

TEHNIŠKI ŠOLSKI CENTER MARIBOR
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA
STROJNIŠTVO

Aleks VIDEČNIK

**MERILNA NAPRAVA ZA MERJENJE
PLASTIČNEGA ODLITKA**

DIPLOMSKO DELO

Višješolski strokovni študij

Maribor, 2025

TEHNIŠKI ŠOLSKI CENTER MARIBOR
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA
STROJNIŠTVO

Aleks VIDEČNIK

**MERILNA NAPRAVA ZA MERJENJE PLASTIČNEGA
ODLITKA**

DIPLOMSKO DELO

Višješolski strokovni študij

MEASURING DEVICE FOR MEASURING PLASTIC CASTING

GRADUATION THESIS

Higher vocational studies

Maribor, 2025

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem podjetju Orodjarstvo Mihael Gašperič, s. p., za izkazano podporo in sodelovanje pri pripravi tega diplomskega dela. Njegova strokovnost, dostopnost in pripravljenost deliti znanje so mi omogočili dragocen vpogled v panogo in so pomembno prispevali h kakovosti raziskave. Brez njihove velikodušnosti in podpore bi bila izvedba tega projekta precej težja.

Posebno zahvalo namenjam gospodu Mihaelu Gašperiču za čas, nasvete in omogočen dostop do ključnih informacij, ki so bistveno pripomogle k razumevanju obravnavane tematike. Zahvaljujem se mu tudi za pomoč pri vodenju CNC- in NC-strojev. Njegovo strokovno znanje in pripravljenost deliti izkušnje z mano sta mi prihranila čas in olajšala postopek izdelave tega dela.

Iskreno se zahvaljujem mentorju mag. Leonu Pernatu za njegovo strokovno usmerjanje, potrpežljivost in dragocene nasvete med pisanjem diplomskega dela. Njegova podpora, konstruktivne povratne informacije in nesebična pomoč so mi bili v veliko pomoč pri raziskovanju in oblikovanju končnega besedila.

Hvala vsem, ki ste kakorkoli prispevali k uspešnemu zaključku mojega študija.

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Aleks Videčnik, rojen 21. 4. 2003 v Mariboru, študent Tehniškega šolskega centra Maribor, Višje strokovne šole, programa Strojništvo, izjavljam, da je diplomsko delo z naslovom *Merilna naprava za merjenje plastičnega odlitka* avtorsko delo.

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

Diplomsko delo je lektorirala Jasmina Vajda Vrhunec, prof. slov., ključno dokumentacijsko informacijo je prevedla Urška Medved, prof. ped. in angl.

Kraj in datum: _____

Lastnoročni podpis študenta: _____

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 mag. Leona Pernata, univ. dipl. inž. str.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: _____

Član/mentor: _____

Član: _____

Član/somentor: _____

Datum diplomskega izpita: _____

POVZETEK

V diplomskem delu je načrtovana in predstavljena merilna naprava za merjenje plastičnega odlitka, ki je izdelana na različnih CNC-strojih. Namen raziskave je razviti in optimizirati merilni sistem, ki omogoča natančno preverjanje dimenzijskih toleranc plastičnih ulitkov in zagotavljanje kakovosti izdelkov.

V teoretičnem delu so opisani osnovni principi meroslovja, dokumentacije in orodja ter postopki CNC-obdelave, ki vplivajo na kočno natančnost izdelka. Nadalje je podrobneje predstavljeno modeliranje stroja v programu SolidWorks, z opisanimi funkcijami, ki so se uporabljale. Opisana je tudi žična erozija, kjer bosta predstavljena delovanje in postopek izdelave. Opisana je tudi priprava dokumentacije oziroma sestavne risbe.

Diplomsko delo prinaša rešitve za izboljšanje merilnih postopkov v industriji plastičnih izdelkov in poudarja pomen avtomatizacije pri nadzoru kakovosti.

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dd
DK	621.7(043.2)
KG	CNC-obdelava, 3D-modeliranje v SolidWorks, vpenjalni sistemi, tehniška dokumentacija
AV	VIDEČNIK, Aleks
SA	PERNAT, Leon (mentor)
KZ	SI-2000 Maribor, Zolajeva 12
ZA	Tehniški šolski center Maribor, Višja strokovna šola
LI	2025
IN	MERILNA NAPRAVA ZA MERJENJE PLASTIČNEGA ODLITKA
TD	Diplomsko delo (višješolski strokovni študij)
OP	XI, 30 str., 4 tab., 16 sl., 4 pril., 6 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	<i>V diplomskem delu sta predstavljena načrtovanje in izdelava merilne naprave za merjenje plastičnega odlitka. Predstavljene so ključni koraki pri oblikovanju in izdelavi orodij ter komponent na CNC-strojih, vključno z modeliranjem v SolidWorks, generiranjem NC-kod in izvajanjem natančne obdelave. Delo poudarja pomen dokumentacije pri razvoju in izvedbi projektov, vključno z risbami, tehničnimi specifikacijami in kontrolnimi postopki, ki zagotavljajo kakovost izdelkov. Na koncu sledi objektivna ocena merilne naprave za dobro delovanje.</i>

KEY WORDS DOCUMENTATION

- DN Dd
- DC 621.7(043.2)
- CX CNC machining, 3D modeling in SolidWorks, clamping systems, technical documentation
- AU VIDEČNIK, Aleks
- AA PERNAT, Leon (mentor)
- PP SI-2000 Maribor, Zolajeva 12
- PB Technical School Centre Maribor, Higher Vocational College
- PY 2025
- TI MEASURING DEVICE FOR MEASURING PLASTIC CASTING
- DT Graduation Thesis (Higher Vocational Studies)
- NO XI, 30 p., 4 tab., 16 fig., 4 ann., 6 ref.
- LA sl
- AL sl/en
- AB *The thesis presents the design and manufacture of a measuring device for plastic casting measuring. The key steps in the design and manufacture of tools and components on CNC machines are presented, including modeling in SolidWorks, generation of NC codes, and performing precision machining. The work emphasizes the importance of documentation in the development and implementation of projects, including drawings, technical specifications, and control procedures that ensure product quality. Finally, an objective evaluation of the measuring device was conducted to verify its performance and reliability.*

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.....	X
KAZALO TABEL.....	XI
1 UVOD.....	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA.....	1
1.2 NAMEN IN CILJI DIPLOMSKEGA DELA.....	2
2 PREGLED STANJA.....	3
2.1 PREDSTAVITEV PODJETJA ORODJARSTVO MIHAEL GAŠPERIČ, S. P.....	3
2.2 ŽIČNA EROZIJA.....	4
2.3 CNC-STROJI.....	6
2.3.1 Mehanski del stroja.....	6
2.3.2 Krmilni del CNC-stroja.....	7
2.4 CNC-STROJ HAAS VF-2SS.....	8
2.5 CNC-STROJ HAAS VM2.....	9
2.6 PROGRAM SOLIDWORKS (CAD).....	11
2.6.1 Program SOLIDCAM.....	11
2.7 PROGRAM QAPT.....	11
2.8 PROGRAMIRANJE CNC-STROJEV.....	12
2.8.1 Koordinatni sistemi.....	12
2.8.2 Koordinatna izhodišča.....	13
2.8.3 Programske funkcije.....	14
2.9 VPENJALNI SISTEMI.....	14
3 IZDELAVA MERILNE NEPRAVE ZA MERJENJE PLASTIČNEGA ODLITKA.....	16
3.1 VPENJALNI SISTEMI, KI JIH UPORABLJA PODJETJE.....	16
3.2 TEHNOLOŠKA DOKUMENTACIJA.....	16
3.2.1 Izbira materiala.....	16
3.2.2 Osnovna plošča.....	16
3.2.2.1 Opis izdelka (osnovna plošča).....	16
3.2.2.2 Postopki same izdelave izdelka (osnovna plošča).....	17
3.2.3 Vtikač – kontrola.....	20

3.2.3.1	Opis izdelka (vtikač – kontrola).....	20
3.2.3.2	Postopek izdelave (vtikač – kontrola).....	20
3.2.3.3	Postopek poteka iz programa SolidWorks na program QAPT na žično erozijo	20
3.2.4	Etalon	24
3.2.4.1	Opis izdelka (etalon).....	24
3.3	ANALIZA STROŠKOV	27
3.3	PREDSTAVITEV KONČNEGA IZDELKA	28
4	ZAKLJUČEK.....	29
5	VIRI	30

KAZALO SLIK

Slika 1: Podjetje orodjarstvo Mihael Gašperič, s. p.	4
Slika 2: CNC-žična erozija.....	5
Slika 3: Mehanski del CNC-stroja.....	7
Slika 4: CNC-stroj (HAAS VF-2SS).....	9
Slika 5: CNC-stroj (HAAS VM-2).....	10
Slika 6: Ravninski koordinatni sistem.....	12
Slika 7: Koordinatna izhodišča.....	13
Slika 8: Primer vpenjalnega sistema.....	15
Slika 9: Prikaz osnovne plošče v 3D-obliki v programu SolidWorks (sprednja stran)	17
Slika 10: Prikaz osnovne plošče v 3D-obliki v programu SolidWorks (zadnja stran)	18
Slika 11: Prikaz vtikač – kontrola v 3D-obliki v programu SolidWorks (sprednja stran).....	21
Slika 12: Prikaz vtikač – kontrola v 3D-obliki v programu SolidWorks (zadnja stran).....	22
Slika 13: Prikaz programa na žični eroziji	22
Slika 14: Prikaz etalona v 3D-obliki v programu SolidWorks (sprednja stran)	25
Slika 15: Prikaz etalona v 3D-obliki v programu SolidWorks (zadnja stran)	25
Slika 16: Prikaz programa na žični eroziji	26

