

TEHNIŠKI ŠOLSKI CENTER MARIBOR
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA
STROJNIŠTVO

Aleksander MAKOVEC

**UPORABA IN DELOVANJE 5-OSNEGA CNC
REZKALNEGA STROJA**

DIPLOMSKO DELO

Višješolski strokovni študij

Maribor, 2025

TEHNIŠKI ŠOLSKI CENTER MARIBOR
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA
STROJNIŠTVO

Aleksander MAKOVEC

**UPORABA IN DELOVANJE 5-OSNEGA CNC REZKALNEGA
STROJA**

DIPLOMSKO DELO

Višješolski strokovni študij

APPLICATION AND OPERATION OF 5-AXIS CNC MILLING MACHINE

GRADUATION THESIS

Higher vocational studies

Maribor, 2025

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju, g. Andreju Mikložiču, za strokovno pomoč, usmerjanje in podporo pri izdelavi diplomske naloge. Hvala tudi podjetju Murko, d. o. o., za omogočeno praktično izobraževanje, dostop do tehnologije in prijazno sodelovanje vseh zaposlenih, ki so mi pomagali pri pridobivanju znanja in izkušenj.

Posebna zahvala gre tudi moji družini in prijateljem za potrpežljivost, razumevanje in vzpodbudo skozi celoten študij.

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Aleksander Makovec, rojen 22. 2. 2003 na Ptujju, študent Tehniškega šolskega centra Maribor, Višje strokovne šole, programa strojništvo izjavljam, da je diplomsko delo z naslovom *Uporaba in delovanje 5-osnega CNC rezkalnega stroja* avtorsko delo.

V diplomskem delu so vsi uporabljeni viri in literatura konkretno navedeni; teksti niso prepisani brez navedbe avtorjev.

Diplomsko delo je lektorirala Anja Lipovšek, prof. slovenščine, ključno dokumentacijsko informacijo je prevedla dr. Katja Bergles, prof. slov. in ang. jez.

Kraj in datum: _____

Lastnoročni podpis študenta/-ke: _____

MENTORSTVO

Diplomsko delo je zaključek Višješolskega strokovnega študija, smer strojništvo, opravljeno je bilo na Tehniškem šolskem centru Maribor, Višji strokovni šoli.

Študijska komisija Tehniškega šolskega centra Maribor, Višje strokovne šole, je za mentorja diplomskega dela imenovala Andreja MIKLOŽIČA.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: _____

Član/mentor: _____

Član: _____

Član/somentor: _____

Datum diplomskega izpita: _____

POVZETEK

Diplomsko delo obravnava uporabo in delovanje 5-osnega CNC rezkalnega stroja, ki zaradi svoje napredne tehnologije omogoča obdelavo zahtevnejših geometrij z večjo natančnostjo in učinkovitostjo.

Posebna pozornost je namenjena primerjavi med 3-osnim in 5-osnim CNC strojem, kjer so izpostavljene ključne razlike v zmogljivosti, fleksibilnosti in kompleksnosti uporabe. V zadnjem delu naloge je analizirano tudi usposabljanje delavcev za delo s 5-osnimi stroji, saj ti zahtevajo višjo stopnjo tehničnega znanja in poznavanje sodobne programske opreme.

Namen naloge je celovito predstaviti prednosti 5-osne CNC tehnologije ter poudariti njen vpliv na kakovost, hitrost in učinkovitost obdelave v sodobni industriji.

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dd
DK	621.7(043.2)
KG	5-osni CNC stroj/3-osni CNC stroj/CNC obdelava/obdelovanec
AV	MAKOVEC, Aleksander
SA	MIKLOŽIČ, Andrej (mentor)
KZ	SI-2000 Maribor, Zolajeva 12
ZA	Tehniški šolski center Maribor, Višja strokovna šola
LI	2025
IN	UPORABA IN DELOVANJE 5-OSNEGA CNC REZKALNEGA STROJA
TD	Diplomsko delo (višješolski strokovni študij)
OP	IX, 33 str., 37 sl., 17 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	<i>Področje, na katero se diplomsko delo nanaša, je 5-osni CNC rezkalni stroj. Problem, ki se bo v diplomskem delu obravnaval, je uporaba in delovanje 5-osnega CNC rezkalnega stroja. Hkrati se bo primerjal 5-osni CNC stroj s tradicionalnimi 3-osnimi stroji. Raziskal bom tudi usposabljanje delavcev za delo na 5-osnem CNC rezkalnem stroju.</i>

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dd

DC 621.7(043.2)

CX 5-axis CNC machine/3-axis CNC machine/CNC machining/workpiece

AU MAKOVEC, Aleksander

AA MIKLOŽIČ, Andrej (mentor)

PP SI-2000 Maribor, Zolajeva 12

PB Technical School Centre Maribor, Higher Vocational College

PY 2025

TI APPLICATION AND OPERATION OF 5-AXIS CNC MILLING MACHINE

DT Graduation Thesis (Higher vocational studies)

NO IX, 33 p., 37 fig., 17 ref.

LA sl

AL sl/en

AB *This thesis relates to the field of the 5-axis CNC milling machine. The problem addressed in the thesis is the use and operation of the 5-axis CNC milling machine. At the same time, the 5-axis CNC machine will be compared with traditional 3-axis machines. I will also examine the training of workers for operating the 5-axis CNC milling machine.*

KAZALO VSEBINE

ZAHVALA.....	II
IZJAVA O AVTORSTVU.....	III
MENTORSTVO.....	IV
POVZETEK.....	V
KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	VI
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	VII
KAZALO VSEBINE.....	VIII
KAZALO SLIK.....	IX
1 UVOD.....	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA.....	1
1.2 NAMEN IN CILJI DIPLOMSKEGA DELA.....	1
2 TEORETIČNI DEL.....	2
2.1 CNC STROJ.....	2
2.2 REZKANJE IN REZALNA ORODJA.....	2
2.3 PROGRAMIRANJE CNC STROJEV.....	7
2.4 KAJ JE 5-OSNI CNC STROJ.....	8
2.5 TEHNIČNE ZNAČILNOSTI 5-OSNEGA CNC STROJA.....	8
2.6 KRMILNI SISTEMI IN PROGRAMSKA OPREMA.....	11
2.7 UPORABA 5-OSNEGA CNC STROJA.....	12
3 DELO NA 3 IN 5-OSNEM CNC STROJU.....	14
3.1 DELO V PODJETJU.....	14
3.1.1 Izdelava izdelka na 3-osnem stroju.....	14
3.1.2 Potek dela na 5-osnem stroju.....	19
3.2 PRIMERJAVA MED 3-OSNIMI IN 5-OSNIMI CNC REZKALNIMI STROJI.....	22
3.3 USPOSABLJANJE.....	27
3.3.1 Primer izobraževanja.....	27
4 ZAKLJUČEK.....	31
5 VIRI.....	32

KAZALO SLIK

Slika 1: Čelno rezkanje.....	3
Slika 2: Valjasto ali obodno rezkanje	3
Slika 3: Primer držala in orodja.....	4
Slika 4: Čelni rezkar (zgoraj) in kroglični rezkar (spodaj).....	5
Slika 5: Navpični rezkalni stroj	5
Slika 6: Vodoravni rezkalni stroj	6
Slika 7: Kombinirani rezkalni stroj	6
Slika 8: Tip stroja glava-glava.....	9
Slika 9: Tip stroja glava-miza.....	9
Slika 10: Tip stroja miza-miza.....	10
Slika 11: Krmilni sistem Heidenhain TNC 640.....	11
Slika 12: Programska oprema CAD/CAM	12
Slika 13: 3D model izdelka za 3-osni stroj.....	15
Slika 14: Tehnična risba izdelka za 3-osni stroj	15
Slika 15: Seznam za pripravo orodja.....	16
Slika 16: 1. operacija in program	16
Slika 17: 2. operacija in program	17
Slika 18: 3. operacija in program	17
Slika 19: 4. operacija in program	18
Slika 20: Merjenje obdelovanca	18
Slika 21: Končni izdelek 3-osne obdelave	19
Slika 22: Tehnična risba izdelka za 5-osno obdelavo.....	20
Slika 23: 3D model izdelka za 5-osno obdelavo	20
Slika 24: 1. operacija 5-osne obdelave	21
Slika 25: 2. operacija 5-osne obdelave	21
Slika 26: Končni izdelek 5-osne obdelave	22
Slika 27: Primer programiranja na 3-osnem stroju.....	23
Slika 28: Primer simulacije poti orodja na 5-osnem stroju	24
Slika 29: Primer programiranja na 5-osnem stroju.....	24
Slika 30: Izdelka podjetja Murko, d. o. o.	25
Slika 31: 3-osni CNC stroj Hurco VMX30t	25
Slika 32: 5-osni CNC stroj DMG MORI DMU 50	26
Slika 33: Nagibna miza na stroju DMG MORI DMU 50	26
Slika 34: Primer vaje iz tehničnega risanja	28
Slika 35: Program s simulacijo CNC stroja.....	28
Slika 36: Primer tehnične dokumentacije.....	29
Slika 37: Primer programa.....	29

1 UVOD

V sodobni industriji natančna in učinkovita obdelava kovinskih in nekovinskih materialov igra ključno vlogo pri izdelavi kompleksnih izdelkov. Z napredkom tehnologije so se razvili različni obdelovalni stroji, ki omogočajo večjo natančnost, hitrost in prilagodljivost proizvodnih procesov. Eden najnaprednejših strojev na tem področju je 5-osni rezkalni stroj, ki omogoča kompleksno obdelavo v več smereh hkrati.

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Glavna izziva pri uporabi 5-osnih CNC rezkalnih strojev sta njihova kompleksnost in zahtevnost v primerjavi s 3-osnimi stroji. 5-osni stroji omogočajo večjo fleksibilnost in natančnost, vendar so zahtevnejši za upravljanje, saj vključujejo večjo količino gibov in programiranja. Zaradi tega je potrebno ustrezno usposabljanje delavcev za pravilno uporabo teh naprednih tehnologij.

