

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

**Izdelava in uporaba orodja za izsekovanje in
predodpiranje priključnega kanala toplotnega
izmenjevalca**

Kandidat: Alen Golob

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentor – predavatelj: Dragan Gogić, mag. inž. metal. in mater.

Mentor v podjetju: Kristijan Pišek, dipl. inž. str.

Lektorica: Jasmina Vajda Vrhunec, prof. slov.

Maribor, 2023

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Alen Golob sem avtor diplomskega dela z naslovom Izdelava in uporaba orodja za izsekovanje in predodpiranje priključnega kanala toplotnega izmenjevalca, ki sem ga napisal pod mentorstvom Dragana Gogića, mag. inž. metal. in mater.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli kot moje lastne – kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Uradni list RS, št. 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/13, 56/15 in 63/16 – ZKUASP); prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, januar 2023

Podpis študenta:

ZAHVALA

Velika zahvala velja mentorju Draganu Gogiću, mag. inž. metal. in mater., za predano znanje že v času študija ter za strokovne napotke, vodenje in pomoč pri pisanju diplomskega dela.

Zahvala velja tudi podjetju Talum Servis in inženiring, d. o. o., še posebej mentorju v podjetju Kristijanu Pišku, dipl. inž. str., za vso strokovno pomoč in nasvete.

POVZETEK

Orodjarstvo je panoga, kjer je treba ves čas vlagati v znanje in razvoj proizvodnje, ki nas pozneje privede do inovativnih izdelkov. Zavedati pa se moramo, da so se v orodjarstvu s hitrim napredovanjem tehnologije začeli razvijati in izdelovati vedno kompleksnejši izdelki. Orodjarstvo je ena najpomembnejših in perspektivnejših panog, predvsem pri razvijanju avtoindustrije, elektronske industrije in industrije bele tehnike.

Ker je konkurenca v orodjarstvu velika, je treba ves čas aktivno sodelovati pri razvijanju tehnologije izdelave orodja, saj je pri konkurenčnosti zelo pomembno, da kupcu ves čas nudimo popolno prilagodljivost pri razvijanju njegovih izdelkov. V podjetju, kjer sem zaposlen, se ukvarjamo s pridobivanjem primarnega aluminija ter izdelavo izdelkov in polizdelkov iz različnih zlitin aluminija, kjer pa je treba ves čas spremljati dogajanje na trgu ter sprejemati hitre in kompleksne rešitve, kako se čim bolj približati željam kupcev ter tako ohraniti in izboljšati prodajni trg aluminija.

Diplomsko delo se navezuje na izdelovanje in uporabo orodja za izsekovanje in predodpiranje priključnega kanala toplotnega izmenjevalca, ki se ga lahko uporablja v avtoindustriji, solarni elektroindustriji in industriji bele tehnike.

V diplomskem delu sem predstavil skupino Talum in dve družbi, ki delujeta znotraj nje, to sta Talum Servis in inženiring, d. o. o., v kateri sem tudi sam zaposlen, in Talum Izparilniki, d. o. o., ki gradi na svoji novi blagovni znamki HeatraPlates. V diplomskem delu so podrobno opisani vsi postopki izdelave orodja, to je od zasnove orodja, izbire materiala za orodje, izdelave posameznih sestavnih delov do končnega izdelka. Največ pozornosti sem namenil mehanski obdelavi pri izdelovanju orodja.

Delo vsebuje tudi preračun potrebne sile stiskalnice za njeno lažjo izbiro ter na koncu časovno in ekonomsko analizo izdelovanja orodja, saj me je zanimalo, koliko časa je potrebnega za izdelavo orodja in kakšen je finančni vidik izdelave omenjenega orodja.

Ključne besede: *izsekovalna orodja, izsekovanje, aluminij, CNC, hidravlična stiskalnica, učinkovitost.*

ABSTRACT

Making and using a tool for punching out and pre-opening the heat exchanger connection channel

Tool making is an industry where it is necessary to constantly invest in knowledge and development of production which can lead us to innovative products. As toolmaking industry is rapidly evolving more and more complex products are being developed and manufactured. Tool making is one of the most important and promising industries especially when it comes to automobile, electronics and white goods industry.

Since tool making is a very competitive market it is necessary to actively participate in the development of tool manufacturing technology and processes at all the times because flexibility in product development is the most important factor in competitiveness on the market. At the company where I work we are daily dealing with extraction of primary aluminum and productions of products and semi-products made of various aluminum alloys. For this kind of production it is necessary to constantly observe market situations and be flexible to make quick decisions and figure out complex solutions and with that fulfil customers expectations. With that we can maintain and even improve our sales in the aluminum market.

This thesis is related to production and use of a tool for punching out in connection with channel of the exchanger which can be used in auto and white goods industry.

My thesis, I will present the Talum company with focus on two departments which are Talum Service and Engineering d.o.o., where I am currently employed and Talum Vaporizers d.o.o. which are currently building on a new brand named HeatraPlates.

The diploma will focus on tool manufacturing processes starting from the tool design, selection of material, manufacture of individual components up to the final product. Most attention will be focused to the mechanical processes of tool making.

My focus will also be on calculations of the necessary force of press for easier selection of punching machine. At the end I will also focus on both time and financial aspects of tool making as I am interested in how we can improve processes of tool making in the future.

Keywords: *punching tools, punching, aluminum, CNC, hydraulic press, efficiency*

Kazalo vsebine

1	UVOD.....	9
1.1	Opis področja in opredelitev problema.....	9
1.2	Namen in cilji diplomskega dela	9
1.3	Uporabljene raziskovalne metode.....	10
1.4	Hipoteze/trditve diplomskega dela	10
2	PREDSTAVITEV PODJETJA.....	11
2.1	Talum Servis in inženiring, d. o. o.....	13
2.2	Orodjarna	14
2.3	Talum Izparilniki, d. o. o.	15
2.3.1	Roll-bond ploščati toplotni prenosnik	16
3	SPLOŠNO O IZSEKOVALNIH ORODJIH.....	19
3.1	Glavne izvedbe rezilnih orodij.....	20
3.2	Opis orodij, vodenih z vodilnimi stebri	21
4	ZASNOVA ORODJA	23
4.1	Projektni načrt izdelovanja orodja po fazah.....	23
4.2	Konstruiranje orodja	23
4.3	Izračun sile	25
4.4	Material izdelka	28
4.5	Krovna tema BTEC (učinkovitost).....	29
5	IZDELAVA ORODJA	32
5.1	Sestavni deli orodja.....	32
5.2	Rezkanje.....	34
5.3	Struženje	39
5.4	Kaljenje.....	42
5.5	Brušenje	42
5.5.1	Ploskovno brušenje.....	43

5.5.2	Okroglo brušenje	44
5.5.3	Koordinatno brušenje	44
5.6	Žična erozija	45
5.7	Sestavljanje orodja	46
5.8	Preizkus orodja	48
5.9	Korektivni ukrepi	50
6	ANALIZA CELOTNE IZDELAVE ORODJA	52
6.1	Časovna analiza izdelave orodja	52
6.2	Ekonomska analiza dela	52
7	SKLEP	54
8	VIRI IN LITERATURA	56

Kazalo slik

Slika 1:	Organiziranost družbe Talum Servis in inženiring, d. o. o.	13
Slika 2:	Toplotni izmenjevalec	16
Slika 3:	Prikaz izdelave toplotnega izmenjevalca	17
Slika 4:	Toplotni izmenjevalec v toplotni črpalki	18
Slika 5:	Rezilno orodje, vodeno z vodilnimi stebri	22
Slika 6:	Konstrukcija orodja	24
Slika 7:	Spodnji del orodja	25
Slika 8:	Zgornji del orodja	25
Slika 9:	Enačba izračuna	26
Slika 10:	Hidravlična stiskalnica	27
Slika 11:	Postopek roll-bond valjanja pločevine	29
Slika 12:	Primerjava najvišje toplotne učinkovitosti	31
Slika 13:	Hibridni fotonapetostni modul	31
Slika 14:	Vrste frezal	35
Slika 15:	Prerez snemalne plošče	37
Slika 16:	Izdelava zgornjega nosilca	38
Slika 17:	Vrtanje navojev v zgornji nosilec	38

Slika 18: Rezkanje vpenjalne plošče	39
Slika 19: Ploskovni brusilni stroj	43
Slika 20: Koordinatni brusilni stroj	45
Slika 21: Shema sestavljanja spodnjega dela orodja	47
Slika 22: Shema sestavljanja spodnjega dela orodja	47
Slika 23: Skupaj sestavljeno orodje.....	48
Slika 24: Nastavitev naslona s pomočjo pozicionirnika.....	49
Slika 25: Preizkus orodja.....	49
Slika 26: Predodprtje kanala.....	50
Slika 27: Utor pred korektivnim ukrepom.....	51
Slika 28: Utor po korektivnem ukrepu	51

Kazalo tabel

Tabela 1: Kosovnica	32
Tabela 2: Vrste struženja	40
Tabela 3: Časovna analiza	52
Tabela 4: Ekonomska analiza dela	52

1 UVOD

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Orodjarstvo je ena od panog, kjer moramo vložiti visok delež znanja in izkušenj, da dobimo želeno rezultate oziroma želen izdelek. S hitrim spreminjanjem oblik izdelkov se povečuje tudi potreba po novih orodjih, zato je pomembno, da je orodjarna sposobna slediti razvoju. Zaradi zaostalega razvoja in nefleksibilnosti lahko izgubimo naročila, zato se je treba zavedati, na katerem trgu smo z našimi proizvodi prisotni in kakšna je na tem konkurenca. Problem, zaradi katerega bom izdelal orodje, ki ga obravnavam v diplomskem delu, je, da je bilo treba zaradi širitve ponudbe izdelkov na področja laboratorijske industrije, avtoindustrije in solarnosti razširiti ponudbo in izboljšati kakovost. Gre za primer uparjalne plošče, ki se uporablja za laboratorijsko hladilno opremo, zato mora biti medij, ki potuje čez uparjalnik, čist. Iz tega razloga je treba kanal, kjer pride navarjen priključek za medij, v času izdelave plošče in v času skladiščenja zapreti. To bom dosegel z orodjem za izsekovanje, ki bo izsekalo mesto, kjer pride priključek, hkrati pa s funkcijo pridrževanja za čas skladiščenja zaprlo dovodni kanal in predodprlo ta isti kanal, da se bo pozneje lažje prebilo skozi zaprto steno kanala in navarilo priključek. S tem se bomo izognili vdoru nečistoč v sistem uparjalnika. Standardne dimenzije in oblike plošč obrezujemo s pomočjo velikih izsekovalno-obrezilnih orodij. Ta orodja že vsebujejo zatisk za predodpiranje priključnega kanala, tako da takrat, ko obrežemo ploščo, hkrati zatismo še priključni kanal. Problem nastane pri razvijanju novih dimenzij in oblik uparjalnih plošč. Izdelava velikih obrezilnih orodij je draga in lahko preteče več mesecev od naročila do končne izdelave orodja. Ker zapletene in nestandardne dimenzije režemo s pomočjo laserja, je bilo treba zasnovati orodje, ki bo izsekalo in predodprlo priključni kanal po laserskem obrezovanju.

1.2 Namen in cilji diplomskega dela

Namen diplomskega dela je izdelava in uporaba orodja za izsekovanje in predodpiranje priključnega kanala toplotnega izmenjevalca. Predstaviti želim vse postopke, ki so potrebni za izdelavo orodja, in proučiti predvsem poglavje fizične izdelave in sestavljanja samega orodja. Spoznal pa bi rad tudi ekonomsko plat izdelave orodja.

1.3 Uporabljene raziskovalne metode

V diplomskem delu bom uporabil naslednje raziskovalne pristope in metodologije:

- metodo deskripcije (opisovanje posameznih pojmov),
- metodo kompilacije (uporaba izpiskov, citatov, navedb drugih avtorjev),
- metodo dedukcije (logično sklepanje, ki temelji na splošnem zaznavanju),
- primerjalna metoda (primerjava enakih ali podobnih dejstev ter ugotovitev podobnosti in razlik med njimi).

1.4 Hipoteze/trditve diplomskega dela

- **H1:** Izbira standardiziranih sestavnih delov je cenejša od njihove lastnoročne izdelave.
- **H2:** Z izbiro pravilne metode rezkanja lahko skrajšamo izdelovalni čas orodja.
- **H3:** S pretiranim toleriranjem določenih delov orodja pridobimo kakovostnejšo izdelavo orodja, vendar pa se podaljša čas izdelave in poveča cena izdelave orodja.
- **H4:** Učinkovite inženirske rešitve v proizvodni liniji nam prinesejo učinkovite stranske proizvode v smislu uporabe in cene končnega proizvoda.

2 PREDSTAVITEV PODJETJA

Bogata zgodovina Taluma sega vse do leta 1941, ko je nemško podjetje Vereinigte Aluminium Werke začelo z gradnjo tovarne glinice. Takratno ravninsko območje Dravskega polja je bilo več kot primerno za izgradnjo večjega industrijskega kompleksa, saj je bilo območje že delno komunalno opremljeno zaradi bolnišnic in taborišč, ki so bile na tem mestu zgrajene med prvo svetovno vojno. V bližini takrat imenovanega Strnišča pa je bila izpeljana tudi železniška proga, ki je bila v tistih časih skorajda glavni vir prevoza surovin. Z gradnjo je pozneje nadaljevala povojna oblast, saj so po končani vojni na Ministrstvu za industrijo in rudarstvo v Ljubljani podali vse možnosti za nadaljevanje gradnje. Tako sta leta 1946 iz Nemčije pripotovala glavna konstruktorja tega industrijskega kompleksa, dr. Wilhelm Fulda in inž. Gustav Vogel, ki sta tovarno glinice tudi dokončala. Odločili pa so se še za gradnjo tovarne aluminija in tako leta 1954 odprli tovarno glinice in aluminija, poimenovano TGA Boris Kidrič. Tovarna je z rednim pridobivanjem glinice in aluminija začela leta 1955, takratna zmogljivost tovarne pa je bila 45.000 ton glinice in 15.000 ton aluminija na letni ravni. Z letom 1981 je podjetje začelo s proizvodom prvih polizdelkov iz aluminija, in sicer širokega in ozkega traka ter žic, v letu 1982 pa so zagnali proizvodnjo izparilnikov in rondelic. Na začetku 20. stoletja je proizvodnjo aluminija ostro zaznamovala nova zakonodaja na področju varovanja okolja, zaradi česar je bilo podjetje primorano ukiniti proizvodnjo primarnega aluminija v elektrolizni hali A in proizvodnjo metalurške glinice. Istega leta se je podjetje preimenovalo iz TGA v Talum z geslom »Lahkota prihodnosti«. Na leto mojega rojstva, 1996, so na tovarniški praznik podrli enega največjih dimnikov v spodnjem Podravju. Podrtje dimnika je v okolici prineslo obilo pozornosti, saj je bil dimnik viden daleč naokoli tudi iz mojega rojstnega kraja, ki je od Taluma oddaljen približno 25 km. Ena večjih ovir na poslovni poti, ki jih je Talum premagal, je finančna in gospodarska kriza leta 2009. Kriza je povzročila drastično poslabšanje razmer na svetovnem trgu aluminija. Podjetje se je s krizo soočalo z 60-odstotnim zmanjšanjem proizvodnje primarnega aluminija in s 36-urnim delovnim časom. Kot pripovedujejo, je bila ta kriza ena največjih ovir v zgodovini Taluma. Od konca krize leta 2010, ko se je produktivnost pridobivanja elektroliznega aluminija postopoma dvigovala, se je podjetje vztrajno in učinkovito razvijalo ter pridobilo več poslovnih enot, ki med seboj sodelujejo in prinašajo odlične rezultate tako na svetovnih kot na domačih trgih aluminija.

Talum danes zaposluje več kot 1400 ljudi, v več kot 65-letnem obdobju pa je zaposloval več kot 10.000 ljudi. Podjetje se lahko pohvali s kapaciteto 50.000 t letno proizvedenega primarnega

aluminija in se tako skupaj s svojimi polizdelki in izdelki uvršča med deset največjih izvoznikov v Sloveniji. (Talum, d. d., 2022)

Glavni proizvodi podjetja so:

- primarni aluminij,
- zlitine in drogovi,
- ulitki,
- rondelice,
- uparjalniki in toplotni izmenjevalniki.