KAZALO TABEL

Tabela 1: Hodi stroja (HAAS VF-2SS)	8
Tabela 2: Osnovni podatki stroja (HAAS VF-2SS).....	8
Tabela 3: Hodi stroja (HAAS VM-2)	9
Tabela 4: Osnovni podatki stroja (HAAS VM-2).....	9

KAZALO PRILOG

- PRILOGA A: Osnovna plošča
- PRILOGA B: Vtikač – kontrola
- PRILOGA C: Etalon
- PRILOGA D: Tabela toleranc

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

V sodobni industrijski proizvodnji se vse več podjetij sooča z izzivom zagotavljanja natančnosti in kakovosti izdelkov, še posebej pri proizvodnji plastičnih odlitkov, ki se uporabljajo v različnih panogah, kot so avtomobilska, medicinska, embalažna in elektronika. Proces brizganja plastike omogoča izdelavo kompleksnih oblik, vendar se lahko med proizvodnjo pojavijo odstopanja, ki vplivajo na funkcionalnost končnega izdelka. Zato je ključnega pomena vzpostaviti natančen in zanesljiv sistem merjenja, ki omogoča zgodnje odkrivanje napak in zagotavlja skladnost izdelkov s tehničnimi specifikacijami.

Plastični odlitek je izdelek, ki nastane s postopkom brizganja ali litja plastike v kalup. Med procesom ohlajanja in strjevanja plastike lahko pride do različnih deformacij, kot so skrčki, ukrivljenost, neenakomerna debelina sten, površinske nepravilnosti in dimenzijska odstopanja. Da bi zagotovili kakovost izdelka in preprečili morebitne težave pri nadaljnji montaži ali uporabi, je potrebno natančno merjenje ključnih dimenzij in toleranc. Tradicionalne metode merjenja, kot so ročne merilne naprave (kljunasto merilo, mikrometri in merilne ure), pogosto ne omogočajo dovolj hitrega, ponovljivega in avtomatiziranega preverjanja dimenzij, še posebej pri serijski proizvodnji.

Sodobna industrija se zato vse bolj usmerja v avtomatizirane merilne naprave, ki omogočajo hitro, natančno in objektivno merjenje plastičnih odlitkov. Namen tega diplomskega dela je razviti merilno napravo, ki bo omogočala avtomatizirano merjenje dimenzij plastičnih odlitkov z visoko stopnjo ponovljivosti in minimalnim vplivom operaterja. S tem bi se zmanjšala možnost napak pri merjenju, povečala hitrost kontrole kakovosti in izboljšala splošna učinkovitost proizvodnega procesa.

Eden izmed ključnih izzivov pri razvoju takšne naprave je izbira ustrezne merilne metode. Možne rešitve vključujejo uporabo klasičnih kontaktnih merilnih naprav, kot so koordinatni merilni stroji (Coordinate Measuring Machines – CMM), ali nekontaktnih optičnih sistemov, kot so laserski skenerji, 3D-merilni sistemi in »vision« sistemi. Vsaka izmed teh metod ima svoje prednosti in slabosti, zato je treba skrbno analizirati zahteve glede natančnosti, hitrosti merjenja, vrste merjenih dimenzij in stroškov investicije.

Za temo CNC-programiranja, predstavljeno v diplomskem delu, sem se odločil, ker gre za eno izmed ključnih področij v sodobni industrijski proizvodnji, kjer se vse bolj uveljavljata avtomatizacija in digitalizacija procesov. Ena izmed glavnih razlogov za izbiro te teme sta moje zanimanje za računalniško podprto proizvodnjo in moja želja po boljšem razumevanju le-te.

1.2 NAMEN IN CILJI DIPLOMSKEGA DELA

Namen diplomskega dela je razviti in preizkusiti prototip merilne naprave, ki bo avtomatizirala postopek merjenje plastičnih odlitkov. Z izboljšanjem natančnosti, ponovljivosti in hitrosti meritev si delo prizadeva zmanjšati človeške napake in povečati učinkovitost proizvodnje. Končni cilj je zagotoviti merilno rešitev, ki bo tehnološko napredna in primerna za implementacijo v industrijsko okolje, s čimer bo prispevala k višji kakovosti izdelkov in boljši kontroli proizvodnih procesov.

Cilji diplomskega dela:

- spoznati delovanje različnih CNC-strojov (CNC-rezkalnik),
- spoznati delovanje žične erozije in uporabljanje G-kod pri določenem gibanju stroja,
- predstavitev programa: SolidWorks (CAD),
- ugotoviti, kateri vpenjalni sistemi se uporabljajo.

2 PREGLED STANJA

Računalniški numerično krmiljeni (CNC) stroji so ključni element sodobne proizvodnje, saj omogočajo avtomatizacijo in visoko natančnost pri obdelavi materialov. CNC-obdelava oziroma računalniško numerično vodenje obdelav kovin pa je postopek, ki se ga preišljeno uporablja že več kot 50 let. Razvoj CNC-strojev sega v sredino 20. stoletja, ko so se prvi numerično krmiljeni stroji pojavili kot nadgradnja klasičnih obdelovalnih strojev. Uporabljajo se predvsem v avtomobilski, obrambni, vesoljski in medicinski industriji (ETCN Machining, 2024)

Pri podjetjih je zelo pomembno, da znajo izbrati obdelovalni stroj, ki bo ustrezal njihovim zahtevam. Najpomembneje je, katero vrsto obdelave in materialov bo izbralo podjetje, na primer, kakšne vrste materialov bo podjetje obdelovalo (kovina, plastika, les, kompoziti), kakšen tip obdelave je potreben (rezkanje, struženje, brušenje, lasersko rezanje itd.), kakšna je potrebna natančnost in kakšne so tolerance pri obdelavi. Pomembno je tudi, da pomislimo na to, kakšne serije bomo izdelovali in kakšne velikosti bodo obdelovanci, pa tudi na predvidene hitrosti, podajalne hitrosti, število orodij in še mnogo drugih funkcij. Pri takšnih odločitvah se je priporočljivo posvetovati s strokovnjaki z znanjem, ki razumejo okoliščine in imajo dovolj izkušenj.

Pri določanju pravilnega numerično krmiljenega (NC) programa za posamezen stroj v podjetju je treba upoštevati več ključnih dejavnikov. Najpomembnejša pri NC-programiranju je združljivost s CNC-strojem – to pomeni, da moramo izbrati pravilen tip krmilnika za ustrezen NC-program, ki ustreza CNC-krmilniku (npr. Fanuc, Siemens, Heidenhain, Okuma, Haas itd.). Pomembno je tudi, katere G- in M-kode mora vsak CNC-krmilnik uporabljati za nekoliko različne formate G-kode, zato mora biti NC-program prilagojen določenemu stroju.

2.1 PREDSTAVITEV PODJETJA ORODJARSTVO MIHAEL GAŠPERIČ, S. P.

Podjetje Orodjarstvo Mihael Gašperič, s. p., je specializirano za izdelavo, popravilo in vzdrževanje orodij za plastično industrijo. Z dolgoletnimi izkušnjami in nenehnim vlaganjem v razvoj ter sodobno tehnologijo zagotavljajo visokokakovostne rešitve za različne industrijske panoge.

Njihove storitve so:

- izdelava orodij: načrtujejo, oblikujejo in izdelujejo visoko natančna orodja po meri naročnikov,
- vzdrževanja in popravila: nudijo storitve vzdrževanja in popravil obstoječih orodij za podaljšanje njihove življenjske dobe,
- CNC-obdelava: uporabljajo sodobne CNC-stroje za natančno obdelavo različnih materialov.

Slika 1: Podjetje Orodjarstvo Mihael Gašperič, s. p.



Vir: (Orodjarstvo Mihael Gašperič, s. p., 2023)

2.2 ŽIČNA EROZIJA

Žična erozija (Electrical Discharge Machining – EDM, Wire EDM) je postopek obdelave s pomočjo električne razelektritve, ki omogoča izjemno natančno rezanje prevodnih materialov, kot so jeklo, aluminij, baker, titan in karbidne zlitine. Ta tehnologija se pogosto uporablja v orodjarstvu, letalski in medicinski industriji, saj omogoča izdelavo kompleksnih oblik, ki jih s klasičnimi postopki ni mogoče doseči (Vine-doo.)

Proces deluje tako, da pri obdelavi z žično erozijo žica potuje med dvema vodiloma, med katerima je vstavljen obdelovanec, katerega višina lahko sega vse tja do 500 mm. Ta postopek je nepogrešljiv v vsaki orodjarni, saj CNC-stroje za žično erozijo odlikuje stabilna konstrukcija s fiksno mizo in pomičnim stebrom, kar jim zagotavlja stabilno dinamiko ob različnih obremenitvah delovne mize. Žične erozije so standardno opremljene z merilnimi letvami, linearnimi motorji, zanesljivim avtomatskim napeljevanjem žice in hladilnim sistemom ter uporabniku prijaznim krmilnikom na platformi Windows.