V tej diplomski nalogi bom zato podrobno opisal delovanje in uporabo 5-osnega CNC rezkalnega stroja, predstavil njegove prednosti in omejitve ter ga primerjal s 3-osnim rezkalnim strojem. Prav tako bom raziskal, kako pomembno je ustrezno usposabljanje delavcev za delo na takšnih strojih.

1.2 NAMEN IN CILJI DIPLOMSKEGA DELA

Namen diplomskega dela je predstaviti in razložiti uporabo in delovanje 5-osnega CNC rezkalnega stroja. Delo se osredotoča na razumevanje tehnične zmogljivosti 5-osnih strojev, njihove prednosti v primerjavi s 3-osnimi stroji ter na pomen usposobljenosti operaterjev za učinkovito in varno upravljanje teh naprav.

Glavni cilji diplomskega dela so:

- analizirati tehnične značilnosti 5-osnih CNC rezkalnih strojev;
- primerjati 5-osne CNC stroje s tradicionalnimi 3-osnimi stroji glede natančnosti in zmogljivosti in
- raziskati usposabljanje operaterjev za delo s 5-osnimi CNC stroji.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 CNC STROJ

CNC stroj (computer numerical control) je računalniško voden stroj, ki avtomatsko izvaja različne postopke, kot so rezkanje, vrtanje, struženje ipd. Namesto ročnega upravljanja, gibanje orodja in obdelovanca vodi računalnik s pomočjo G-kode (Dedukić, 2015).

Sestavljen je iz dveh glavnih delov: iz mehanskega dela ter iz krmilnega dela. Mehanski del predstavlja stroj, na katerem se izvaja obdelava delov, v krmilnem delu pa je vgrajen računalnik, ki vodi proces obdelave nekega izdelka (STS, 2008).

Poznamo različne vrste CNC strojev, vsem pa je skupno, da imajo vsaj tri osi, ki jih poganjajo motorji:

- CNC rezkalni stroj,
- CNC stružnica,
- CNC laserski rezalnik,
- CNC plamenski rezalnik (Dedukić, 2015).

Pri diplomski nalogi se bom osredotočil predvsem na delovanje 5-osnega CNC rezkalnega stroja. Predstavil bom njegovo delovanje in ga primerjal s 3-osnim CNC rezkalnim strojem. Raziskal bom tudi, kako morajo biti izobraženi delavci za delo na 5-osnem rezkalnem stroju.

2.2 REZKANJE IN REZALNA ORODJA

Rezkanje je postopek obdelave materiala, kjer se z uporabo rezkala (rotacijskega orodja) odstranjuje material iz obdelovanca. Gre torej za odrezovanje, pri katerem orodje opravlja glavno rotacijsko gibanje. Pri struženju in vrtanju je smer podajanja pravokotna na smer rezanja, pri rezkanju pa se lega smeri rezanja ves čas spreminja. Rezkanje se večinoma uporablja v kovinskopredelovalni industriji, pogosto pa se uporablja tudi za les, plastiko in druge materiale (Prah, Izobraževalni center, 2015).

Rezkanje se uporablja za obdelavo ravnih površin, zobnikov, utorov in drugih kompleksnih oblik. Poznamo dve glavni vrsti rezkanja:

- Čelno rezkanje

Čelno rezkanje je rezkanje z zobmi na čelu. Odrezek ima enakomeren prerez, debelina odrezka je ves čas enaka. Pri čelnem rezkanju je rezalo usmerjeno pravokotno na obdelovalno površino. Orodje ali obdelovanec se lahko pomika vzdolž površine ali pravokotno nanjo. Možno je tudi simetrično in nesimetrično rezkanje. Uporabljamo ga za obdelavo večjih ravnih površin.

Slika 1: Čelno rezkanje



Vir: (Prah, Izobraževalni center, 2015)

- Valjasto ali obodno rezkanje

Valjasto rezkanje je rezkanje z zobmi na obodu. Rezkalo je usmerjeno vzporedno na obdelovalno površino. Material se odstranjuje predvsem z bočnimi robovi rezkala, ne pa s čelnimi. Glede na podajanje obdelovanca razlikujemo protismerno rezkanje in istosmerno rezkanje. Pri protismernem rezkanju je smer vrtenja rezkala nasprotna smeri podajanja, pri istosmernem rezkanju pa je smer vrtenja enaka smeri podajanja (Prah, Izobraževalni center, 2015).

Slika 2: Valjasto ali obodno rezkanje



Vir: (Prah, Izobraževalni center, 2015)

Da pa lahko določen izdelek izdelamo, potrebujemo tudi primerna orodja. Če hočemo dosežati visoke natančnosti in kakovosti površin, je izbira in pravilna uporaba orodij ključnega pomena. Orodja za CNC rezkalni stroj so sestavljena iz dveh glavnih delov; držalo, kamor vpnemo orodje in pa orodje samo. Petosni CNC stroji so v večini primerov opremljeni z avtomatsko

menjavo orodij, kar omogoča hitro menjavo orodij kar med obdelavo. Stroji imajo običajno zalogo za shranjevanje od 20 do 60 orodij (lahko tudi več), ki jih program samodejno menja. Sodobnejši stroji pa so lahko opremljeni tudi z različnimi senzorji za merjenje dolžine in obrabe orodja. Ti dodatni sistemi in število orodij pa so seveda odvisni od tipa in opreme vsakega stroja posebej (Pintarič, 2009); (STS, 2008).

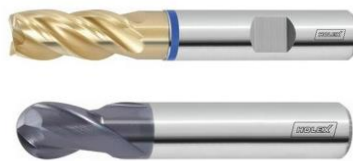
Slika 3: Primer držala in orodja



Rezalnih orodij za CNC rezkanje je ogromno in se uporabljajo za različne vrste operacij. Tukaj je nekaj orodij, ki se najpogosteje uporabljajo:

- Čelni rezkarji: to je osnovni in najpogostejši tip rezkarja z ravnim dnom, uporablja pa se za obdelavo ravnin, robov, žepov in utorov. Na voljo so v različnih dolžinah in premerih.
- Kroglični rezkarji: ti rezkarji imajo na dnu rezila zaobljen rezalni rob, kar je ključnega pomena za obdelavo 3D kontur, površin in naklonov. Ta oblika jim omogoča tudi gladke prehode in s tem tudi enakomerno obremenjeno rezilo orodja.
- Rezkalo za utove: poznan je tudi kot T-rezkar, uporablja se za obdelavo utorov in ni primeren za rezkanje ravnih površin.
- Kotni rezkar: omogoča izdelavo različnih kotov in utorov na obdelovancu. Razlikujejo pa se glede na velikost kota.
- Rezkariji za posnemanje robov: ti rezkarji so posebej namenjeni odstranjevanju ostrih robov na obdelovancu (HLC Metal Parts, 2023).

Slika 4: Čelni rezkar (zgoraj) in kroglčni rezkar (spodaj)

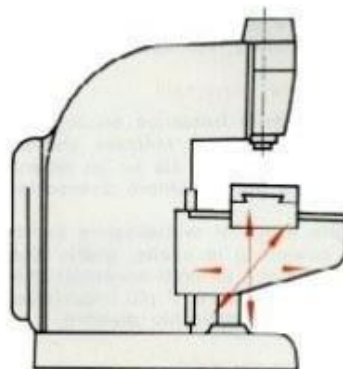


Vir: (Hoffmann Group, 2024)

Rezkalni stroji spadajo med najpomembnejše obdelovalne stroje v kovinsko obdelovalni industriji, saj omogočajo natančno obdelavo različnih vrst površin. Z njihovo pomočjo lahko obdelujemo avne, poševne in profilirane ploskve, utore ter druge oblike, ki jih z običajnimi stružnicami ne bi mogli izdelati. Rezkalne stroje lahko razvrščamo na več načinov, najpogosteje pa jih delimo glede na položaj glavnega vretena. Glavno vreteno je del stroja, ki nosi rezkar in določa, kako bo potekala obdelava. Glede na ta kriterij ločimo navpične, vodoravne in kombinirane rezkalne stroje (Prah, Izobraževalni center, 2015).

Pri navpičnih rezkalnih strojih je glavno vreteno postavljeno v navpičen položaj. To pomeni, da se rezkar vrti navpično in omogoča obdelavo zgornjih površin obdelovanca. Takšni stroji so posebej primerni za rezkanje utorov, kanalov, žepov in za obdelavo ploskev, ki zahtevajo večjo natančnost. Zaradi svoje zasnove so zelo vsestranski in pogosto uporabljeni v delavnicah ter proizvodnji, kjer je potrebna fleksibilnost. Njihovi glavni prednosti sta enostavna uporaba in hitra menjava orodja (Prah, Izobraževalni center, 2015).

Slika 5: Navpični rezkalni stroj

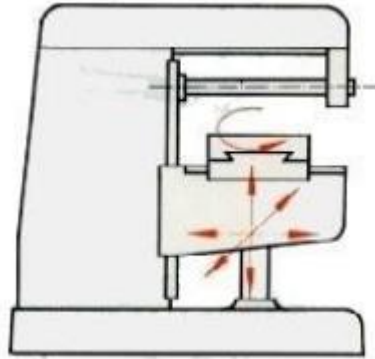


(Prah, Izobraževalni center, 2015)

Pri vodoravnih rezkalnih strojih je glavno vreteno nameščeno v vodoravnem položaju. Rezkar se torej vrti vodoravno, kar omogoča učinkovito rezkanje vzdolžnih ploskev. Ti stroji so še posebej primerni za obdelavo daljših kosov in za odstranjevanje večjih količin materiala. Pogosto se uporabljajo v serijski proizvodnji, kjer sta potrebni hitrost in robustnost.

