je povezati pomoću provrta kao na slici 50. Pomoću ovih elemenata definiran je sustav za odzračivanje.

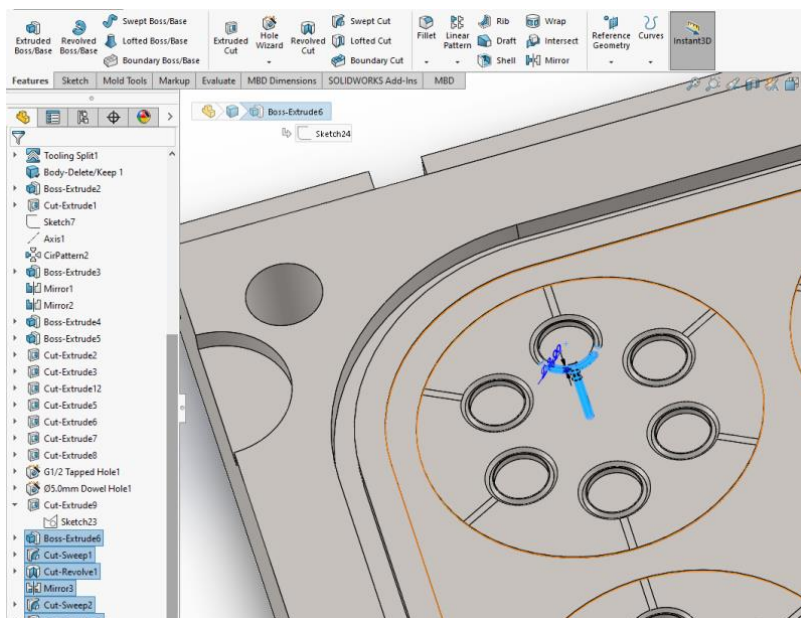


Slika 50 Oblikovanje sustava za odzračivanje

Oblikovanje uljavnog sustava

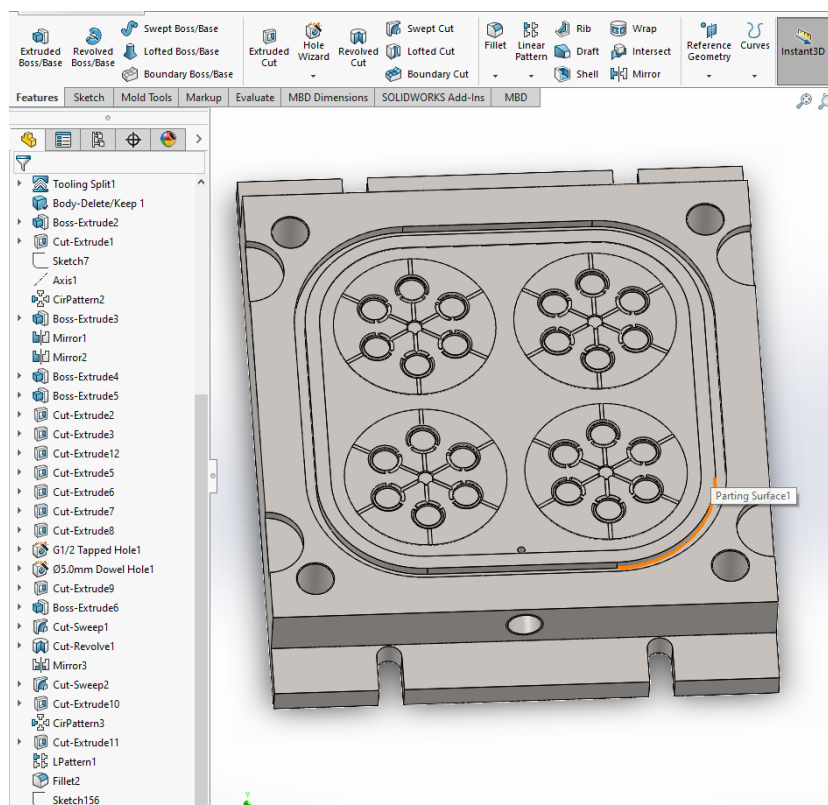
Zadatak uljavnog sustava je osigurati ispunjavanje sirovinom svake kalupne šupljine. Da bi se to omogućilo, uljevni sustav treba sadržavati elemente opisane u poglavlju 3. Postoji nekoliko mogućnosti izvedbe uljavnog sustava. Primjerice, uljevni sustav može imati jedan uljevak te se sirovina do kalupnih šupljina dovodi pomoću uljavnih kanala i razdjelnika. U drugom slučaju svaka grupa može imati zasebni uljevak, a ponekad i svaka kalupna šupljina može imati svoj uljevak. Razlika je u tome, što se kod zajedničkog uljevka sirovina ubrizgava direktno u kalup iz stroja, koji

ima samo jednu sapnicu. U slučaju izvedbe s više uljevaka, ne može se sirovina ubrizgavati direktno u kalup, već se sirovina iz stroja mora ubrizgati u poseban sklop, koji se naziva blok hladnih kanala (eng. cold runner block), a koji ima funkciju razdjeliti sirovinu na više uljevaka. Na taj način dobiva se ubrizgavanje sirovine u kalup bliže kalupnim šupljinama, što ima za posljedicu smanjenje količine otpada. Naime, unutar bloka hladnih kanala sirovina ne vulkanizira te se ne mora baciti, već se može iskoristiti u sljedećem ciklusu. U slučaju direktnog ubrizgavanja u kalup duljina uljevnih kanala je veća, a unutar njih sirovina vulkanizira, što znači da će biti na kraju ciklusa više otpada nego u prethodno opisanom slučaju. S obzirom da se radi o konstrukciji kalupa za volumenski malen proizvod, u slučaju direktnog ubrizgavanja generiralo bi se volumenski više otpada nego što bi imali proizvoda. Zbog toga je izabrano ubrizgavanje pomoću bloka hladnih kanala, čime se postiže ušteda materijala. Blok hladnih kanala neće se detaljno opisivati, već može biti posebna tema za zaseban rad. U konkretnom slučaju po 6 kalupnih šupljina imat će jedan uljevak. Svaka kalupna šupljina ima svoj uljevni kanal koji je ujedno i razvodnik. Uljevni kanali, odnosno razvodnici, kružnog su poprečnog presjeka, a koji je najpovoljniji zbog najboljeg tečenja sirovine. Ušća su oblikovana na tankom rubu između kalupne šupljine i razvodnika. Dubina ušća je 0,1 mm, što je sasvim dovoljno i kod volumenski mnogo većih proizvoda, zbog svojstva sirovine da joj se znatno smanjuje viskoznost porastom temperature. Uoblikovanje uljevnog sustava prikazuje slika 51.



Slika 51 Oblikovanje uljevnog sustava

Kada je oblikovan uljevni kanal za jednu kalupnu šupljinu, vrlo lako se može, pomoću jedne naredbe, „preslikati“ taj obrazac na sve ostale kalupne šupljine, kao što je prikazano na slici 52.



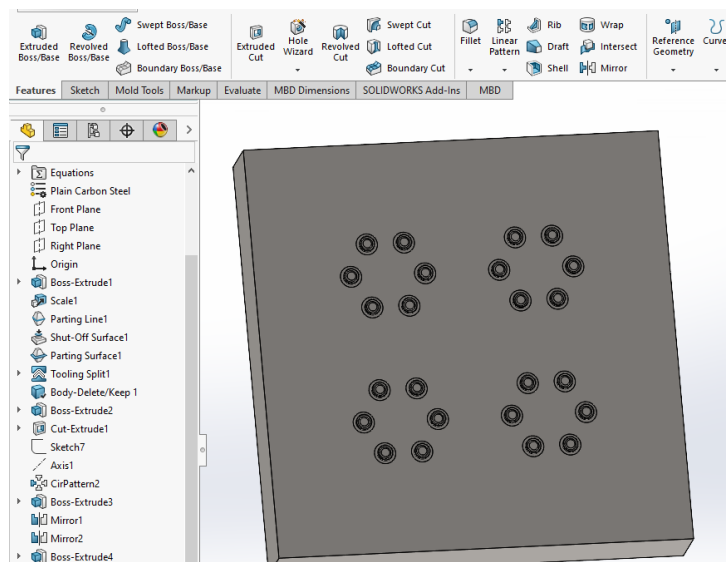
Slika 52 Prikaz kompletnog uljevnog sustava na donjoj ploči kalupa

Na mjestu ulaska sirovine iz uljevka u uljevne kanale poželjno je dodati mali bazen, kao što je vidljivo na slici 52, iz razloga da sirovina nebi odmah došla u kontakt s donjom pločom, koja je puno više temperature. To bi potaknulo brži početak vulkanizacije i otežalo ubrizgavanje, a već se u tom bazenu stvara vrtloženje, što pospješuje lakše ubrizgavanje sirovine. Time je završena konstrukcija donje ploče kalupa.

4.4.2. Oblikovanje gornje ploče injekcijskog kalupa s 24 gnijezda

Oblikovanje rasporeda gnijezda u kalupu

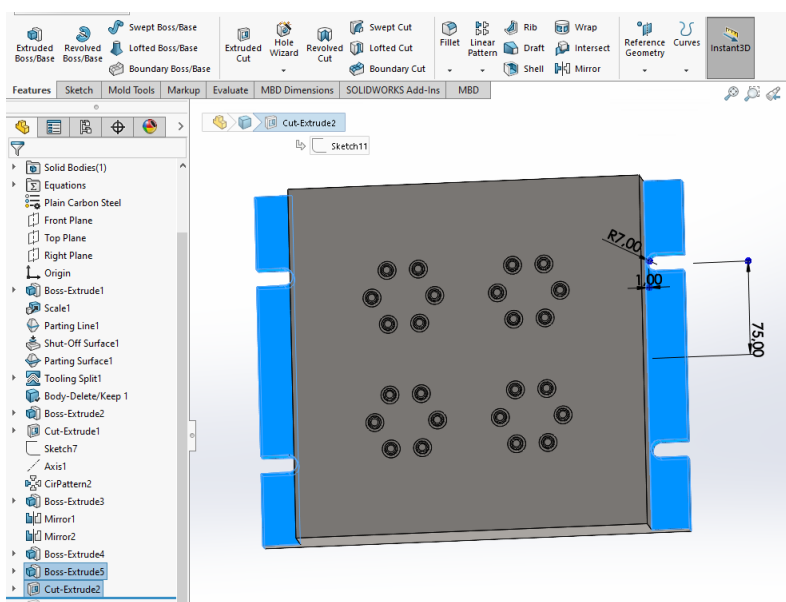
Raspored gnijezda (kalupnih šupljina) već je određen prilikom oblikovanja donje ploče kalupa te takav identičan raspored mora biti i u slučaju gornje ploče kalupa, jer gnijezda moraju biti u istoj osi, odnosno na istoj poziciji. Raspored kalupnih šupljina gornje ploče prikazan je na slici 53.



Slika 53 Raspored kalupnih šupljina gornje ploče

Oblikovanje sustava za pričvršćivanje kalupa na stroj

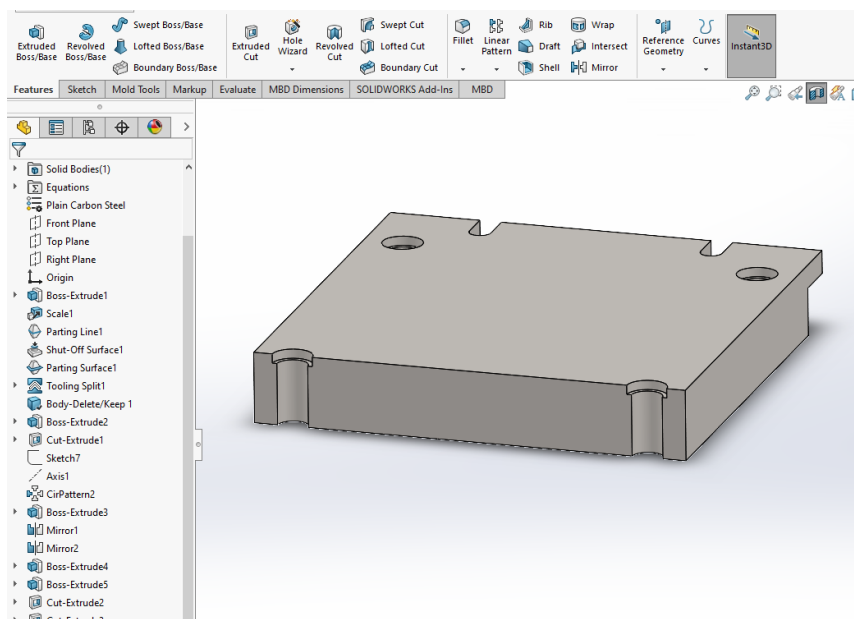
Gornja ploča kalupa pričvršćuje se na stroj, ili u ovom slučaju, na blok hladnih kanala, na jednak način kao i donja ploča kalupa. Iako blok hladnih kanala može imati svojih specifičnosti po pitanju pričvršćivanja kalupnih ploča, najčešće se ploče pričvršćuju pomoću vijaka koji ulaze u utor i zaviju se u T-matice, koje su u utorima bloka hladnih kanala. U ovom slučaju sustav za pričvršćivanje jednak je kao i kod donje ploče kalupa, a što je vidljivo na slici 54.