Stroj za žično erozijo sestavljajo različne komponente, ki omogočajo natančno izvedbo postopka. Vir električne energije ustvarja impulze, ki generirajo iskre, elektroda v obliki tanke žice pa vodi te impulze skozi material. Dielektrična tekočina, običajno deionizirana voda, služi za hlajenje, izolacijo in odstranjevanje odpadnega materiala. Celoten proces nadzoruje NC-krmilnik, ki omogoča programiranje poti žice in avtomatizacijo obdelave. Sistem vodenja žice skrbi za pravilno napetost in premikanje žice, kar zagotavlja konstantno natančnost obdelave (Vine-doo.)

Prednosti žične erozije:

- izjemna natančnost in ponovljivost,
- minimalna toplotna obremenitev (brez deformacij ali napetosti v materialu),
- ni mehanske obrabe orodja (žica se konstanto odvija in obnavlja),
- zmožnosti rezanja izredno trdih in žilavih materialov,
- možnost izdelave kompleksnih oblik (npr. zobniki, notranji koti, tankostenske strukture).

Slabosti žične erozije:

- počasen proces obdelave – ni primeren za množično proizvodnjo velikih delov,
- primerno le za električno prevodne materiale – lesa, plastike ali keramike ni mogoče obdelovati,
- visoki obratovalni stroški – potrebni sta menjava žice in uporaba dielektrične tekočine,
- potrebna dobra filtracija dielektrične tekočine, da se odstrani odpadni material.

Na splošno je žična erozija ključna tehnologija v sodobni proizvodnji, saj omogoča izjemno natančno obdelavo materialov, ki jih s klasičnimi metodami ni mogoče učinkovito rezati. Čeprav ima nekatere omejitve, njene prednosti, kot so natančnost, zmožnost obdelave trdih materialov in izdelava kompleksnih oblik, močno presegajo slabosti, zaradi česar je nepogrešljiva v številnih industrijskih panogah.

Slika 2: CNC-žična erozija



2.3 CNC-STROJI

CNC-stroji so sodobni obdelovalni stroji, ki uporabljajo računalniško vodeno krmiljenje za natančno in avtomatizirano proizvodnjo. Omogočajo obdelavo različnih materialov, kot so kovine, plastika, les in kompoziti, pri čemer zagotavljajo visoko ponovljivost, natančnost in učinkovitost. Vsak CNC-stroj je sestavljen iz dveh glavnih sklopov: mehanskega dela in krmilnega sistema, ki skupaj omogočata avtomatizirano delovanje.

2.3.1 Mehanski del stroja

Mehanski del CNC-stroja vključuje vse fizične komponente, ki omogočajo gibanje in obdelavo materiala. Njegova zasnova se razlikuje glede na vrsto obdelovalnega postopka (npr. rezkanje, struženje, lasersko rezanje).

Osnovna konstrukcija in ogrodje CNC-stroja sta običajno izdelana iz litega železa, jekla ali aluminija, kar zagotavlja stabilnost in zmanjša vibracije med obdelavo. Trdna in masivna konstrukcija je ključna za visoko natančnost obdelave, saj minimizira deformacije zaradi obremenitev.

Mehanski del CNC-stroja ima številne prednosti, ki omogočajo natančno, učinkovito in zanesljivo obdelavo materialov. Ključne prednosti tega stroja so:

- visoka natančnost in ponovljivost,
- stabilnost in togost konstrukcije,
- avtomatizirano gibanje osi,
- manjša obraba orodja,
- možnost obdelave kompleksnih oblik,
- hitrost in učinkovitost proizvodnje,
- fleksibilnost pri uporabi različnih materialov,
- dolgoročna zanesljivost.

Zaradi vseh teh prednosti mehanski del CNC-stroja predstavlja temelj za natančno, ponovljivo in zanesljivo proizvodnjo, kar omogoča optimizacijo procesov in povečuje konkurenčnost podjetja v industrijskem sektorju.

Slika 3: Mehanski del CNC-stroja



Vir: (si.izzi.digital, 2023)

2.3.2 Krmilni del CNC-stroja

Krmilni sistem je tisti, ki omogoča avtomatizirano delovanje CNC-stroja. Gre za elektronski in programski sklop, ki sprejema podatke iz CNC-programa in jih pretvarja v gibanje stroja. Gre za elektronski in programski sistem, ki upravlja gibanje vseh mehanskih komponent stroja ter skrbi za natančnost, ponovljivost in optimizacijo obdelovalnega postopka. Ključni del tega sistema je CNC-krmilnik, ki interpretira programske ukaze (G- in M-kodo) in jih pretvarja v dejanske premike osi, vrtenje vretena, menjavo orodij ter druge potrebne operacije.

Sodobni CNC-krmilni sistemi so pogosto povezani tudi s programsko opremo CAD/CAM, kar omogoča neposreden prenos digitalnih modelov v obdelovalne programe. Na ta način se izboljšuje učinkovitost programiranja in zmanjša možnost napak pri kodiranju. Naprednejši sistemi vključujejo tudi funkcije, kot so simulacija obdelave, avtomatska optimizacija poti orodja in integracija z avtomatiziranimi merilnimi sistemi za nadzor kakovosti.

Krmilni del CNC-stroja vključuje vhodno in izhodno enoto, ki omogočata komunikacijo med operaterjem, programsko opremo, senzorji in aktuatorji stroja. Te enote igrajo ključno vlogo pri prenosu podatkov in ukazov, ki omogočajo natančno in avtomatizirano delovanje stroja.

Glavne komponente vhodne enote so:

- uporabniški vmesnik,
- branje CNC-programa,
- senzorji in merilni sistemi,

- tipala in stikala.

Glavne komponente izhodne enote so:

- pogonski sistemi (servo ali koračni motorji),
- vreteno in nadzor hitrosti,
- menjalnik orodij,
- hladilni in mazalni sistemi,
- prikazovalnik in alarmni sistemi.

Vhodna in izhodna enota skupaj omogočata delovanje CNC-stroja. Vhodna enota zajema vse podatke in ukaze, potrebne za pravilno izvedbo obdelave, medtem ko izhodna enota izvaja dejanske premike in operacije.

2.4 CNC-STROJ HAAS VF-2SS

Tudi sam sem opravljal svoje diplomsko delo na CNC-obdelovalnih strojih HAAS VF-2SS in na HAAS VM2. V nadaljevanju bom prikazal v tabelah 1, 2, 3 in 4 nekaj najpomembnejših funkcij glede teh dveh strojev in hodi stroja ter na koncu opisal, kaj vse sem se naučil na teh dveh CNC-obdelovalnih strojih.

Tabela 1: Hodi stroja (HAAS VF-2SS)

X – os (vodoravni pomik levo/desno)	762 mm
Y – os (pomik naprej/nazaj)	406 mm
Z – os (navpični pomik gor/dol)	508 mm

Tabela 2: Osnovni podatki stroja (HAAS VF-2SS)

Tip stroja	vertikalni obdelovalni center
Velikost mize	914 mm x 356 mm
Nosilnost mize	680 kg
Vreteno	12.000 o/min, direktni pogon
Moč vretena	22,4 kW 30 (KM)
Hitri pomiki	35,6 m/min (X/Y/Z)
Podajalna hitrost	25,4 m/min
Menjalnik orodij	30 + 1-režni avtomatski menjalnik orodij
Maksimalna velikost orodja	Ø 127 mm (masa 5,4 kg)
Krmilni sistem	HAAS CNC-krmilnik
Hlajenje	sistem za dovod hladilne tekočine
Napajanje	3-fazno, 360–480 V, 70 A
Masa stroja	približno 3.600 kg

Slika 4: CNC-stroj (HAAS VF-2SS)



Obdelovalni frezalni stroj HAAS VF-2SS je predvsem namenjen visokohitrostni obdelavi kovin in drugih materialov, kot so aluminij, jeklo, nerjaveče jeklo in titan.

2.5 CNC-STROJ HAAS VM2

Tabela 3: Hodi stroja (HAAS VM-2)

X-os (vodoravni pomik levo/desno)	864 mm
Y-os (pomik naprej/nazaj)	508 mm
Z-os (navpični pomik gor/dol)	508 mm

Tabela 4: Osnovni podatki stroja (HAAS VM-2)

Tip stroja	vertikalni obdelovalni center (VMC)
Velikost mize	1.067 mm × 457 mm
Nosilnost mize	1.134 kg
Vreteno	12.000 o/min, direktni pogon
Moč vretena	22,4 kW (30 KM)
Hitri pomiki	25,4 m/min (X/Y/Z)
Podajalna hitrost	12,7 m/min

Menjalnik orodij	30 + 1-režni avtomatski menjalnik orodij
Maksimalna velikost orodja	Ø 127 mm (masa 5,4 kg)
Krmilni sistem	HAAS CNC-krmilnik
Hlajenje	sistem za dovod hladilne tekočine
Napajanje	3-fazno, 360–480 V, 70 A
Masa stroja	približno 4.490 kg

Slika 5: CNC-stroj (HAAS VM-2)



Obdelovalni frezalni stroj HAAS VM-2 je predvsem namenjen za natančno obdelavo in izdelavo kalupov modelov in orodij.