Organizacijo skupine Talum vodi družba Talum, d. d., Kidričevo, pod vodstvom predsednika uprave Marka Drobniča. Podjetje je organizirano po službah in poslovnih enotah.

Službe:

- Strateška komerciala,
- Kadrovska služba,
- Skladnost poslovanja,
- Strateški razvoj,
- Informatika,
- Računovodstvo,
- Finance,
- Služba za odnose z javnostmi.

Poslovne enote:

- PE Aluminij,
- PE Livarna,
- PE Rondelice,
- PE Ulitki,
- PE Upravljanje z energijo,
- PE Promet.

Odvisne družbe:

- Talum Servis in inženiring, d. o. o.,

- Talum Inštitut, d. o. o.,
- Talum Izparilniki, d. o. o.,
- Ekotal, d. o. o.,
- Vargas-al, d. o. o.,
- Vital, d. o. o.

2.1 Talum Servis in inženiring, d. o. o.

V nadaljevanju bom opisal družbi Talum Servis in inženiring, d. o. o., in Talum Izparilniki, d. o. o., saj se moje diplomsko delo navezuje na ti dve družbi.

Sam sem zaposlen v orodjarni podjetja Talum Servis in inženiring. Podjetje je bilo ustanovljeno leta 1954. Prvotne naloge podjetja so bile razvijanje servisne dejavnosti za matično podjetje Talum. Podjetje je skozi različna obdobja dobilo nova strokovna znanja in kompetence, s svojim visokokvalificiranim kadrom pa so bili kos vsem izzivom in so tako zgradili sodobno podjetje, v katerem nas je trenutno 200 zaposlenih. Organiziranost družbe nam prikazuje organigram na sliki 1.



Slika 1: Organiziranost družbe Talum Servis in inženiring, d. o. o.

Vir: (lasten vir)

Podjetje se ukvarja z različnimi projekti, kot so:

- kokilno in visokotlačno litje (avtomatizacija procesov, posodobitve in generalne obnove livnih strojev, robotska avtomatizacija procesa, izdelovanje orodij za kokilno litje, obzidave livnih peči, obnove filtrov taline),
- avtomatizacija (celotna avtomatizacija proizvodnih linij, avtomatizacija obdelovalnih in livnih strojev, avtomatizacija procesov),
- strojegradnja (izdelava strojev, livnih strojev, konstrukcij po naročilu in dokumentaciji naročnika – izdelava zajema celotno konstruiranje, montažo pnevmatike in hidravlike ter elektroinštalacije),

- druge storitve (proizvodnja zvarjencev, plamenski in plazemski razrez pločevine, ukrivljanje in uvijanje pločevine, servis in popravila hidravlike ter pnevmatike, obnove in servis reduktorjev).

V podjetju Talum Servis in inženiring večino projektov izvajajo za potrebe podjetja Talum, d. d., storitve pa uveljavljajo tudi drugod po Sloveniji in na tujem trgu. V Argentini so sodelovali pri projektu postavitve proizvodnje rondic, v Nemčiji izvedli celotne obnove nagibnih livnih strojev znamke Roperwerk ter v Bosni in Hercegovini zgradili veliko sončno elektrarno.

Skozi celotno razvijanje proizvodnje je podjetje pridobilo več standardov in certifikatov, ki se izražajo v odlični kakovosti proizvodov, varnem in zdravju neškodljivem delu ter varovanju okolja. Od leta 2004 je tako podjetje pridobilo (Talum Servis in inženiring, 2022):

- certifikat ISO 14001,
- certifikat OHAS 18001,
- certifikat ISO 9001,
- certifikat EN ISO 3834,
- certifikat EN 1090.

2.2 Orodjarna

V orodjarni nas je trenutno zaposlenih 37 delavcev na različnih področjih, ki so:

- vodstvo (vodenje evidenc ur, pripravljanje ponudb, kontrola kakovosti dela),
- konstrukcija (3D-modeliranje orodij CAD/CAM, konstruiranje orodij in vpenjalnih priprav),
- nabava materiala (nabava potrošnega materiala, nabava obdelovalnih orodij, nabava surovcev in sestavnih delov orodij),
- sestavljalnica (sestavljanje, vzdrževanje in poliranje orodij, varjenje, kontrola tesnosti, posnemanje ostrih robov, ročno rezanje navojev in podobno),
- mehanska obdelava (rezkanje, struženje, potopna in žična erozija, okrogloin ploskovno brušenje, računalniško programiranje CNC-strojev).

Že samo ime orodjarna nam pove, da se v njej ukvarjamo z izdelovanjem orodij, izdelujemo torej štančna orodja, orodja za gravitacijsko litje, orodja za visokotlačno litje, obrezilna orodja

in namenske vpenjalne priprave za mehansko obdelavo ulitkov. Izdelava katerega koli orodja potegne za sabo veliko različnih operacij dela, kot so konstruiranje orodja, izdelovanje posameznih delov orodja, ostrenje rezilnih elementov, kaljenje, brušenje, prilagajanje in kontrola tesnosti orodij, ročno poliranje livne površine orodij ter sestavljanje orodij. Zraven izdelovanja orodij pa seveda izdelujemo še posamezne strojne elemente, kot so osi, verižniki, puše, kolesa, ohišja in ležaji.

Na samem začetku delovanja orodjarne so se ukvarjali zgolj z izdelovanjem štančnih orodij ter pozneje z njihovim vzdrževanjem in ostrenjem, saj so bili takrat omejeni s strojnim parkom, na voljo pa so imeli le klasične stružnice in klasične rezkalne stroje. Največji razvojni korak je bil nabava prvega CNC-rezkalnega stroja. Takrat se je lahko začelo razvijanje livnih orodij in rezkanja s CNC-rezkalnim strojem po-3D modelu. Danes imamo šest CNC-rezkalnih strojev in dve CNC-stružnici, še vedno pa se poslužujemo klasičnih stružnic in klasičnih rezkalnih strojev. Visoka dodana vrednost je tako lastna orodjarna v podjetju, saj lahko hitro in kakovostno izdelamo orodje, brez nepotrebnih čakalnih dob, ki bi nastale pri čakanju in usklajevanju z drugimi orodjarnami. »Hitra in kakovostna izdelava orodja je pomembna za hitro in kakovostno izdelavo in dobavo izdelkov«. (Gogić, skripta Značilnosti orodjarske industrije, 2021)

Celoten strojni park orodjarne:

- šest CNC-rezkalnih strojev (dva 3-osna in štirje 5-osni),
- dve CNC-stružnici,
- klasični in CNC-ploskovni brusilni stroj,
- žična in potopna erozija,
- koordinatni brusilni stroj,
- klasični rezkalni stroj,
- pet klasičnih stružnic,
- pehalni stroj.

2.3 Talum Izparilniki, d. o. o.

V podjetju Talum Izparilniki, d. o. o., je zaposlenih 49 oseb. Njihova osnovna dejavnost je proizvodnja roll-bond ploščatih toplotnih prenosnikov z več kot 30-letnimi izkušnjami. Imajo svojo vizijo postati globalni ponudnik ploščatih toplotnih prenosnikov na področjih, kot so

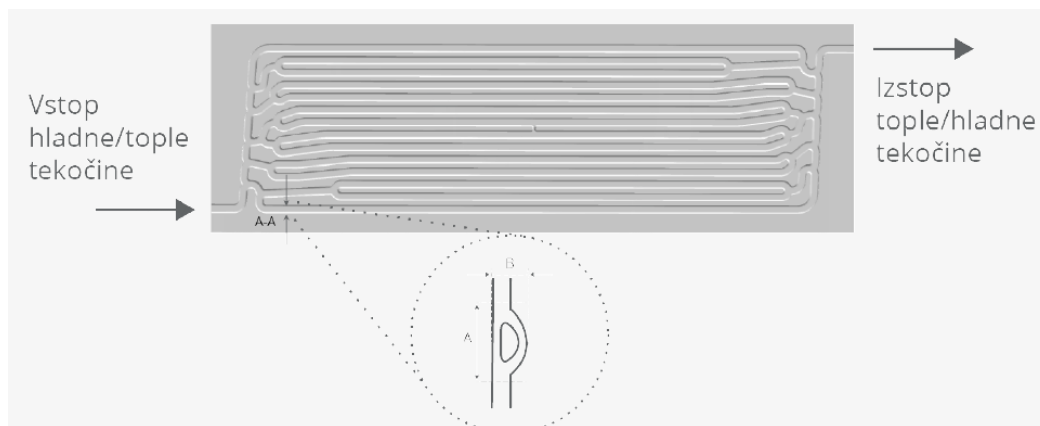
solarnost, avtomobilska industrija in toplotne črpalke. (Talum, d. d.) Podjetje zagotavlja visoko kakovost izdelkov s pridobljenimi certifikati in izjavo o skladnosti izdelkov:

- ISO 9001,
- OHAS 18001,
- ISO 14001.

2.3.1 Roll-bond ploščati toplotni prenosnik

Roll-bond plošča je narejena iz aluminijastega širokega traku, ki je zaradi visoke toplotne prevodnosti aluminija odličen toplotni prenosnik. Roll-bond plošča – toplotni izmenjevalec (slika 2) se lahko uporablja kot kondenzator, absorber ali kot toplotni prenosnik za uporabo v različne namene. V letu 2019 so v podjetju Talum Izparilniki, d. o. o., izdali novo blagovno znamko svojih izdelkov pod imenom HeatraPlates. Z novo blagovno znamko HeatraPlates želijo oblikovati mednarodno prepoznavno ime, ki bo samo po sebi povzemalo funkcionalnost obojestranskega prenosa toplote. Podjetje se lahko pohvali, da so razvojni dobavitelj za nekatere večje proizvajalce, ki ponujajo energijsko najvarčnejše hladilno-zamrzovalne aparate, in razvojni dobavitelj nekaterih podjetij v nehladilniški industriji:

- Liebherr,
- Gorenje,
- BSH,
- Auer,
- Energy,
- Ensol,
- Viessmann.



Slika 2: Toplotni izmenjevalec

Kot že prej omenjeno, je roll-bond plošča narejena iz aluminijastega širokega traku, ki se pozneje prevalja v trak za izdelavo roll-bond plošč. Plošča je sestavljena iz dveh med sabo zvaljanih aluminijastih trakov, med trakovoma pa je oblikovan kanalski sistem, po katerem se pozneje pretaka grelni oziroma hladilni medij, odvisno od načina uporabe, saj lahko roll-bond plošče uporabljamo kot toplotni prenosnik, uparjalnik ali kondenzator. Tako lahko uporabimo plošče na vse več področjih, kot so:

- hladilniki in zamrzovalniki,
- laboratorijska hladilna oprema,
- absorberji v solarnih kolektorjih in fotovoltaičnih termalnih panelih,
- toplotni prenosniki v gradbeništvu – sevalna plošča za ogrevanje in hlajenje,
- toplotni prenosnik v akumulatorju za električna vozila,
- toplotni prenosnik v toplotnih črpalkah in grelnikih vode v gospodinjstvu.

Zaradi dobre proizvodne tehnologije se lahko ploščo popolnoma priredi željam kupcev, kot so oblika (cilindrična, škatlasta, c-oblika, u-oblika, sistem polic), napihovanje kanalskega sistema po meri ter različne oblikovne možnosti izsekovanja in kalibriranja. (Talum Izparilniki, d. o. o., 2022). Izdelavo toplotnega izmenjevalca nam prikazuje slika 3, na sliki 4 pa vidimo uporabo toplotnega izmenjevalca v toplotni črpalki.



Slika 3: Prikaz izdelave toplotnega izmenjevalca



Slika 4: Toplotni izmenjevalec v toplotni črpalki

Vir: (Talum Izparilniki, d. o. o., 2022)

3 SPLOŠNO O IZSEKOVALNIH ORODJIH

Postopek izsekovanja je dandanes skoraj nepogrešljiv v različnih industrijah, saj sta se kakovost in natančnost izdelkov v zadnjih letih nepogrešljivo povečala, s pomočjo tehnologije, ki nam je na voljo, pa hitro in kakovostno izdelamo orodje za izsekovanje različnih oblik. V samih začetkih izdelovanja izsekovalnih orodij je bil postopek izdelovanja počasen in hkrati tudi drag, saj so orodjarji orodja izdelovali po lastnih izkušnjah. Temu je botrovalo tudi več razdiranja orodja, prilagajanja oblike, brušenja, in to do te mere, da so bili izsekani kosi znotraj želene tolerance kakovosti in želene oblike. Zaradi hitrega razvoja industrije pa so bili primorani svoje večletne izkušnje prilagoditi novejšim obdelovalnim postopkom in novejšim obdelovalnim strojem. S pomočjo izračunov in računalniških simulacij delovnega procesa je tako dandanes lažje preveriti želeno obliko, zračnosti in vse potrebno za izdelavo orodja. S tem se je izdelovanje takšnih orodij drastično pocenilo in omogočilo prihranek na času, saj ni potrebe po ponavljanju postopkov prilagajanja oblike in podobnega do želenih rezultatov.

Izsekovanje spada v skupino oblikovanja pločevine, ki služi za popolno ločitev materiala. To tehniko imenujemo obdelovanje materiala brez odvzemanja materiala in jo uvrščamo k postopkom plastičnega preoblikovanja. Postopek izsekovanja poteka tako, da se kos pločevine loči s pomočjo dovolj velike sile. Ta sila nam pomaga povzročiti propad materiala na točno določenem mestu oziroma na rezilnem robu, ki je narejen po želeni obliki izdelka.

Pri rezilnih orodjih poznamo več postopkov:

- odrezovanje,
- izrezovanje,
- obrezovanje,
- vrezovanje,
- luknjanje.

Odrezovanje: to je postopek, ko pride s pomočjo orodja v stiskalnici ali pa z ročnimi in strojnimi škarkami do popolne ločitve materiala ene strani po obodu neke oblike izdelka.

Izrezovanje: pri tem postopku pride do ločitve materiala po celotni dolžini oboda poljubnih oblik.

Obrezovanje: ta postopek uporabljamo za popolno ločitev materiala po predhodni delovni operaciji, kot sta upogib in vlečenje. Ta postopek izvajamo z rezilnimi orodji, katerih izdelava

je dokaj poceni in enostavna, zato jo lahko podjetje hitro amortizira, še posebej, če gre za večje serije izdelkov.

Vrezovanje: postopek vrezovanja je popolna ločitev materiala določene dolžine, na primer raznih krakov v pločevino, ki jih pozneje upognemo.

Luknjanje: ta postopek je zelo podoben postopku izrezovanja, vendar je razlika v tem, da je pri luknjanju izrezani kos odpadek, pri postopku izrezovanja pa bi bil to izdelek.