Slika 54 Oblikovanje sustava za pričvršćivanje

Oblikovanje sustava za vođenje i centriranje

Kod sustava za vođenje i centriranje pomoću vodilica i vodećih čahura, u jednu ploču kalupa učvrste se vodilice, a u ostale ploče vodeće čahure. Budući da je prethodno opisano kako će u donju ploču kalupa biti učvršćene vodilice, kod gornje ploče kalupa potrebno je oblikovati provrte za učvršćivanje vodećih čahura. Provrti moraju biti izrađeni u propisanoj toleranciji, kako bi se između njih i vodećih čahura formirao stezni spoj. S gornje strane gornje ploče kalupa, provrti imaju formiran dosjed većeg promjera, zbog toga jer vodeće čahure imaju „šeširić“ (naslon), koji sprječava njihovo izvlačenje iz provrta. Oblikovanje provrta za učvršćenje vodećih čahura prikazuje slika 55.



Slika 55 Oblikovanje provrta za vodeće čahure

Vodeće čahure također se naručuju kod specijaliziranog dobavljača, a odabranu vodeću čahuru za ovaj kalup prikazuje slika 56. Vodeće čahure kaljene su na tvrdoću 60 HRC, te kružno brušene na kvalitetu hrapavosti površine $Ra=0,8 \mu\text{m}$. Time je omogućeno lako i precizno vođenje i relativni pomak između vodilice i vodeće čahure.

E 1110
Guide bush without centring collar

> Two fitting diameters enabling easy installation and ensuring a tight fit
> With groove for the E 1575 Circlip

Mat.: 1.7131 ≈ 60 HRC

d1	l2	l3	l4	d3	d1	d2	l	Nr./No.	d2	Nr./No.	EUR/1
20	-	6	-	25	20	14	12	E 1110/14- 12	15	E 1110/15- 12	6.65
			7				17	E 1110/14- 17		E 1110/15- 17	7.20
			12				22	E 1110/14- 22		E 1110/15- 22	8.80
			17				27	E 1110/14- 27		E 1110/15- 27	10.60
			26				36	E 1110/14- 36		E 1110/15- 36	13.30
			36				46	E 1110/14- 46		E 1110/15- 46	15.90
46	46						56	E 1110/14- 56		E 1110/15- 56	18.50
							66	E 1110/14- 66		E 1110/15- 66	21.30
							76	E 1110/14- 76		E 1110/15- 76	23.90
							86	E 1110/14- 86		E 1110/15- 86	27.40
							96	E 1110/14- 96		E 1110/15- 96	29.80

Slika 56 Prikaz vodeće čahure[13]

Vodeći dio vodilice izrađen je u toleranciji g6, dok je provrt vodeće čahure izrađen u toleranciji H7, s nazivnom mjerom u oba slučaja 14 mm. Iščitavanjem vrijednosti iz tabele na slici 57 dolazi se do zaključka da je najmanja moguća vrijednost zračnosti između vodilice i vodeće čahure 0,006 mm, a najveća moguća vrijednost zračnosti 0,035 mm. Na taj način omogućeno je veoma precizno vođenje kalupnih ploča, što garantira tek neznatno odstupanje u debljini stijenki proizvoda.

ISO tolerancije za rukavce (ISO 286-2)																					
Nazivna dimenzija rukavca (mm)																					
od	3	6	10	18	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355	
do	6	10	18	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400	
mikrometri																					
g6	-4	-5	-6	-7	-9	-10	-12	-14	-15	-17	-18	-12	-14	-15	-17	-18	-12	-14	-15	-17	-18
	-12	-14	-17	-20	-25	-29	-34	-39	-44	-49	-54										

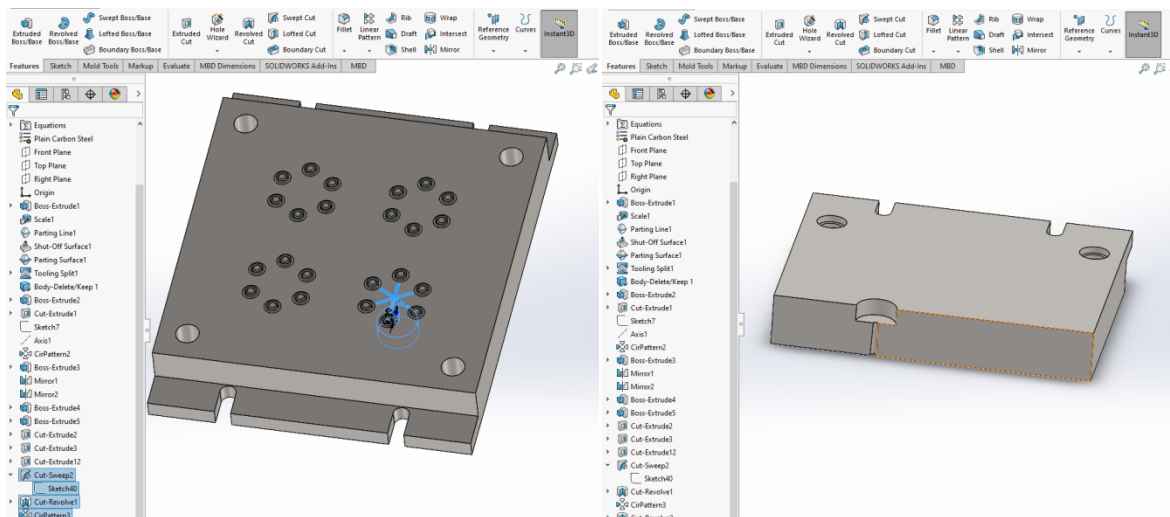
ISO tolerancije za provrte (ISO 286-2)																						
Nazivna dimenzija provrta (mm)																						
od	3	6	10	18	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355		
do	6	10	18	30	40	50	65	80	100	120	140	160	180	200	225	250	280	315	355	400		
mikrometri																						
H7	+12	+15	+18	+21	+25	+30	+35	+40	+46	+52	+57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Slika 57 Prikaz tolerancijskog polja vodilice i vodeće čahure

Oblikovanje uljavnog sustava

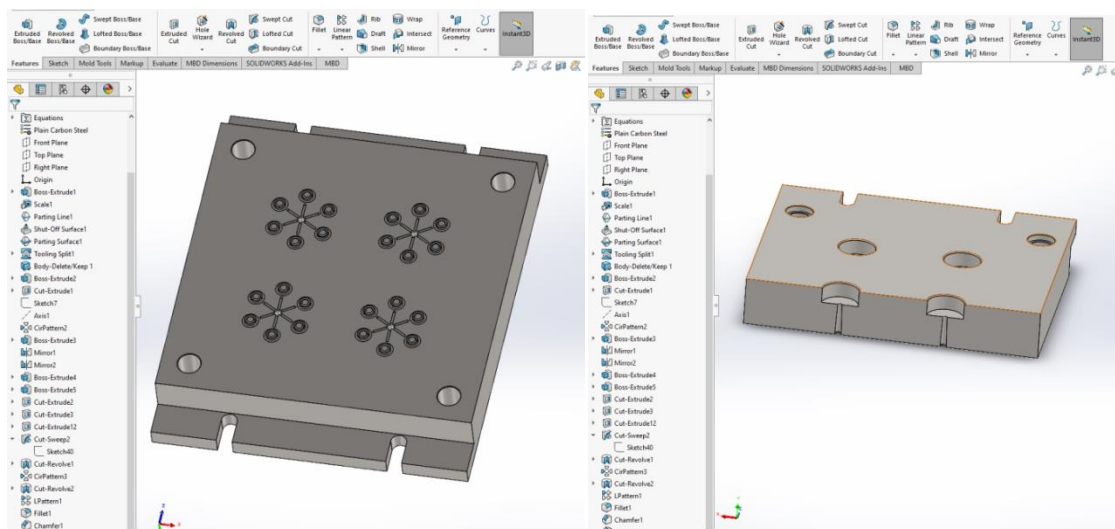
Većina elemenata uljavnog sustava oblikovana je i definirana prilikom konstrukcije donje ploče kalupa. Kod gornje ploče preostaje definirati uljevak. Uljevni kanali koji su ujedno i razvodnici, imaju kružni poprečni presjek. Budući da se polovica kanala nalazi u donjoj ploči kalupa, druga polovica izrađuje se u gornjoj. Ušća su definirana kod donje ploče kalupa, a ona se najčešće i izrađuju na samo jednoj ploči kalupa.

Uljevak je dio uljavnog sustava, koji povezuje mjesto gdje sirovina ulazi u kalup iz sapnice bloka hladnih kanala, sa uljevnim kanalima. Taj dio izrađuje se u obliku konusa prema dolje, kako bi se olakšalo vađenje vulkanizirane gume, koja prilikom vulkanizacije ostaje u uljevnom sustavu. Potrebno je još oblikovati i dosjede za sapnice bloka hladnih kanala. Te sapnice su izbočene, te je stoga potrebno na kalupu izraditi dosjed u koji one ulaze. Oblikovanje opisanih elemenata uljavnog sustava prikazuje slika 58.



Slika 58 Oblikovanje uljavnog sustava

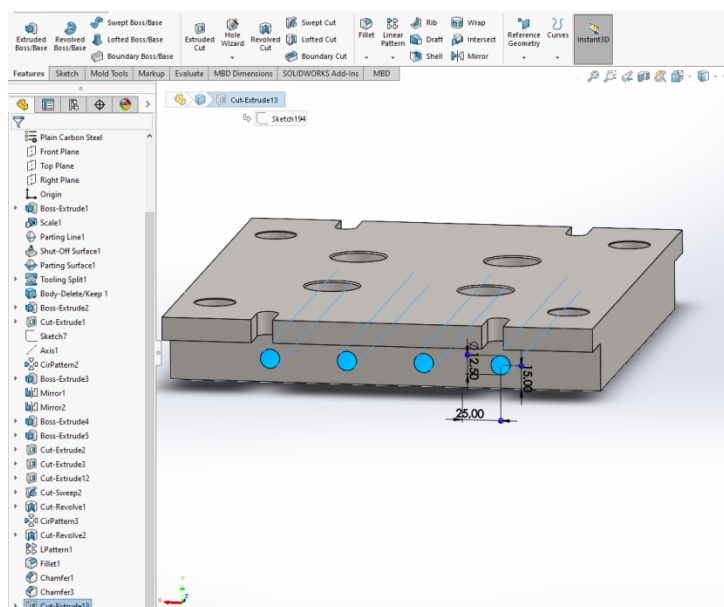
Nakon što je oblikovan uljevni sustav za jednu skupinu gnijezda, vrlo lako je preslikati te elemente i na ostale skupine gnijezda, kao što je prikazano na slici 59.



Slika 59 Prikaz kompletnog uljevnog sustava gornje ploče

Oblikovanje sustava za temperiranje

S obzirom da gornja ploča kalupa nije pričvršćena na grijaču ploču stroja, kao što je slučaj kod donje ploče, već je pričvršćena na blok hladnih kanala koji su zagrijani na temperaturu od cca 80°C, potrebno je oblikovati sustav za temperiranje. U tom slučaju gornja ploča zagrijava se pomoću ugrađenih grijača. Grijači su štapičastog tipa, promjera 12 mm, tako da je potrebno u kalupu izraditi odgovarajuće provrte u koje se ugrađuju grijači. Provrte je potrebno izbušiti kroz gornju ploču kalupa, a pritom je potrebno obratiti pažnju da grijači budu raspoređeni simetrično, kako bi se postiglo ravnomjerno zagrijavanje ploče. Na taj način izbjegavaju se razlike u temperaturi u pojedinim dijelovima gornje ploče kalupa, koje bi dovele do različitih vremena vulkanizacije kod pojedinih kalupnih šupljina. Oblikovanje sustava za temperiranje prikazuje slika 60.



Slika 60 Oblikovanje sustava za temperiranje

Time su oblikovani svi potrebni elementi gornje ploče, te je konstrukcija kalupa time završena.