Vodoravni rezkalni stroji so nekoliko manj vsestranski kot navpični, vendar so zelo učinkoviti pri določenih vrstah obdelave, kot so npr. izdelava utorov ali obdelava težjih obdelovancev (Prah, Izobraževalni center, 2015).

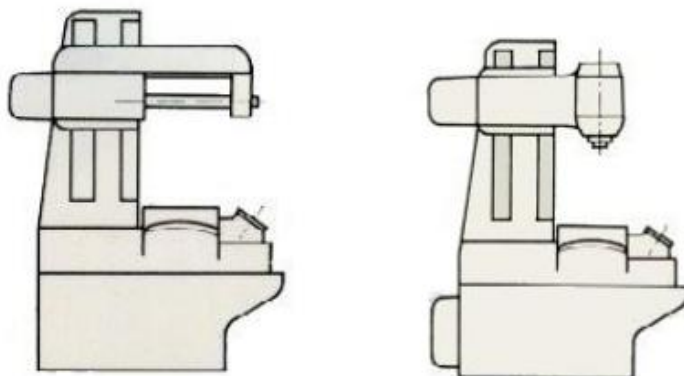
Slika 6: Vodoravni rezkalni stroj



(Prah, Izobraževalni center, 2015)

Kombinirani rezkalni stroji pa združujejo prednosti obeh prej omenjenih tipov strojev. Pri njih lahko v enem samem vpetju obdelujemo vodoravne, navpične in poševne ploskve. Takšna zasnova omogoča večjo prilagodljivost, saj lahko uporabnik v enem postopku izdela kompleksnejše oblike, brez da bi moral obdelovanec dodatno premikati ali prestavljati na drug stroj. Kombinirani rezkalni stroji so zaradi tega še posebej uporabni v orodjarstvu, pri izdelavi prototipov in povsod tam, kjer sta potrebni velika natančnost ter obdelava iz različnih smeri (Prah, Izobraževalni center, 2015).

Slika 7: Kombinirani rezkalni stroj



(Prah, Izobraževalni center, 2015)

2.3 PROGRAMIRANJE CNC STROJEV

CNC stroji so nepogrešljivi v sodobni industriji, saj omogočajo visoko natančnost, ponovljivost in avtomatizacijo pri obdelavi kovin, plastike in drugih materialov. Da pa CNC stroj lahko deluje, je treba pripraviti ustrezen program, ki stroju določa zaporedje gibov, hitrosti, izbir orodja in druge parametre obdelave. Obstaja več različnih načinov programiranja, ki se razlikujejo glede na zahtevnost, stopnjo avtomatizacije in tehnološke možnosti. Najpogosteje ločimo ročno programiranje, ročno programiranje neposredno na stroju in programiranje s pomočjo računalnika (STS, 2008).

Ročno programiranje je najstarejši način programiranja CNC strojev. Pri njem je programer tisti, ki na podlagi delavniške risbe določi in opiše celoten operacijski postopek obdelave. To pomeni, da mora programer samostojno izračunati vse potrebne podatke, kot so poti orodja, pomiki, rezalna hitrost in podobno. Program se nato zapiše v obliki CNC kode. Ta način zahteva veliko znanja, natančnosti in izkušenj programerja, saj ni programske podpore, ki bi ga vodila skozi postopek. Glavna prednost ročnega programiranja je, da programer popolnoma obvladuje vsak korak obdelave, slabosti pa sta velika možnost napak ter časovna zamudnost (STS, 2008).

Z razvojem sodobnejših CNC krmilnikov se je pojavila možnost programiranja neposredno na stroju. To pomeni, da imajo krmilniki vgrajeno programsko podporo za lažje ustvarjanje programov. Programer pri tem uporablja sistem menijev in opcij, ki so prikazani na zaslonu stroja, kar mu olajša delo. Poleg tega ima stroj vgrajeno funkcijo sprotne kontrole vhodnih podatkov, kar zmanjšuje možnost programskih napak. Ena pomembnejših prednosti tega načina je tudi možnost grafične simulacije poti orodja na ekranu, kar programerju omogoča, da še pred obdelavo preveri pravilnost programa. Ta način je hitrejši in zanesljivejši od klasičnega ročnega programiranja, saj programerju omogoča sprotno preverjanje in popravke (STS, 2008).

Najnaprednejši in danes najpogosteje uporabljeni način je programiranje s pomočjo računalnika, in sicer preko CAD/CAM sistema. Programer najprej izdela ali vnese risbo obdelovanca v računalnik. Na podlagi te risbe in dialoga med programerjem in računalnikom se nato oblikuje CNC program. Računalnik ima svojo bazo podatkov o orodjih in materialih ter zna sam izračunati optimalne parametre obdelave, kot so hitrost rezanja, pomik in globina reza. Poleg tega CAD/CAM sistem omogoča analizo in simulacijo celotnega postopka ter celo izračuna predviden čas izdelave. Program se nato shrani in prenese na stroj. Na CNC stroju se še enkrat izvede simulacija, nato pa sledi dejanska izdelava izdelka. Glavne prednosti tega načina programiranja so visoka natančnost, avtomatizacija in časovna učinkovitost. Slabost pa je lahko, da zahteva računalniško opremo in znanje uporabe CAD/CAM programov (STS, 2008).

Načini programiranja CNC strojev so se razvijali skupaj z napredkom tehnologije. Dandanes ročno programiranje skoraj izgublja pomen in se uporablja le v preprostih primerih, saj je zamudno in podvrženo napakam. Programiranje neposredno na stroju je veliko bolj praktično in omogoča večjo varnost, vendar je še vedno nekoliko omejeno pri zapletenejših nalogah. Najbolj razširjeno je programiranje s pomočjo računalnika, saj omogoča hitro, varno in natančno izdelavo kompleksnih izdelkov.

Prav zaradi tega so CAD/CAM sistemi postali standard v sodobni proizvodnji, saj združujejo natančnost načrtovanja in enostavnost prenosa podatkov na stroj.

2.4 KAJ JE 5-OSNI CNC STROJ

5-osni CNC rezkalni stroj je eden izmed najnaprednejših tehnoloških rešitev na področju obdelave kovin in drugih materialov. Stroj se lahko istočasno giblje po treh linearnih oseh (X, Y in Z) ter dveh dodatnih oseh AC ali BC. Ti dve dodatni osi stroju omogočata, da se orodje ali obdelovanec (odvisno od modela stroja) nagne in zavrti. Gibanje teh osi je nadzorovano s krmilnim sistemom, ki na podlagi G-kode stroju pove, kako naj se premika in kakšno orodje naj uporablja (Zintilon, 2023).

5-osni CNC rezkalni stroj deluje po naslednjih korakih:

1. V programu CAD, ki je računalniški program za načrtovanje, si oblikujemo zasnovo izdelka. Program nam omogoča, da izrišemo izdelek v 3D obliki in ga tako pripravimo na dejanski proces obdelave.
2. Ko je CAD zasnova končana, jo prenesemo v programsko opremo CAM (računalniško podprta proizvodnja). Ta programska oprema vzame naš digitalni model izdelka in ustvari pot orodja, ki ga bo nato CNC stroj upošteval. CAM program zagotavlja, da bo čas strojne obdelave krajši, optimizira pomike in obrate orodja ter zmanjšuje izgubo materiala.
3. Programska oprema CAM nato podatke pretvori v G-kodo. To so navodila, ki jih stroj prebere in se nato po njih ravna. G-koda daje navodila za hitrost orodja in vse njihove poti, kar CNC stroju omogoča izvajanje natančnih rezov tudi na zelo zahtevnih geometrijah.
4. G-koda se nato naloži v 5-osni CNC stroj. Predstavlja vodilo za stroj, saj mu ves čas daje navodila za hitrost, izvajanje natančnih premikov in upravljanje vrtenja več osi hkrati.
5. Ko pravilno in varno namestimo obdelovanec na mizo stroja, CNC stroj začne svoj obdelovalni cikel in izvaja natančne reze po navodilih G-kode (Zintilon, 2023).

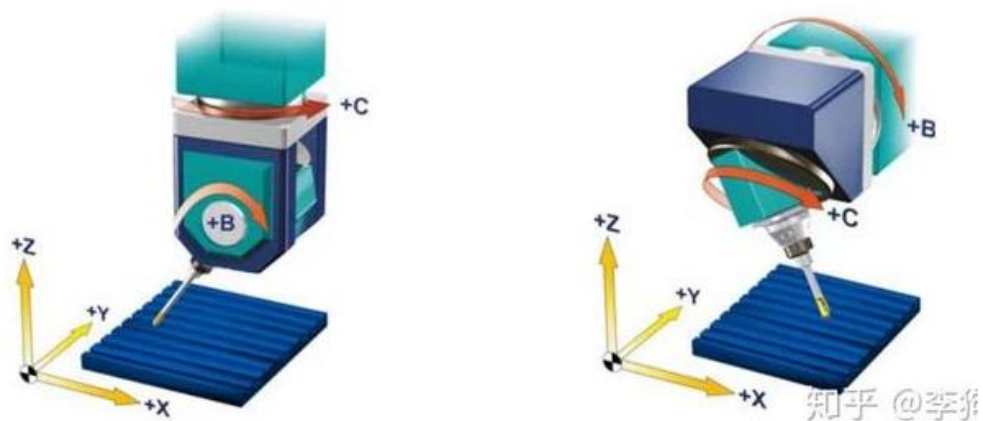
2.5 TEHNIČNE ZNAČILNOSTI 5-OSNEGA CNC STROJA

5-osni CNC stroj omogoča, da lahko obdelovanec obdelamo v petih različnih oseh hkrati. To nam omogoča izdelavo zelo kompleksnih oblik, ne da bi večkrat premaknili obdelovanec. Stroj ima tri osnovne linearne osi; to so: x-os (gibanje levo in desno), y-os (gibanje naprej in nazaj) in z-os (gibanje gor in dol). Zraven osnovnih treh osi pa uporablja tudi dve dodatni rotacijski osi, ki izboljšata funkcionalnost stroja in ju je mogoče konfigurirati na različne načine: AC 5-osna in BC 5-osna. Pri AC 5-osni nastavitvi os A nagiba delovno mizo okoli X-osi, medtem ko se C-os vrtil okoli osi Z. Pri 5-osni nastavitvi BC pa se os B nagiba okoli Y osi, medtem pa C-os zagotavlja vrtenje okoli osi Z. Z vključitvijo teh dodatnih osi so ti stroji natančnejši in bolj učinkoviti. Dostopajo lahko do skoraj vseh strani obdelovanca, kar pomeni, da so idealni za ustvarjanje kompleksnih oz. zahtevnih geometrij (Zintilon, 2023).