Tako kot poznamo različne postopke rezilnih orodij, poznamo tudi različne izvedbe rezilnih orodij. Tipi rezilnih orodij se lahko razlikujejo predvsem po različnih načinih vpetja in po različnih hodih orodja. (Ravničan, 2017)

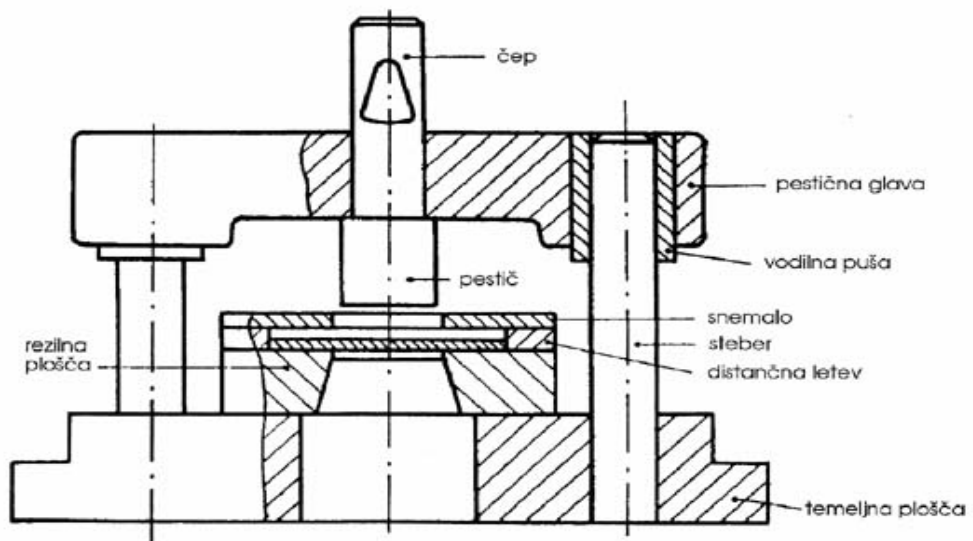
3.1 Glavne izvedbe rezilnih orodij

Glavne izvedbe rezilnih orodij so:

- **prosta rezilna orodja** (vodenje je odvisno od vrste stiskalnice, pogosto uporabljene za izrezovanje enostavnih oblik, in sicer od 1.000 do 2.000 kosov, tolerančno območje izrezovanja pa je od $\pm 0,1$ do $\pm 0,2$ mm),
- **rezilna orodja, vodena z vodilno ploščo** (nadgradnja prostorezilnih orodij, med delovanjem zgornje rezilo vodi s celotno obodno ploskvijo v vodilni plošči, priporočena je uporaba za izdelovanje večjih serij izdelkov),
- **verižna rezilna orodja, vodena z vodilno ploščo** (takšne vrste orodja lahko opravljajo več operacij hkrati, kar privede do izboljšanja produktivnosti, so pa zahtevnejša za izdelavo in tako tudi dražja kot orodja, kjer lahko izvajamo samo eno operacijo, tolerančno območje s pomočjo mehanskega podajanja traku pa je lahko tudi $\pm 0,05$ mm),
- **rezilna orodja, vodena z vodilnimi stebri** (vodenje se upravlja z vodilnimi stebri natančne izdelave, ki nam omogočajo najnatančnejši rez med vsemi vrstami rezilnih orodij, natančnost reza pri dovolj ostrih rezilih pa lahko dosega tudi do $\pm 0,02$ mm),
- **klinasta rezilna orodja** (uporabljajo se predvsem za izrezovanje nekovinskih materialov, les, usnje, papir in gumo – izdelava orodja je dokaj enostavna in poceni v primerjavi z drugimi vrstami orodij, saj ne potrebujemo rezilne plošče in vodilnih elementov).

3.2 Opis orodij, vodenih z vodilnimi stebri

Ker se orodje, ki ga opisujem v diplomskem delu, navezuje na skupino orodij, vodenih z vodilnimi stebri, bom podrobneje opisal delovanje in sestavo orodja, vodenega z vodilnimi stebri. Kot že prej omenjeno, nam takšna orodja zagotavljajo najnatančnejši izrez med vsemi vrstami rezilnih orodij. Natančnost reza je odvisna od natančnosti izdelave vodilnih stebrov, tolerančno območje pa je v idealnih razmerah $\pm 0,02$ mm. Takšna orodja so lahko tudi večstranska, saj lahko zraven vseh vrst rezanja izvajamo postopke upogibanja, zvijanja in do neke mere vlečenja. Sama izdelava orodja je dokaj enostavna in cenovno ugodnejša kot izdelava orodij, vodenih z vodilno ploščo, saj se izognemo izdelovanju težko izvedljive vodilne plošče, s tem pa prihranimo kakovostno orodno jeklo. Prihranimo pa lahko tudi pri hidravlični stiskalnici, saj lahko delo opravljamo na slabših in bolj obrabljenih stiskalnicah, ker je natančnost hoda orodja odvisna le od natančnosti vodilnih stebrov in ne od stiskalnice, kot je to pri prostorezilnih orodjih. Tako lahko kakovostne in natančne izdelke izdelamo na slabše ohranjenih hidravličnih stiskalnicah. Vodilni stebri so v večini primerov izdelani iz cementiranega jekla (C 15) in se po mehanski obdelavi cementirajo do globine 0,8 mm in pozneje zakalijo ter pobrusijo na končno mero. Vodilni stebri se zaradi postopka cementacije minimalno obrabljajo med obratovanjem orodja, s čimer povečamo življenjsko dobo orodja, s tem pa tudi njegovo ekonomičnost. Pri vodilnih stebrih ne smemo pozabiti tudi na mazanje, zato so na drsni ploskvi stebra narejeni kanali, ki služijo za enakomerno mazanje med obratovanjem orodja. Vodilni stebri in vodilne puše so v večini primerov standardizirani, kar pripomore tudi k hitrejši izdelavi orodja. Celotno orodje je sestavljeno iz vpenjalnega čepa, ki je lahko različnih izvedb glede na način vpenjanja v hidravlično stiskalnico, sledi zgornja plošča ali vpenjalna plošča, kamor je pritrjen vpenjalni čep in pestič, v sredini orodja pa imamo snemalo, distančno letev in rezilno ploščo, ki je pritrjena na spodnjo temeljno oziroma spodnjo vpenjalno ploščo. Debelina distančne letve je odvisna od debeline traku, iz katerega bomo izsekovali izdelke določenih oblik. Slika 5 prikazuje rezilno orodje, vodeno z vodilnimi stebri, s poimenovanimi glavnimi sestavnimi deli orodja.



Slika 5: Rezilno orodje, vodeno z vodilnimi stebri

Vir: (E-Gradivo, 2022)

4 ZASNOVA ORODJA

4.1 Projektni načrt izdelovanja orodja po fazah

Kadar želimo izdelati želen izdelek, potrebujemo orodje, da ga lahko izdelamo. Pri osnovni zasnovi orodja pa potrebujemo osnovne podatke, kot so: iz katerega materiala bi radi izdelali izdelek, kakšna je geometrijska zahtevnost izdelka in kolikšna je količina izdelkov (velikost serije). Ko dobimo te osnovne podatke, lahko sprejmemo naročilo za izdelavo orodja. S sprejetjem naročila se moramo zavedati, da s tem sprejmemo celovit projekt, za katerega je pomembna predvsem dobra organiziranost pri izvajanju posameznih tehnoloških operacij, ki si sledijo zaporedno ena za drugo:

- razvoj orodja,
- konstrukcija orodja,
- izbira tehnologije izdelave orodja,
- preizkušanje orodja,
- vzdrževanje orodja.

S sprejetjem naročila je tako za vsako orodje treba izdelati individualni projektni načrt izdelave. Za orodje, ki ga obravnavam v diplomskem delu, se je izdelal projektni načrt, ki ima sedem korakov:

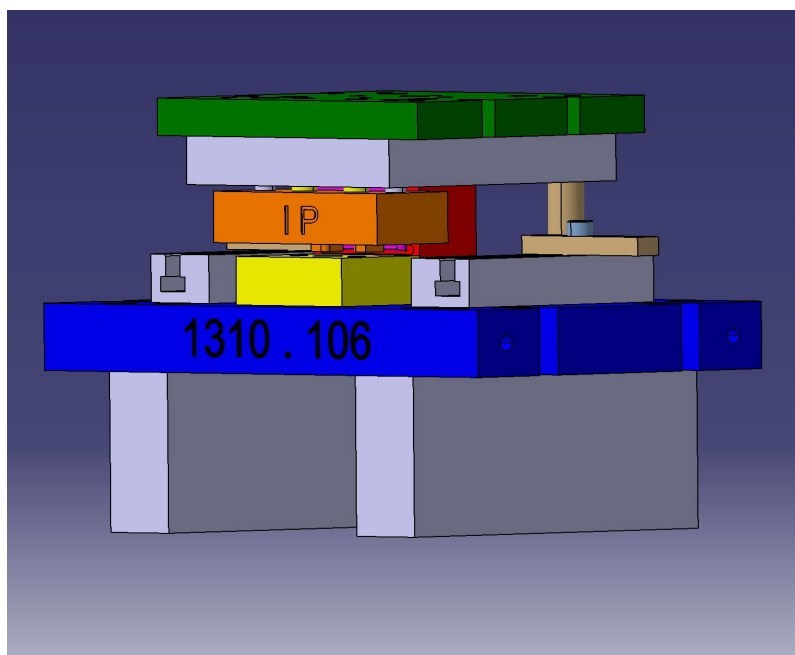
- konstrukcija orodja,
- naročilo materiala orodja in standardiziranih elementov,
- mehanska obdelava pred toplotno obdelavo (rezkanje, struženje),
- toplotna obdelava (kaljenje, popuščanje),
- mehanska obdelava po toplotni obdelavi (koordinatno in ploskovno brušenje, žična erozija),
- sestava orodja,
- preizkus orodja.

4.2 Konstruiranje orodja

Konstruiranje orodja je eden najtežjih korakov pri izdelavi novega orodja. Delo konstrukterja je povezati želje kupca z uspešno in finančno sprejemljivo izdelavo orodja. Konstrukter mora ugoditi željam kupcev, hkrati pa mora izdelati orodje, ki bo dokaj lahko izvedljivo, saj se s tem izognemo visokim stroškom izdelave orodja. Delo konstrukterja je tudi izračunavanje potrebnih sil glede na tip orodja, poznavanje hidravličnih stiskalnic, saj je treba narediti vpetje, ki bo

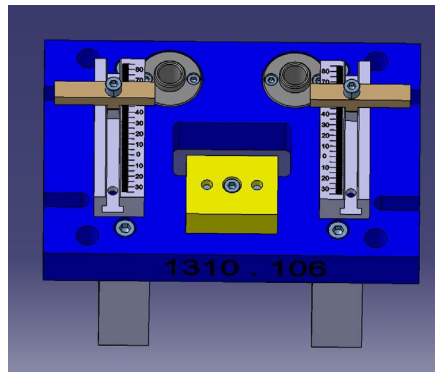
primerno za stiskalnico, za katero je orodje namenjeno, poznavanje postopkov mehanske obdelave, da lahko poenostavi izdelavo v fazi mehanske obdelave, in poznavanje standardnih elementov orodja, ki jih lahko naročimo ter s tem prihranimo denar in čas pri izdelavi. Vedno pa seveda ne gre vse po načrtu in lahko nastanejo problemi, za katere mora konstrukter poiskati optimalne rešitve.

Osnove konstruiranja so obvladovanje CAD-tehnologije – to je računalniško podprto konstruiranje, ki nam pomaga pri razvoju, analiziranju in kasnejših izboljšavah orodja. Programska oprema CAD se uporablja od zasnove izdelka do izdelave potrebne tehniške dokumentacije. Velika prednost te tehnologije je med drugim tudi enostavna sprememba konstrukcije izdelka oziroma zamenjave katerega koli sestavnega sklopa orodja. Izsekovalno orodje, ki ga obravnavam v diplomskem delu, je v celoti izrisal konstrukter v našem podjetju, Kristijan Pišek, ki je tudi moj mentor v podjetju pri izdelavi diplomskega dela. Celotno orodje je bilo narisano v programskem paketu CATIA. Programski paket CATIA je namenjen modeliranju in izdelovanju 3D-modelov. Tega programskega paketa se v večini poslužujejo strojni in gradbeni inženirji, grafični oblikovalci, arhitekti in podobno, saj je program namenjen za sistemski inženiring ter reševanje specifičnih potreb v industriji z razvijanjem in realiziranjem novih izdelkov. S pomočjo CATIE je konstrukter zmodeliral celotno orodje ter izdelal kosovnico orodja in delavniške risbe, ki so potrebne za izdelavo posameznih sestavnih delov orodja (Catia, 2022). Konstrukcijsko zasnovo orodja v računalniško podprtem orodju CATIA nam prikazuje slika 6, medtem ko slika 7 prikazuje spodnji in slika 8 zgornji del orodja.



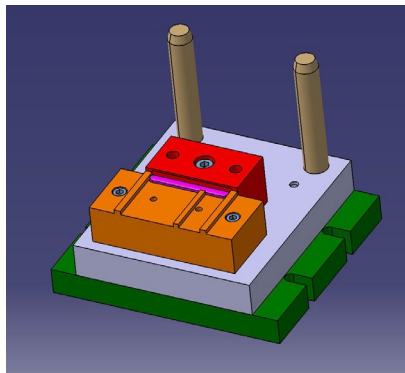
Slika 6: Konstrukcija orodja

Vir: (lasten vir)



Slika 7: Spodnji del orodja

Vir: (lasten vir)



Slika 8: Zgornji del orodja

Vir: (lasten vir)

4.3 Izračun sile

Za moj primer orodja je treba izračunati silo izsekovanja, saj lahko s tem izračunom predvidevamo, na kakšni hidravlični stiskalnici bo potekalo izsekovanje. Za izračun sile potrebujemo naslednje podatke:

- **R_m**: natezna trdnost sekanega materiala,
- **l**: dolžina reza,
- **s**: debelina sekanega materiala.

Toplotni izmenjevalec, za katerega bomo naredili izsekovalno orodje, je izdelan iz dveh plasti. Zgornja, mehkejša plast je izdelana iz aluminija (Al) 99,5 %, spodnja, trša plast pa iz aluminija (Al) 99,0 %, in sicer z dodatkom cirkonija (Zr) do 0,20 %. Ko imamo podatke o materialu, ki

ga bomo izsekali, lahko iz strojniškega priročnika razberemo natezno trdnost, ki za Al znaša $130 \frac{N}{mm^2}$.

Debelina vsake posamezne plasti je 1 mm in tako dobimo skupno debelino materiala 2 mm, dolžina reza pa bo znašala 70 mm.

$$F = Rm * l * s$$

$$F = 130 \frac{N}{mm^2} * 70mm * 2mm = 18200N$$

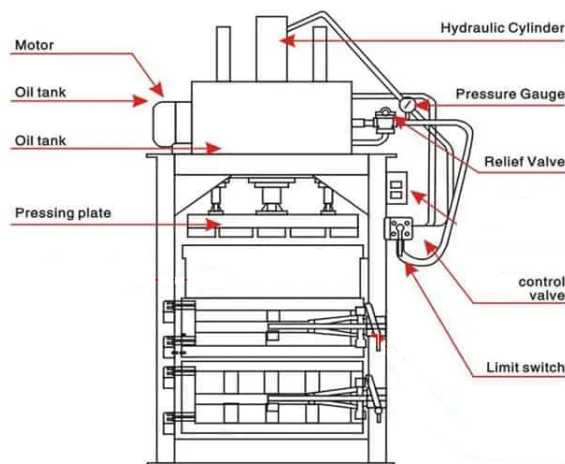
Slika 9: Enačba izračuna

Vir: (lasten vir)

Slika 9 nam prikazuje izračunano enačbo z rezultatom potrebne sile, ki jo bo morala stiskalnica premagati, in sicer ta znaša 18.200 N ali 1,82 tone. Lahko smo že vnaprej predvidevali, da stiskalnica ne bo preveč obremenjena, saj gre za manjši rez in majhno debelino materiala in tudi aluminij se smatra kot lahka kovina, ki jo lahko preoblikujemo s pomočjo manjših sil.

Pri postopkih preoblikovanja materiala uporabljamo preoblikovalne stroje, ki jih lahko ločimo po načinu delovanja, načinu pogona in konstrukcijski izvedbi samega stroja. Ne glede na vrsto preoblikovalnega stroja pa je njegova glavna naloga, da zagotovi vso silo, ki je potrebna za ustrezno preoblikovanje obdelovanca. V mojem primeru bomo uporabili hidravlično stiskalnico. Že samo ime nam pove, da je za delovanje stiskalnice potreben hidravlični medij, in sicer hidravlično olje, ki s pomočjo hidravličnega cilindra ustvari tlačne sile. Hidravlične stiskalnice imajo to prednost, da lahko enostavno nastavimo vrednost tlačne sile z nastavitvijo delovnega pritiska. Seveda pa ima vsaka stiskalnica glede na izvedbo možnost nastavitve maksimalne vrednosti, ki je ne moremo prekoračiti. Zato je pri izbiri stiskalnice zelo pomembno poznati sile, ki so potrebne za preoblikovanje našega izdelka.