Pri delu s CNC-strojema HAAS VM-2 in HAAS VF-2SS sem se naučil osnovnega upravljanja CNC-strojev. Spoznal sem, kako pravilno vključiti in poiskati referenčno točko na stroju. Naučil sem se brati G-kodo in razumeti osnovne ukaze pri CNC-programiranju. Uporabljal sem krmilno enoto HAAS za vnos programov in ročno premikanje osi. Naučil sem se pravilno vpenjati orodja in obdelovance ter vnašal korekcije orodij. Spremljal sem potek obdelave in po potrebi ustavljal stroj. Spoznal sem tudi osnovno vzdrževanje stroja, kot sta čiščenje in mazanje. Oba stroja pa sta namenjena predvsem natančni obdelavi kovin in drugih materialov z vrtečim orodjem.

2.6 PROGRAMSKA OPREMA SOLIDWORKS (CAD)

SolidWorks je eden izmed najbolj priljubljenih programov CAD (Computer-Aided Design), ki se uporablja za 3D-modeliranje in tehnično risanje v različnih inženirskih panogah. Razvil ga je Dassault Systèmes ter je namenjen predvsem strojništvu, industrijskemu oblikovanju in razvoju izdelkov. Omogoča parametrično modeliranje, kar pomeni, da lahko uporabnik spreminja dimenzije in lastnosti modela ter jih sistem avtomatsko prilagodi glede na določene odnose in omejitve (LGM FRI.)

Program vključuje širok nabor orodij za ustvarjanje 3D-delov, sestavov in 2D-tehniških risb, ki so bistvene za proizvodnjo in dokumentacijo izdelkov. Poleg tega ponuja napredne simulacijske funkcije, kot so analiza napetosti (FEA), termične analize in pretoki tekočin (CFD), kar omogoča testiranje modelov še pred fizično izdelavo. S pomočjo modula Sheet Metal se lahko oblikujejo pločevinasti izdelki, modul Weldments pa omogoča modeliranje varjenih konstrukcij.

SolidWorks je tesno povezan z industrijo CAM (Computer-Aided Manufacturing) in 3D-tiskanjem, saj omogoča pripravo modelov za CNC-obdelavo in generiranje G-kode. Program je intuitiven ter podpira različne dodatke in integracije, ki izboljšajo njegovo funkcionalnost, na primer PDM (Product Data Management) za upravljanje podatkov in SOLIDWORKS Electrical za načrtovanje električnih sistemov. Zaradi svoje enostavne uporabe in zmogljivosti je SOLIDWORKS priljubljena izbira tako za študente kot za profesionalne inženirje in oblikovalce.

2.6.1 Programska oprema SolidCAM

SolidCAM je CAM (Computer-Aided Manufacturing) programska oprema, ki se uporablja za pripravo obdelave izdelkov na CNC-strojih. Deluje kot razširitev znotraj programa SolidWorks, kar omogoča neposredno povezavo med 3D-modelom in obdelovalnim postopkom.

V SolidCAM lahko uporabnik določi postopke obdelave, kot so rezkanje, vrtanje, struženje in večosna obdelava. Na podlagi geometrije izdelka program generira poti orodij, ki se nato pretvorijo v G-kodo – program, ki ga razume CNC-stroj.

2.7 PROGRAM QAPT

Žična erozija (Wire Electrical Discharge Machining – EDM) je postopek, pri katerem se material odstranjuje z električnimi razelektritvami med tanko žico in obdelovancem. Uporablja se za natančno rezanje trdih kovin in zapletenih oblik, kjer mehanska orodja ne pridejo v poštev. Postopek je zelo natančen, z možnostjo izdelave kompleksnih kontur z zelo majhnimi tolerancami. Za pripravo obdelave sem uporabil program QAPT 2011, ki je namenjen generiranju poti za žično erozijo. Program omogoča uvoz 2D- ali 3D-geometrije, določitev poti žice, vnose tehnoloških parametrov (npr. hitrosti, razmikov, vrst obdelave) in generiranje CNC-programa. Z uporabo QAPT 2011 sem pripravil natančen rezalni program, s katerim sem lahko izvedel obdelavo brez mehanskega kontakta. Program omogoča tudi simulacijo, kar zmanjšuje možnost napak in poškodb obdelovanca.

2.8 PROGRAMIRANJE CNC-STROJEV

2.8.1 Koordinatni sistemi

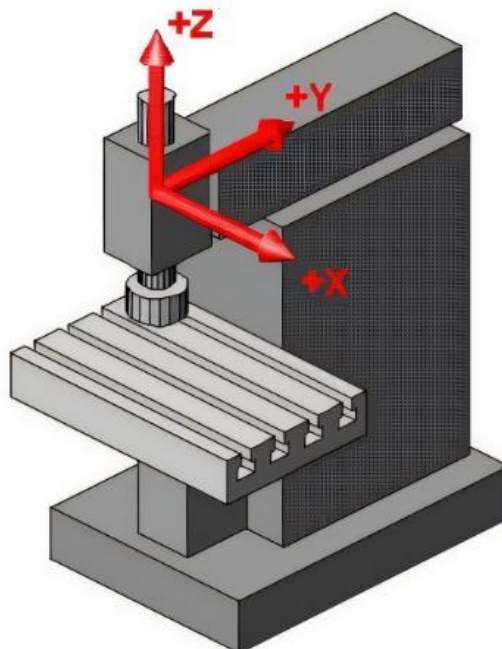
Koordinatni sistemi predstavljajo temelj za pravilno programiranje in delovanje CNC-strojov, saj omogočajo natančno določanje položaja orodja glede na obdelovanec. CNC-stroj lahko deluje le, če natančno ve, kje se nahaja in kam se mora premakniti, zato so koordinatni sistemi nujen del programiranja CNC-stroja. V osnovi poznamo dve vrsti pozicioniranja – absolutno in relativno. Pri absolutnem načinu (ukaz G90) so vse točke podane glede na izhodiščno ničelno točko, medtem ko se pri relativnem načinu (ukaz G91) vsak premik nanaša na trenutno pozicijo orodja.

Na rezkalnem stroju uporabljamo prostorski (kartezijski) koordinatni sistem. Orodje se premika v teh smereh, da doseže različne točke na obdelovancu, ki je običajno fiksiran na mizi stroja. Operater ali programer določi izhodiščno točko (ničelno točko), od katere se vse dimenzije merijo – to je lahko rob, središče ali katera koli druga referenčna točka na obdelovancu.

Ta sistem temelji na treh osnovnih oseh:

- X-os predstavlja gibanje levo in desno,
- Y-os predstavlja gibanje naprej in nazaj,
- Z-os označuje gibanje gor in dol, torej smer spuščanja ali dvigovanja orodja.

Slika 6: Ravninski koordinatni sistem



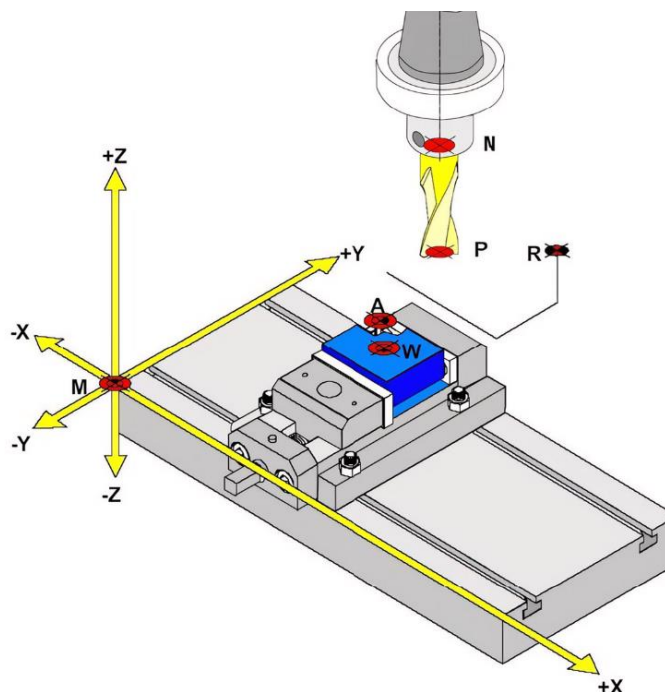
Vir: (IZZI, 2023)

2.8.2 Koordinatna izhodišča

Na CNC-strojih je hkrati več koordinatnih sistemov, ki omogočajo določanje lege orodja in obdelovanca ter poenostavijo programiranje. Ta izhodišča koordinatnih sistemov označujemo s standardiziranimi znaki in črkami ter so pomembna za nastavitve orodja in obdelovanca. Označujemo jih z znaki, ki so standardizirani s črkami:

- M – strojna ničelna točka: predstavlja središče koordinatnega sistema stroja. To točko določi proizvajalec stroja in uporabnik nanjo ne more vplivati. Na stružnicah leži večinoma na osi vretena, na naslonski ploskvi vpenjalne glave, pri frezalnem stroju pa je običajno na vogalu delovne mize;
- R – referenčna točka: je točka, kjer se sinhronizirata stroj in krmilnik. Po vključitvi stroja in pri določenih alarmih je treba postaviti orodje v referenčno točko;
- W – ničelna točka na obdelovancu: je izhodišče koordinatnega sistema na obdelovancu. V programu jo lahko poljubno premikamo. Iz varnostnih razlogov je določena tako, da se pri premikanju v pozitivnih smereh osi orodje oddaljuje od obdelovanca;
- N – točka pritrditve orodja: je začetna točka za merjenje pozicije orodja. Določena je v tovarni;
- T – ničelna točka na držalu orodja;
- A – začetna (skrajna) točka ali točka prislona obdelovanca;
- P – ničelna točka na orodju. (si.izzi.digital)

Slika 7: Koordinatna izhodišča



Vir: (IZZI, 2023)

2.8.3 Programske funkcije

Tukaj je nekaj osnovnih programskih funkcij oziroma G-kod, ki sem jih potreboval pri svojem končnem izdelku:

- G0 – hitri pomik,
- G1 – linearni pomik z določeno hitrostjo,
- G2 – krožni pomik v smeri urnega kazalca,
- G3 – krožni pomik v nasprotni smeri urnega kazalca,
- G4 – časovni zamik,
- G41 – kompenzacija orodja – levo,
- G42 – kompenzacija orodja – desno,
- G54 – premik ničelne točke,
- G90 – absolutno programiranje,
- G94 – hitrost podajanja mm/min,
- G95 – hitrost podajanja v mm/obrat.