Zaradi izpolnitev potreb strojne industrije poznamo več vrst 5-osnih rezkalnih strojev. Ti stroji se razlikujejo po razporeditvi rotacijskih osi in po gibanju obdelovanca ali orodja. Poznamo tri glavne vrste 5-osnih CNC strojev, to so:

- Obrnjeni (glava-glava): Pri tej vrsti se obe rotacijski osi nahajata v glavi stroja, kar pomeni, da se orodje vrti in hkrati nagiba. Obdelovanec v tem primeru miruje ali pa se premika le linearno. Takšne vrste strojev so primerne za obdelavo težkih in masivnih kosov, saj miza v stroju prenese velike obremenitve.

Slika 8: Tip stroja glava-glava



Vir: (Vertical Machine Center, 2021)

- Glava-miza: Pri tej vrsti se ena rotacijska os nahaja v glavi vretena, druga pa v rotacijski mizi. Takšna konfiguracija je najbolj priljubljena, saj je stroj zelo fleksibilen in natančen, kar nam omogoča, da z njim obdeluje izdelke kompleksnih geometrij. Slabost pri tej vrsti stroja pa je, da smo zaradi rotacijske mize omejeni pri teži in velikosti obdelovanca.

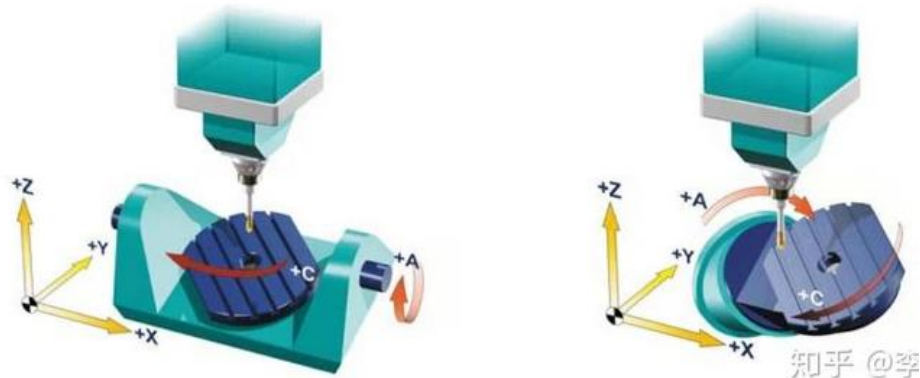
Slika 9: Tip stroja glava-miza



Vir: (Vertical Machine Center, 2021)

- Miza-miza: Pri tej vrsti sta obe rotacijski osi nameščeni v mizi stroja, kar pomeni, da se orodje premika le linearno, obdelovanec pa se lahko nagne in vrti. Takšna izvedba stroja je bolj preprosta in primerna za izdelavo manjših in kompleksnih oblik obdelovanca (Zintilon, 2023).

Slika 10: Tip stroja miza-miza



Vir: (Vertical Machine Center, 2021)

Za primer iz prakse bom predstavil značilnosti in delovanje 5-osnega CNC stroja DMG MORI DMU 50, ki ga uporabljajo v podjetju Murko, d. o. o. Je zelo zmogljiv 5-osni CNC rezkalni stroj, ki je namenjen za natančno obdelavo kompleksnih oblik. Zaradi svoje napredne tehnologije, stabilne konstrukcije in prilagodljivosti omogoča optimalno rešitev za sodobne proizvodne procese.

CNC stroj DMG MORI MDU 50 je visoko zmogljiv rezkalni stroj, ki ima obe dodatni rotacijski osi v delovni mizi stroja. Ima stabilno konstrukcijo, je prilagodljiv, natančen, hiter in tehnološko zelo napreden. Primeren je tako za orodjarstvo kot tudi za velike serijske proizvodnje. Ima gladko in natančno gibanje, njegova rotacijsko-nagibna miza omogoča obdelavo obdelovanca iz skoraj vseh smeri. Opremljen je z zaprtim ohišjem, ki operaterja varuje pred odrezki in hladilno tekočino (DMG Mori, 2025).

Tehnične značilnosti CNC stroja:

- premer delovne mize: 630 mm;
- nosilnost delovne mize: 300 kg;
- pomiki osi: X-650mm; Y-520mm; Z-475mm;
- rotacijsko-nagibna miza: B-os (nagib): -35 do $+100$; C-os (rotacija): 360° ;
- hitrost vretena: do 12.000 vrt/min;
- število orodij: 30;
- krmilnik: Heidenhain TNC 640 (DMG Mori, 2025).

2.6 KRMILNI SISTEMI IN PROGRAMSKA OPREMA

CNC krmilni sistem je elektronska naprava, ki sprejme delovne ukaze v obliki števil in jih nato pretvori v proces obdelave. Naloga krmilnika je torej, da prevede programske ukaze v obliki G-kod in jih pretvori v gibanja osi stroja. Hkrati nadzoruje tudi vse druge funkcije, ki so potrebne za natančno in učinkovito obdelavo. Pri 5-osnih CNC strojih je krmilni sistem še posebej pomemben, saj upravlja gibanje vseh petih osi in mora pri tem skrbeti za visoko natančnost poti orodja (IZZI digital, 2023).

Stroj DMG MORI DMU 50, ki ga uporablja podjetje Murko, d. o. o., uporablja krmilnik Heidenhain TNC 640, ki je posebej prilagojen za 5-osno rezkanje. Krmilnik je zelo natančen; omogoča obdelavo z natančnostjo do 0,005 mm in tako pripomore k izdelavi bolj kompleksnih izdelkov. Omogoča programiranje kar neposredno na CNC stroju in tako pripomore k hitrejši in enostavnejši prilagoditvi parametrov med obdelavo. Krmilnik pripravi tudi simulacijo gibanja, še preden se začne dejanska obdelava, kar nam pomaga prepoznati napake v programski kodi (Heidenhain, 2025).

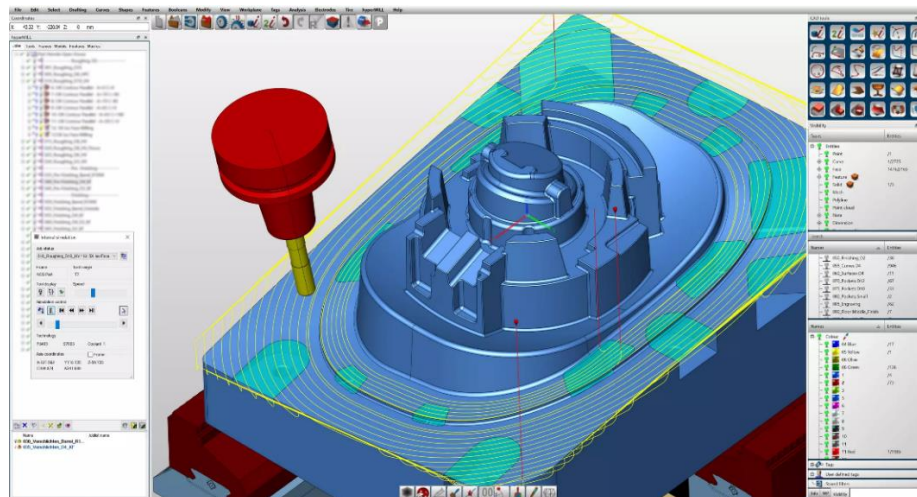
Slika 11: Krmilni sistem Heidenhain TNC 640



Vir: (DMG Mori, 2025)

Da pa sploh lahko prenesemo ukaze v krmilni sistem CNC stroja, potrebujemo programsko opremo CAD (računalniško podprto načrtovanje) in CAM (računalniško podprta proizvodnja). Cel postopek obdelave se začne z oblikovanjem 3D modela v programu CAD, ki nam služi kot načrt za programsko opremo CAM. Ta model se nato prenese v programsko opremo CAM, ki na podlagi 3D modela izdela pot orodja v obliki G-kode, ki je prilagojena za CNC stroj (ETCN, 2024).

Slika 12: Programska oprema CAD/CAM



Vir: (Open Mind, 2025)

Programska oprema CAM pa zraven tega, da izdelava pot orodja, omogoča uporabniku, da določi, kakšna orodja bo uporabil pri obdelavi in kako bo potekal postopek rezkanja. V programu uporabnik nastavi vse parametre obdelave, kot so hitrost orodja in podajanja, globina reza, vrtilna hitrost itd. Na koncu pa na podlagi vseh parametrov, ki jih je določil uporabnik, ustvari G-kodo, ki jo nato naložimo na stroj (ETCN, 2024).