5. Izrada brtve od kaučukove smjese u prototipnom kalupu

Vrlo često se u praksi prije početka serijske proizvodnje gumenih proizvoda izradi prototipna serija, što podrazumijeva manji broj komada, kako bi se taj gumeni proizvod mogao najprije testirati. Tek nakon što prototipna serija zadovolji svoju funkciju, kreće se sa izradom velike serije. Kako bi se smanjili troškovi izrade serijskog kalupa, ali i troškovi naknadne dorade u slučaju da proizvod ne ispunjava zahtjeve, najprije se izradi prototipni kalup s jednim gnijezdom. Ta praksa ustaljena je najviše zbog ekonomskog aspekta, odnosno izrada prototipnog kalupa višestruko je jeftinija od izrade serijskog kalupa. Takav slučaj opisan je i u ovom radu. Nakon što je izrađen prototipni kalup, može se započeti sa izradom prototipne serije brtvi.

5.1. Općenito o gumenim smjesama

Kako bi bolje razumjeli gumene proizvode, najprije treba navesti neke osnovne karakteristike gumenih smjesa. Općenito, gumene smjese su po svojim svojstvima elastomeri.

Elastomeri

Elastomeri su polimerni materijali s međusobno labavo vezanim makromolekulama. Dobivaju se vulkanizacijom plastomernih smjesa. Uvijek su amorfne strukture, a kod sobne temperature su gumasto-elastični, što znači da već i malo vanjsko opterećenje uzrokuje značajne deformacije. Međutim, te deformacije nestaju po nestanku vanjskog opterećenja. To je jedno od najvažnijih svojstava gumenih proizvoda, koje im daje mogućnost široke primjene u mnogim granama industrije. Na niskim temperaturama su tvrdi i krhki, dok an povišenim pokazuju dodatno elastično ponašanje, sve do temperature na kojoj započinje proces razgradnje. [2]

Kaučuk

Glavna sirovina za proizvodnju gumenih smjesa je kaučuk, prirodni ili sintetički. Radi se o neumreženoj, ali umreživoj polimernoj tvari s elastičnim svojstvima kod sobne temperature. Svojstvo da kaučuk kod povišene temperature počinje viskozno teći vrlo je važno, jer ono omogućuje preoblikovanje u željenu formu. [2]

Vulkanizacija ili umrežavanje

Umrežavanje podrazumijeva kemijsko-fizikalnu promjenu pretežno plastičnog kaučuka u gumasto-elastično stanje. Taj proces odvija se u specifičnim uvjetima tlaka i temperature, koji variraju zavisno od vrste smjese, u doređenom vremenskom periodu.

Umrežavanje se često naziva i vulkanizacijom, no pod tim pojmom se osim umrežavanja podrazumijeva i proces prerade. Kako bi se kaučuk mogao umrežiti, potrebno mu je dodati određene elemente, koji pospješuju umrežavanje. Najčešće dodavani kemijski element je sumpor za kaučuke s dvostrukim vezama, dok se za zasićene kaučuke koriste organski peroksidi. [2]

Vrste kaučuka

Kaučuk prilikom izrade gumenih proizvoda ima zadatak da obavije sve dodatke, pri čemu vrsta kaučuka određuje temeljna svojstva gotovog proizvoda kao što su postojanost, otpornost na starenje, deformabilnost pri nižim temperaturama te otpornost na utjecaj različitih medija (npr, voda, ulje, otapala). Poboljšanje određenih svojstava postiže se uporabom mnogih dodataka, no ipak samo do određene granice.

Sintetski kaučuci mogu se podijeliti u dvije osnovne skupine:

- **univerzalni**, koji se koriste u proizvodnji pneumatika i masovnih tehničkih proizvoda i
- **specijalni**, razvijeni za određene tehničke primjene.

Među univerzalne kaučuke pripadaju npr. NR, SBR, BR i IR. U skupinu specijalnih kaučuka ubrajaju se npr. EPDM, NBR, CR, EPM, ACM i Q kaučuci. Specijalni kaučuci razvijeni su da bi zadovoljili zahtjeve za povišenom otpornošću na ulje, ozon, gorenje, vodu, atmosferske utjecaje i sl. [2]

Dodaci kaučukovim smjesama

Kao što je već ranije spomenuto, gumenim smjesama dodaju se razni kemijski elementi i spojevi, kako bi se proizveo gumeni proizvod željenih svojstava.

Punila i ojačala dodaju se kako bi se omogućila lakša prerada i postigla tražena svojstva. Za poboljšanje mehaničkih svojstava dodaju se ojačala od kojih se najčešće koristi čađa. Za poboljšanje preradbenih svojstava i snižavanje cijene sirovine dodaju se punila kao što su azbest, kalcijev karbonat, barijev sulfat, drveno brašno itd.

Omekšavala su tvari koje omogućavaju lakše miješanje kaučukove smjese, omogućuju razdiobu drugih dodataka u smjesi, povisuju elastična svojstva te utječu na snižavanje cijene proizvoda. Dodavanjem do 5% omekšavala poboljšava se preradljivost smjese bez značajnog utjecaja na čvrstoću, dok se dodavanjem većeg udjela bitno snižavaju mehanička svojstva. Najčešće korištena omekšavala su razna ulja.

Dodaci za poboljšanje preradljivosti su smole, sapuni, voskovi, čisti ugljikovodici, masne kiseline i faktisi (proizvod polimerizacije nezasićenih ulja i masti sa sumporom i klorsumporom).

Dodaci za sprečavanje starenja su organski spojevi koji u malim količinama (1-3%) mogu doprinijeti sprečavanju starenja proizvoda. Kaučuku se u tu svrhu dodaju antioksidansi, antiozonati,

dodaci za produljenje trajnosti, dodaci za smanjenje gorivosti, itd.

Umrežavala su tvari koje izazivaju umrežavanje kaučukove smjese, a najčešće upotrebljavano umrežavalo je sumpor.

Ubrzavala i aktivatori dodaju se kako bi se smanjila potrebna količina umrežavala i ubrzala reakcija umrežavanja, ali i povisila kvaliteta gumenog proizvoda.

Usporavala i mastifikatori imaju zadaću spriječiti reakciju predumrežavanja i povećati plastičnost kaučukove smjese, ali ne i usporiti reakciju umrežavanja, pa se dodaju u malim količinama.

Ostali dodaci kaučukovim smjesama su pjenila, dodaci za sprečavanje neugodnog mirisa, dodaci za smanjenje gorivosti, za konzerviranje, za produljenje trajnosti proizvoda, upijala vlage i dr. [2]

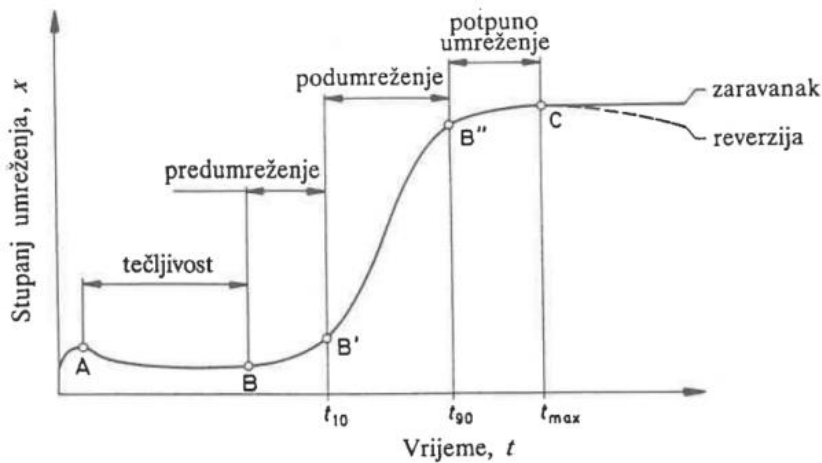
5.2. Preradbena svojstva gumenih smjesa

Kako bi se odabrala prava sirovina za određeni proizvod, potrebno je poznavati zahtjeve koji taj proizvod mora ispunjavati. Gotov, tehnički ispravan gumeni proizvod je proizvod koji svojim svojstima može odgovoriti na određene uvjete eksploatacije. Tokom vulkanizacije dolazi do fizičkih i kemijskih promjena kaučukove smjese, stoga treba obratiti pažnju na određena svojstva kao što su:

- svojstva umrežavanja
- svojstva tečenja
- toplinska svojstva.

Ova svojstva kaučukovih smjesa ispituju se raznim laboratorijskim metodama, na temelju čijih se rezultata određuju parametri vulkanizacije. Uređaji koji se najčešće koriste za ispitivanje svojstava umrežavanja i tečenja su kapilarni reometar i Mooney viskozimetar.

Trajanje vulkanizacije smjese u kalupu ovisi o brzini umrežavanja koja je funkcija vremena, kao što prikazuje slika 61. Na slici je vidljivo kako se niski stupanj umreženja nastoji održati tokom duljeg vremenskog perioda, a zatim se u kratkom roku nastoji postići potpuni stupanj umreženja. Ovaj podatak je od velike važnosti u proizvodnji gumenih proizvoda. [2]



Slika 61 Stupanj umreženja u ovisnosti o vremenu[2]

Fazu tečenja (A-B) karakterizira niska viskoznost smjese koja olakšava njezino tečenje i ispunjavanje kalupne šupljine

Faza predumreženja (B-B') obilježena je porastom stupnja umreženja, te dolazi do povećanja viskoznosti. Ovu fazu poželjno je odgoditi do popunjavanja kalupne šupljine kaučukovom smjesom.

Faza podumreženja (B'-B'') – događa se značajni porast stupnja umreženja, a ova faza završava kada stupanj umreženja dostigne 90%.

Faza potpunog umreženja (B''-C) – završava optimalnim stupnjem umreženja, na što ukazuje zaravanak krivulje, pri čemu je poželjno postići da on bude što duži.

Reverzija je faza koja se nastoji izbjeći, a najčešće je rezultat nepravilnog postupka prerade. Karakterizira je sniženje stupnja umreženja, pa samim time i fizikalno-mehaničkih svojstava.

Iz prethodno opisanih svojstava kaučukovih smjesa, zaključuje se da su parametri prerade rezultat kompromisa između dva suprotna zahtjeva: dovoljno dugog vremena umrežavanja i što kraćeg ukupnog vremena umrežavanja. Zbog toga se nastoji svojstva sirovine podesiti tako da u početku procesa ima pretežno nisku viskoznost, a da se u posljednjem koraku prerade postigne potpuni stupanj umreženja. [2]

5.3. Izrada brtve

Postoji više postupaka prerade kaučukovih smjesa kojim se dobivaju gotovi gumeni proizvodi, ali proces koji se odvija prilikom te prerade uvijek je umrežavanje, odnosno vulkanizacija. Najčešći postupak izrade gumenih proizvoda jest vulkanizacija u kalupu. U nastavku će biti opisan postupak izrade tražene brtve u prototipnom kalupu, koji je izrađen prema tehničkoj dokumentaciji za koju je postupak konstrukcije prikazan u poglavlju 4. Kalup je izrađen od čelika, postupcima obrade odvajanjem čestica tokarenjem i glodanjem. Slika 62 prikazuje izrađeni kompresijski prototipni kalup.



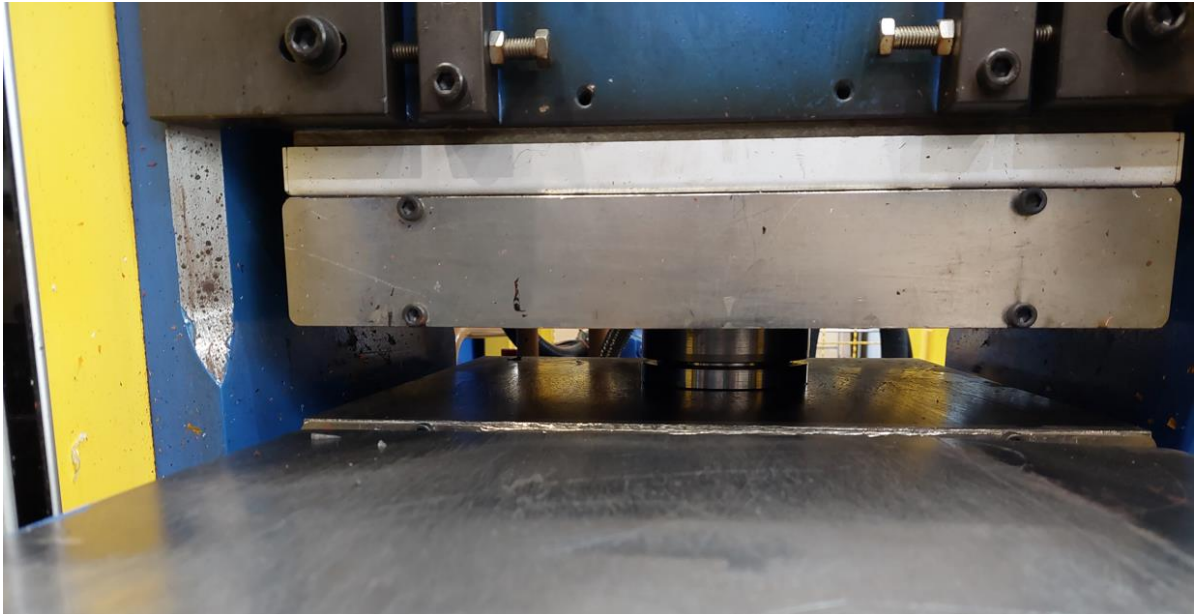
Slika 62 Prikaz izrađenog prototipnog kalupa, fotografirano 9.5.2022.