Na sliki 10 lahko vidimo osnovne sestavne dele hidravlične stiskalnice, ki so: hidravlične cevi, hidravlični motor, hidravlični cilinder, rezervoar za hidravlično olje, ventil za krmiljenje smeri in tlaka olja, vpenjalna miza ter končno stikalo.



Slika 10: Hidravlična stiskalnica

Vir: (Student Lesson, 2022)

Kupec orodja nam je za lažje konstruiranje orodja predstavil stiskalnico, na kateri bo potekalo delo. To je stiskalnica angleškega izvora, znamke HACO Kingsland engineering, serije 60P625. Iz oznake serije lahko razberemo, da je to hidravlična stiskalnica z delovno močjo 60 t in z dolžino delovnega hoda vretena 625 mm. Stiskalnica je enostavne klasične oblike manjših dimenzij, in sicer 1640 mm x 710 mm x 1780 mm, skupna teža stiskalnice pa je 1510 kg. (Kingsland, 2022)

Material orodja

Pri izbiri materiala za orodje moramo biti zelo previdni, saj nam lahko napačna izbira materiala pozneje v fazi delovanja orodja prinese več stroškov kot koristi. Zato imamo štiri osnovne kriterije za lažjo izbiro orodnega materiala:

- tehnološki proces in pogoji izdelave izdelka (toplotne in mehanske obremenitve v orodju),
- material izdelka,
- vrsta in oblika orodja,
- zahtevana življenjska doba orodja oziroma velikost predvidenih serij.

Ko imamo izbrane vse štiri osnovne kriterije, lahko lažje določimo material, ki je najprimernejši za vsak posamezni sestavni del orodja. Konstrukterji orodjarji lahko že zaradi večletnih izkušenj izberejo primeren material, saj so čez leta spremljali orodja, ki so jih naredili in videli, ali so dobro predvideli material orodja, sploh če gre za orodja podobnega tipa. Pri izsekovalnih orodjih je treba največ pozornosti nameniti sestavnim delom orodja, kjer so sile in predvidene obrabe največje, in to so v mojem primeru spodnji in zgornji nož, snemalna plošča in vodilne puše orodja. Za druge sestavne dele ni potrebno, da so iz kakovostnejšega materiala, saj ne

prenašajo velikih obremenitev. S tem pa tudi prihranimo pri nabavi materiala, saj se cena navadnega konstrukcijskega jekla in orodnega jekla razlikuje.

Spodnji in zgornji nož ter vodilna puša snemalne plošče bodo narejeni iz materiala 1.2379. To je visoko legirano jeklo z visoko odpornostjo proti obrabi, dobro dimenzijsko stabilnostjo, žilavostjo in kaljivostjo ter z maksimalno natezno trdnostjo 860 N/mm². Zaradi svojih lastnosti se zato največkrat uporablja za pestiče, rezalne matrice, nože, skratka za vse sestavne dele orodja, pri katerih lahko pričakujemo veliko obrabo. Kemična sestava materiala je: C 1,53 %, Si 0,30 %, Mn 0,35 %, Cr 12 %, Mo 0,08 % in V 0,08 %. S kaljenjem lahko jeklo doseže trdoto tudi do 65 HRc, vendar ga je treba popuščati, da sprostimo notranje napetosti v materialu, ki nastanejo pri postopku kaljenja. Za potrebe našega orodja bomo material kalili in popuščali na trdoto 58 HRc.

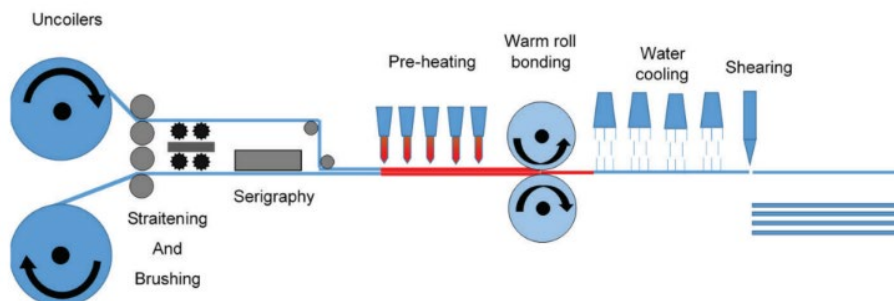
Naslednji material, ki ga bom uporabili na orodju, je orodno jeklo z oznako 1.2312 in natezno trdnostjo 950–1100 N/mm². To je poboljšano jeklo, ki se v večini primerov uporablja za nosilne dele orodja. V nekaterih primerih pa lahko iz tega materiala izdelamo tudi matrice. To jeklo je predhodno toplotno obdelano, zato ga pozneje ni treba toplotno obdelati, lahko pa s kaljenjem dosežemo trdoto jekla do 52 HRc. Dobra lastnost jekla je, da je dimenzijsko zelo stabilno in ima dobro obdelovalnost. Kemična sestava materiala je: C 0,4 %, Si 0,4 %, Mn 1,50 %, Cr 1,90 %, Mo 0,2 % in S 0,06 %. Material bom uporabil za izdelavo snemalne plošče.

Za vse ostale sestavne dele orodja, ki so: spodnja in zgornja vpenjalna plošča, zatisk, nosilec zgoraj, spodnji podlogi, merilni letvi in gibljivi pozicionirnik, bom uporabil navadno nelegirano orodno jeklo oznake 1.1730 z natezno trdnostjo 660 N/mm². To jeklo je najpogosteje uporabljeno od vseh jekel, saj se enostavno obdeluje, a ima hkrati dobro žilavost. Uporablja se v večini primerov za ohišja orodij, raznorazne podstavke orodij in vpenjalne plošče. V orodjarstvu je to jeklo priljubljeno tudi zaradi nekoliko nižje cene od ostalih jekel. Seznam kemične sestave je dokaj kratek, saj je jeklo nelegirano in ima v kemični sestavi samo osnovne legirne elemente: C 0,45 %, Si 0,3 % in Mn 0,7 %.

4.4 Material izdelka

Izdelek, iz katerega bomo izsekovali priključni kanal, je narejen po metodi roll-bond. Izhodiščni material za izdelavo roll-bond plošče je aluminij, in sicer iz dveh aluminijastih trakov, ki sta navita na kolutih. Nato sledi več zaporednih proizvodnih procesov, pri čemer se najprej oba trakova kemično očistita in skrtičita, nato pa segrejeta na 300 °C in potujeta do ogretil valjev, kjer se pod pritiskom zvaljata skupaj. Sledi postopek ohlavitve traku z vodo, nato pa rezanje na

želene končne dimenzije. Plošče gredo pred napihovanjem kanalov še na žarjenje v peč, nato pa sledi napihovanje kanalov hladilnega medija, ki poteka pod tlakom 100–140 bar. Slika 11 prikazuje zgoraj opisani postopek roll-bond valjanja pločevine.



Slika 11: Postopek roll-bond valjanja pločevine

Vir: (Fakulteta za energetiko, 2022)

Kot sem napisal že pri izračunu sile, je zgornja, mehkejša plast roll-bond plošče narejena iz aluminija (Al) 99,5 %, spodnja, trša plast pa iz aluminija (Al) 99,0 %, in sicer z dodatkom cirkonija (Zr) do 0,20 %. Spodnja plast z dodatkom Zr mora biti trša, da pri napihovanju kanalov ohrani prvotno ravno obliko, saj želimo pri napihovanju izbočiti le zgornji, mehkejši del roll-bond plošče. Obe plasti sta po koncu valjanja enake debeline, kar znesse skupaj 2 mm. Mehkejša plast aluminija ima oznako AA 1050 in naslednjo kemično sestavo: Si 0,25 %, Fe 0,40 %, Ti 0,05 %, Cu 0,03 %, Mn 0,03 %, Zn 0,03 % in Zr 0,01 %, druga, trdnejša plast pa ima podobno kemično sestavo, le da je manjši odstotek silicija in večji odstotek cirkonija. AA 1230: Si 0,05–0,010 %, Fe 0,45–0,60 %, Cu 0,03 %, Mg 0,03 %, Zn 0,03 %, Ti 0,05 % in Zr 0,15–0,20 %. (Talum Izparilniki, d. o. o., 2022)

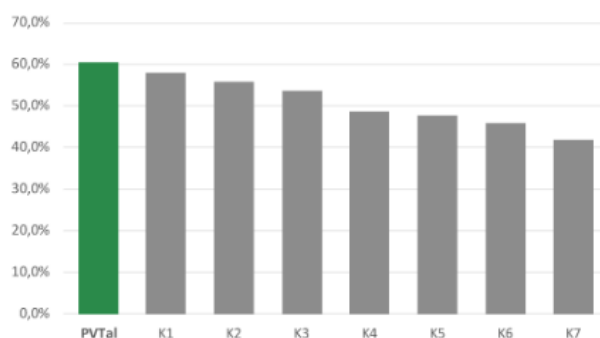
4.5 Krovna tema BTEC (učinkovitost)

Ko je govora o učinkovitosti, lahko omenim, da podjetje Talum, d. d., v katerem sem tudi sam zaposlen, spada v svetovnem merilu v ozek krog najučinkovitejših proizvajalcev primarnega aluminija in aluminijevih zlitin z visoko dodano vrednostjo. Recikliranje odpadnega aluminija je eden od procesov, s katerim lahko s pomočjo ponovnega pretaljevanja naredimo nove izdelke in za to porabimo bistveno manj energije, kot bi je porabili s proizvodnjem primarnega aluminija. Prvo recikliranje in ponovna uporaba aluminija sta se v podjetju začela pred približno 20 leti. Takrat so prvič zagnali tako imenovano krožno gospodarstvo, zato ima podjetje danes vzpostavljene učinkovite modele krožnega gospodarjenja, s katerim se lahko dandanes pohvali ne samo z vidika razvoja in implementacije novih aluminijevih zlitin, ampak tudi z vidika

reciklaže aluminija in izdelkov visoke dodane vrednosti iz njega. Podjetje stremi k naprednim tehnologijam in želi s pomočjo digitalizacije procesov preoblikovati svojo proizvodnjo v smer ogljično nevtralnih izdelkov, kar pomeni, da se podjetje trudi, da bi imelo s pridobivanjem aluminija in aluminijevih izdelkov ter polizdelkov čim manjši globalni vpliv na okolje. Podjetje za svojo energetske učinkovitost skrbi z racionalno in učinkovito rabo naravnih virov energije. Ta proces obsega nadziranje emisij in snovi v zraku in vodi, ustrezno ravnanje z odpadki ter kemikalijami. Za te procese pa v podjetju uporabljajo vhodne materiale, ki so manj obremenjujoči za okolje oziroma so energetske učinkovitejši. Talum, d. d., za nemoteno delovanje proizvodnje uporablja električno in toplotno energijo, komprimiran zrak ter zemeljski plin. Toplotno energijo podjetje potrebuje za ogrevanje prostorov, pripravo sanitarne vode in segrevanje vstopnega zraka v posameznih proizvodnih enotah. Podjetje za ogrevanje izkoristi že 35 % odvečne toplote iz procesov. Ker pa je učinkovitost upravljanja z energijo v povezavi z okoljem podjetju zelo pomembna, je bil uveden standard SIST 50001. Podjetje je z različnimi investicijami z leti zmanjšalo porabo energije, in sicer se je poraba zemeljskega plina v povprečju zmanjšala za 25 %, to je iz 903.500 Nm³ na 651.500 Nm³. Z rednimi pregledi cevovoda za komprimiran zrak se je poraba tega zmanjšala iz 62 mio Nm³ na 49 mio Nm³. S spreminjanjem tehnologije pretaljevanja odpadnega aluminija se tudi poraba električne energije zmanjšuje. V letu 2021 se je tako poraba električne energije zmanjšala iz 1,2 TWh na 0,58 TWh, kar je posledica omejevanja proizvodnje elektroliznega aluminija, zato je bilo podjetje primorano odstotek izgube elektroliznega aluminija nadomestiti s pretaljevanjem odpadnega aluminija. (Homšak, 2022)

Tudi orodje, ki ga opisujem v diplomskem delu, se navezuje na učinkovitost, saj s pomočjo omenjenega orodja pripomoremo k izdelovanju energetske učinkovitih toplotnih prenosnikov, ki jih najdemo v toplotnih črpalkah, hladilnikih, električnih avtomobilih in solarni tehnologiji, in sicer v hibridnem fotonapetostnem modulu. V podjetju Talum Izparilniki so pod blagovno znamko Heatra Plates s svojim znanjem in proizvodno tehnologijo razvili izdelek lastne blagovne znamke PVTal, ki ima po podatkih inštituta SPF najučinkovitejši fotonapetostno-termalni kolektor. Po zaslugi toplotnega prenosnika, vgrajenega v fotonapetostni kolektor, ima ta višjo učinkovitost fotonapetostnega dela, boljše izkoriščenost prostora, nižji strošek namestitve in različne možnosti implementacije sistema.

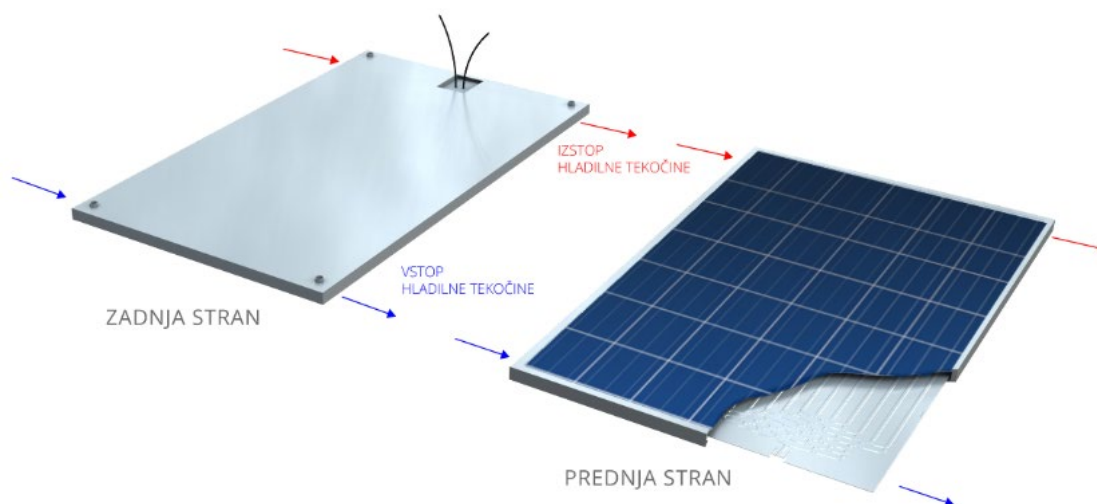
PRIMERJAVA NAJVIŠJE TOPLOTNE UČINKOVITOSTI



Slika 12: Primerjava najvišje toplotne učinkovitosti

Vir: (Talum Izparilniki, d. o. o., 2022)

Slika 12 prikazuje graf najvišje toplotne učinkovitosti med več fotonapetostno-termalnimi kolektorji. Najučinkovitejši je kolektor, ki vsebuje toplotni prenosnik, ki ga je podjetje Talum Izparilniki izdelalo tudi s pomočjo obravnavanega orodja. Iz slike 13 pa lahko razberemo delovanje hlajenja s pomočjo toplotnega prenosnika na hibridnem fotonapetostnem modulu.



Slika 13: Hibridni fotonapetostni modul

Vir: (Talum Izparilniki, d. o. o., 2022)

5 IZDELAVA ORODJA

5.1 Sestavni deli orodja

Izsekovalno orodje, ki ga obravnavam v diplomskem delu, je sestavljeno iz več različnih sestavnih delov. Večino delov bom izdelal sam, standardne elemente pa bomo naročili pri podjetju Meusburger, ki se ukvarja z izdelovanjem in dobavo standardnih elementov orodja.