2.7 UPORABA 5-OSNEGA CNC STROJA

5-osni CNC stroj se uporablja na področjih, kjer so potrebne visoka natančnost, kompleksna geometrija in obdelava več strani obdelovanca v enem samem vpetju. Zaradi teh lastnosti se takšen stroj uporablja za različne sektorje, kot so:

- **Avtomobilska industrija**, kjer je natančnost zelo pomembna, predvsem za dele motorja in menjalnika. Ti deli so zapletene oblike in morajo biti narejeni znotraj zahtevanih toleranc, saj se nenehno premikajo glede drug na drugega.
- **Medicinska industrija**, kjer 5-osna obdelava pomaga pri razvoju pripomočkov, vsadkov in druge medicinske opreme. V medicinski industriji je natančnost še posebej pomembna, saj moramo pri delu izpolnjevati stroge zdravstvene zahteve.
- **Letalska industrija**, kjer je 5-osna obdelava ključnega pomena zaradi izdelave izredno lahkih, trdih in kompleksnih oblik. Uporablja se za izdelavo turbin, lopatic motorjev, nosilnih struktur, ogrodiv itd.
- **Energetska oprema**, kjer se 5-osna obdelava uporablja za obdelavo velikih in kompleksnih komponent, kot so ohišja turbin, nosilci, lopatice plinskih in parnih turbin in drugi deli, ki so izpostavljeni visokim pritiskom (Zintilon, 2023).

V podjetju Murko, d. o. o., uporabljajo 5-osni CNC stroj DMG MORI DMU 50 za obdelavo zahtevnih in kompleksnih oblik. Podjetje stroj uporablja za izdelavo različnih izdelkov, ki so pogosto kompleksne oblike in zahtevajo visoko kakovost površine. Stroj pa uporabljajo tudi za izdelavo delov za avtomobilsko industrijo. Zaradi svoje fleksibilnosti in avtomatizacije je ta CNC stroj ključnega pomena za izvajanje zahtevnejših projektov in konkurenčnosti na trgu v podjetju Murko, d. o. o.

3 DELO NA 3 IN 5-OSNEM CNC STROJU

3.1 DELO V PODJETJU

V okviru praktičnega usposabljanja sem bil zaposlen v podjetju Murko, d. o. o. , kjer sem opravljal različne naloge na področju CNC obdelave. Svoje delo sem opravljal tako na 3-osnem kot na 5-osnem CNC obdelovalnem stroju. V podjetju sem bil vključen v celoten proces izdelave, od priprave tehnološkega postopka do končne kontrole obdelanih kosov. Med opravljanjem dela sem se srečeval z različnimi vrstami izdelkov, od enostavnih do zahtevnejših kosov, pri katerih sta bolj potrebna natančno načrtovanje in poznavanje orodij ter obdelovalnih strategij. Pomemben del mojega dela je predstavljalo tudi izvajanje meritev in kontrole izdelkov po obdelavi. Uporabljal sem klasična merilna orodja (pomično merilo, mikrometer ...).

Pri vsakdanjem delu sem se srečeval tudi z izzivi, kot so neustrezna priprava materiala, obraba kakšnega orodja in potreba po hitri prilagoditvi obdelovalnega programa zaradi sprememb v dokumentaciji. V teh primerih sem se pogosto posvetoval z izkušenim mentorjem, ki je natančno razumel tehnološke zahteve.

MURKO, d. o. o., je sodobno in inovativno storitveno podjetje, ki se ukvarja z izdelavo visokokakovostnih strojnih delov. Ti se uporabljajo v širšem strojništvu. Podjetje ponuja tudi izdelavo manjših in srednje velikih mehanskih sklopov, ki se v celoti vgrajujejo v stroje. Podjetje veliko vlaga v novo tehnologijo, kar mu omogoča visokokakovostno proizvodnjo. So zelo natančni, hitri, obdelujejo kompleksne oblike izdelkov s kakovostno površino. Ponujajo 3-osno in 5-osno obdelavo kosov (Murko, d. o. o., 2022).

3.1.1 Izdelava izdelka na 3-osnem stroju

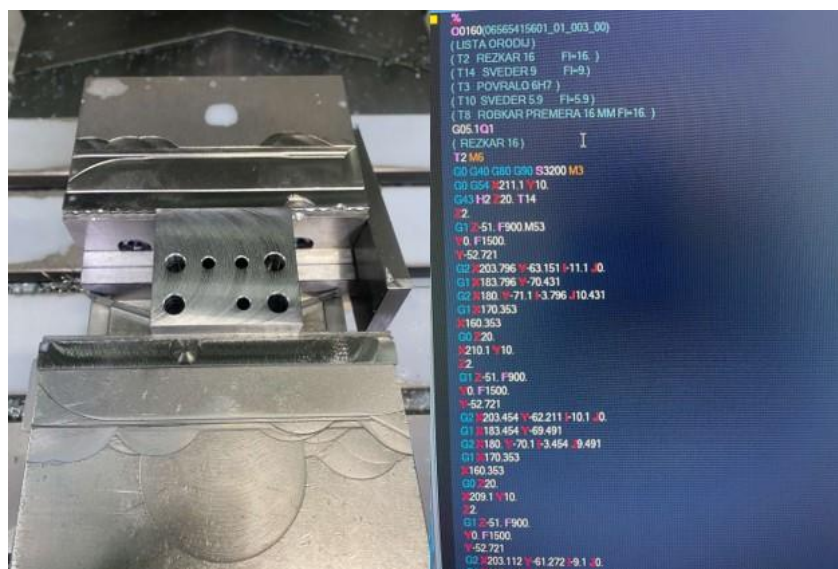
Za delo na 3-osnem CNC stroju sem najprej dobil delovni nalog s tehnično risbo in surovec, iz katerega po obdelavi nastane izdelek. Surovec je bil že predhodno obdelan na klasičnem rezkalnem stroju na mere $60 \times 40 \times 65$ mm. Delovni nalog je vseboval vrste operacij in datum, do katerega je potrebno izdelek narediti. Tehnična risba pa je vsebovala vse potrebne informacije za pravilno in natančno obdelavo izdelka (prikaz izdelka v različnih pogledih, 2D izris, mere, merilo, tolerance, oznaka materiala ...). Izdeloval sem izdelek, ki ima več ravnih površin, faz in izvrtin, ki sem jih lahko obdelal s pomiki v treh oseh.

Slika 15: Seznam za pripravo orodja

PRIMEK: Sndj		DATUM: 3.10.2014				
Tip orodja:	Premer:	Glo. Obd.	Mat:	OPOMBE	Ind.	Vrn.
Sveder	ø 9	1 = 2,5	Al			
Sveder	ø 16,8	1 = 3,0	Al			
Sveder	ø		Al			
Sveder	ø		Al			
Sveder	ø		Al			
Sveder	ø		Al			
Sveder	ø		Al			
Sveder	ø		Al			
Povrtalo	ø		Al			
Povrtalo	ø		Al			
Povrtalo	ø		Al			
Navojni Sveder	ø 16		Al	O Z V		
Navojni Sveder	ø 16		Al	O Z V		
Navojni Sveder	ø 16		Al	O Z V		
Navojni Sveder	ø 16		Al	O Z V		
Navojni Sveder	ø 16		Al	O Z V		
Navojni Sveder	ø 16		Al	O Z V		
Rezkar	ø		Al			
Rezkar	ø		Al			
Rezkar	ø		Al			
Top	ø		Al			
Top	ø		Al			
Top	ø		Al			
Dvortzni	ø		Al			
Dvortzni	ø		Al			
Audrejer	ø		Al			
Audrejer	ø		Al			
Audrejer	ø		Al			
Poglobilo / Grezilo	ø		Al			
Poglobilo / Grezilo	ø		Al			
Glava	ø		Al			
Glava	ø		Al			
Fazni	ø		Al			
Kugla	ø		Al			
T-Rezkar	ø		Al			
ø			Al			
ø			Al			

Ko sem imel pripravljeno vso orodje, sem se lotil prve operacije. Surovec sem vpel v primež na obdelovalni mizi stroja, določil ničelno točko, ki je bila na spodnjem levem robu obdelovanca, ter se lotil programiranja. Programiral sem neposredno na stroju, tako da sem vstavil pozicije in poti orodja, po katerih se bo stroj premikal, določil rezalno hitrost ter ukazal, s katerim orodjem izvaja določeno obdelavo. Pri prvi operaciji sem najprej izvrtal štiri luknje premera 9 mm in 3 luknje premera 6H7 mm ter na vseh luknjah naredil faze. Orodja, ki sem jih uporabil za prvo operacijo, so: sveder $\varnothing 9$ in $\varnothing 5,9$, povrtalo 6H7 in fazni rezkar $\varnothing 16$.

Slika 16: 1. operacija in program



Za drugo operacijo sem obdelovanec obrnil okoli in uporabil ploskovno rezkanje, s katerim sem naredil majhno stopničko. Na koncu sem naredil še faze na luknjah in na robovih obdelovanca. Orodja, ki sem jih uporabil za drugo operacijo, so: čelni rezkar $\varnothing 63$, čelni rezkar $\varnothing 12$ ter fazni rezkar $\varnothing 16$.

Slika 17: 2. operacija in program



Sledila je tretja operacija, pri kateri sem zvrtil dve luknji $\varnothing 8H7$ in dve luknji M8. Orodja, ki sem jih uporabil za tretjo operacijo, so: sveder $\varnothing 6,8$, navojni sveder M8x1.2, sveder $\varnothing 7,9$, povrtalo $\varnothing 8H7$ in fazni rezkar $\varnothing 16$.

Slika 18: 3. operacija in program



Za zadnjo četrto operacijo pa sem obdelovanec obrnil na bok, kjer sem izvrtil luknjo M8. Orodja, ki sem jih uporabil za četrto operacijo, so: sveder $\varnothing 6,8$, navojni sveder M8x1.2 in fazni rezkar $\varnothing 16$.

Slika 19: 4. operacija in program



Po končani obdelavi sem izdelek odstranil iz stroja, ga vizualno pregledal in ga nato natančno izmeril s pomičnim merilom. Preveril sem tudi površino izdelka, da ni poškodovana. Vse meritve so bile ustrezne, nato pa sem izdelek nesel v merilnico, kjer so ga še enkrat natančno izmerili in ga nato pripravili na odpremo.