1. faza ciklusa – zagrijavanje kalupa

Postupak izrade brtve započinje zagrijavanjem kalupa na stroju za kompresijsko prešanje gumenih proizvoda. Glavni dijelovi stroja su upravljačka jedinica te donja nepomična grijača ploča i gornja pomična grijača ploča. Zatvoreni kalup stavi se na donju grijaču ploču, a zatim se gornja grijača ploča pomiče prema dolje, sve dok ne dođe u kontakt s kalupom. Na taj način se kalup zagrijava s donje i s gornje strane, kao što prikazuje slika 63. Kalup se zagrijava na određenu temperaturu, koja ovisi o sirovini iz koje se izrađuje proizvod. Ta temperatura određuje se na temelju laboratorijskih ispitivanja kaučukove smjese. Vrijeme zagrijavanja ovisi o samim dimenzijama kalupa, jer dimenzijski veći kalupi zahtijevaju dulje vrijeme zagrijavanja. Valja napomenuti kako se kod izrade prototipnih komada ne vrši proračun potrebnog vremena zagrijavanja, već se vrijeme

procjenjuje na temelju iskustva tehnologa te se provjerava laserskim termometrom prije sljedeće faze ciklusa.

Određena je temperatura zagrijavanja kalupa **180°C**, a vrijeme zagrijavanja **20 minuta**.



Slika 63 Zagrijavanje kalupa, fotografirano 9.5.2022.

2. faza ciklusa – punjenje kalupne šupljine

Kada kalup postigne željenu temperaturu, može započeti sljedeća faza ciklusa, punjenje kalupne šupljine. Kao što je prethodno opisano, kod ove vrste kalupa punjenje se vrši ručno. Kaučukova smjesa kao sirovina dolazi u dva oblika, u obliku bale širine otprilike 1 metar ili u obliku trake širine 50 do 100 milimetara. I bale i trake mogu biti različitih debljina, od 1 milimetra do 10 i više milimetara. Dimenzije sirovine ovise o dimenzijama i obliku kalupne šupljine, odnosno gotovog proizvoda. Kako se u ovom slučaju radi o kalupu s dimenzijski malom kalupnom šupljinom, potrebno je pripremiti sirovac koji će dimenzijski odgovarati kalupnoj šupljini i omogućiti punjenje. U ovom slučaju dovoljno je izrezati komad kaučukove smjese u obliku „kvadratića“, dimenzija kao što je kalupna šupljina. Sirovac može biti veće debljine nego što je debljina proizvoda kako bi se osiguralo 100% ispunjavanje kalupne šupljine. Budući da kalup ima kanale za izlaz viška gume, sirovac nešto veće mase od gotovog proizvoda neće negativno utjecati na proces izrade jer će taj višak mase izaći iz kalupne šupljine. Sirovac je pripremljen iz kaučukove smjese debljine 3 milimetra, a punjenje se vrši kao što je prikazano na slici 64. Važno je napomenuti kako se faza punjenja odvija izvan stroja, te je poželjno to vrijeme što je više moguće skratiti, kako bi kalup zadržao što višu temperaturu. Izračun mase sirovca za ispunjavanje kalupne šupljine vrši se na način da se neto masa koja je potrebna za ispunjavanje kalupne šupljine uveća za 10 do 15%.

Izračun mase sirovca

$$D = 14,29 \text{ mm}$$

$$d = 10,21 \text{ mm}$$

$$h = 2,04 \text{ mm}$$

$$\rho = 0,00125 \text{ g/mm}^3$$

Izračun mase m se vrši prema sljedećoj formuli:

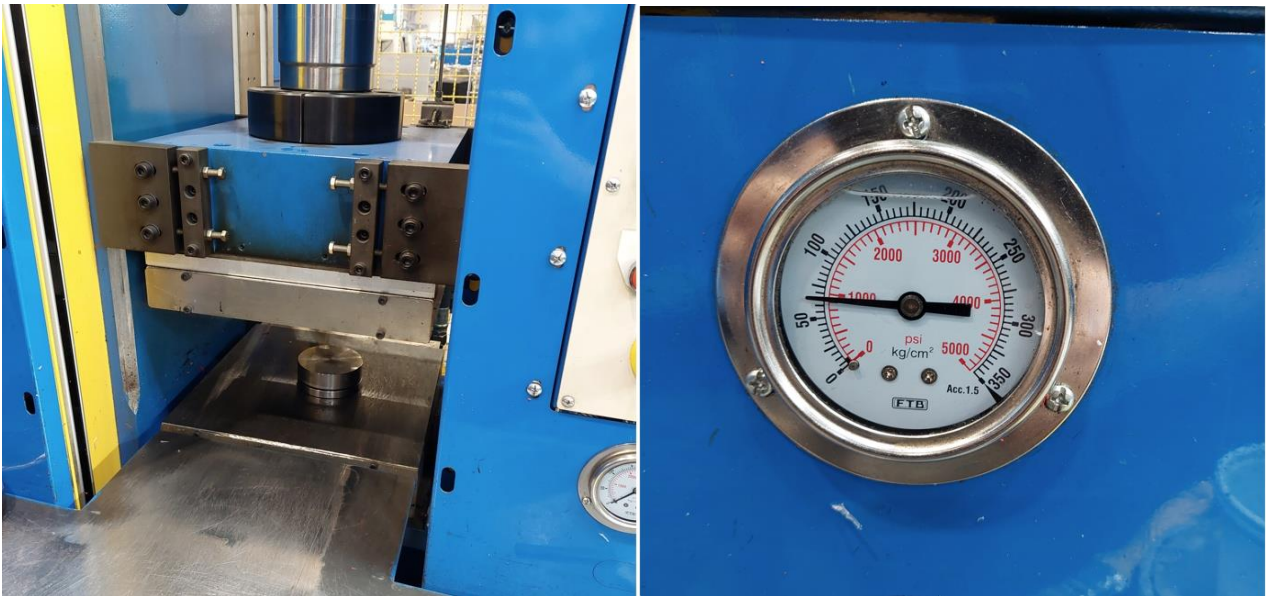
$$m = \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi}{4} \cdot h \cdot \rho \cdot 1.015 = \frac{(14,29^2 - 10,21^2) \cdot \pi}{4} \cdot 2,04 \cdot 0,00125 \cdot 1.015 = 0,2 \text{ g} \quad (1)$$



Slika 64 Prikaz ručnog punjenja kalupne šupljine, fotografirano 9.5.2022.

3. faza – zatvaranje kalupa

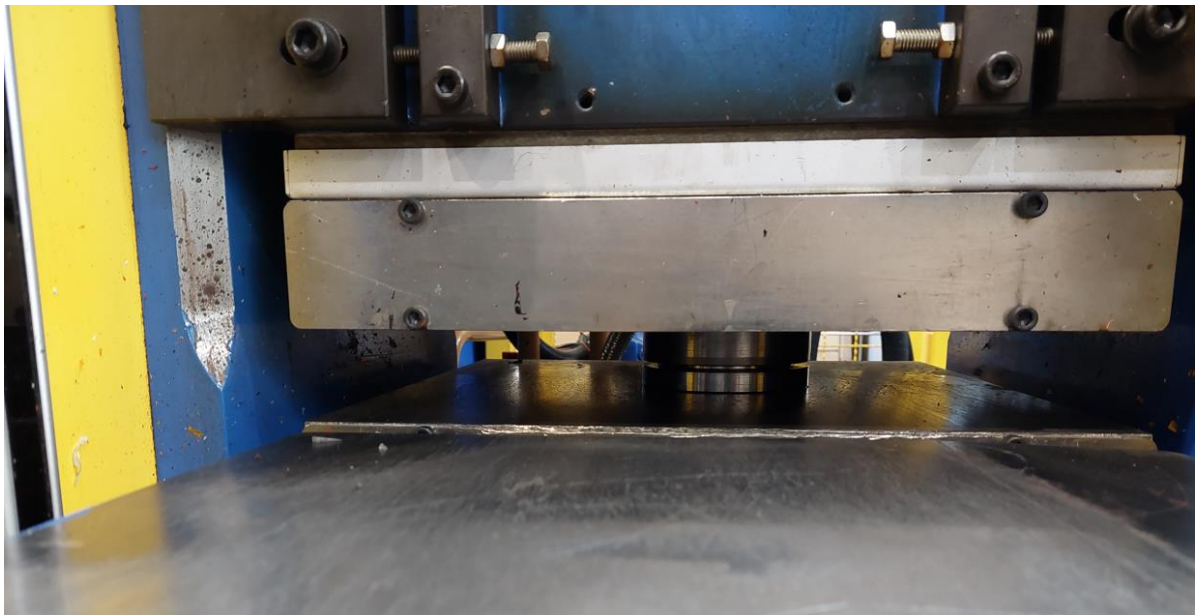
Nakon punjenja kalupne šupljine potrebno je kalup ručno zatvoriti i staviti ponovno na donju grijaću ploču stroja. Zatim se gornja grijaća ploča stroja spušta i pritišće donju ploču kalupa određenim tlakom. Tlak zatvaranja kalupa ovisi o dimenzijama kalupne šupljine i dimenzijama kalupa. Dimenzijski veći kalup podrazumijeva i veći tlak zatvaranja. U ovom slučaju dovoljno je tlak zatvaranja podesiti iznad 50 MPa, što je dovoljno za zatvaranje dimenzijski malenih kalupa. Vrijednost tlaka zatvaranja proračunava se u specijalnom programskom paketu SigmaSoft, no to je dugotrajni proces, pa se koristi samo kod serijskih kalupa. Kod prototipnih kalupa se ta vrijednost određuje na temelju iskustva tehnologa, te se po potrebi može korigirati. Taj način je ekonomski isplativiji od složenog i dugotrajnog proračuna. Zatvaranje kalupa prikazuje slika 65 gdje je vidljiv tlak zatvaranja od 65 MPa.



Slika 65 Prikaz zatvaranja kalupa, fotografirano 9.5.2022.

4. faza – vulkanizacija

Nakon što je kalup zatvoren, započinje faza umrežavanja odnosno vulkanizacije. Kalup se drži zatvoren određenim tlakom i pod određenom temperaturom, određeno vremensko razdoblje. Kao što je vidljivo na slici 61 teži se postići idealno vremensko trajanje vulkanizacije, kako bi stupanj umreženja bio što je moguće viši, a da ne dođe do pojave reverzije, čiji bi rezultat bila lošija mehanička svojstva gotovog proizvoda. Vremensko trajanje vulkanizacije određuje se prema krivulji dobivenoj ispitivanjem kaučukove smjese na uređaju koji se naziva reometar. Reometarska krivulja prikazana je na slici na stranici 76 koja se nalazi u Prilogu rada. Na osnovu te krivulje određeno je vrijeme vulkanizacije od 4 minute. Slika 66 prikazuje vulkanizaciju brtve u kalupu.



Slika 66 Vulkanizacija brtve u kalupu, fotografirano 9.5.2022.

5. faza –otvaranje kalupa i vađenje brtve

Po završetku faze vulkanizacije preša se otvara, tj. gornja grijaća ploča se podiže, te je potrebno kalup ručno izvaditi izvan prostora grijaćih ploča i ručno ga otvoriti pomoću poluge. Nakon toga slijedi vađenje brtve iz kalupne šupljine. Kod jednostavnijih proizvoda poput ovog, najlakše se proizvod izvadi pomoću komprimiranog zraka, tj. pomoću pištolja na zrak. Komprimirani zrak se lagano upuhuje u kalupnu šupljinu te on potiskuje proizvod prema van. Time je jedan ciklus vulkanizacije završen, a sljedeći započinje ponovnim punjenjem kalupa. Slika 67 prikazuje otvoreni kalup i izvađenu brtvu iz kalupne šupljine.