Standardni deli, ki jih lahko imenujemo tudi normalije, nam pri izdelavi orodja omogočajo hitro prilagodljivost. Že pri samem konstruiranju si lahko standardne elemente, ki jih nameravamo vgraditi, enostavno izvozimo iz kataloga v 3D-model orodja. S tem povečamo učinkovitost pri konstruiranju in pridobimo na času, saj nam ni treba risati vsakega standardnega elementa. Tudi pri kalkulaciji predračuna lahko prihranimo čas in točnost, saj so cene elementov vnaprej znane in lahko v predračun orodja vnesemo točne cene elementov. Tako se približamo realnemu oziroma bolj točnemu predračunu, kar je velika prednost, saj je zelo pomembno, da ceno orodja hitro in ustrezno ovrednotimo ter se tako izognemo morebitni izgubi naročila. Velika prednost je tudi hitra dobava elementov v fazi izdelovanja orodja in pozneje v fazi vzdrževanja. V fazi izdelovanja orodja je prednost hitre dobave to, da lahko čim hitreje izdelamo celotno orodje in se ne ukvarjamo z zahtevnimi sestavnimi sklopi, saj so standardizirani sklopi orodja tolerirani na zeleno mero in so tako ob dobavi pripravljeni na montažo. V fazi vzdrževanja orodja ima velik pomen to, da lahko enostavno pregledamo izrabljene dele orodja, jih poiščemo s pomočjo kataloške številke v katalogu dobavitelja in jih naročimo, dobavitelj pa nam jih dostavi v najkrajšem možnem času, saj imajo vedno na zalogi standardizirane elemente orodja. Ko dobimo naročeni del, lahko orodje sestavimo in je že pripravljeno za nadaljnjo uporabo. Hiter odziv je pomemben, sploh če govorimo o kurativnem vzdrževanju orodja, kar pomeni, da se vzdrževanje opravlja, ko na orodju že pride do napake, zato je pomembno, da lahko hitro ukrepamo in popravimo orodje v najkrajšem možnem času. (Gogić, skripta Izdelava in vzdrževanje orodij, 2021)

Za nabavo in izdelovanje vseh segmentov orodja si je treba narediti kosovnico (tabela 1), saj imamo tako pregled nad vsemi segmenti orodja. V kosovnici orodja najdemo podatke, ki so: naziv oziroma ime elementa, dimenzije in kataloške številke elementov, ki jih bomo naročili pri dobavitelju, število posameznih kosov, material elementa ter morebitne opombe.

Tabela 1: Kosovnica

Pozicija	Naziv	Dimenzije (mm)	Št. kosov	Material	Opombe
1	Spodnja vpenjalna plošča	300 x 200 x 36	1	1.1730	
2	nož – spodaj	73,5 x 55,5 x 26,3	1	1.2379	58 HRc oster rob
3	nož – zgoraj	73,5 x 40,5 x 39,3	1	1.2379	58 HRc oster rob
4	snemalna plošča	113 x 50 x 32,8	2	1.2312	
5	zatisk	62 x 20 x 62	1	1.1730	
6	nosilec – zgoraj	160 x 140 x 26	1	1.1730	
7	zgornja vpenjalna plošča	180 x 160 x 20	1	1.1730	
8	podloga – spodaj	200 x 86 x 40	2	1.730	
9	vodilna puša – snemalna	Ø19 x 38	2	1.2379	58 HRc
10	merilna letev	130 x 40 x 26	2	1.1730	
11	pozicionirnik – gibljiv	80 x 15 x 15	2	1.1730	
12	Steber	E1020–18 x 120	2	Meusburger	
13	vodilna puša orodja	E1150_18	2	Meusburger	
14	vzmet	E1545/12,5 x 32	5	Meusburger	
15	vzmet	E1546/12,5 x 32	5	Meusburger	
16	steber – snemalni	Ø10H7 x 60	2	Kamm	
17	T-matica 10	23010 0101	4	Meusburger	
18	vijak M10x45	DIN 912	4	Kamm	
19	vijak M8x35	DIN 912	8	Kamm	
20	vijak M8x40	DIN 912	4	Kamm	
21	vijak M8x25	DIN 912	4	Kamm	
22	vijak M6x20	DIN 912	4	Kamm	

23	vijak M6x50	DIN 912	5	Kamm	
24	navojni zatik M6x10	ISO 7379	5	Kamm	
25	zatic 8H7x40	DIN 7979	4	Kamm	
26	zatic 8H7x20	DIN 7979	4	Kamm	
27	vpenjalni element	Ø52 x 34	1	1.1730	

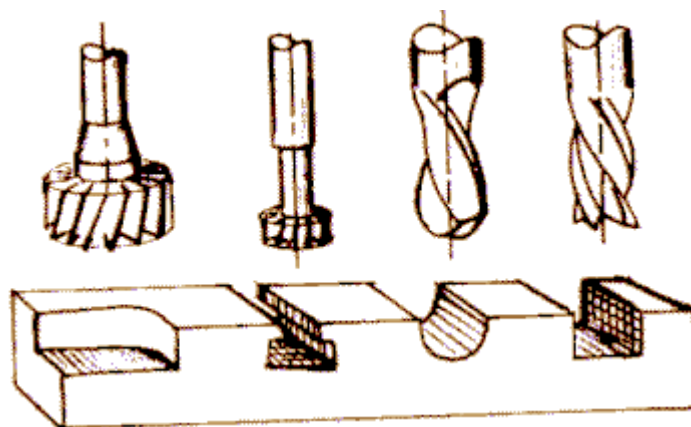
Vir: (lasten vir)

Ko imamo izdelano kosovnico, lahko naročimo ves potreben material. Jeklo, ki ga potrebujem za izdelavo orodja, naše podjetje naroča pri podjetju HTS group Ravne Steel Center, ki se ukvarja z oskrbovanjem orodjarske industrije z najrazličnejšimi vrstami jekla. Na zalogi imajo 5.000 ton jekla, ponujajo tudi razrez materiala in CNC-obdelavo naročenega materiala. Tako lahko dobimo naročene plošče v dimenziji odstopanja $\pm 0,1$ mm, s čimer prihranimo čas in denar, saj nam materiala ob dobavi ni treba dimenzijsko pripravljati. Kot že omenjeno, standardizirane elemente orodja naročamo pri podjetju Meusburger, ki je eden vodilnih ponudnikov visoko preciznih normalij in je na trgu s svojim uspešnim delom prisotno že več kot 55 let. Ostane nam še samo dobava vijakov in zatikov, ki jih imamo na zalogi v centralnem skladišču podjetja Talum, tako da lahko do njih hitro dostopamo in nam ni treba naročati vsakega vijaka posamezno. Kadar imamo naročene vse potrebne elemente orodja, lahko začnemo s pripravljanjem delovnih nalogov in tiskanjem tehniške dokumentacije, da ko dobimo material, lahko začnemo z izdelovanjem posameznih elementov.

5.2 Rezkanje

V tem poglavju bom predstavil in opisal postopek rezkanja na splošno ter izdelovanje vseh elementov orodja, pri katerih sem uporabljal tehnologijo CNC za rezkanje in vrtanje.

Rezkanje je postopek mehanske obdelave, kjer glavno rotacijsko gibanje opravlja orodje, podajalno gibanje pa praviloma obdelovanec, ki je lahko na različne načine fiksno vpet na mizo stroja. Rezkanje se lahko opravlja v različnih smereh, ki so: istosmerno, protismerno in simetrično. Za rezkanje uporabljamo različnejša orodja, s katerimi odvezujemo material na obdelovancu. Rezkanje na klasičnih strojih se največkrat uporablja za obdelavo ravnih površin, s pomočjo oblikovnih in kopirnih rezkarjev pa lahko obdelujemo tudi ukrivljene površine in oblikujemo poljubno oblikovane površine. Na sliki 14 lahko vidimo obliko rezkanja z različnimi frezali.



Slika 14: Vrste frezal

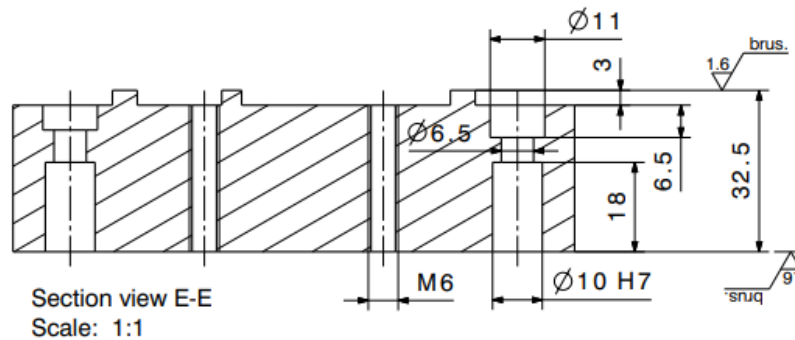
Vir: (Rezkanje, 2022)

Zaradi napredovanja tehnologije in predvsem elektrotehnike so na začetku 40. in 50. let prejšnjega stoletja začeli razvijati prve NC- in pozneje CNC-stroje, ki so prinesli v kovinarsko obdelovalno stroko pravo malo revolucijo. Pa začnimo pri kratici CNC, ki izhaja iz angleškega jezika, in sicer pomeni Computer Numeric Control ki v slovenskem prevodu pomeni računalniško krmiljenje strojev. Eden od razlogov za razvijanje tehnologije CNC je bil ta, da se pri klasičnem rezkanju pojavljajo ponavljajoči se gibi, ki jih opravlja operater klasičnega rezkalnega stroja, s tem pa se tudi hitro pojavijo napake, saj je lahko delo v nekih primerih zelo monotono, sploh pri kakšnem plananju večjega surovca, kar sem tudi sam počel ob prihodu v orodjarno. Prav zato še toliko bolj razumem, zakaj je bilo treba na tem področju narediti korak naprej. Odprava ponavljajočih se gibov operaterja pa ni edina prednost, ki jih je prinesla tehnologija CNC. Povečala se je produktivnost strojev, izboljšala kakovost in natančnost izdelkov, zmanjšali so se tudi proizvodni stroški na področju maloserijske in srednjeserijske proizvodnje. Največja prednost pa je po mojem mnenju to, da so se lahko začeli izdelovati obdelovanci zahtevnejših oblik s pomočjo programiranja 3D-oblik. Moramo pa se zavedati, da stroj ne bo naredil nič sam od sebe, saj ob sebi prav tako potrebuje ustrezno izobraženega in izkušenega operaterja, ki bo ustrezno vpel obdelovanec, pripravil vse potrebno orodje in napisal program, da bo stroj, povedano po domače, delal po navodilih operaterja oziroma programerja. Da je rezkanje nepogrešljiva mehanska obdelava v orodjarski panogi, dokazuje tudi to, da sem skoraj vsako komponento orodja lahko izdelal na CNC-rezkalnem stroju. Ene komponente sem lahko dokončal na stroju, ene komponente pa so šle še na brušenje in žično erozijo.

Vedno, ko začnemo z izdelovanjem novega orodja, se najprej naredijo kosi, ki morajo po grobem rezkanju še na toplotno obdelavo. V mojem primeru sta to spodnji in zgornji nož, ki se bosta pozneje zakalila na 58 HRC. Moje delo na orodju se je začelo pri spodnjem nožu, kjer je

bilo treba izvrtati izvrtini za zatič in eno izvrtino za pritrditev noža z vijakom M8 na spodnjo vpenjalno ploščo. Pri vrtanju izvrtin za zatiče moram biti pozorni na dodatek, ki ga moram pustiti za koordinatno brušenje po kaljenju, zato izvrtam 0,3 mm manjšo izvrtino in s tem pustim dovolj dodatka za koordinatno brušenje na toleranco 8H7. Pri luknji za vijak ne potrebujem dodatka za poznejšo obdelavo, ampak naredim približno 1 mm večjo luknjo od vijaka, se pravi za vijak M8 smo izvrtali 9-mm luknjo s sedežem za imbus vijak z glavo. Orodje, ki sem ga uporabljal za izvrtine, so navadni HSS-centrirni sveder, HSS-sveder Ø7,7, HSS-sveder Ø9 in trdokovinski fini rezkar Ø8 za izdelavo sedeža za glavo vijaka. Pri spodnjem nožu je postopek enak, saj je edina razlika med spodnjim in zgornjim nožem v tem, da sta dimenzijsko različnih mer. Pri izdelovanju nožev moram posebno pozornost nameniti rezilnemu robu, da ga pri obdelavi in pozneje pri čiščenju surovca ne poškodujemo. Ponavadi je že na načrtu označen rezilni rob, prav tako je pod opombami navedeno, da je treba paziti na rezilni rob.

Ko sem končal z rezkanjem nožev, je bila na vrsti snemalna plošča. Za snemalno ploščo je bil izbran material 1.2312. To pomeni, da je to poboljššan material in ima že brez dodatne toplotne obdelave dovolj dobre mehanske lastnosti za uporabo v našem orodju. Na snemalni plošči je treba izvrtati štiri luknje 2 x navoj M6 in 2 x luknja Ø6,5 s sedežem za vijak ter na hrbtni strani luknjo za zatik Ø10H7. Porezkati je treba tudi obliko na vrhu in utor, po katerem bo voden zatisk. Ker kos ne gre skozi toplotno obdelavo, moram upoštevati vse dane tolerance. Najprej sem se lotil rezkanja oblike. Ker je oblika enostavna, sem to lahko sprogramiral na stroju s pomočjo ciklov za izdelovanje žepov. Tudi utor za zatisk sem naredil s ciklom za žepe, le da sem tukaj moral paziti na predpisani radij v kotu žepa, ki je znašal R3, zato je bilo treba vzeti orodje z radijem 3 oziroma rezkar Ø6. Ko sem končal obliko, sem se lotil luknje in navoja za vijak M6. Za M6 je treba izvrtati minimalno luknjo Ø5. To sem izvrtal z navadnim HSS-svedrom, navoj pa povrtal z navojnim svedrom za odprte luknje M6. Ostali sta še mi dve izvrtini, kot sem že prej omenil Ø6,5 s sedežem za vijak in iz zadnje strani luknja Ø10H7 za zatik. Luknjo Ø6,5 sem izdelal na enak način kot pri spodnjem in zgornjem nožu, Ø10H7 pa sem tokrat naredil na končno mero, in sicer najprej zvrtal luknjo na Ø9,7 in pozneje s povrtalom Ø10H7 povrtal luknjo na omenjeno toleranco. Vse podatke za izdelavo snemalne plošče lahko razberemo iz slike 15, ki prikazuje prerez snemalne plošče iz tehnične dokumentacije.



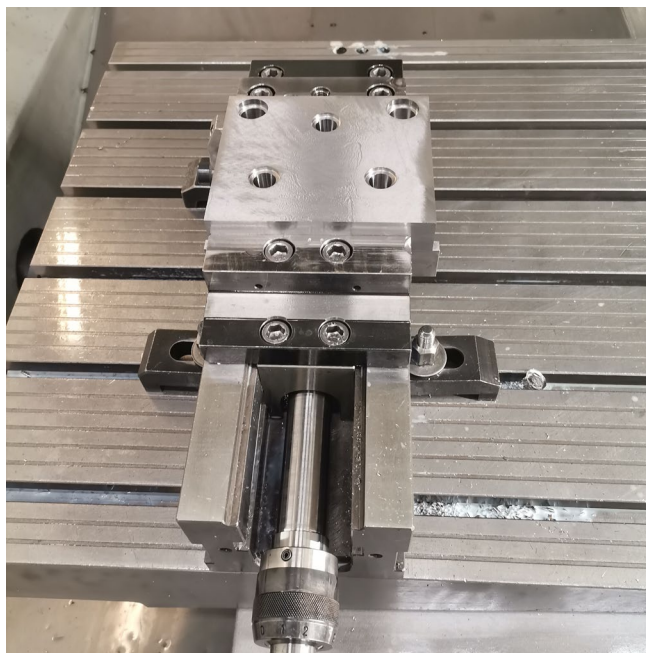
Slika 15: Prerez snemalne plošče

Vir: (Talum, interni)

Naslednja sestavna dela orodja, ki sem se ju lotil, sta bila merilni letvi, ki služita za lažjo nastavitve naslona pri izsekovanju. Na ta kos je bilo treba gravirati merilno skalo od -30 do $+30$. Program za graviranje je bil tokrat narejen s pomočjo programske opreme Mastercam. Mastercam je namenjen za računalniško programiranje, pri katerem potrebujemo ustrezen 3D-model kosa, ki ga želimo obdelati. Najpogosteje se uporablja za programiranje 3D-oblik, kot so gravure livnih orodij in podobno, lahko pa se programira tudi vse ostale operacije, kot so vrtanje, rezanje navojev in rezkanje utorov. Pri nas se poslužujemo načina, da te operacije programiramo neposredno na krmilniku stroja, saj so ponavadi potrebne kakšne konfiguracije in lahko hitreje popraviš program na stroju, kot pa da prvo obvestiš programerja, da popravi program in ga ponovno sprocesira. Pri programu, ki mi ga posreduje programer, je treba paziti, da imam enako ničelno točko, kot je v programu. V največ primerih so ničelne točke enako definirane na 3D-modelu in na načrtu surovca. Pomembno je tudi, da imam v stroju navedeno enako ime orodja, kot je definirano v programu. V mojem primeru je to KUGLA R0.5X16. Ime rezkarja mi pove, da je to krogelni rezkar Ø1 dolžine 16 mm. Ta rezkar je namenjen predvsem graviranju. Ko nam programer pošlje program prek mreže na stroj, preverim vse potrebno, kot sem že prej omenil, ničelno točko in ime rezkarja, nato pa lahko zaženem program. Ob koncu programa preverim stanje orodja, s čimer se prepričam, da je orodje naredilo do konca brez loma. V našem primeru samo vizualno preverimo, če je narejeno vse potrebno.