Slika 20: Merjenje obdelovanca



Slika 21: Končni izdelek 3-osne obdelave



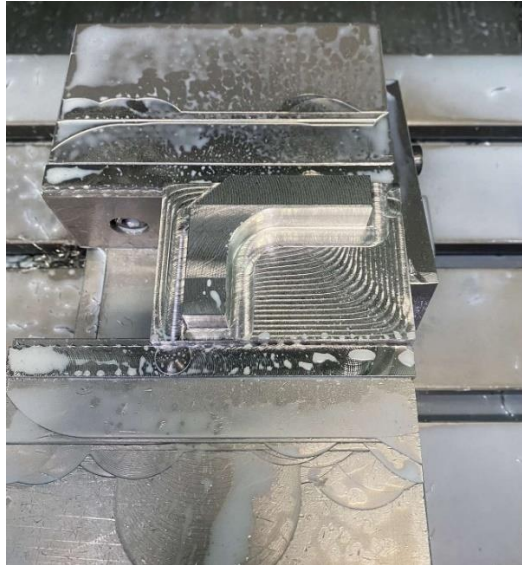
3.1.2 Potek dela na 5-osnem stroju

V podjetju Murko, d. o. o., uporabljajo 5-osni CNC rezkalni stroj DMG MORI DMU 50. Stroj spada med kompaktne in tehnološko napredne stroje, saj omogoča natančno in kompleksno obdelavo kosov v enem vpetju. Ta lastnost podjetju prispeva večjo produktivnost in kakovost izdelkov. Stroj se v podjetju uporablja za izdelavo zahtevnejših in kompleksnejših oblik obdelovancev, kjer sta potrebni visoka natančnost in obdelava pod različnimi koti. Zmogljivost tega stroja podjetju torej omogoča izdelavo izdelkov, ki jih s klasičnimi 3-osnimi stroji ne bi mogli narediti oziroma bi jim vzelo preveč časa.

Delo na 5-osnem CNC stroju poteka podobno kot na 3-osnem, razlika je le v programiranju. Na začetku sem dobil delovni nalog s tehnično risbo ter surovec, ki sem ga nato obdeloval. Tehnično risbo sem natančno pregledal in si priskrbel primerno orodje za obdelavo. Orodje sem vstavil v stroj in ga umeril. 5-osni CNC orodje umeri sam, kar je hitreje in lažje kot pri 3-osnem stroju.

Pri prvi operaciji sem iz surovca po načrtu izrezkal obliko komada ter izvrtal dve vrtini $\varnothing 6H7$ in dve vrtini M6. Na vrtinah in robovih obdelovanca sem še s faznim rezkarjem naredil faze. Orodja, ki sem jih uporabil za prvo operacijo, so: rezkalna glava $\varnothing 63$, čelni rezkar $\varnothing 12$, fazni rezkar $\varnothing 16$, sveder $\varnothing 5.9$, povrtalo $\varnothing 6H7$, sveder $\varnothing 5$ in navojni sveder $\varnothing 6 \times 1$.

Slika 24: 1. operacija 5-osne obdelave



Za drugo operacijo sem obdelovanec obrnil ter ga s pomočjo podloge vpel v primež (vidno na sliki 22). Obdelovanec sem nato čelno porezkal na mero ter izvrtal dve vrtini $\varnothing 6H7$ in dve vrtini $\varnothing 8,6$. Na koncu sem še na vrtinah in robovih obdelovanca naredil faze s faznim rezkarjem. Orodja, ki sem jih uporabil za drugo operacijo, so: čelni rezkar $\varnothing 63$, sveder $\varnothing 5.9$, povrtalo $6H7$, sveder $\varnothing 8.6$ in fazni rezkar $\varnothing 16$.

Slika 25: 2. operacija 5-osne obdelave



Po obdelavi izdelka sem opravil osnovne meritve s pomičnim merilom in mikrometrom. Nato sem izdelek odnesel v merilnico, kjer so ga še enkrat natančno izmerili in pripravili za odpremo.

Slika 26: Končni izdelek 5-osne obdelave



3.2 PRIMERJAVA MED 3-OSNIMI IN 5-OSNIMI CNC REZKALNIMI STROJI

V strojni industriji se najbolj pogosto uporabljajo tako 3-osni kot tudi 5-osni CNC stroji, pri čemer ima vsak svoje prednosti in omejitve. Zaradi svoje vsestranskosti in učinkovitosti najpogosteje v podjetjih vidimo klasični 3-osni CNC stroj. Ta stroj omogoča gibanje orodja po treh linearnih oseh (X, Y in Z), kar nam omogoča obdelavo enostavnih in srednje zahtevnih kosov. Ti stroji so v primerjavi s 5-osnimi stroji bistveno cenejši in enostavnejši za uporabo, hkrati pa zadostujejo za večino obdelovalnih nalog. Njihova slabost pa je, da kadar hočemo obdelovati zahtevnejše oblike, moramo obdelovanec večkrat ročno vpeti in izpeti. Zaradi tega lahko hitro pride do napak, povečajo se stroški in podaljša čas obdelave, končni izdelek pa morda ne bo popoln (Zintilon, 2023).

5-osni stroj pa ima zraven treh glavnih osi (X, Y in Z) dodatni dve osi A in B ali B in C. To omogoča stroju, da se obdelovanec ali orodje lahko nagibata in vrtita, kar nam omogoča dostop do zahtevnih površin pod različnimi koti. Zaradi tega lahko obdelujemo zahtevnejše geometrije v enem vpetju, kar pa poveča natančnost, izboljša kakovost izdelka in zmanjša čas obdelave. Kljub večji zmogljivosti pa so ti stroji bistveno dražji in zahtevajo večjo stopnjo usposobljenosti operaterja, saj je programiranje težje kot pri 3-osnem stroju (Zintilon, 2023).

Velika razlika med 3-osnimi in 5-osnimi CNC rezkalnimi stroji je tudi v ceni. Cene klasičnih 3-osnih CNC strojev se trenutno na trgu gibljejo med 40.000 € do 100.000 €, odvisne pa so od velikosti, opreme in znamke stroja. Za 5-osni CNC stroj pa je cena precej višja in se giblje nekje med 200.000 € do 300.000 € ali celo več. Cene 5-osnih strojev so višje zaradi kompleksnejše

mehanske konstrukcije z dodatnimi rotacijskimi osmi, naprednejših krmilnih sistemov in večje zahtevnosti vzdrževanja (Zintilon, 2023).

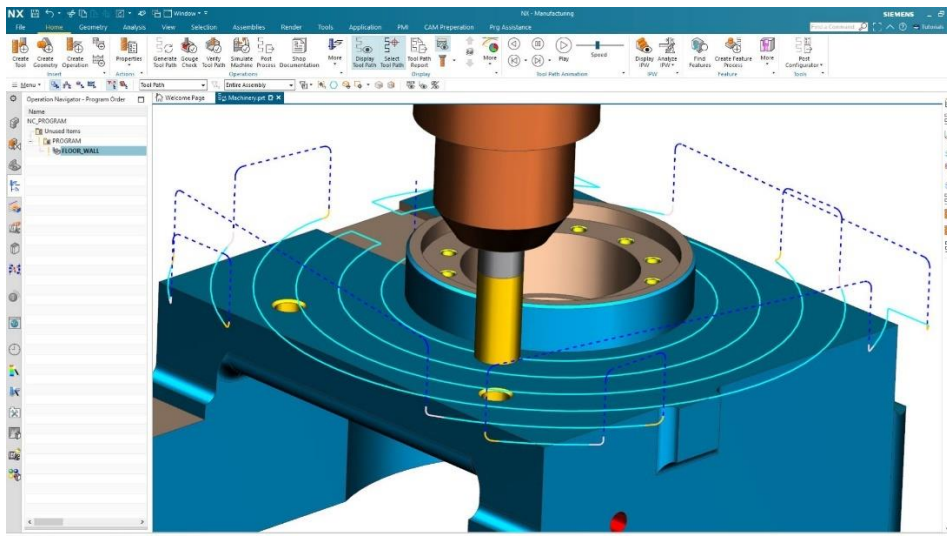
Eden ključnih dejavnikov, pri katerem se razlikujejo 3-osni in 5-osni stroji, je način programiranja. Pri 3-osnem stroju programiranje poteka običajno v CAM programski opremi, kjer se pot orodja generira glede na 3D model (npr. Fusion 360 ali SolidCAM) ali pa se programira kar neposredno na stroju. Programiranje je relativno enostavno, pregledno in primerno tudi za manj izkušene operaterje (Zintilon, 2023).