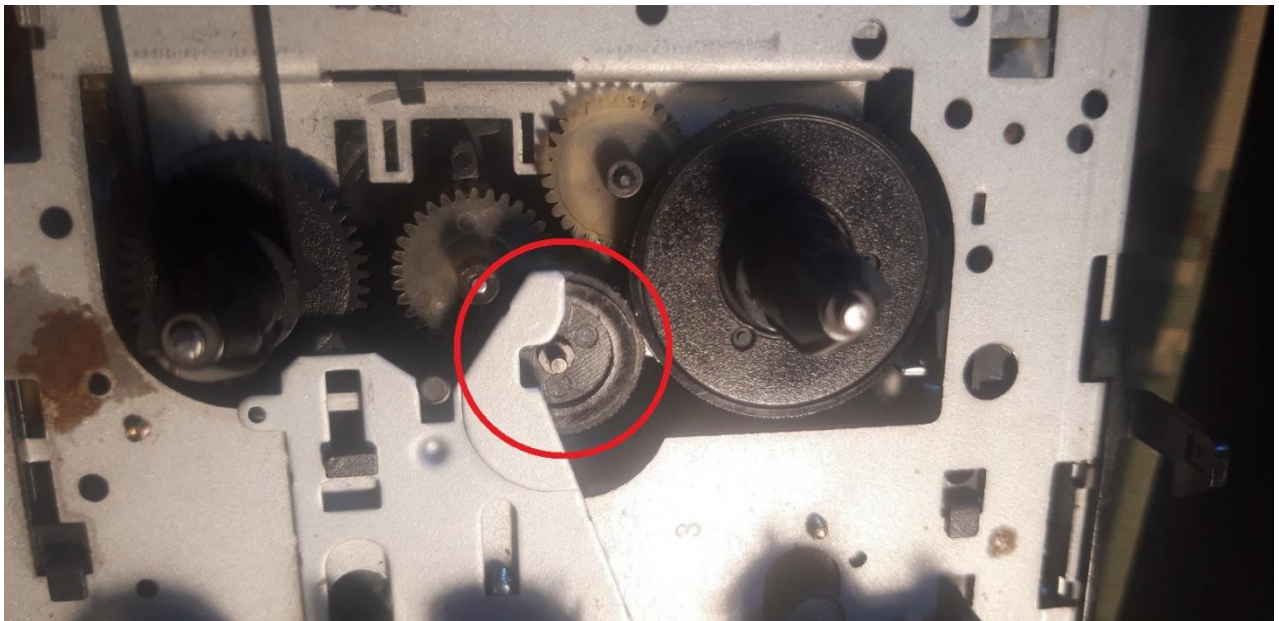
Slika 67 Otvoreni kalup i gotovi proizvod, fotografirano 9.5.2022.

Ponekad na gotovom proizvodu može ostati srh na rubovima gdje se nalazi ravnina dijeljenja kalupa. U tom slučaju proizvod može zahtijevati naknadnu ručnu obradu u smislu odstranjivanja tog srha, a ponekad se taj srh može otkloniti zamrzavanjem komada u bubnju koji se okreće. Tako dolazi do udaranja proizvoda jedan o drugi, a pri tome se ti tanki srhovi lome i otpadnu s komada. Taj postupak isplativ je samo kod većih serija.

Pošto je prototipna serija od 10 komada brtvi izrađena, pristupilo se montaži brtve u pripadajući sklop te testiranju istog. Prilikom puštanja u rad utvrđeno je da sklop radi normalno te da brtva uspješno prenosi gibanje s jednog kotačića na drugi. Shodno tome može se zaključiti da je čitav proces izrade brtve, od mjerenja dimenzija i tvrdoće brtve, odabira materijala brtve te konstrukcije i izrade kalupa, uspješno proveden. Slika 68 prikazuje brtvu ugrađenu na pripadajući kotačić, a slika 69 prikazuje kompletni sklop na kojem je brtva zaokružena crvenom bojom.



Slika 68 Brtva ugrađena na pripadajući kotačić, fotografirano 13.5.2022.



Slika 69 Sklop uređaja, fotografirano 13.5.2022.

6. Troškovnik izrade kalupa i brtvi

U slučaju izrade novog proizvoda, osim tehnološkog aspekta vrlo bitan je i onaj ekonomski. Kupac uvijek prije narudžbe novog proizvoda želi znati kolika će biti cijena tog posla. Kako bi kupac dobio potrebnu informaciju i na temelju nje odlučio o potencijalnoj narudžbi proizvoda, on dobiva informaciju o cijeni proizvoda u obliku ponude. U nastavku će biti prikazane nabavne cijene konstrukcije kalupa, izrade kalupa te izrade proizvoda. Važno je napomenuti kako prikazane cijene vrijede unutar tvrtke Gumiimpex-GRP d.d., te je moguće odstupanje od cijena drugih ponuđača. Radi se o nabavnim cijenama, bez marže.

1. Cijena konstrukcije prototipnog kalupa

Cijena konstrukcije ovisi o vremenu utrošenom za taj posao. To vrijeme odnosi se na izradu 3D modela kalupa te popratne tehničke dokumentacije.

Cijena sata konstrukcije: 150 kuna.

Vrijeme konstrukcije: 1 sat

Cijena konstrukcije: 1 sat x 150 kuna = **150 kuna**

2. Cijena konstrukcije serijskog kalupa s 24 gnijezda

Cijena sata konstrukcije iznosi 150 kuna.

Vrijeme konstrukcije: 5 sati

Cijena konstrukcije: 5 sati x 150 kuna = **750 kuna**

3. Cijena izrade prototipnog kalupa

Cijena izrade ovisi o vremenu izrade kalupa i cijeni čelika utrošenog za izradu istog.

Čelik potreban za izradu prototipnog kalupa (1.0554): $\phi 110 \times 28$ – 2 komada (4,2 kg)

Cijena čelika: 16 kn/kg

Cijena sata rada na tokarskom stroju: 150 kuna.

Vrijeme izrade na tokarskom stroju: 1 sat

Cijena sata rada na CNC glodalici: 240 kuna.

Vrijeme izrade na CNC glodalici: 30 min

Cijena izrade kalupa: $4,2 \text{ kg} \times 16 \text{ kn/kg} + 1 \text{ sat} \times 150 \text{ kuna} + 0,5 \text{ sati} \times 240 \text{ kuna} = \mathbf{337,2 \text{ kune}}$

4. Cijena izrade serijskog kalupa s 24 gnijezda

Čelik potreban za izradu prototipnog kalupa (1.2311): $350 \times 290 \times 50$ – 2 komada (79 kg)

Cijena čelika: 40 kn/kg

Cijena sata rada na CNC glodalici: 240 kuna.

Vrijeme izrade na CNC glodalici: 45 sati

Cijena vodilice: 97,90 kn/kom

Cijena vodeće čahure: 119,74 kn/kom

Cijena izrade kalupa: $79 \text{ kg} \times 40 \text{ kn/kg} + 45 \text{ sati} \times 240 \text{ kuna} + 4 \times 97,90 \text{ kn} + 4 \times 119,74 =$
14830,56 kuna

5. Cijena izrade brtve u prototipnom kalupu – za 10 kom brtvi

Cijena izrade ovisi o vremenu izrade brtvi i cijeni kaučukove smjese utrošene za izradu iste.

Kaučukova smjesa potrebna za izradu serije brtvi (EPDM 6001c): $14 \times 14 \times 3 = 10$ komada (8 g)

Cijena kaučukove smjese: 128 kn/kg

Cijena sata rada na stroju za vulkaniziranje: 150 kuna.

Vrijeme izrade na stroju za vulkaniziranje: zagrijavanje kalupa 20 min, izrada brtvi 5 min/ciklus

Cijena izrade serije brtvi: $0,008 \text{ kg} \times 128 \text{ kn/kg} + 0,33 \text{ sati} \times 150 \text{ kuna} + 0,83 \text{ sati} \times 150 \text{ kuna} =$
175,02 kuna

Jedinična cijena brtve: $175,02/10 =$ **17,5 kuna**

6. Cijena izrade brtve u serijskom kalupu s 24 gnijezda – za 10000 kom brtvi

Za izradu 10000 komada brtvi potrebno je odraditi: $10000/24 = 417$ ciklusa vulkanizacije

Kaučukova smjesa potrebna za izradu serije brtvi (EPDM 6001c): 5 kg ukupno

Cijena kaučukove smjese: 128 kn/kg

Cijena sata rada na stroju za vulkaniziranje: 180 kuna.

Vrijeme izrade na stroju za vulkaniziranje: zagrijavanje kalupa 1sat, izrada brtvi 4 min/ciklus

Cijena izrade serije brtvi: $5 \text{ kg} \times 128 \text{ kn/kg} + 1 \text{ sat} \times 180 \text{ kuna} + 27,8 \text{ sati} \times 180 \text{ kuna} = 5824$ kune

Jedinična cijena brtve: $5824/10000 =$ **0,58 kuna**

7. Zaključak

Proizvodnja gumenih tvorevina danas je vrlo raširena proizvodna grana, budući da takvi proizvodi nalaze vrlo široku primjenu u svim granama industrije. Gumeni proizvodi koriste se kao pneumatici za cestovna vozila, razne brtve u pneumatskim i hidrauličkim sustavima, brtve u cjevovodima, zaštitu tankova i posuda, transportne trake, razni nosači i amortizere itd. Gotovo da nema stroja ili uređaja koji u sebi nema ugrađen nekakav gumeni proizvod. Stoga je vrlo važno upoznati specifičnosti postupka izrade takvih proizvoda ali i onoga što im prethodi, bez čega ne bi bilo moguće izraditi takve proizvode, a to je konstrukcija i upotreba kalupa.

Konstrukcija i izrada kalupa ima svoja pravila i specifičnosti koje treba poštovati, kako bi se na kraju dobio proizvod koji zadovoljava zahtjeve eksploatacije. Pravilnom konstrukcijom i izradom kalupa, ali i odabirom odgovarajućih parametara procesa izrade, moguće je proizvoditi velike serije proizvoda u relativno kratkom vremenu.

Zato pristup konstruktora samoj konstrukciji kalupa treba biti metodičan, poštivajući sve prethodno opisane elemente kalupa. Ukoliko pogreška nastane prilikom konstrukcije, ona se provlači kroz sve faze koje slijede, te se nažalost uočava tek prilikom stavljanja kalupa u rad. U praksi se dešava da i kvalitetno razvijen kalup prilikom prvog testiranja ne funkcionira ispravno, te ga je potrebno vratiti na doradu. Razlog tome je veliki broj parametara koji utječu na samu proizvodnju, a koje nije moguće svaki put predvidjeti.

Kao i u mnogim područjima rada, iskustvo konstruktora i ovdje igra veliku ulogu. Dugogodišnjim radom u ovom području stječe se potrebno znanje i vještine, koje se može primjeniti prilikom razvoja kalupa za novi proizvod.

Danas već postoje vrlo kvalitetna programska rješenja za analizu kompresijskog i injekcijskog prešanja gumenih proizvoda, koji uvelike olakšavaju razvoj novih kalupa i pomažu u otklanjanju pogrešaka, koje bi u suprotnom došle do izražaja tek prilikom stavljanja kalupa u rad. No takvi programi su vrlo skupi i nisu dostupni velikom broju proizvođača gumenih proizvoda.

Iz tog razloga još uvijek se na našem području konstruktori uglavnom pouzdaju u svoje znanje i iskustvo, a na poslodavcima je da im omoguće što kvalitetniju edukaciju, kako bi u konačnici imali što kvalitetniji proizvod uz što manje troškove.



IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

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

Ja, NIKOLA DELIĆ (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom KONSTRUKCIJA KALUPA ZA IZRADU GUMENE BRTOVE (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Nikola Delić

(vlastoručni potpis)

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

Ja, NIKOLA DELIĆ (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom KONSTRUKCIJA KALUPA ZA IZRADU GUMENE BRTOVE (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Nikola Delić

(vlastoručni potpis)