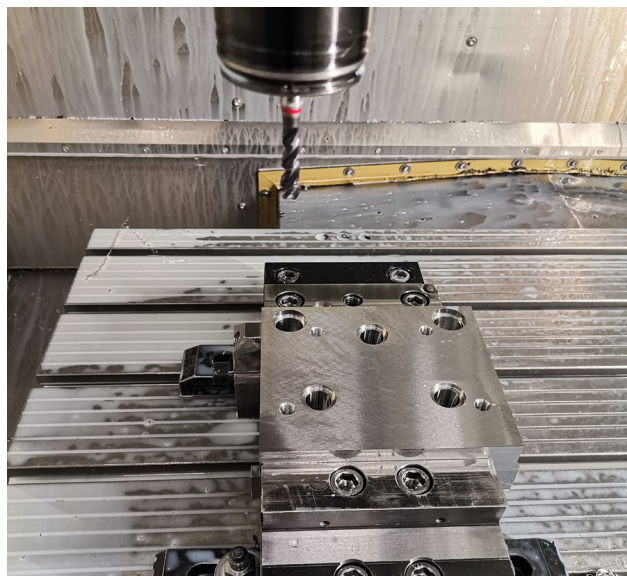
Za rezkanje in vrtanje so še mi ostali naslednji sestavni elementi: spodnja in zgornja vpenjalna plošča, zatisk, zgornji nosilec, spodnja podloga in pozicionirnik. Pri vseh elementih sem uporabljal podobne postopke izdelave, kot sem jih že opisal zgoraj, le da sem uporabil drugo orodje. Na vpenjalnih ploščah je bilo treba narediti luknje za vijake s sedežem za vijake, luknje za zatiče za pozicioniranje nožev in zgornjega nosilca ter uture za pritrditev orodja na hidravlično stiskalnico. Pri spodnji vpenjalni plošči je bilo treba paziti na luknje, kjer pridejo

vstavljene vodilne puše orodja, saj more biti medosna razdalja enaka razdalji lukenj na zgornjem nosilcu, kjer pridejo pritrjeni vodilni stebri. Spodnja vpenjalna plošča še vsebuje utor za odsekan izmet. Kot že omenjeno, je bilo treba na zgornjem nosilcu narediti luknje za vodilne stebre, in to v toleranci H7. Nosilec vsebuje še luknje za zatiče, navoje za pritrditev nosilca iz zgornje vpenjalne plošče in sedeže, kjer pridejo vstavljene vzmeti. Slike 16, 17 in 18 prikazujejo vpetje surovca v primežu in izdelavo posameznega kosa z različnimi operacijami.



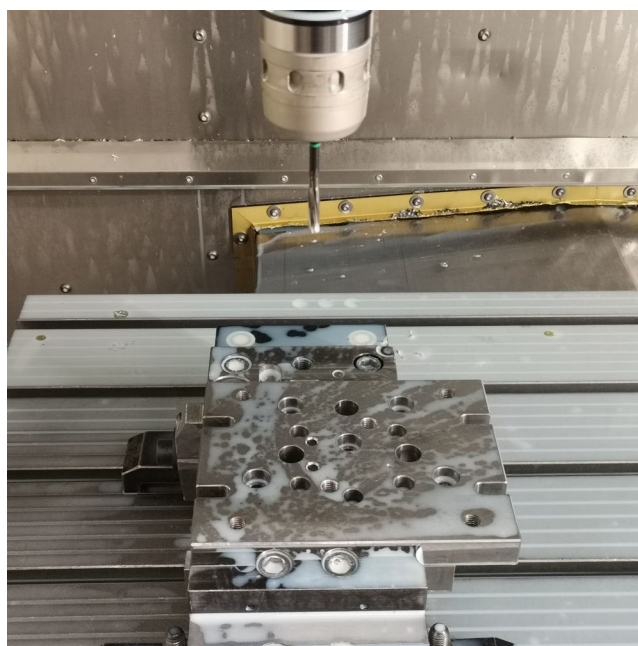
Slika 16: Izdelava zgornjega nosilca

Vir: (lasten vir)



Slika 17: Vrtanje navojev v zgornji nosilec

Vir: (lasten vir)



Slika 18: Rezkanje vpenjalne plošče

Vir: (lasten vir)

Sledijo še najpreprostejši sestavni elementi orodja. Pri njih je bilo potrebnega najmanj dela. Zatisak je bilo treba porezkati po obodu in na spodnji strani, da smo dobili zaobljeno obliko, ki bo zatisnila in hkrati predodprla kanal. Pri podlogah je bilo treba izvrtati dve luknji Ø17 za vpenjalne vijake M16, na pozicionirniku pa eno luknjo za vijak M6, s katerim se pozicionirnik pritrdi na merilno letev.

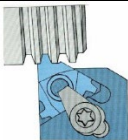
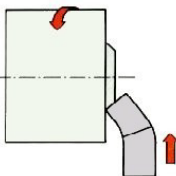
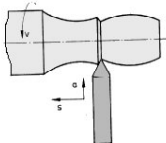
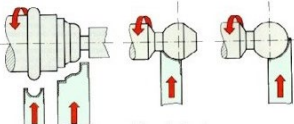
Postopek dela na rezkalnem stroju sem opisal podrobneje, saj moji delavniki v službi potekajo zgolj v vlogi operaterja na CNC-rezkalnem stroju in so mi ti postopki najbolj znani, zato jih je tudi najlažje opisati.

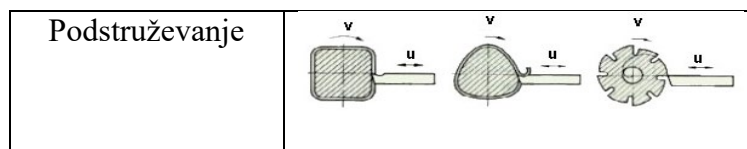
5.3 Struženje

Struženje je postopek odrezavanja, ki je najbolj razširjen za obdelavo valjastih oblik obdelovancev. Pri struženju je glavno gibanje rotacijsko, ampak tokrat glavnega rotacijskega gibanja ne opravlja orodje kot pri rezkanju, ampak obdelovanec. Podajalno gibanje opravlja orodje in poteka navadno premočrtno ali pa po poljubni krivulji, odvisno od želene oblike obdelovanca. Poznamo več vrst struženja: kadar se orodje giblje vzporedno z osjo obdelovanca, gre za vzdolžno struženje, kadar orodje potuje pravokotno na os obdelovanca, gre za prečno struženje, in kadar se pri struženju nepravilnih in poljubnih oblik orodje giblje v vzdolžni in prečni smeri, gre za kopirno struženje. To struženje se praviloma izvaja na CNC-stružnicah, na

klasičnih stružnicah pa se za enake poljubne oblike uporabljajo oblikovni tangencialni noži, ki so zbrušeni po obliki, ki jo želimo postružiti. Temu postopki struženja pravimo profilno struženje. Eden najpogostejših postopkov struženja je struženje navojev, kjer morata biti pomik noža in vrtenje obdelovanca usklajena, in sicer za vsak obrat obdelovanca se mora nož pomakniti za korak navoja, ki ga stružimo. Za krajšanje oziroma rezanje obdelovanca se uporablja zarezno struženje. Kot prej omenjeno, lahko struženje uporabimo za obdelovanje neokroglih oblik – imenujemo ga podstruževanje in lahko poteka tako, da ekscentrično vpnemo obdelovanec, ali pa tako, da orodje niha v radialni smeri oziroma se odmika po obliki, ki jo želimo postružiti. (Struženje, 2022) Za lažjo predstavo nam tabela 2 slikovno prikazuje vse opisane postopke struženja.

Tabela 2: Vrste struženja

Struženje navoja	
Vzdolžno struženje	
Prečno struženje	
Kopirno struženje	
Profilno struženje	
Zarezno struženje	



Vir: (lasten vir)

S postopkom struženja je bilo treba na orodju, ki ga predstavljam v diplomskem delu, narediti vodilni puši snemalne plošče in vpenjalni element, ki ga lahko montiramo ali snamemo, odvisno od tega, na katero stiskalnico želimo vpeti orodje, saj imajo stiskalnice različne načine vpenjanja orodij. Vodilni puši sta narejeni iz materiala 1.2379. To pomeni, da ga bomo morali zakaliti, če želimo od materiala dobiti lastnosti, zaradi katerih smo izbrali ta material (visoka obrabna obstojnost, trdota). To, da gre kos na kaljenje, je pomemben podatek in ga je treba napisati v opombe na načrt, saj tako vemo, da kosa ne delamo na končne mere, ampak na dodatek približno 0,3 za končno obdelavo po kaljenju, v mojem primeru pa bo po kaljenju nastopil postopek okroglega brušenja. Struženje puš je potekalo na CNC-stružnici. Pri struženju je zelo pomembno, da takrat, ko vpne surovec, da ga s pomočjo merilne ure centriramo, da se izognemo opletanju surovca, kar bi privedlo do neenakomernega struženja. To bi se pozneje poznalo tudi pri okroglem brušenju, in če je bil oplet večji od dodatka, ki smo ga pustili za končno obdelavo, se lahko zgodi, da ga ne bomo mogli zbrusiti na želeno tolerančno območje. To pomeni, da lahko kos zavržemo in izdelamo novega, kar pa za seboj potegne dodatne nepričakovane stroške, saj mora kos v ponovno izdelavo in ponovno na kaljenje. Izdelava puše je potekala v dveh vpetjih. V prvem vpetju je bilo treba postružiti zunanjo mero z vzdolžnim struženjem $\varnothing 19$, se pravi z dodatkom za brušenje je mera znašala 18,7 mm, naslednji korak pa je bil vrtanje notranje luknje $\varnothing 10$ z dodatkom 0,3 mm. To smo naredili z navadnim HSS-svedrom $\varnothing 9,7$, nato pa so sledili posnetje robov in odrez komada s pomočjo zareznega struženja ter ponovno vpetje in prečno struženje na dolžino 38 mm s posnetjem ostrega roba.

Drugi sestavni del, ki smo ga morali postružiti, je vpenjalni element, ki je privijačen na vpenjalno ploščo in služi za vpetje orodja na hidravlično stiskalnico. Vpenjalni element je izdelan iz materiala 1.1730, zato ne gre na toplotno obdelavo in ga lahko v celoti izdelamo na končne mere. Začetek struženja se je začel s prečnim struženjem, da poravnamo surovec, nato pa smo ga na grobo vzdolžno postružili na $\varnothing 38$. Sledilo je kopirno struženje, ki je zajemalo fino obdelavo površine pri $\varnothing 38$ in struženje faze ter s pomočjo odreznega noža rezanje surovca na dodatek pri dolžini. Ko smo surovec obrnili, smo s pomočjo gnanega orodja naredili utor za viličasti ključ 26, na koncu pa še navoj M20. Tako lahko vpenjalni element s pomočjo viličastega ključa privijamo na vpenjalno ploščo.

5.4 Kaljenje

Kaljenje je ena izmed toplotnih obdelav, pri kateri material segrevamo do določene temperature, po določenem času pa material ohladimo. Kadar imamo material v fazi segrevanja, se ta faza imenuje avstenitizacija, v fazi ohlajanja pa se v materialu dogaja transformacija avstenita v strukture, kot so martenzit, bainit in perlit. Želena struktura je odvisna od hitrosti ohlajanja materiala. Osnovni namen toplotne obdelave je izboljšati osnovne lastnosti materiala v lastnosti, ki so za določeno področje uporabe najboljše. Za kaljenje pa moramo izbrati pravi material, saj vsa jekla niso primerna za kaljenje. Najprimernejša jekla za kaljenje so: jekla za poboljšanje, jekla za cementiranje, jekla za površinsko kaljenje, nelegirana in legirana orodna jekla. Na višino trdote po kaljenju najbolj vplivata vsebnost ogljika in vsebnost legirnih elementov v jeklu, saj ti vplivajo na prekaljivost jekla oziroma na kalilno globino jekla po toplotni obdelavi.

Postopek kaljenja se izvede v štirih korakih: najprej je treba jeklo segrevati na kalilno temperaturo, sledi postopek zadrževanja na kalilni temperaturi, zatem pa ohlajanje s kalilne temperature. Po ohladitvi jekla sledi še popuščanje, kjer se odpravijo nastale notranje napetosti v materialu zaradi segrevanja. (Toplotna obdelava, 2022)

V mojem primeru je bilo na orodju predvideno kaljenje treh kosov. To so: spodnji nož, zgornji nož in puša snemalne plošče. Vse tri kose je treba zakaliti in popuščati na 58 HRc, da dobimo čim večjo odpornost proti obrabi. Ker v našem podjetju ne izvajamo postopkov kaljenja, pošljemo kose na kaljenje v podjetje Kaldera, d. o. o., ki se ukvarja tako s proizvodnjo orodij kot s toplotnimi obdelavami, saj kupcem ponujajo vrsto toplotnih obdelav: vakuumsko kaljenje, oljno kaljenje, nitriranje, nitrokarburiranje, naogljichenje, žarjenje za zmanjšanje napetosti, mehko žarjenje in normaliziranje. (Kaldera, 2022)

5.5 Brušenje

Brušenje je postopek obdelave z odrezavanjem, vendar spada med postopke fine obdelave, s katero dosežemo veliko mersko natančnost in kakovostno obdelano površino. Glavno rotacijsko gibanje opravlja orodje, to je pri brušenju tako imenovani brus, podajalno gibanje pa lahko prav tako opravlja orodje ali pa obdelovanec, odvisno od izvedbe samega brusilnega stroja. Brus je praviloma okrogle oblike, sestavljen pa je iz ogromnega števila brusnih zrn nepravilnih oblik, ki so med seboj povezana z vezivom. Brusna zrna so neenakomerno porazdeljena po celotnem brusu. Predstavljamo si lahko, da so to kot majhni noži, s katerimi odrezujemo kovino. Brus je treba pred vsako menjavo balansirati, saj se s tem znebimo opletanja brusa, kar je zelo

pomembno, saj se brus izredno hitro vrti. Za brušenje je namreč značilno, da ima veliko rezalno hitrost pri relativno majhnem podajalnem gibanju. V večini primerov se brusijo trdi materiali, brusimo pa lahko tudi navaden mehki material, če ga je treba poravnati ali če potrebujemo zgolj gladko površino, ki jo pri brušenju dobimo zaradi tankih slojev odvzemanja materiala. (Brušenje, 2022)

5.5.1 Ploskovno brušenje

Pri ploskovnem brušenju je glavno vreteno usmerjeno vodoravno, podajalno gibanje poteka v vzdolžni in prečni smeri, surovec pa je praviloma vpet neposredno na magnetno mizo. V našem obratu imamo brusilna stroja za ploskovno brušenje: enega večjih dimenzij s CNC-krmiljenjem in enega klasičnega manjših dimenzij, ki je prikazan na sliki 19. Za ploskovno brušenje kosov izsekovalnega orodja smo izbrali manjši stroj, saj so obdelovanci, ki jih moramo zbrusiti, manjših dimenzij. Ploskovno brušenje smo uporabili za zgornji in spodnji nož ter za merilne letve. Pri spodnjem in zgornjem nožu želimo dobiti rezilni rob, pri merilnih letvah pa zgolj gladko površino zaradi lažjega prestavljanja pozicionirnika. Brušenje zgornjega in spodnjega noža je potekalo tako, da se je prvo minimalno zbrusilo zadnjo stran, da pozneje, ko nož obrnemo, dobimo vzporednost med obema brušenima ploskvama. Nato smo nož obrnili in zbrusili zgornjo rezilno stran na končno višino noža. Minimalno sta se pobrusili tudi prva in zadnja stran zaradi centriranja, ki bo pozneje potrebno pri koordinatnem brušenju. Merilni letvi se je minimalno pobrusilo iz zgornje strani, kjer je vgravirana številčnica zgolj iz prej omenjenega razloga za lažje prestavljanje pozicionirnika.