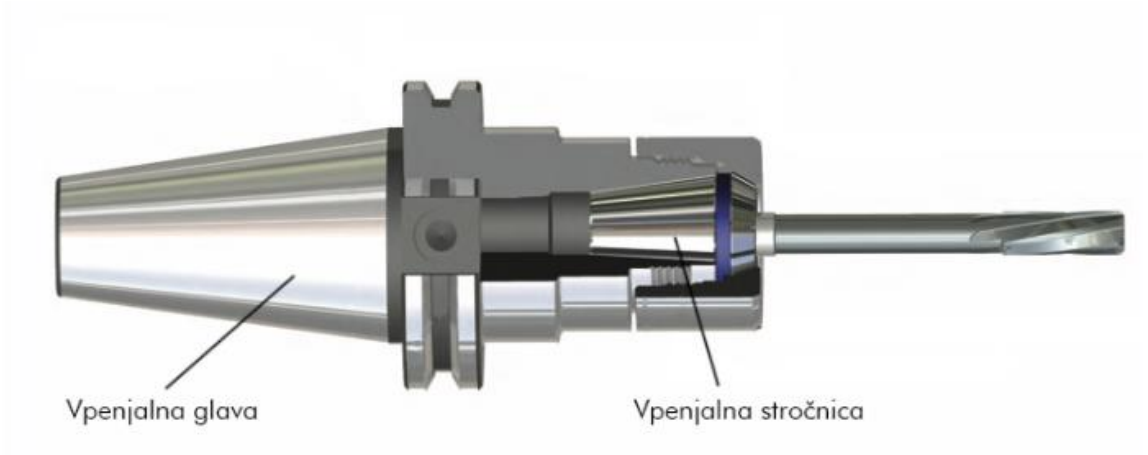
2.9 VPENJALNI SISTEMI

Vpenjalni stroji oziroma vpenjalni sistemi so naprave, ki se uporabljajo za trdno pritrditev obdelovanca med postopkom obdelave. Njihov glavni namen zagotoviti stabilnost, natančnost in varnost med mehanskimi procesi, kot so rezkanje, vrtanje ali brušenje. Obstaja več vrst vpenjalnih sistemov, med njimi ročni, hidravlični, pnevmatski, vakuumski in elektromagnetni.

Ročni sistemi, kot so primeži, se pogosto uporabljajo pri enostavnih in manjših opravilih, medtem ko se hidravlični in pnevmatski vpenjalni sistemi uporabljajo v serijski proizvodnji zaradi hitrosti in avtomatizacije. Vakuumski in elektromagnetni sistemi so primerni za vpenjanje posebnih materialov, kot so ploščati ali feromagnetni kosi. Modularni sistemi omogočajo prilagodljivo sestavljanje vpenjalne opreme glede na obdelovanec.

Dobro vpenjanje poveča kakovost izdelka, zmanjša vibracije ter omogoča hitrejšo in varnejšo proizvodnjo. V industriji so ključni del avtomatizacije, še posebej v avtomobilski, letalski in orodjarski proizvodnji.

Slika 8: Primer vpenjalnega sistema



Vir: (Almo trgovina in storitve, 2007)

3 IZDELAVA MERILNE NEPRAVE ZA MERJENJE PLASTIČNEGA ODLITKA

V osrednjem delu bom predstavil potek in izdelavo merilne naprave za merjenje plastičnega odlitka. Opisal bom celoten postopek obdelave, saj je vsak korak pomemben za končni rezultat in je neposredno tudi odvisen od prejšnjega koraka.

3.1 VPENJALNI SISTEMI V UPORABI

Podjetje Mihael Gašperič, s. p., uporablja hidravlični vpenjalni sistemi. Hidravlični vpenjalni sistemi delujejo s pomočjo pritiska, kjer tekočina pod pritiskom potisne bate v cilindrih. Ti bati premaknejo vpenjalne elemente, ki izdelek močno in natančno stisnejo. Sistem omogoča hitro in zanesljivo vpenjanje, kar je zelo uporabno v serijski proizvodnji zaradi ponovljivega in enakomernega pritiska, kar izboljša natančnost obdelave in meritev.

3.2 TEHNOLOŠKA DOKUMENTACIJA

3.2.1 Izbira materiala

Za izdelavo obdelovanca je bilo izbrano nerjavno orodno jeklo, že poboljšano po oznaki W-Nr. 1.2083. To jeklo spada med kromova orodna jekla, ki so odporna proti koroziji in imajo dobro trdoto po toplotni obdelavi.

Lastnosti izbranega materiala so:

- dobra odpornost proti koroziji,
- primerna obrabna odpornost,
- možnost kaljenja,
- dobra polirnost,
- relativno težja obdelava.

Material W-Nr. 1.2083 smo izbrali zato, ker ima dobre korozijske odpornosti, mehanske trdnosti in obdelovalnosti. Primeren je za natančne kovinske dele, kjer so prisotne zahteve po visoki kakovosti površine, dolgi življenjski dobri in uporabi proti rjavenju.

3.2.2 Osnovna plošča

3.2.2.1 Opis izdelka (osnovna plošča)

Za obdelavo je bil uporabljen surovec osnovne plošče, kupljen pri podjetju Meusburger GmbH, s predpripravljenim dodatkom za obdelavo v višini +5 mm. Obdelovanec je bil najprej vpet na CNC-stroju HAAS VM-2, in sicer s pomočjo elektromagnetne vpenjalne plošče, kar je omogočilo obdelavo z vseh petih strani brez mehanskega oviranja.

Pri prvem vpetju je bilo izvedeno ploskovno rezkanje zgornje površine, s čimer so bile dosežene osnovne mere in ravnost. Nato se je plošča obrnila in ponovno vpela na elektromagnet. V tej fazi je bila izvedena končna obdelava do končnih mer, vključno z vrtnjem lukenj, rezkanjem

3D-oblik in graviranjem napisa.

Po končani mehanski obdelavi se je plošča brusila z obeh strani na končno debelino, z odstopanjem največ $\pm 0,02$ mm. Na koncu je bila plošča izmerjena na merilnem stroju, kjer je bil izdelan merilni protokol, ki potrjuje skladnost z zahtevanimi tolerancami. Plošča je bila tako popolnoma pripravljena za dostavo naročniku oziroma za nadaljnjo uporabo v sestavi.

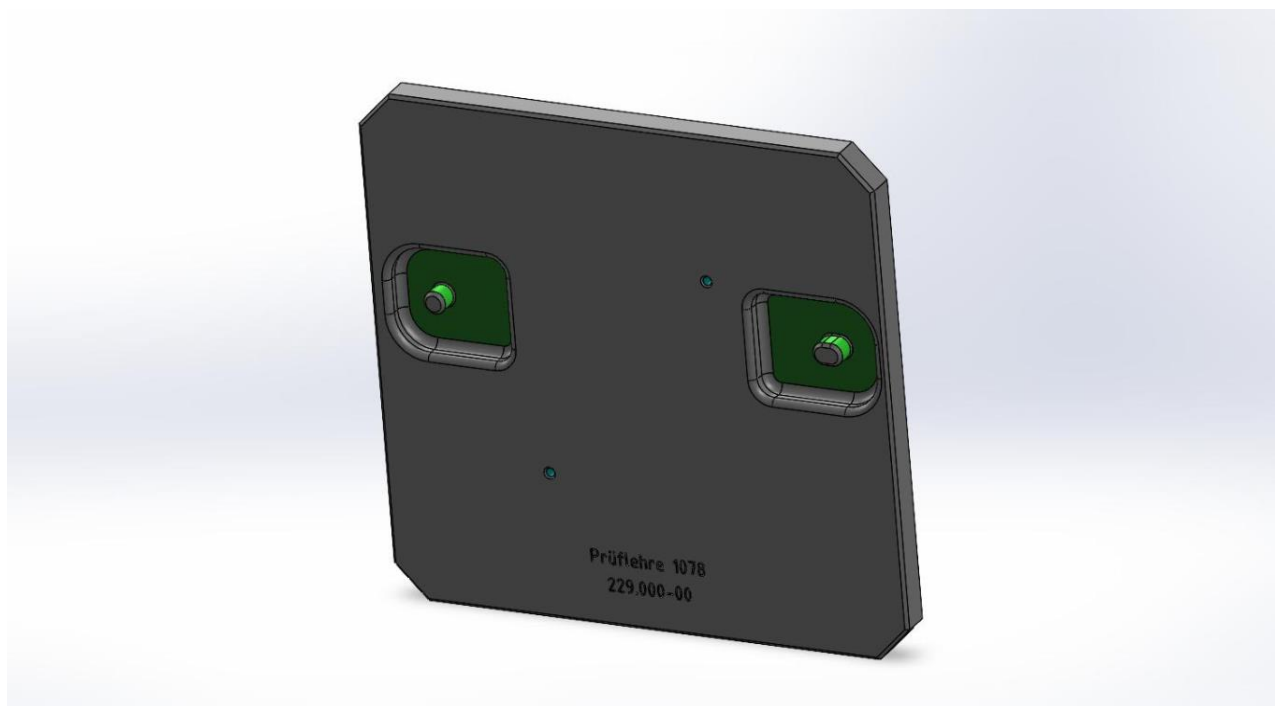
3.2.2.2 Postopki izdelave izdelka (osnovna plošča)