8. Literatura

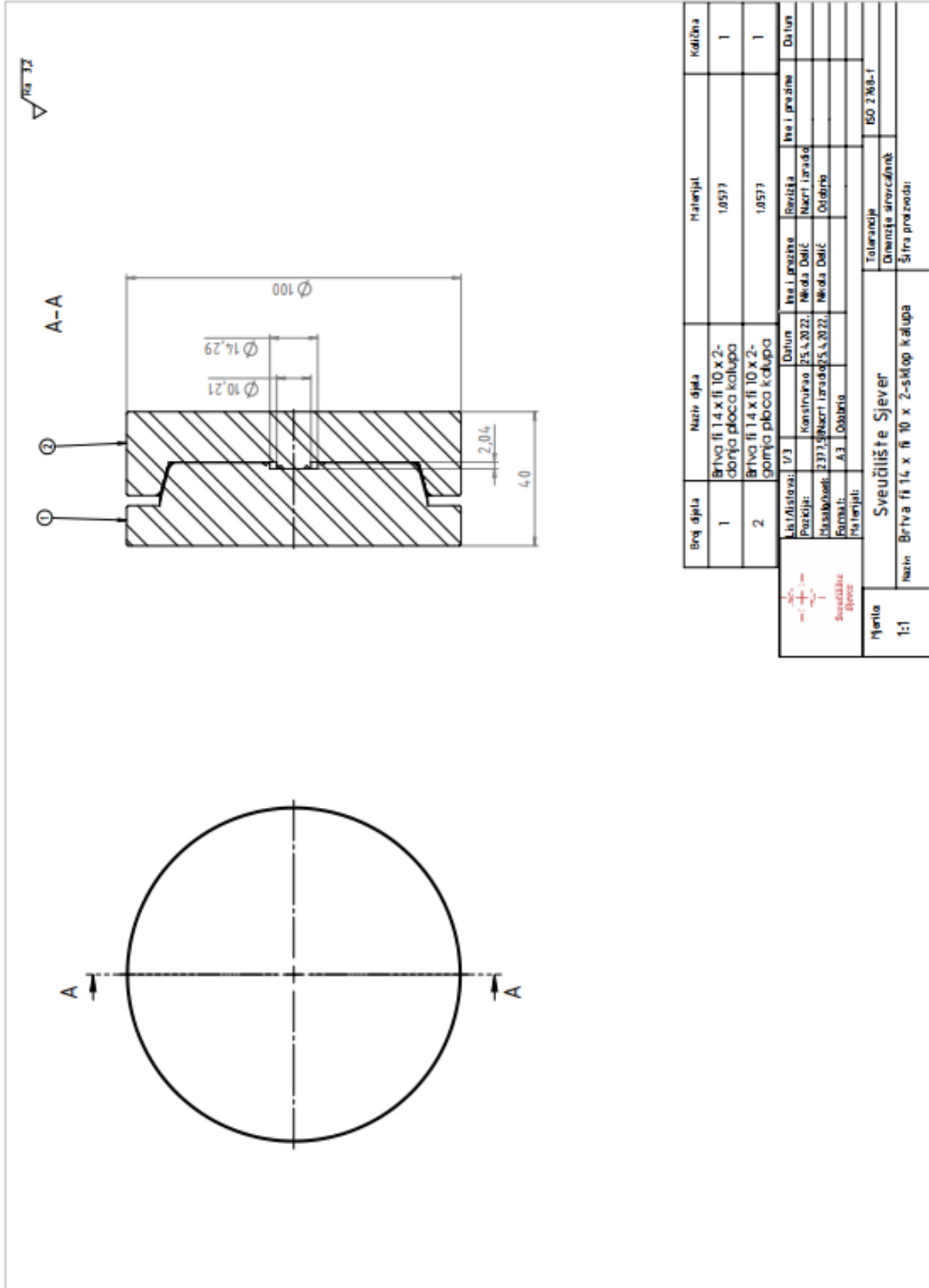
- [1] Godec, D.: Projektiranje alata i naprava (podloge za predavanja), Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2020.
- [2] Šercer, M.: Proizvodnja gumenih tvorevina, Društvo za plastiku i gumu, Zagreb, 1999.
- [3] Kućan, M.: Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2010.
- [4] Andabaka, F.: Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2022.
- [5] Delić, N.: Završni rad, Sveučilište Sjever, Varaždin, 2018.
- [6] REP, Application training: Process, mold conception
- [7] <https://news.ewmfg.com/blog/looking-for-a-rubber-component-supplier-questions-to-ask>, 14.06.2022.
- [8] <https://www.allsealsinc.com/reverse-engineering.html>, 14.06.2022.
- [9] <https://www.purerubber.com/rubber-injection-molding>, 14.06.2022.
- [10] <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/transfer-molding>, 14.06.2022.
- [11] https://www.tribology-abc.com/calculators/iso_holes.htm, 14.06.2022.
- [12] https://www.tribology-abc.com/calculators/iso_shafts.htm, 14.06.2022.
- [13] <https://ecom.meusburger.com/index/index.asp>, 14.06.2022.

Popis slika

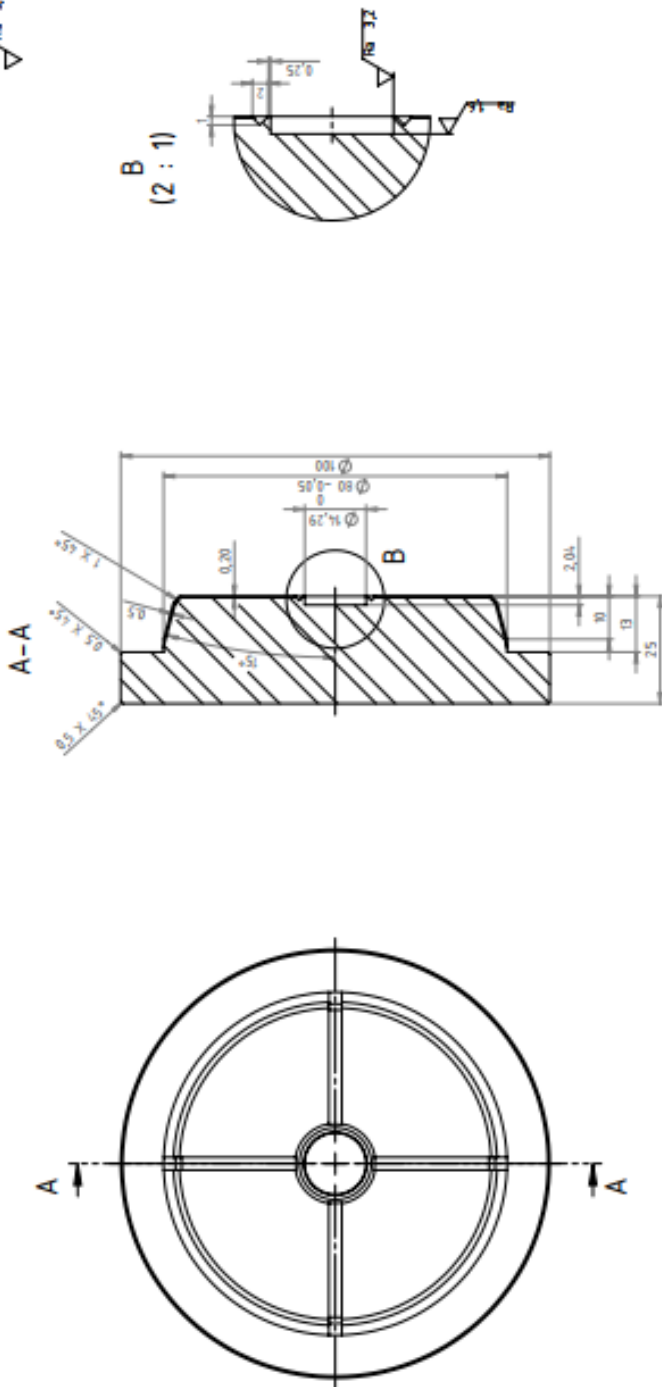
Slika 1 Oštećena brtva, fotografirano 29.4.2022.....	2
Slika 2 Mjerenje vanjskog promjera brtve, fotografirano 29.4.2022.....	3
Slika 3 Mjerenje unutarnjeg promjera brtve, fotografirano 29.4.2022.....	3
Slika 4 Mjerenje debljine brtve, fotografirano 29.4.2022.....	4
Slika 5 2D skica brtve.....	5
Slika 6 Određivanje debljine brtve.....	5
Slika 7 Parametri 3D printa.....	7
Slika 8 Parametri 3D printa.....	8
Slika 9 Postupak 3D printa, fotografirano 2.5.2022.....	9
Slika 10 Gotov 3D printani komad, fotografirano 2.5.2022.....	9
Slika 11 Koncept kompresijskog kalupa[8].....	12
Slika 12 Primjer kalupa s konusnim vođenjem[5].....	13
Slika 13 Izvedba kanala za višak gume[6].....	13
Slika 14 Detalj kanala za odzračivanje[1].....	14
Slika 15 Koncept injekcijskog kalupa[9].....	15
Slika 16 Elementi uljevnog sustava[1].....	15
Slika 17 Poprečni presjeci uljevnih kanala[1].....	16
Slika 18 Vrste ušća[1].....	16
Slika 19 Vrste ušća[1].....	17
Slika 20 Preporuke za raspored kalupnih šupljina[1].....	18
Slika 21 Elementi sustava za vođenje i centriranje[1].....	18
Slika 22 Koncept transfer kalupa[10].....	19
Slika 23 Skica brtve.....	21
Slika 24 Algoritam za konstrukciju kalupa[1].....	22
Slika 25 Vrste elastomera i njihova svojstva[7].....	22
Slika 26 Postoci skupljanja nekih gumениh smjesa[4].....	23
Slika 27 Neka mehanička svojstva odabrane smjese[4].....	24
Slika 28 Naredbe modula za konstrukciju kalupa.....	25
Slika 29 Funkcija Scale - uvećanje dimenzija proizvoda.....	26
Slika 30 Linija dijeljenja kalupa.....	26
Slika 31 Određivanje unutrašnje površine dijeljenja.....	27
Slika 32 Površina dijeljenja kalupa.....	28
Slika 33 Određivanje gabaritnih dimenzija kalupa.....	29
Slika 34 Koncept donje ploče kalupa.....	30
Slika 35 Oblikovanje kanala za višak gume.....	31
Slika 36 Oblikovanje sustava za vođenje i centriranje.....	32
Slika 37 Oblikovanje sustava za odzračivanje.....	32
Slika 38 Oblikovanje sustava za odzračivanje.....	33
Slika 39 Koncept gornje ploče kalupa.....	34
Slika 40 Oblikovanje kanala za višak gume.....	34
Slika 41 Oblikovanje konusa za vođenje i centriranje.....	35
Slika 42 Sklop donje i gornje ploče kalupa u presjeku.....	35
Slika 43 Preporuke za raspored gnijezda u injekcijskom kalupu[6].....	37
Slika 44 Grupiranje gnijezda.....	37
Slika 45 Prikaz donje ploče s 24 gnijezda.....	38
Slika 46 Oblikovanje sustava za pričvršćivanje kalupa.....	38
Slika 47 Oblikovanje sustava za vođenje i centriranje.....	39
Slika 48 Prikaz vodilice[13].....	40
Slika 49 Oblikovanje utora za poluge.....	40
Slika 50 Oblikovanje sustava za odzračivanje.....	41
Slika 51 Oblikovanje uljevnog sustava.....	42
Slika 52 Prikaz kompletnog uljevnog sustava na donjoj ploči kalupa.....	43
Slika 53 Raspored kalupnih šupljina gornje ploče.....	44
Slika 54 Oblikovanje sustava za pričvršćivanje.....	44


Slika 55 Oblikovanje provrta za vodeće čahure.....	45
Slika 56 Prikaz vodeće čahure[13].....	46
Slika 57 Prikaz tolerancijskog polja vodilice i vodeće čahure.....	46
Slika 58 Oblikovanje uljevnog sustava.....	47
Slika 59 Prikaz kompletnog uljevnog sustava gornje ploče.....	48
Slika 60 Oblikovanje sustava za temperiranje.....	48
Slika 61 Stupanj umreženja u ovisnosti o vremenu[2].....	52
Slika 62 Prikaz izrađenog prototipnog kalupa, fotografirano 9.5.2022.	53
Slika 63 Zagrijavanje kalupa, fotografirano 9.5.2022.....	54
Slika 64 Prikaz ručnog punjenja kalupne šupljine, fotografirano 9.5.2022.	55
Slika 65 Prikaz zatvaranja kalupa, fotografirano 9.5.2022.	56
Slika 66 Vulkanizacija brtve u kalupu, fotografirano 9.5.2022.	56
Slika 67 Otvoreni kalup i gotovi proizvod, fotografirano 9.5.2022.....	57
Slika 68 Brtva ugrađena na pripadajući kotačić, fotografirano 13.5.2022.....	58
Slika 69 Sklop uređaja, fotografirano 13.5.2022.	58

Prilozi



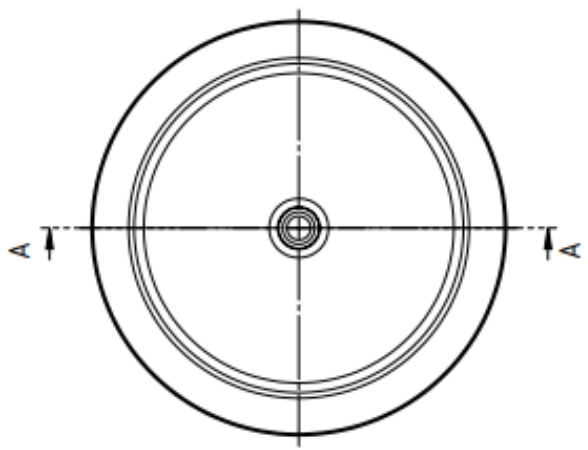
1/16 3/2



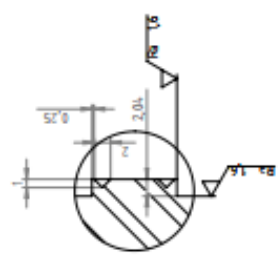
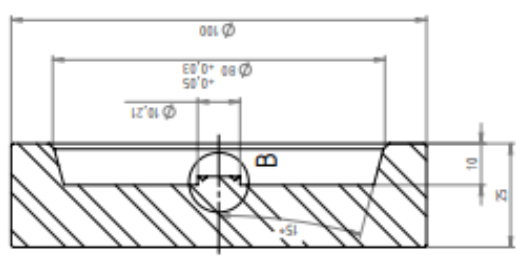
 Sveučilište Sjever	Izdatište: 2/3	Datum: 25.1.2022.	Ime i prezime:	Datum:
	Početka: 1	Konstruirao: Nikola Delić	Revidirao:	Datum:
	Nastavnik:	Načelnik: Nikola Delić	Nastavnik:	Datum:
	Završio: A.3	Odobrio:	Odobrio:	Datum:
Materijal: 1.0971	Tolerancije:		ISO 2768-f	
Mjerilo: 1:1	Sveučilište Sjever			
Naziv: Brtva fi 14 x fi 10 x 2-donja ploča kalupa štira proizvoda:				