Slika 19: Ploskovni brusilni stroj

Vir: (lasten vir)

5.5.2 Okroglo brušenje

Že ime okroglo brušenje nam pove, da gre za brušenje surovcev okroglih geometrijskih oblik. Pri drugih postopkih brušenja glavno rotacijsko gibanje opravlja orodje, pri okroglem brušenju pa to gibanje opravljata orodje in obdelovanec, s tem, da se obdelovanec giblje počasi. Podajalno gibanje poteka vzdolžno po surovcu, od same izvedbe stroja pa je odvisno, ali podajalno gibanje opravlja orodje ali obdelovanec. Postopek okroglega brušenja smo uporabili pri zunanjem brušenju puš snemalne plošče. Pušo je treba obojestransko vpeti s pomočjo konice na obeh straneh, ki skrbita za bolj togo vpetje. Brušenje poteka tako, da z brusom poiščemo rahel dotik na obdelovancu, ga minimalno pobrusimo in si na merilni skali nastavimo ničti položaj ročice. Nato izmerimo obdelovanec in se s pomočjo merilne skale pomikamo tako dolgo, dokler ne dobimo ustrezne mere surovca. Pri brušenju je najbolj pomembno sproti in pravilno merjenje surovca. Pušo smo zbrusili zgolj iz zunanje strani, notranjo luknjo bomo zbrusili na koordinatnem brusilnem stroju.

5.5.3 Koordinatno brušenje

Stroj za koordinatno brušenje je na prvo žogo podoben klasičnemu rezkalnemu stroju ali pa klasičnemu vrtalnemu stroju, saj je postopek, široko gledano, dokaj podoben. Koordinatni brusilni stroj ima vreteno, v katerega vstavljamo različne bruse glede na namen uporabe postopka in materiala, ki ga brusimo. Glavno rotacijsko gibanje se izvaja s pomočjo vretena oziroma vpetega orodja. Podajalno gibanje v smereh koordinatnega sistema X, Y in Z pa opravlja obdelovanec, ki je fiksno vpet na vpenjalno mizo.

Postopek koordinatnega brušenja se vedno začne pri vzdolžnem centriranju surovca, saj le tako lahko pozneje dobimo pravokotnost in tolerančna območja. Centrira se s pomočjo mikronske merilne urice. Kadar je obdelovanec centriran, ga je treba togo vpeti na vpenjalno mizo, da ne bi prišlo do poznejšega zamika lukenj. Naslednji korak je določitev ničte točke oziroma sredinske pozicije luknje, ki jo dobimo s centriranjem izvrtine z merilno uro, ki je vpeta na vreteno in se premika v smeri glavnega rotacijskega gibanja. Ko dobimo sredino luknje, lahko luknjo zbrusimo na tolerančno območje, v drugo luknjo pa se enostavno prestavimo po koordinatnem sistemu s pomočjo pozicij, ki so napisane na načrtu surovca. Po istem postopku smo zbrusili štiri luknje Ø8H7 na obeh nožih in po podobnem postopku smo zbrusili puši z notranjima luknjama Ø10H7, le da smo iz tega postopka lahko izključili vzdolžno centriranje, saj je surovec okrogle oblike. Puši pa sta bili vpeti s pomočjo tritočkovne vpenjalne glave ali v amerikanar, kot ga imenujemo v podjetju. Slika 20 prikazuje koordinatni brusilni stroj.



Slika 20: Koordinatni brusilni stroj

Vir: (lasten vir)

5.6 *Žična erozija*

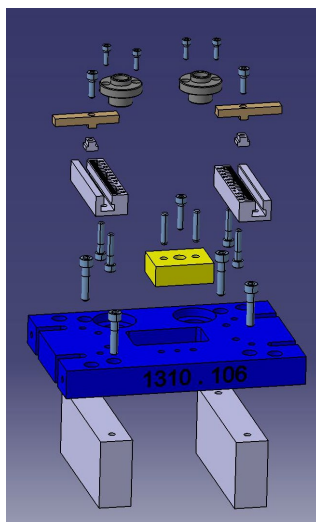
Postopek obdelave materiala z žično erozijo je napreden in uveljavljen postopek v orodjarstvu. Uporablja se predvsem za rezanje geometrično zapletenih surovcev in trdih materialov, ki jih je z običajnimi postopki težje ali pa nemogoče obdelati. Velika prednost tega postopka je, da žična erozija ne vzpostavi neposrednega stika med žico in obdelovancem, kar odpravlja mehanske obremenitve, vibracije in druge težave, s katerimi se spopadamo s klasičnimi obdelovalnimi postopki. Žica, ki se uporablja za rezanje, je iz medenine, debeline žice pa se najpogosteje gibljejo od 0,1 mm do 0,3 mm. Postopek rezanja poteka tako, da žica, ki reže vedno skozi celoten obdelovanec, sledi naprej programirani poti. Obdelovanec in žica morata biti potopljena v deionizirani vodi, in ko napetost doseže pravilno raven, iskra preskoči in stopi majhen del obdelovanca, ki se ga žica dotika, voda pa ima zraven prevodnosti nalogo, da hladi in odplakuje majhne delce iz odrezane reže. Za začetek obdelave žice je treba v obdelovanec predhodno izvrtati luknjo ali pa je treba začeti rezati z roba obdelovanca. Krmiljenje in programiranje žične erozije se v celoti izvaja prek računalnika, zato je tudi to CNC-stroj. (Žična erozija, 2022)

Za dokončanje izdelave orodja sta nam ostali samo še merilni letvi, na katerih je treba izrezati T-utor za pritrditev pozicionirnika z vijakom in T-matico. Merilno letev je bilo treba vpeti na vpenjalne letve in vzdolžno pocentrirati. Letev je bila vpeta po višini, ker, kot prej omenjeno,

Žica reže skozi celoten surovec, zato je bilo treba letev postaviti navzgor, saj nam nagib žice ne omogoča rezanja pod 90 stopinjami. Sodelavec, ki je operater žične erozije, je narisal konturo s pomočjo delavniške risbe in tako izrezal potreben T-utor iz obeh letev. Tako sta bila dokončana še zadnja sestavna elementa našega orodja.

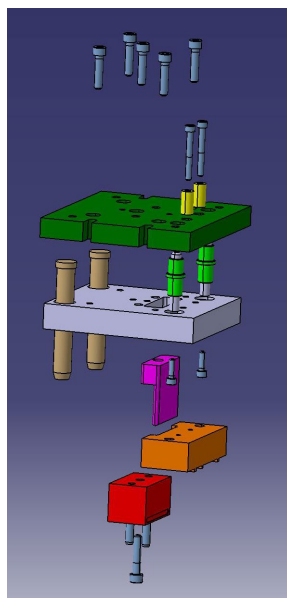
5.7 Sestavljanje orodja

Zadnji postopek pred uporabo orodja je seveda sestava orodja. S sestavljanjem orodja začnemo, ko imamo narejene vse sestavne dele in dobavljene vse standardne dele, ki smo jih naročili. V naši orodjarni imamo prav poseben prostor za sestavljanje orodij, ki ga mi imenujemo ročna delavnica. Tukaj se izvajajo ročna popravila, razstavljanje in sestavljanje orodij. Ta prostor vsebuje več delovnih miz, primežev omare z ročnimi orodji, omare s potrošnim materialom, dvizne mize za dvigovanje orodij in hidravlično stiskalnico za preizkus orodij, celoten prostor pa je dostopen tudi z žerjavom, s katerim si pomagamo prestavljati, dvigovati in obračati velika in težka orodja. Orodje, ki ga obravnavam, je v celoti sestavljeno iz spodnjega in zgornjega dela. Zato je najbolje, da si na mizi, kjer orodje sestavljamo, zložimo dele, ki spadajo skupaj. Spodnji del je sestavljen iz podlog, spodnje vpenjalne plošče, na katero so pritrjeni puši orodja in spodnji nož, ter merilne letve s pozicionirniki. Na zgornji strani pa je treba na zgornji nosilec pritrditi vodilne stebre orodja in zgornji nož, med snemalno ploščo in zgornji nosilec pa je treba vstaviti še vzmeti, ki poskrbijo, da snemalna plošča po izseku s pomočjo sile, ki jih povzročijo vzmeti, odcepi izsekan kos od zgornjega noža. V naslednjem koraku lahko zgornji nosilec z vsemi prej pritrjenimi elementi privijamo na zgornjo vpenjalno ploščo, na vpenjalni plošči pa po potrebi dodamo še vpenjalni trn, odvisno, na kateri hidravlični stiskalnici bomo uporabljali orodje. Pri sestavljanju si pomagamo tudi s 3D-modelom orodja, ki je naložen na računalniku v ročni delavnici. Tam si lahko pogledamo vse posamezne sestavne dele orodja, omogoča pa nam tudi lažjo predstavo za pravilno sestavo orodja. Ta prikaz nam prikazujeta sliki 21 in 22. Pred odpravo orodja na delovni stroj je treba preveriti stanje sestavljenega orodja, če je hod po vodilih gladek, da imamo ravno pravo zračnost med vodili. Preveriti je treba tudi zračnost spodnjega in zgornjega noža, da ne bi prišlo do loma orodja. Pri tem izsekovalnem orodju je prednost to, da lahko ročno preizkušamo hod orodja, saj je orodje manjših dimenzij. Za večja izsekovalna orodja pa potrebujemo žerjav in hidravlično stiskalnico za pregled orodja. Slika 23 prikazuje sestavljen zgornji in spodnji del orodja.



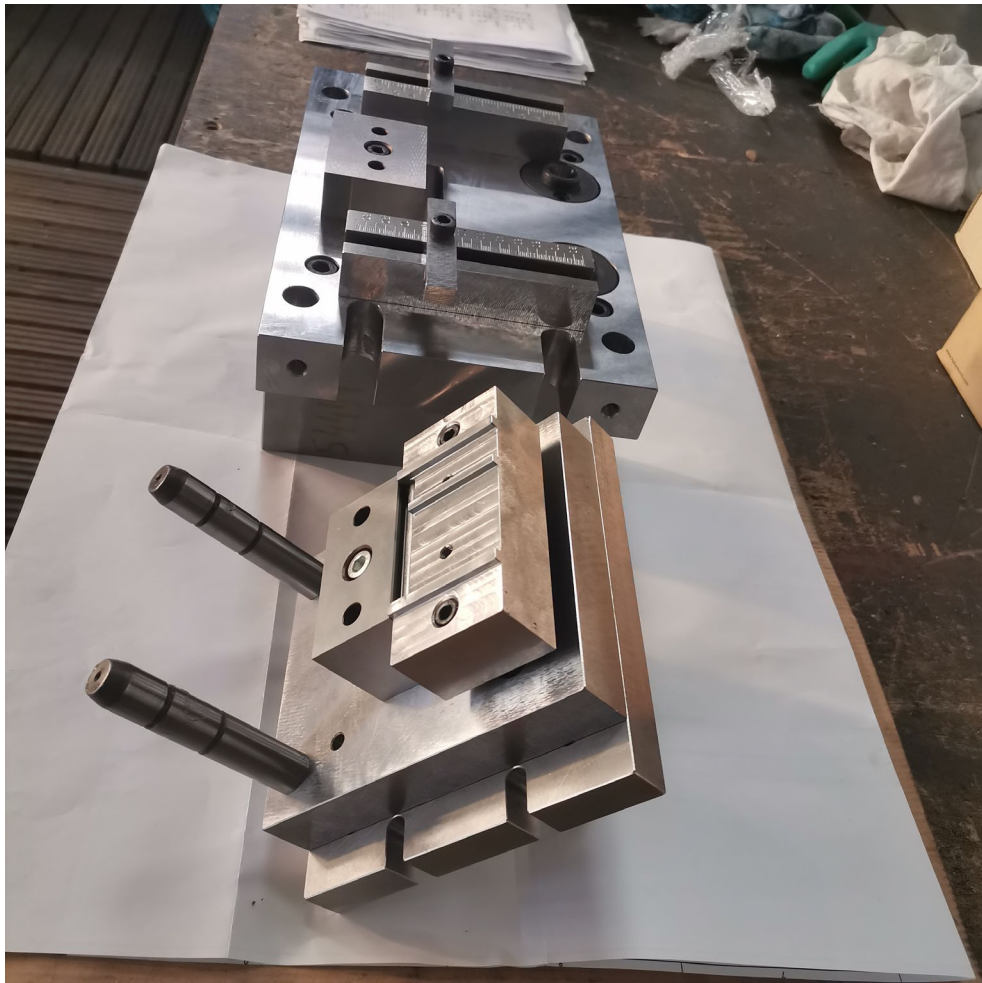
Slika 21: Shema sestavljanja spodnjega dela orodja

Vir: (lasten vir)



Slika 22: Shema sestavljanja spodnjega dela orodja

Vir: (lasten vir)



Slika 23: sestavljeno orodje

Vir: (lasten vir)

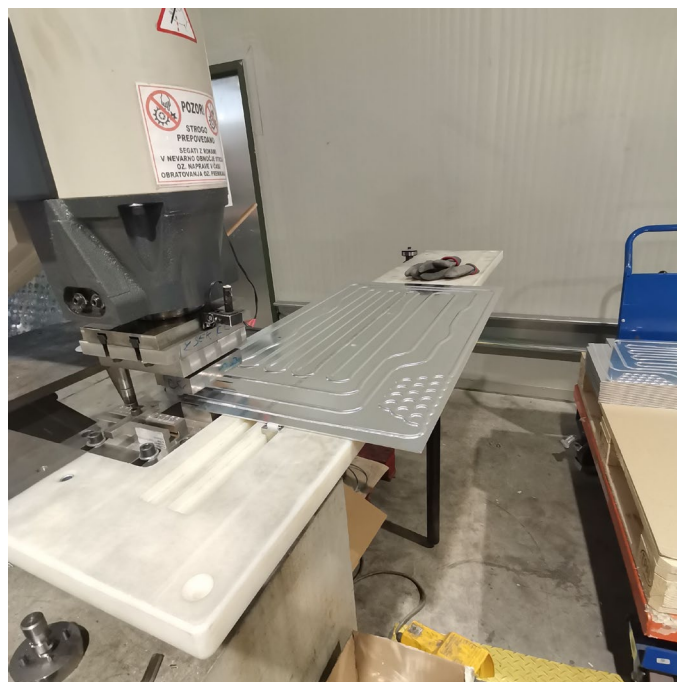
5.8 Preizkus orodja

Kadar orodje sestavimo, je pripravljeno na preizkus. Preizkus je potekal na hidravlični stiskalnici, na kateri bo potekalo izsekovanje (slika 25). Pri preizkusu orodja je prisotnih več oseb, ponavadi so to konstrukter orodja, obratovodja in tehnolog obrata, ki orodje potrebuje, ter delavec, ki bo usposobljen za delo s tem izsekovalnim orodjem. Orodje se preizkusi tako, da orodje vpnemo v hidravlično stiskalnico, nato se nastavi hod stiskalnice, s pomočjo pozicionirnika pa si nastavimo naslon za izdelek, ki ga bomo izsekovali (slika 24), ter testno izsekamo 10 kosov in preverimo, ali vse deluje tako, kot mora, torej če je kje kakšen srh na izdelku in podobno. Orodje je dobro izsekalo testne kose, kar pomeni, da smo orodje dobro zasnovali in izdelali.