Najprej sem izvedel zunanje obodno rezkanje s končnim rezkarjem premera $\varnothing 12$ mm, kjer sem uporabil helikalni interpolacijski sistem rezkanja, kar omogoča postopno vrezovanje materiala v spiralni poti. Nato je sledilo ploskovno rezkanje zgornje površine, s čimer sem poravnal obdelovanec in ustvaril referenčno ravnino.

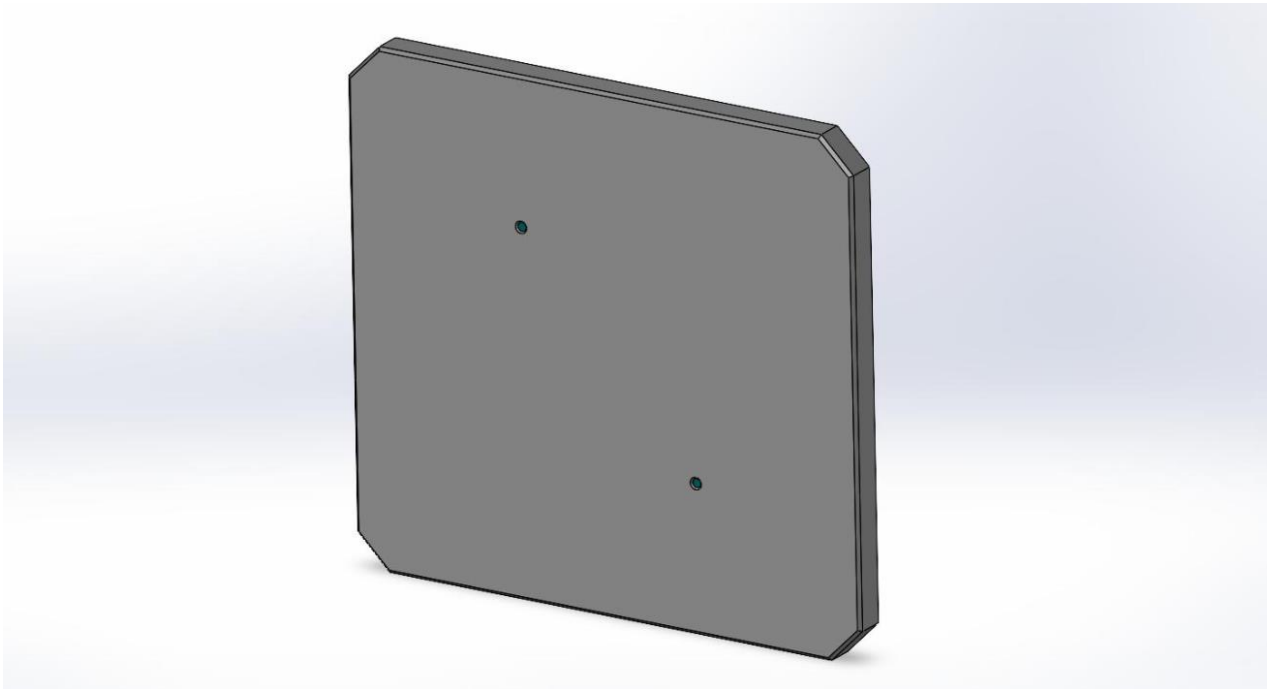
Po osnovni obdelavi sem s posnetjem robov pod kotom 45° odstranil ostre robove za boljšo varnost in estetski videz. V operaciji 4 sem z orodjem T6 in končnim rezkarjem premera $\varnothing 5$ mm obdelal konturno obliko, skladno z zahtevami risbe. Sledilo je vrtanje dveh lukenj s svedrom $\varnothing 2,5$ mm (orodje št. 2), ki sta bili pozicionirani glede na osnovne osi. Za izdelavo dveh čepov premera $\varnothing 66,6$ mm levo in desno sem uporabil oblikovni rezkar T13 z negativnim kotom 1° navzgor, kar omogoča natančno oblikovanje podrezov.

Za izdelavo napisa na površini sem uporabil orodje T5 in tehnologijo žepnega rezkanja, kjer se material postopoma odstranjuje znotraj izbranega območja. Nato sem s faznim orodjem T4 izvedel posnetje pod kotom 45° na oblikovanem delu. Na koncu je sledila fina obdelava z brusilnim strojem, s katero sem dosegli končno mero in površinsko kakovost po specifikacijah.

Slika 9: Prikaz osnovne plošče v 3D-obliki v programu SolidWorks (sprednja stran)



Slika 10: Prikaz osnovne plošče v 3D-obliki v programu SolidWorks (zadnja stran)



Prikaz dela programa (G-kode), ki sem ga potreboval za izdelavo izdelka:
Začetek programa (osnovna plošča) in orodni list

```
01500
(PRUFLEHRE)
(Ime programa:1078_0001_PRUEFLEHRE OP1)
(Datum izdelave - 05 JUN 25)

(Surovec 10x150x160)

(ORODNI LIST)
St. / TIP orodja / St.Orodje / Kor.H / Kor.D)
(1.T12 FI12 → T12 M12 D12 REZKANJE PO OBODU IN PLANO)
(2. FAZA 4 → TA HA DA POSNETJE ROBA ZUNANJI ROB)
(3.T6 FI 5 → T6 H6 D6 REZAKNJE OBLIK, HELIX IN ŽEP)
(4.T2 SVEDER FI 2,5 → T2 H2 D2 VRTANJE LUKENJ)
(5.T13 REZKAR FI 6 NAVZGOR KONUS 1 NEGATIVNO → T13 H13 D13 REZKANJE NEGATIVNEGA
NAGIBA NA CEPIH)
(6.T5 NAPIS REZKAR 0,2 → T5 H5 D5 REZKANJE ČRK - STRATEGIJA ZEP)
(7.FAZA 4 → TA H4 DA POSNETJE ROBOV NA OBLIKAH)
(Cas izdelave : 31 min )
G21
G90 G80 G49 G40

G54
T12 M06 (T12 FI12)
S3800 M3
G90 G0 X89.1 Y69.243
G43 H12 Z40 M08
G0 Z2.
```

G1 Z0.2 F300
G41 D12 X82.736 Y71.364 F1000
G3 X80.1 Y65. R9.
G1 Y-65. Z-0.005
G2 X80.071 Y-65.071 Z-0.012 R0.1
G1 X70.071 Y-75.071 Z-0.035
G2 X70. Y-75.1 Z-0.042 R0.1

Sredina programa (osnovna plošča)

G2 X-9.584 Y-64.104 R0.15
G1 X-8.285 Y-62.03
G3 X-8.189 Y-61.813 R0.799
X-8.156 Y-61.583 R0.864
X-8.407 Y-60.982 R0.85
X-9.009 Y-60.73 R0.85
X-9.507 Y-60.905 R0.806
X-9.858 Y-61.363 R1.203
G2 X-9.859 Y-61.366 R0.15
G3 X-9.862 Y-61.379 R0.029
G2 Y-61.382 R0.15
G3 X-9.847 Y-61.418 R0.051
X-9.811 Y-61.433 R0.051
G2 X-9.809 R0.15
G3 X-9.779 Y-61.423 R0.049
X-9.758 Y-61.394 R0.068
G2 X-9.481 Y-60.989 R0.749
X-9.014 Y-60.837 R0.782

Konec programa (osnovna plošča)

T4 M06 (FAZA 4)
S7000 M3
G90 G0 X54.672 Y14.3
G43 H4 Z40 M08
G0 Z2.
G1 Z-2. F300
G2 X59.999 Y19.63 R5.33 F500
X60. R2.
G1 X62.5
G2 X62.501 R2.
Y8.97 R5.33
X62.5 R2.
G1 X60.
G2 X59.999 R2.
X54.672 Y14.3 R5.33
G0 Z20.
X-55.42 Y14.3
Z2.
G1 Z-2. F300
G2 X-63.414 Y9.684 R5.33 F500
Y18.916 R5.33
X-55.42 Y14.3 R5.33

G0 Z20.
M09
G53 G49 Z0
G53 G49 Z0
M30
%

3.2.3 Vtikač – kontrola

3.2.3.1 Opis izdelka (vtikač – kontrola)

Obdelovanec je bil plošča večjih dimenzij, pripravljena iz surovca na CNC-obdelovalnem centru HAAS VF-2SS. Surovec je imel dimenzije 50 mm × 100 mm, z debelino 22,5 mm, pri čemer je bila upoštevana rezerva za kasnejše brušenje.