Slika 27: Primer programiranja na 3-osnem stroju



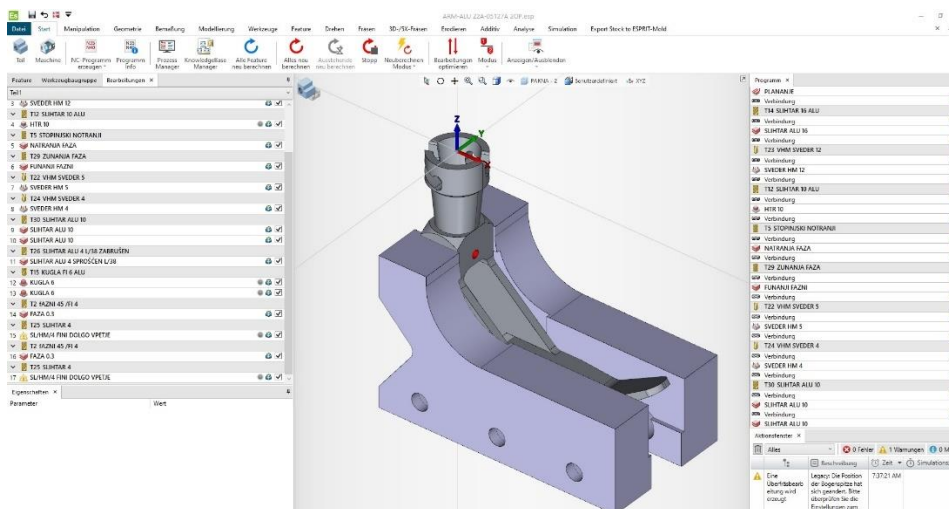
Programiranje 5-osnega CNC stroja pa je bistveno zahtevnejše in potrebuje več znanja. Operater mora zaradi dodatnih dveh osi (A in B ali B in C) upoštevati tudi orientacijo orodja glede na površino obdelovanca. Kar pa pomeni, da mora operater natančno določiti naklon orodja glede na premike delovne mize v stroju. To pa zahteva naprednejše CAM postopke in dobro poznavanje stroja ter njegovega delovanja. Za pripravo programa na 5-osnem stroju se uporablja tudi naprednejša CAM programska oprema (npr. Siemens NX ali Powermill), ki nam omogoča 5-osno generiranje poti orodja. Preden se program pošlje na stroj, se izvede tudi simulacija celotne obdelave, kjer se preverijo morebitne napake, pot orodij in gibanje vseh osi. Takšno programiranje zahteva veliko več znanja, izkušenj in časa kot pri programiranju na 3-osnih strojih. Večja je možnost napak, zato so potrebne tudi večja natančnost, previdnost in boljša priprava podatkov. Na koncu pa imamo bistveni krajši čas obdelave, višjo natančnost in možnost izdelave kompleksnejših kosov v enem samem vpetju (Zintilon, 2023).

Slika 28: Primer simulacije poti orodja na 5-osnem stroju



(DDSPLM, 2024)

Slika 29: Primer programiranja na 5-osnem stroju



V podjetju Murko, d. o. o., se 3-osni in 5-osni CNC stroji uporabljajo glede na zahteve in kompleksnost obdelave posameznega izdelka. 3-osni CNC stroji se uporabljajo predvsem za obdelavo enostavnejših izdelkov, kjer je mogoče vse površine obdelati s postopnim vpenjanjem v treh glavnih oseh (X, Y in Z). 5-osni CNC stroj pa se v podjetju uporablja za zahtevnejše izdelke, ki imajo kompleksno geometrijo in je potreben dostop do različnih površin pod različnimi koti. Podjetje izdeluje izdelke predvsem za avtomobilsko, papirno, farmacevtsko in prehransko industrijo.

Slika 30: Izdelka podjetja Murko, d. o. o.



V podjetju Murko, d. o. o. sem delal na 3-osnem CNC stroju Hurco VMX30t in na 5-osnem CNC stroju DMG MORI DMU 50. Ugotovil sem, da je delo na 3-osnem CNC stroju bolj enostavno in pregledno. Ti stroji omogočajo gibanje v treh smereh (X, Y in Z), kar pomeni, da sem lahko obdeloval večinoma enostavnejše izdelke. Čeprav so bili izdelki enostavnejše oblike, sem moral med obdelavo izdelek večkrat vpeti in izpeti, če sem želel obdelati različne strani izdelka. To je vzelo več časa za obdelavo in je vplivalo tudi na končne mere izdelka.

Slika 31: 3-osni CNC stroj Hurco VMX30t



Na drugi strani je bilo delo na 5-osnem CNC stroju veliko zahtevnejše. Potrebna je bilo več načrtovanja, več znanja v programiranju ipd. Stroj je imel zraven treh glavnih osi še dve dodatni osi (B in C), kjer se je delovna miza nagibala okoli osi Y in vrtela okoli osi Z. Ti dve dodatni osi sta mi omogočili, da sem že v enem vpenjanju dosegel več površin pod različnimi koti. Izdelek sem tako hitreje in hkrati natančneje obdelal.

Slika 32: 5-osni CNC stroj DMG MORI DMU 50



Vir: (DMG Mori, 2025)

Slika 33: Nagibna miza na stroju DMG MORI DMU 50



Vir: (DMG Mori, 2025)

Opazil sem, da se natančnost med 3-osnimi in 5-osnimi stroji razlikuje zaradi samega načina obdelave in potrebnega števila vpenjanj. Na 3-osnem stroju sem moral obdelovanec večkrat vpeti in izpeti, zato so se včasih pojavile manjše napake pri merah izdelka. Kljub temu sem z dobro kontrolo in preverjanjem izdelke dobro obdelal. Pri 5-osnem stroju sem opazil, da so bili izdelki bolj natančni. Večino površin obdelovanca sem obdelal v enem samem vpenjanju, kar je pomenilo manj možnosti za napake. Razlika je bila tudi pri programiranju: pri 3-osnem stroju je bilo programiranje lažje in preglednejše, medtem ko sem moral pri 5-osnem stroju paziti na premike orodja, hitrosti podajanja in orientacijo obdelovanca.

Ugotovil sem, da čeprav so 3-osni stroji v industriji še vedno zelo uporabni in zadostujejo za večino nalog, nam 5-osni stroji ponujajo bistveno več možnosti pri obdelavi zahtevnejših oblik.

Skrajšajo nam tudi čas obdelave in zmanjšujejo število vpetij, saj sem bistveno zahtevnejši izdelek naredil z manj operacijami kot izdelek na 3-osnem stroju, kar pa je v sodobni industriji zelo pomembno, če želimo biti konkurenčni in prihraniti čas ter denar. Zaradi tega 5-osni CNC stroji postajajo nepogrešljivi deli v sodobnih delovnih okoljih.

3.3 USPOSABLJANJE

Za delo na 5-osnem CNC rezkalnem stroju je zahtevana višja stopnja strokovnega znanja kot pri delu na klasičnem 3-osnem stroju. Zaradi dodatnih dveh rotacijskih osi je programiranje zahtevnejše, gibanje orodja zapletenejše, večje pa je tudi tveganje za trk orodja. Operater mora zraven osnovnega znanja CNC tehnologije obvladati tudi branje in razumevanje tehničnih risb in 3D modelov ter obvladati delo s programi CAM (npr. SolidCAM, Siemens NX). Nadzorovati mora delovanje stroja in dobro spremljati proces obdelave, da lahko pravočasno zazna morebitne napake, ki jih mora tudi odpraviti. Prav tako mora skrbeti za menjavo orodij na stroju, ko se obrabijo, da lahko proces poteka nemoteno.

V podjetju Murko, d. o. o., se operaterji redno dodatno usposabljujejo, saj se tehnologija hitro razvija, programi so kompleksnejši in zahtevajo več računalniškega znanja. Dodatno izobraževanje in usposabljanje delavcev poteka znotraj podjetja Murko, d. o. o., in sicer na Strojni akademiji, ki jo je ustanovilo podjetje samo. Namen akademije je usposabljanje novih delavcev in izobraževanje bodočih mladih strojnikov ter nadgrajevanje znanja in spretnosti že usposobljenega kadra. Delavci pridobivajo veliko različnega teoretičnega znanja o uporabi CNC tehnologije in programov. Prav tako pa prenesejo teorijo v prakso in pri delu z dejanskim strojem pridobivajo praktične izkušnje.

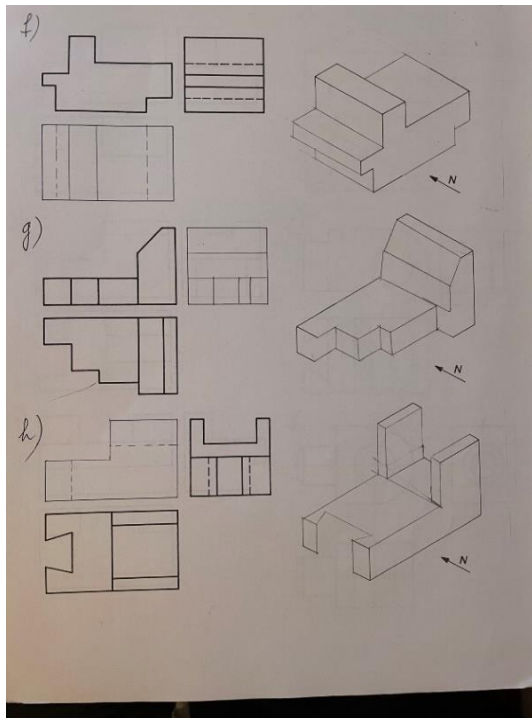
V akademijo se lahko prijavi vsak, ki želi delo v tem poklicu in še nima izkušenj na tem področju. V akademijo sprejemajo tudi mlade, ki se že šolajo v tem poklicu, ampak še nimajo dovolj praktičnih izkušenj. Na akademiji se pridobivajo teoretična in praktična znanja s področja klasične in CNC obdelave ter s področja CAM programiranja. Po končanem usposabljanju podjetje Murko, d. o. o., nudi možnost nadaljnje zaposlitve.

Vsak delavec, ki se zaposli v podjetju Murko d. o. o., mora najprej preveriti svoje znanje na Strojni akademiji. Delavci, ki nimajo nobenega strokovnega znanja na tem področju, morajo najprej pridobiti vsa osnovna teoretična znanja o CNC tehnologiji in šele nato preiti na praktični del izobraževanja. Delavcem, ki pa že imajo predhodna znanja in izkušnje na tem področju, se dodatna usposabljanja prilagodijo potrebam in znanju delavca.