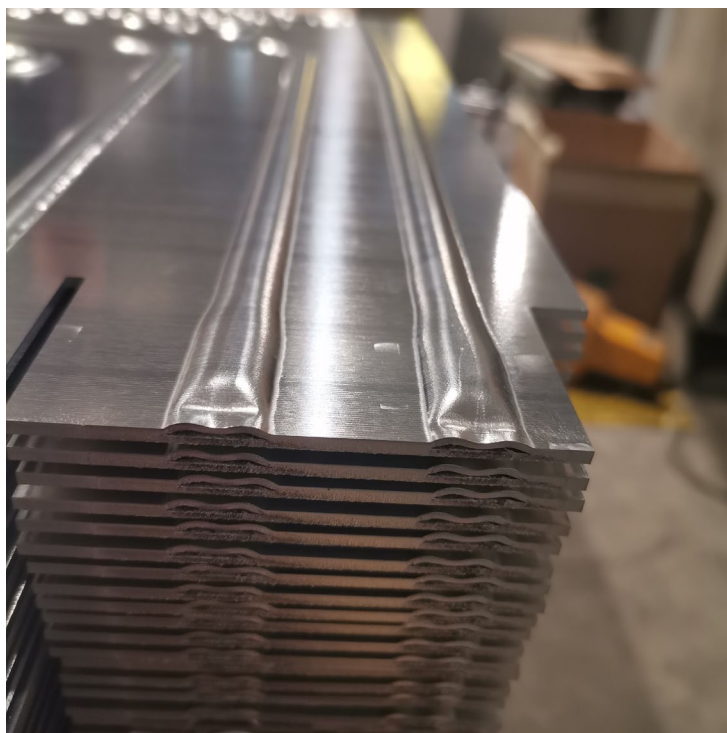
Slika 24: Nastavitev naslona s pomočjo pozicionirnika

Vir: (lasten vir)



Slika 25: Preizkus orodja

Vir: (lasten vir)



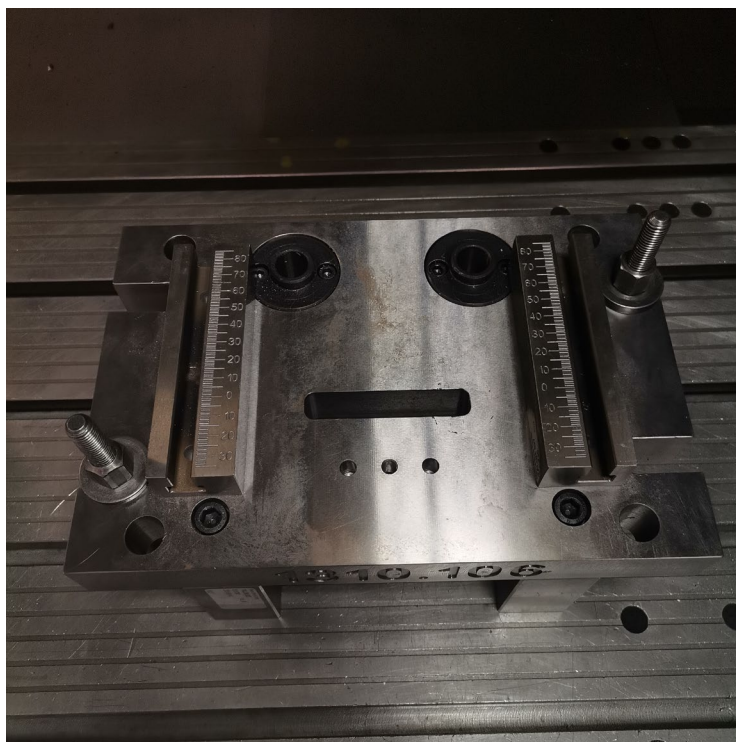
Slika 26: Predodprtje kanala

Vir: (lasten vir)

Na sliki 26 lahko vidimo mesto izseka in predodprtje priključnega kanala, ki smo ga naredili s pomočjo zatiska.

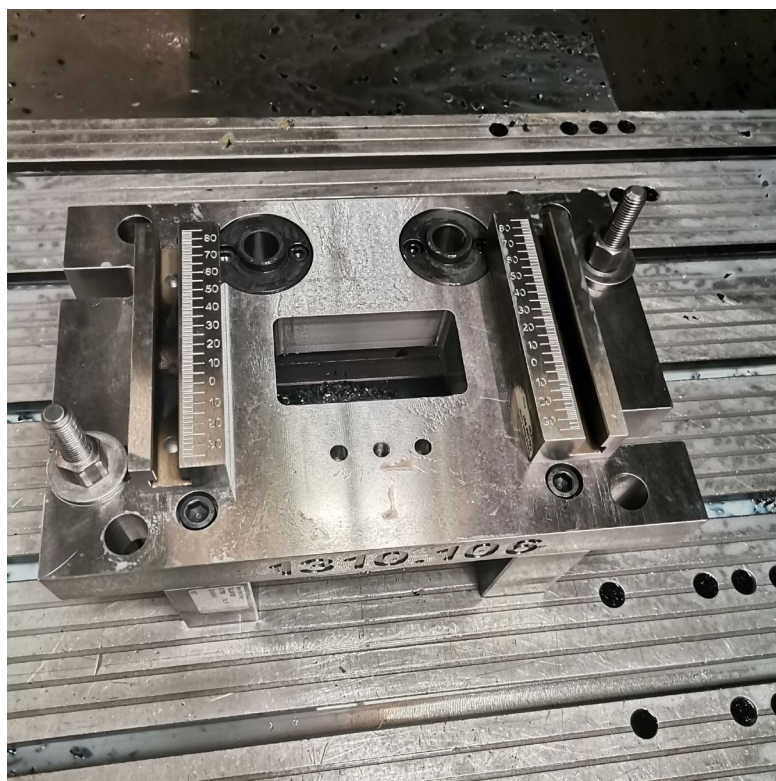
5.9 Korektivni ukrepi

Pri izsekovanju je prišlo do motnje pri odvajanju odpadnega izsekanega materiala. Predvideno je bilo, da odpad odvajamo skozi utor na spodnji vpenjalni plošči, ampak je konstrukter predvidel premajhno odprtino za odvajanje odpada, saj so se odpadni delci zatikali in je moral delavec večkrat ustaviti izsekovanje in ročno sčistiti odrez iz utora. Korektivni ukrep, ki ga je predlagal konstrukter orodja, je bil, da se utor poveča in se s tem prepreči zatikanje odpadnega materiala. Korektivni ukrep smo odpravili na rezkalnem stroju s povečavo utora. Stanje pred povečavo in po povečavi utora je razvidno iz slik 27 in 28.



Slika 27: Utor pred korektivnim ukrepom

Vir: (lasten vir)



Slika 28: Utor po korektivnem ukrepu

Vir: (lasten vir)

6 ANALIZA CELOTNE IZDELAVE ORODJA

6.1 Časovna analiza izdelave orodja

Časovno analizo izdelave orodja prikazujeta tabela 3.

Tabela 3: Časovna analiza

Postopek	Čas (h)
konstruiranje orodja	112
rezkanje	24
struženje	8
kaljenje	10
brušenje	12
žična erozija	6
sestavljanje orodja	9
preizkus	1
SKUPAJ	182

Vir: (lasten vir)

Iz tabele lahko razberemo, da je bilo največ časa porabljenega za konstruiranje orodja. Konstruiranje orodja obsega zamisel in konstrukcijo orodja, risanje vseh sestavnih elementov orodja v programskem paketu CATIA, izdelavo tehniške dokumentacije in programiranje CNC-stroja.

6.2 Ekonomska analiza dela

Tabela 4: Ekonomska analiza dela

Postopek	Urna podstavka (€)	Število ur (h)	Cena (€)
konstruiranje	34	112	3.808
rezkanje	41	24	984
struženje	33	8	264
kaljenje	21	10	210

brušenje	29	12	348
žična erozija	37	6	222
sestavljanje orodja	27	9	243
SKUPAJ			6.079

Vir: (lasten vir)

V ekonomski analizi dela, ki jo prikazuje tabela 4, sem pripravil cene vsake operacije posebej. Cene so izvzete iz cenika storitev za orodjarno Talum Servis in inženiring 2022. Navedeni so zgolj stroški dela, da si lažje predstavljamo, kakšna je cena izdelave orodja. Za ceno celotnega orodja bi bilo treba še prišteti vse stroške materiala, stroške porabljenih orodij na strojih, amortizacijo strojev, porabo elektrike, porabo stisnjenega zraka in podobno.

7 SKLEP

Izdelava orodja obsega skupek več opravil, ki si sledijo eno za drugim. Da pridemo na koncu do dobrih rezultatov, je treba vsa opravila dobro opraviti.

V diplomskem delu sem predstavil postopke, ki so potrebni za izdelavo izsekovalnega orodja. Predstavil sem postopke od faze konstruiranja do preizkusa orodja. Prva faza je bila konstruiranje, ki zajema izbiro materialov za orodje in spoznavanje materiala izdelka, samo 3D-modeliranje orodja in izračun potrebne sile stiskalnice. V fazi izdelovanja orodja sem predstavil in opisal vse postopke mehanske obdelave, ki so potrebni za izdelavo izsekovalnega orodja. Največji poudarek sem namenil področju rezkanja, in sicer iz dveh razlogov: eden je ta, da je bil proces rezkanja uporabljen na skoraj vseh sestavnih delih orodja, drugi pa je ta, da proces rezkanja predstavlja moj vsakdan na delovnem mestu in je zato tudi eden od razlogov, da sem lahko postopku rezkanja namenil večji poudarek.

- **H1: Izbira standardiziranih sestavnih delov je cenejša od njihove lastnoročne izdelave.**
Izdelovanje standardiziranih delov je veliko dražje od naročanja le-teh pri dobaviteljih, ki se profesionalno ukvarjajo z njihovo izdelavo. Izdelava standardiziranega sestavnega dela obsega grobo obdelavo, kaljenje in pozneje fino obdelavo, to pa za seboj potegne velike stroške in med drugim tudi veliko časa, saj vsak proces zahteva svoj čas, še posebej, kadar je treba biti pri delu zelo natančen, zato lahko hipotezo potrdim.
- **H2: Z izbiro pravilne metode rezkanja lahko skrajšamo izdelovalni čas orodja.** S pomočjo ekonomske in časovne analize sem ugotovil, da lahko s pravilnimi metodami rezkanja, ki skrajšajo njegov čas, prihranimo čas in denar pri izdelavi orodja.
- **H3: S pretiranim toleriranjem določenih delov orodja pridobimo kakovostnejšo izdelavo orodja, vendar pa se podaljša čas izdelave in poveča cena izdelave orodja.** Pri samem izdelovanju orodja sem spoznal, kako pomembno je upoštevanje vseh tolerančnih območij, ki jih določi konstruktor orodja. Z določitvijo in upoštevanjem tolerančnih območij pa se tudi podaljša čas izdelave orodja, saj je v večini primerov treba en sestavni del obdelati na več obdelovalnih strojih, se pravi v prvi fazi groba obdelava in v naslednji fazi fina obdelava, ki je bila v našem primeru brušenje. Tako je trditev, da s pretiranim toleriranjem določenih delov orodja pridobimo kakovost, a se podaljša čas izdelave in s tem poveča tudi cena orodja, pravilna.

- **H4: Učinkovite inženirske rešitve v proizvodni liniji nam prinesejo učinkovite stranske proizvode v smislu uporabe in cene končnega proizvoda.** Za izvajanje izboljšav in iskanje rešitev v proizvodnji je treba imeti veliko znanja, izkušenj, poguma in medsebojnega sodelovanja. Potrebno pa je tudi sprotno spremljanje delovnega procesa, da lahko izvajamo izboljšave, ki nam prinesejo učinkovite proizvode, zato menim, da lahko z inženirskim znanjem pripomoremo k izdelavi učinkovitih proizvodov.

S pomočjo izdelave diplomskega dela sem med drugim spoznal, kako pomembno je, da je celotna orodjarna med seboj povezana, v smislu zaupanja in dobrih medsebojnih odnosov, ki jim damo v večini primerov premalo pozornosti. Pri izdelavi takšnega orodja je to posebej pomembno, saj grejo sestavni deli orodja čez več procesov obdelave in tako tudi več oseb pripomore k izdelavi posameznega sestavnega dela. Prav zato je pomembno, da vsi skupaj stremimo k enakim ciljem, kot sta kakovost in učinkovitost izdelave orodja, saj le s skupnimi močmi lahko pripomoremo h kakovostni izdelavi orodij.

8 VIRI IN LITERATURA

- Brušenje.* (December 2022). Pridobljeno s <http://www2.sts.si/arhiv/tehnoprojekt3/Brušenje/brusenje.htm>
- Catia. (December 2022). Pridobljeno s spletnega mesta Catia: <https://www.3ds.com/products-services/catia/>
- E-Gradivo.* (December 2022). Pridobljeno s http://egradivo.ecnm.si/PREO/rezilna_orodja.html
- Fakulteta za energetiko, U. V. (December 2022). Pridobljeno s spletnega mesta UNIVERZE V MARIBORU: https://www.fe.um.si/images/jet/JET_april_2019_splet.pdf
- Gogić. (Maj 2021). *Skripta Izdelava in vzdrževanje orodij.* Pridobljeno s https://student.academia.si/pluginfile.php/11004/mod_resource/content/5/Organizacija_standardizacija_na%C4%8Drtovanje%20izdelave%20orodij.pdf
- Gogić. (Maj 2021). *Skripta Značilnosti orodjarske industrije.* Pridobljeno s https://student.academia.si/pluginfile.php/21281/mod_resource/content/2/Zna%C4%8Dilnosti%20orodjarske%20industrije.pdf
- Homšak, M. (December 2022). *Talum.* Pridobljeno s <https://www.talum.si/pdf/Okolje%20energija%20ter%20varnost%20in%20zdravje%20pri%20delu%20v%20Skupini%20Talum-maj%202022.pdf>
- Kaldera. (December 2022). *Spletna stran podjetja Kaldera.* Pridobljeno s <http://www.kaldera.si/>
- Kingsland. (December 2022). Pridobljeno s spletnega mesta podjetja Kingsland: <https://www.kingsland.com/en/p/single--double-punch-60-70-80-95-125-140-175>
- Ravničan. (2017). *Skripta snovanje in konstruiranje orodij.* Pridobljeno s https://student.academia.si/pluginfile.php/10235/mod_resource/content/5/Skripta_SK_O_II_del_Rezilna_orodja.pdf
- Rezkanje.* (December 2022). Pridobljeno s <http://www2.sts.si/arhiv/tehnoprojekt2/r1.htm>
- Struženje.* (December 2022). Pridobljeno s <http://www2.sts.si/arhiv/tehnoprojekt2/st2.htm>
- Student Lesson.* (December 2022). Pridobljeno s <https://studentlesson.com/hydraulic-machine-press-working-types-parts-diagram/#Parts>

Talum, d. d. (December 2022). Pridobljeno s spletnega mesta podjetja Talum, d. d.:
<https://www.talum.si>

Talum Izparilniki, d. o. o. (December 2022). Pridobljeno s spletnega mesta podjetja Talum
Izparilniki: <https://www.talum.izparilniki.si/>

Talum Servis in inženiring. (December 2022). Pridobljeno s spletnega mesta podjetja Talum
Servis in inženiring: <http://www.talum-tsi.si/si/>

Toplotna obdelava. (December 2022). Pridobljeno s
http://egradivo.ecnm.si/SPREM/toplotna_obdelava.html

Žična erozija. (December 2022). Pridobljeno s
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0890695503001627>