Na stroju HAAS VF-2SS je bila najprej izvedena začetna priprava, kjer se je izvrtala začetna luknja, ki je služila kot referenca za nadaljnje pozicioniranje. Po tem je sledilo ploskovno brušenje, s katerim se je plošča obdelala na končno debelino in dosegla želeni nivo površinske kakovosti (Ra).

Za nadaljnjo obdelavo je bila plošča vpenjana na žično erozijo, kjer se je najprej izdelal program v QAPT, izvedla se je simulacija poti žice, nato se je izvedla tudi dejanska obdelava z žično erozijo. Po končani eroziji se je mostiček odstranil (pobrusil), s čimer se je kos ločil od preostanka materiala.

V naslednji fazi je sledila rezkalna obdelava na stroju HAAS VF-2SS, kjer so bili obdelani morebitni detajli, nato je bil na površino tudi vgraviran napis.

Za zagotavljanje kakovosti je bila plošča zmerjena na koordinatnem merilnem stroju, kjer je bil izdelan merilni protokol. Ker med kontrolo ni bilo ugotovljenih odstopanj, je bil kos potrjen in pripravljen za dostavo naročniku.

3.2.3.2 Postopek izdelave (vtikač – kontrola)

Postopek se je začel z uvozom CNC-programa v stroj, kjer je bila nato izvedena nastavitvev izhodiščne točke obdelave (referenca kosa). V naslednjem koraku je bilo treba izbrati ustrezno strategijo obdelave, jo pravilno nastaviti in napolniti z ustreznimi tehnološkimi parametri (hitrost podajanja, globina reza, število prehodov ipd.).

Po nastavitvi je sledila grafična simulacija poti orodja, kjer so se preverile pravilnost gibanja in morebitne kolizije. Na osnovi rezultata simulacije se je nato določila korekcija orodij, predvsem dolžinske in premerne korekcije, da je bilo mogoče doseči natančne mere obdelave in skladnost s tehnično dokumentacijo.

3.2.3.3 Postopek poteka izvoza iz programa SolidWorks v program QAPT za žično erozijo

Za pripravo programa za žično erozijo je bila iz programa SolidWorks najprej izvožena datoteka 2D DXF, ki predstavlja obdelovalno konturo kosa. To datoteko smo nato uvozili v CAM-program QAPT 2011, kjer smo definirali geometrijo, ki jo želimo obdelati.

Znotraj programa QAPT smo najprej označili obdelovalno konturo, določili višino obdelave, izbrali strategijo obdelave (zaporedje rezov) in konfigurirali ustrezno orodje (žico). Nato smo vnesli vse potrebne tehnološke parametre, kot so:

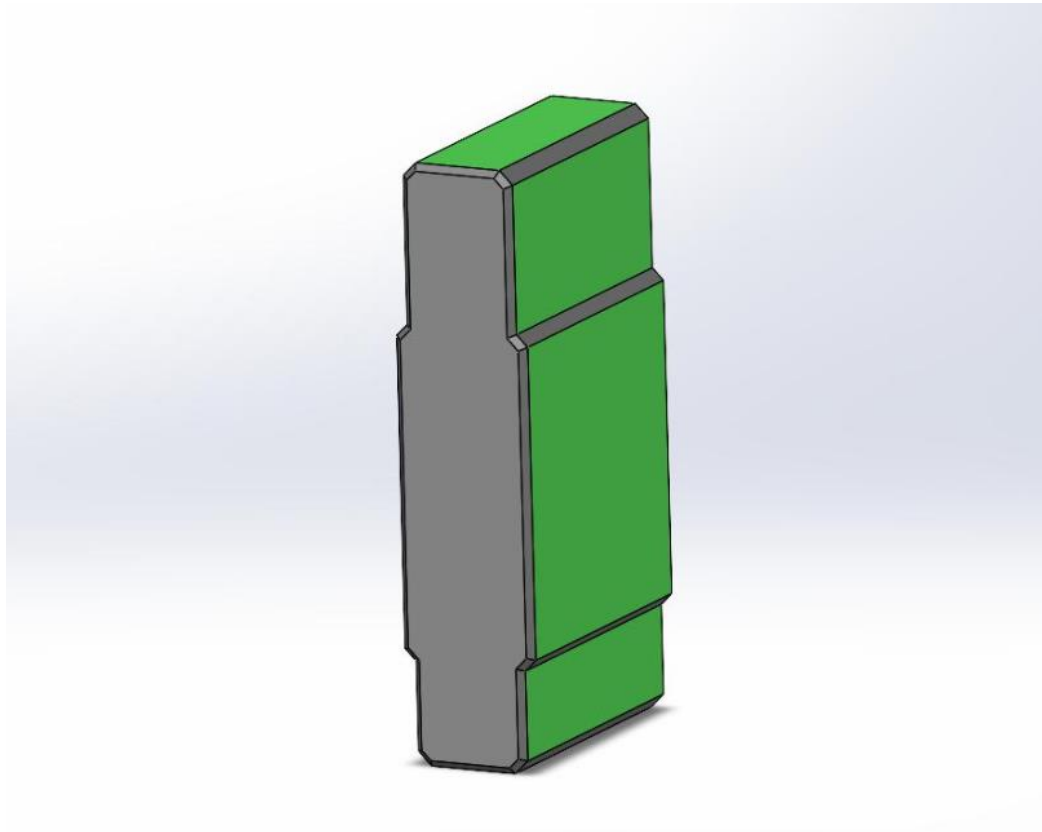
- debelina materiala,
- korekcijski gib (dolžina vhoda/izhoda)
- način vhoda v konturo (zanka ali število prehodov),
- dolžina mostička, ki omogoča držanje kosa med obdelavo,
- način zaključka reza (izhoda).

Po nastavitvi vseh parametrov smo generirali G-kodo, ki predstavlja NC-program za žično erozijo. Program smo izvozili na USB-ključek in ga prenesli na stroj za žično erozijo, kjer je bila izvedena obdelava.

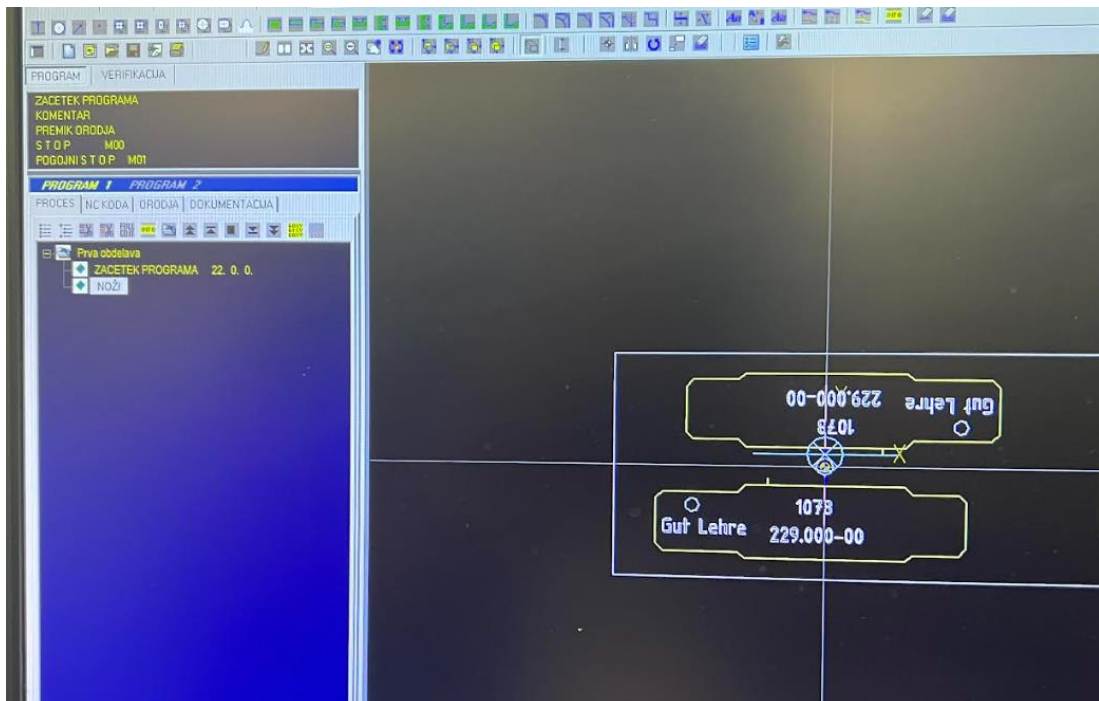
Slika 11: Prikaz vtikač – kontrola v 3D-obliki v programu SolidWorks (sprednja stran)



Slika 12: Prikaz vtikač – kontrola v 3D-obliki v programu SolidWorks (zadnja stran)