A-A

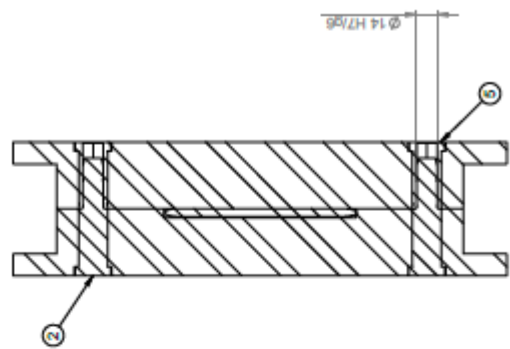


B
(2 : 1)

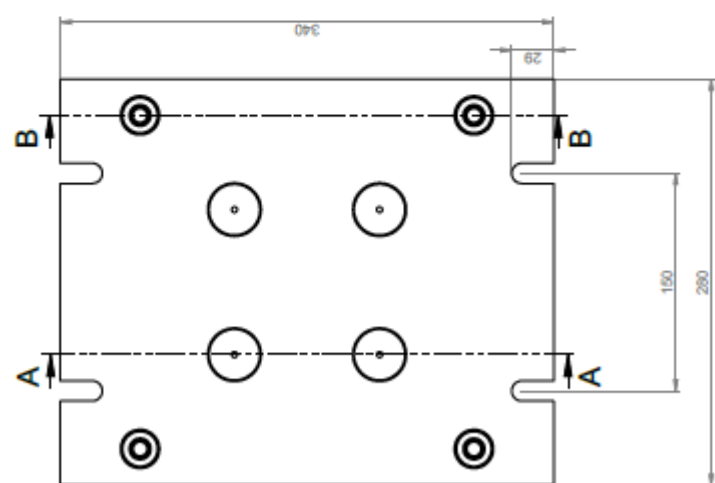
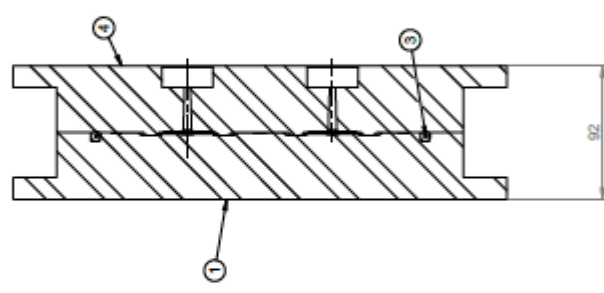


	Učitelj/načelnik:	3/3	Datum:	15.4.2022.	Redizajnirao:	15.4.2022.	Ime i prezime:		Datum:		
	Područje:	2	Komisijski član:	116429	Nacrtni inženjering:	116429	Nacrtni inženjering:				
	Matematika:	116429	Nacrtni inženjering:	116429	Nacrtni inženjering:	116429	Nacrtni inženjering:				
	Fizika:	116429	Nacrtni inženjering:	116429	Nacrtni inženjering:	116429	Nacrtni inženjering:				
	Strojstvo:	116429	Nacrtni inženjering:	116429	Nacrtni inženjering:	116429	Nacrtni inženjering:				
Mjerilo:		Sveučilište Sijever								Tolerancije	
1:1		Način: Birtva fi 16 x fi 10 x 2-gornja ploča k alu								Dinamičke snižavane	
										Širina proizvoda	
										ISO 2768-1	

B-B



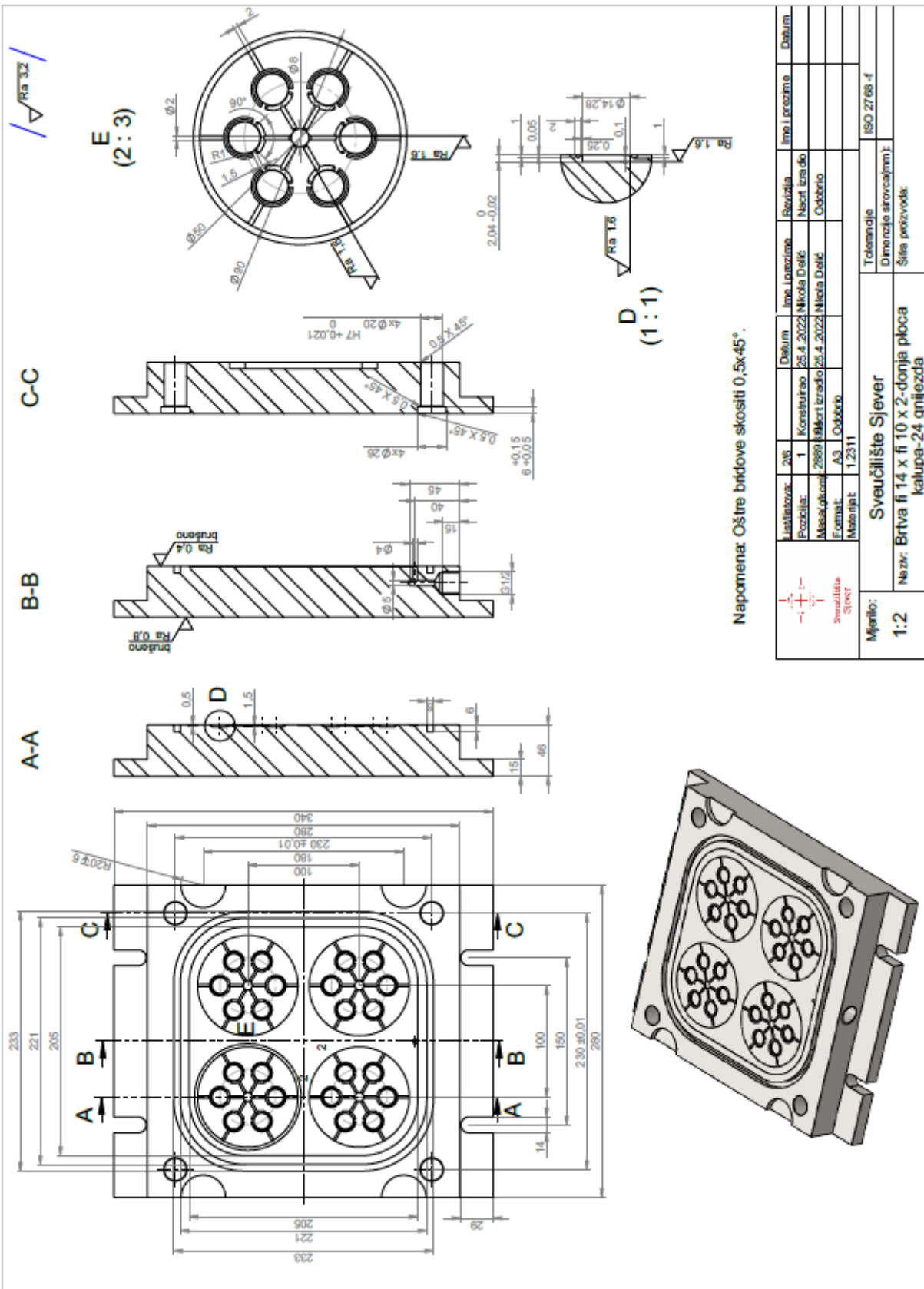
A-A

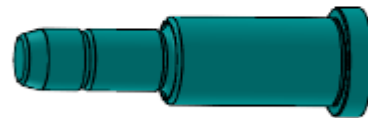
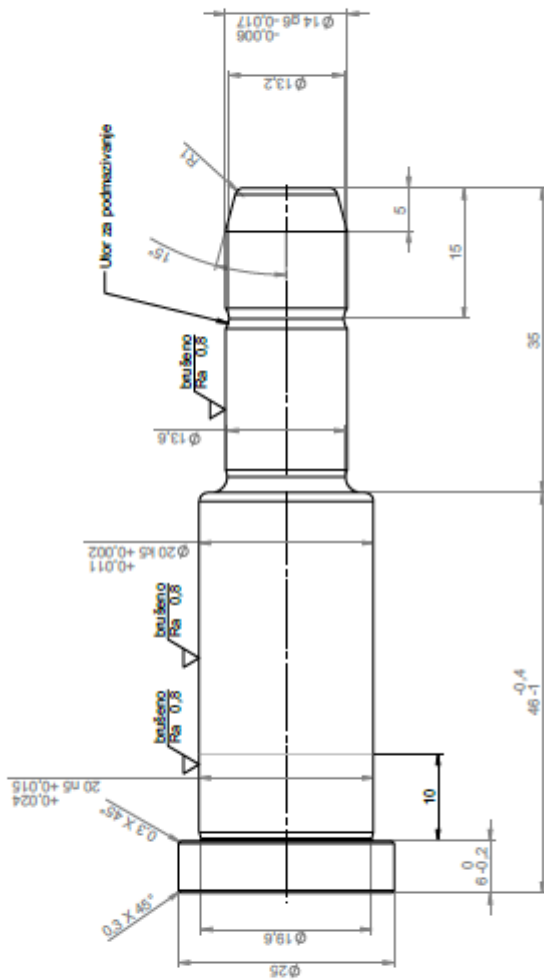


Broj dijela	Naziv dijela	Materijal	Količina
1	Brtva fi 14 x fi 10 x 2- donja ploča kalupa- 24 gnjezda	1.2311	1
2	Vodilica E_1010_14_46_36,2	1.7131	4
3	Brtva fi 14 x fi 10 x 2- brtva za vakuum	Silikon 60 SNA	1
4	Brtva fi 14 x fi 10 x 2- gornja ploča kalupa- 24 gnjezda	1.2311	1
5	Čuhava za vodjenje E_1110_14_46_1	1.7131	4

1:1
1:2
1:3
1:4
1:5
Sveučilište Sjever
Sever

Ime i prezime	Ime i prezime	Ime i prezime	Ime i prezime
Prozicija	Konstruirao	29.4.2022	Nikola Delić
Masa i količina	68104	Škripta izradila	29.4.2022
Format	A3	Odobrio	29.4.2022
Materijal			
Mjerno: 1:5		Kupac: Sveučilište Sjever	
Naziv: Brtva fi 14 x fi 10 x 2-sklon kalupa_24 gnjezda		Tolerancije: Dimenzije sirovca/mm):	
		Sila proizvod:	

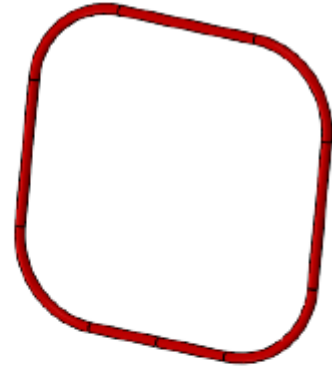
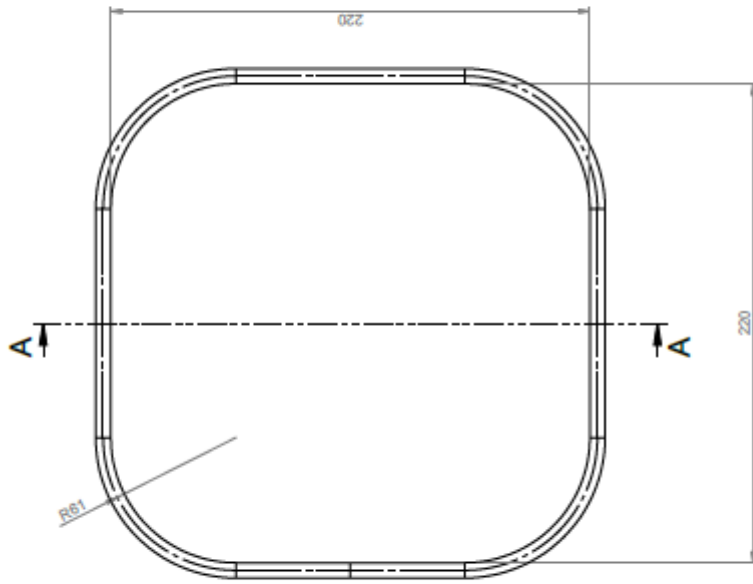




Napomena: Vodilica je kaljena, tvrdoća 60 HRC.