3.3.1 Primer izobraževanja

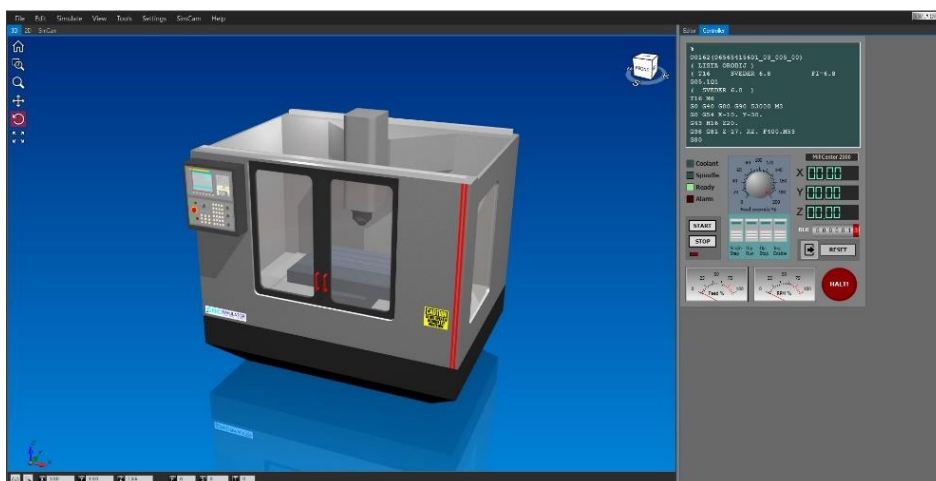
Izobraževanje na Strojni akademiji je potekalo tako, da sem najprej pridobil osnovno teoretično znanje s strojništva. Predavatelj mi je najprej razložil, kako rišemo tehnične risbe, kaj pomenita rezkanje in struženje, predstavil mi je različna orodja, s katerimi obdelujemo material ter me naučil, kako se meri obdelovanec z različnimi merskimi orodji. Ugotovil sem, da sta natančno merjenje in načrtovanje ključnega pomena za izdelavo izdelkov. Po teoriji sem dobil različne vaje iz osnov merjenja, pretvarjanja enot in tehničnega risanja.

Slika 34: Primer vaje iz tehničnega risanja



Predstavljal mi je tudi tehnično dokumentacijo; to so delovni načrti, tehnične risbe in 3D modeli, ki so ključnega pomena, če želiš delati za CNC strojem. Na akademiji sem se s pomočjo posebnega programa, ki simulira delo na CNC stroju, naučil osnov programiranja in dobil približen občutek, kako poteka delo na pravem CNC stroju.

Slika 35: Program s simulacijo CNC stroja



Po zaključku teoretičnih in praktičnih vaj sem izobraževanje nadaljeval v proizvodnji. Tam so mi določili mentorja, ki me je do nadaljnjega učil praktičnega dela na CNC stroju. V proizvodnji me je mentor postopoma uvajal v samostojno delo na stroju. Pokazal mi je, kako prenesti program na stroj, pripraviti obdelovanec in pravilno izbrati in nastaviti orodja za določen izdelek. Razložil mi je tudi, kako se v praksi prilagajajo parametri rezanja glede na določen material in kako preverjamo kakovost izdelka med obdelavo.

Na koncu izobraževanja je sledilo preverjanje, kjer sem moral samostojno narediti izdelek – od priprave programa in vpenjanja obdelovanca do končne obdelave. Vse je potekalo pod nadzorom mentorja, ki je spremljal mojo natančnost, razumevanje postopkov obdelave in kakovost končnega izdelka. S tem sem dokazal, da sem dovolj sposoben in odgovoren za delo na CNC stroju in da je bilo izobraževanje uspešno.

4 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem obravnaval uporabo in delovanje 5-osnega CNC rezkalnega stroja. Predstavil sem ključne komponente stroja, gibanje osi, krmilni sistem stroja in uporabo programske opreme CAD in CAM. Zraven sem primerjal še klasične 3-osne CNC stroje s 5-osnimi stroji in raziskal, kako morajo biti usposobljeni delavci za delo na 5-osnem CNC rezkalnem stroju.

Kot sem že omenil, v podjetju Murko, d. o. o., uporabljajo 5-osni CNC rezkalni stroj DMG MORI DMU 50, ki je tehnološko zelo napreden, natančen in zanesljiv. Stroj ima zraven treh glavnih osi (X, Y in Z) še dve dodatni osi B in C, kar mu omogoča izdelavo zahtevnih in kompleksnejših geometrij.

Podjetje zraven 5-osnih CNC strojev uporablja tudi 3-osne CNC stroje. Ugotovil sem, da kljub temu, da so 5-osni stroji naprednejši in natančnejši, v podjetjih še vedno najpogosteje vidimo klasične 3-osne CNC stroje. Ti so enostavnejši za uporabo, bistveno cenejši in zadostujejo za večino nalog. Niso pa najprimernejši za obdelavo bolj kompleksnih oblik, saj se pomikajo le po treh glavnih oseh (X, Y in Z). Zaradi tega moramo obdelovanec večkrat ročno vpeti in izpeti, kar pa podaljša čas obdelave in poveča tudi možnost napak. 5-osni CNC stroji pa so zaradi dveh dodatnih osi zahtevnejši za uporabo, vendar nam omogočajo izdelavo kompleksnejših geometrij v enem vpetju. To pa poveča natančnost in kakovost izdelka ter skrajša čas obdelave.

Za delo na 5-osnem CNC stroju mora imeti operater veliko znanja s področja strojništva. Ker pa se tehnologija in stroji ves čas razvijajo in nadgrajujejo, mora tudi delavec svoje znanje ves čas nadgrajevati. Zato sem v diplomski nalogi raziskal, kako poteka usposabljanje delavcev v podjetju Murko, d. o. o. Ugotovil sem, da podjetje svoje delavce redno usposablja in izobražuje znotraj podjetja na Strojni akademiji. Novi delavci, ki še nimajo izkušenj na tem področju, najprej pridobijo teoretično znanje. Nato jim podjetje dodeli mentorja, s katerim se učijo upravljati s strojem. Delavci, ki pa so že nekaj časa zaposleni v podjetju, pa hodijo na dodatna izobraževanja po potrebi.

V času praktičnega usposabljanja v podjetju Murko, d. o. o., sem se tudi sam udeležil usposabljanj na Strojni akademiji. Tam sem se naučil osnove programiranja, kakšne programe uporabljajo in spoznal različna orodja, ki se uporabljajo za obdelavo. Po teoretičnem delu pa sem šel v proizvodnjo, kjer so mi dodelili mentorja. Mentor me je naučil upravljati s CNC strojem in mi predstavil, kako poteka delo v njihovi proizvodnji. Menim, da je takšen način izobraževanja zelo učinkovit in da bi moralo več podjetij nuditi takšen način izobrazbe za njihove zaposlene. Delavci se na tak način lahko zraven dela hkrati izobražujejo in s tem povečajo produktivnost podjetja. Podjetje pa delavcem nudi vso podporo in pomoč, ki jo potrebujejo.

5 VIRI

DDSPLM. 2024. DDSPLM. *Things you should know about the future of Siemens.* [Elektronski] 2024. [Navedeno: 8. september 2025.] <https://www.ddsplm.com/blog/things-you-should-know-about-the-future-of-siemens-nx-cam-software/>.

Dedukić, Tadej. 2015. *Izdelava, uporaba in delovanje CNC stroja*. Ljubljana : Fakulteta za logistiko UL, 2015.

DMG Mori. 2025. DMG Mori. *DMU 50.* [Elektronski] 2025. [Navedeno: 8. september 2025.] <https://en.dmgmori.com/products/machines/milling/5-axis-milling/dmu/dmu-50>.

ETCN. 2024. Eten Machining. *3 Axis CNC.* [Elektronski] 30. maj 2024. [Navedeno: 8. september 2025.] <https://etcnmachining.com/sl/blog/3-axis-cnc/>.

Heidenhain. 2025. Heidenhain. *TNC 640.* [Elektronski] 2025. [Navedeno: 8. september 2025.] https://www.heidenhain.si/sl_SI/proizvodi/cnc-krmilja/tnc-640/.

HLC Metal Parts. 2023. HLC Metal Parts. *Types of Milling Tools.* [Elektronski] 2023. [Navedeno: 8. avgust 2025.] <http://si.hlc-metalparts.com/news/types-of-milling-tools-75615063.html>.

Hoffmann Group. 2024. Hoffmann Group. *Režkanje.* [Elektronski] 2024. [Navedeno: 2008. september 2025.] <https://www.hoffmann-group.com/SI/sl/hsi/odrezovanje/rezkanje/c/10-04-00-00-00?tId=744>.

IZZI digital. 2023. IZZI digital. *CNC-krmilje.* [Elektronski] 2023. [Navedeno: 8. september 2025.] <https://si.izzi.digital/DOS/493832/511893.html?sourceblock=9221589>.

2022. Murko d.o.o. [Elektronski] 2022. <https://www.murko.eu/sl>.

Murko, CNC. 2021. Facebook. [Elektronski] 2021.

Open Mind. 2025. Openmind-Tech. *CAD.* [Elektronski] 2025. [Navedeno: 8. september 2025.] <https://www.openmind-tech.com/en-us/cad/>.

Pintarič, Peter. 2009. Diplomsko delo. [Elektronski] 2009. http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/vs_pintaric_peter.pdf.

Prah, Izobraževalni center. 2015. Prah.si. *Režkanje.* [Elektronski] 2015. [Navedeno: 8. september 2025.] <https://www.prah.si/Files/Images/2159/rezkanje.pdf>.

STS. 2008. STS. *sts.si.* [Elektronski] 2008. [Navedeno: 8. september 2025.] <http://www2.sts.si/arhiv/cncpro/>.

Vertical Machine Center. 2021. Vertical Machine Center. *The Advantages of 5 Axis Milling Machine.* [Elektronski] 2021. [Navedeno: 8. september 2025.] <https://si.verticalmachinecenter.com/news/the-advantages-of-5-axis-milling-machine-48658271.html>.

Zintilon. 2023. [Elektronski] 2023. https://www.zintilon.com/sl/blog/3-axis-vs-5-axis-cnc-machining/#What_is_a_3-axis_CNC_Machining.

—. **2023.** Zintilon. *Zintilon Technology Co.* [Elektronski] 2023. [Navedeno: 8. september 2025.] https://www.zintilon.com/sl/blog/what-is-5-axis-cnc-machining/#Benefits_of_5-axis_Machining.