 Mjerilo: Sveučilište Sjever Sjecište	Lista: 3/6	Datum: 29.4.2022	Ime i prezime: Rezilija	Ime i prezime: _____	Datum: _____
	Prozila: 2	Konstruirao: 29.4.2022	Nacrt izradio: _____	Nacrt izradio: _____	_____
	Masstab: 20:1	Nacrt izradio: 29.4.2022	Ništa Dalić	Odobrio: _____	_____
	Format: A3	Lobbeno: 29.4.2022			
	Materijal: 1.7131				
Mjerno: Kupac: Sveučilište Sjever	Tolerancije		Dimenzije strovačnim):		
2:1	Naziv: Vodilica E_1010_14_46_35_2		Šifra proizvoda: E 1010/35- 46/ 35		

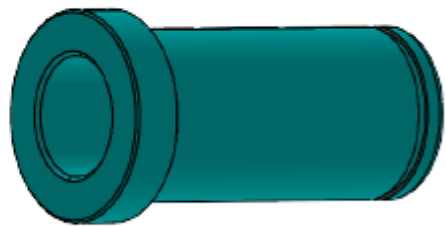
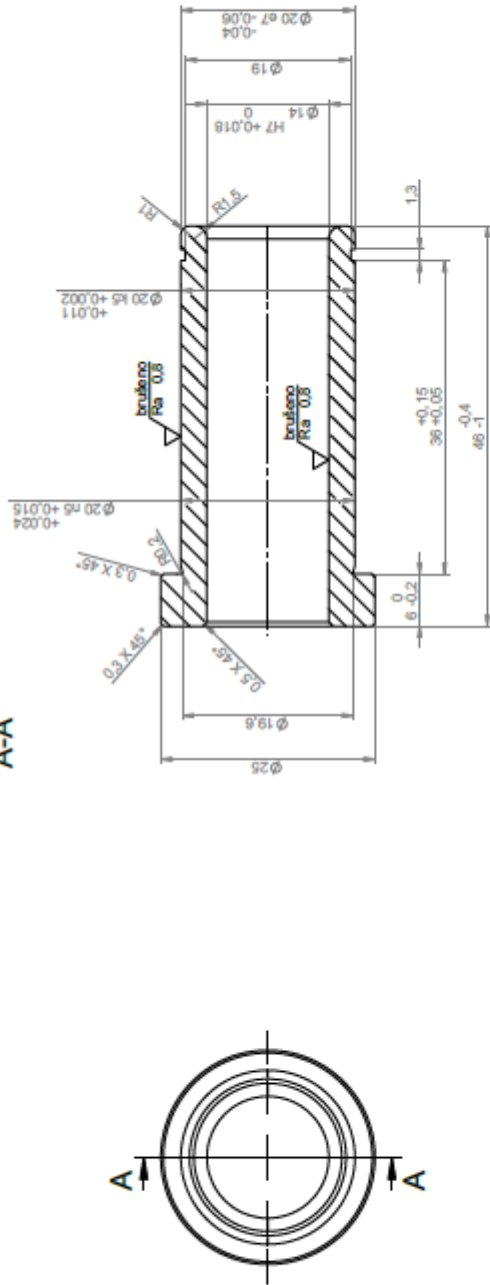
A-A



Napomena: Brtva se izrađuje lijepljenjem iz ekstrudiranog profila $\varnothing 7/2$, razvijena dužina je 803,3 mm.

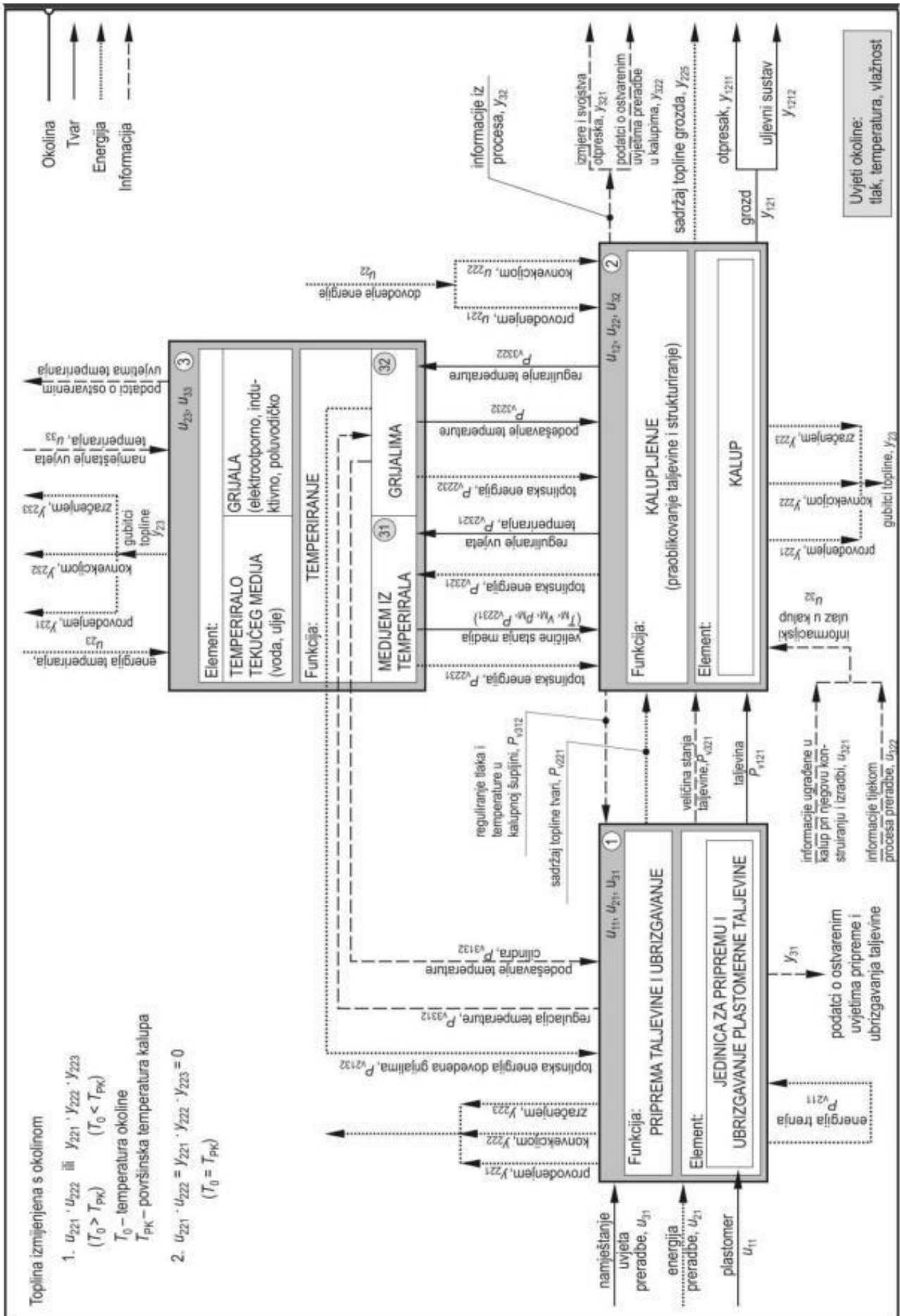
 GUMI-ORP PROJEKCIJA I PROJEKTOVANJE INŽENJERING I PROMET NEKRETNIM PRAVNIM PRAVIMA I OBLASTI STAVOVARSKA GRANA ZAPOSLENI ZAPOSLENI ZAPOSLENI ZAPOSLENI ZAPOSLENI	Lista broj:	4/6	Datum:	Ime i prezime:	Revizija:	Ime i prezime:	Datum:
	Projekat:	3	Konstruirao:	29.4.2022	Nikola Dedić	Nacrt izradio:	
	Masa/greška:	34,78	Nacrt izradio:	29.4.2022	Nikola Dedić	Objavio:	
	Format:	A3	Objavio:	29.4.2022			
	Material:	SILIKON 60 SIVA crveni					
Mjerno:	SVEUČILIŠTE SJEVER		Tolerancije		ISO 3302-1 M2		
Kupac:	SVEUČILIŠTE SJEVER		Dimenzije strovaljmm):				
1:2	Brtva fi 14 x fi 10 x 2-brtva za vakuum		Šifra proizvoda:				

A-A



Napomena: Čahura je kaljena, tvrdoća 60 HRC.

	Listišlova: 4/6 Pozicija: 5 Masa/okom: 28.91 Format: A3 Materijal: 1.7131	Datum: 29.4.2022 Konstruirao: 29.4.2022 Nacrt izradio: 29.4.2022 Mlada Društ: 29.4.2022	Ime i prezime: _____ Naziv izradio: _____ Odborno: _____	Datum: _____ Datum: _____ Datum: _____
	Kupac: Sveučilište Sjever		Tolerancije: _____ Dimenzije siročaj(mm): _____	
	Mjalo: 2:1		Šifra proizvoda: E 1110/14- 46	
	Napr: Čahura za vođenje E_1110_14_46_1			



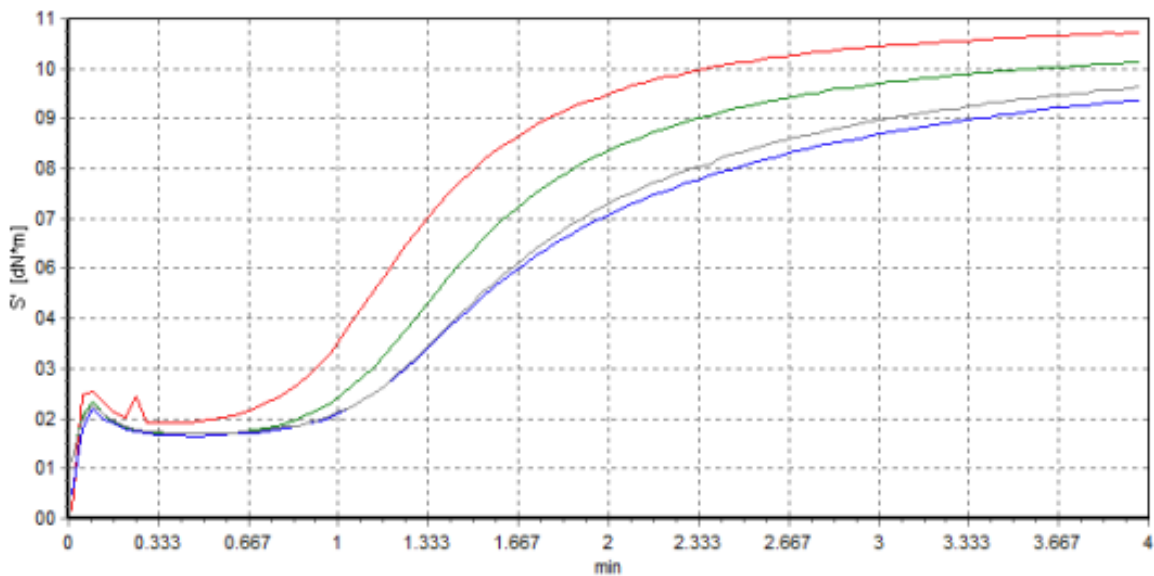
Funkcijska struktura sustava za injekcijsko prešanje polimera[3]



EPDMs6001c 220602 (273-276) RheoCheckMD

Identification		Identification		MD 170°C 4min	
Job	(Generic)	Product	Gibitre 75	Oscillation Angle	0.5 deg
Order	EPDMs6001c	Product Code		TpU	170.0 °C
Lot	220602	TreatmentID	Original Conditions	Lower Plate	170.0 °C
Date :	10/06/2022	Customer	<Generic>	Test Time	4.0 min
Instruments :	RCO 2015051	Customer Code	0	Temperature Tolerance	0.5 °C
		User	Dalibor Buhin		

ShoreA Hardness
IRHD Hardness
Density [g/cm3]
Notes



Batch	ML dN*m	Ts 1 mm.cc	Ts 2 mm.cc	t' 50 mm.cc	t' 90 mm.cc	MH dN*m
Max (Warn.)						
Min (Warn.)						
■ 273	2.10	0.88	1.02	1.30	2.31	10.71
■ 274	1.82	1.03	1.20	1.50	2.63	10.06
■ 275	1.82	1.14	1.34	1.67	3.02	9.23
■ 276	1.87	1.15	1.34	1.67	2.97	9.51
Max	2.10	1.15	1.34	1.67	3.02	10.71
Min	1.82	0.88	1.02	1.30	2.31	9.23
Mean	1.90	1.05	1.23	1.53	2.73	9.88
St.Dev	0.1338	0.1257	0.1518	0.1760	0.3307	0.6534
Cp						
Cpk						

Signature _____

ML:Minimum torque; Ts:Time for torque increase of x; t':Time to % vulcanization; MH:Maximum Torque



Processed by GIBITRE INSTRUMENTS

Reometarska krivulja materijala EPDMs6001c, izvor Gumiimpex-GRP d.d.