Slika 13: Prikaz programa na žični eroziji



Začetek programa (vtikač – kontrola)

(1078_0002_LEHRE_STECKER)
Z1=22. Z2=11. Z5=0.
N1 M21
N2 G90
N3 G92 X0. Y0.
N4 M20
N5 E1 H1
N6 M80 M82 M84
N7 G1 X0. Y-1.8
N8 G1 X0. Y-2.8 G41
N9 G1 X11.125 Y-2.8
N10 G1 X12.175 Y-3.85
N11 G1 X18.675 Y-3.85
N12 G1 X19.675 Y-4.85
N13 G1 X19.675 Y-11.45
N14 G1 X18.675 Y-12.45
N15 G1 X12.175 Y-12.45
N16 G1 X11.325 Y-13.3
N17 G1 X-11.325 Y-13.3
N18 G1 X-12.175 Y-12.45
N19 G1 X-22.975 Y-12.45
N20 G1 X-23.975 Y-11.45

Sredina programa (vtikač – kontrola)

N75 G1 X0. Y-1.8 G40
N76 M21
N77 G0 X0. Y0.
N78 G90
N79 G92 X0. Y0.
N80 M20
N81 E1 H1
N82 M80 M82 M84
N83 G1 X0. Y1.8
N84 G1 X0. Y2.8 G41
N85 G1 X-11.125 Y2.8
N86 G1 X-12.175 Y3.85
N87 G1 X-18.675 Y3.85
N88 G1 X-19.675 Y4.85
N89 G1 X-19.675 Y11.45
N90 G1 X-18.675 Y12.45
N91 G1 X-12.175 Y12.45
N92 G1 X-11.325 Y13.3
N93 G1 X11.325 Y13.3
N94 G1 X12.175 Y12.45

Konec programa (vtikač – kontrola)

N144 G1 X8. Y1.8 G40
N145 E1 H1

N146 M80 M82 M84
N147 M00
N148 G1 X8. Y2.8 G41
N149 G1 X0. Y2.8
N150 M00
N151 G1 X0. Y1.8 G40
N152 M21
N153 M81 M83 M85
N154 M00
N155 G0 X0 Y0
N156 M30
%

3.2.4 Etalon

3.2.4.1 Opis izdelka (etalon)

Za pripravo obdelovanca na žično erozijo sem najprej pripravil surovec na CNC-stroju HAAS VF-2SS, kjer sem s postopkom rezkanja oblikoval osnovne konture. Nato sem izvedel ploskovno brušenje, s katerim sem debelino obdelovanca zmanjšal na končno mero, kot je predpisana v dokumentaciji.

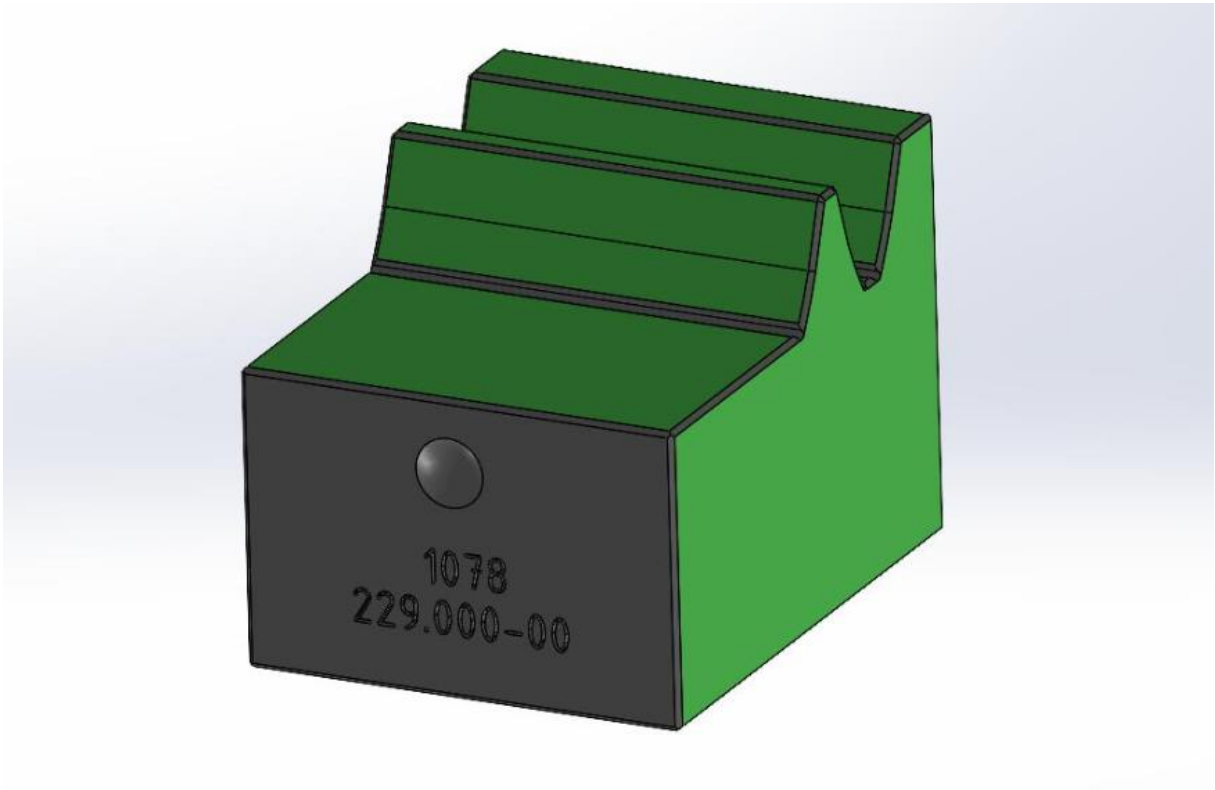
Obdelovanec sem nato vpel na stroj za žično erozijo, kjer sem uvozil in nastavil prej pripravljen program. S pomočjo simulacije poti žice sem natančno določil središče konture. Zaradi zahtevane visoke natančnosti konture (toleranca $\pm 0,002$ mm) so bili predvideni in izvedeni štirje delovni rezi, ki so postopoma odstranili material in izboljšali končno kakovost površine.

Po zaključeni eroziji sem na ploskovnem brusilnem stroju odstranil mostiček, s čimer sem dokončno ločil kos. V zadnji fazi sem na CNC-obdelovalnem centru izvedel še gravuro napisa in s pomočjo frezanja s posnemanjem faz pod kotom pobral vse ostre robove, kar izboljša varnost in vizualni izgled izdelka.

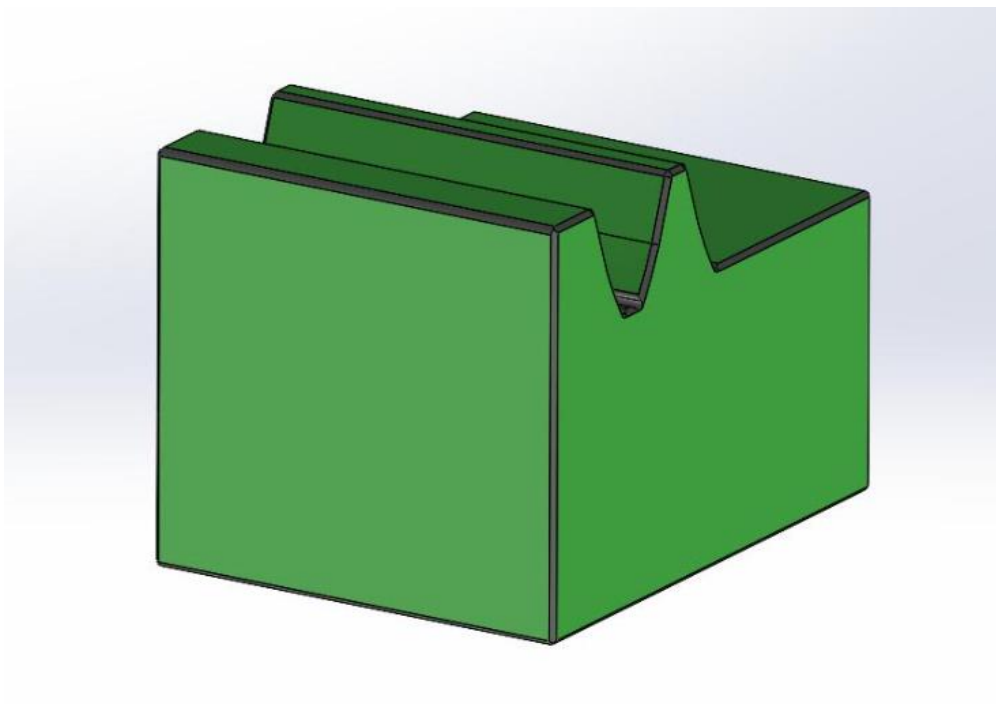
Na koncu sem izdelek izmeril na optičnem merilnem stroju, kjer je bil izdelan merilni protokol, ki potrjuje skladnost izdelka z zahtevami. Kos je bil tako pripravljen za končno oddajo.

Postopek izdelave in postopek poteka programa sta popolnoma ista kot pri prejšnjem surovcu (vtikač – kontrola). Programiralo se je v programu SolidCAM.

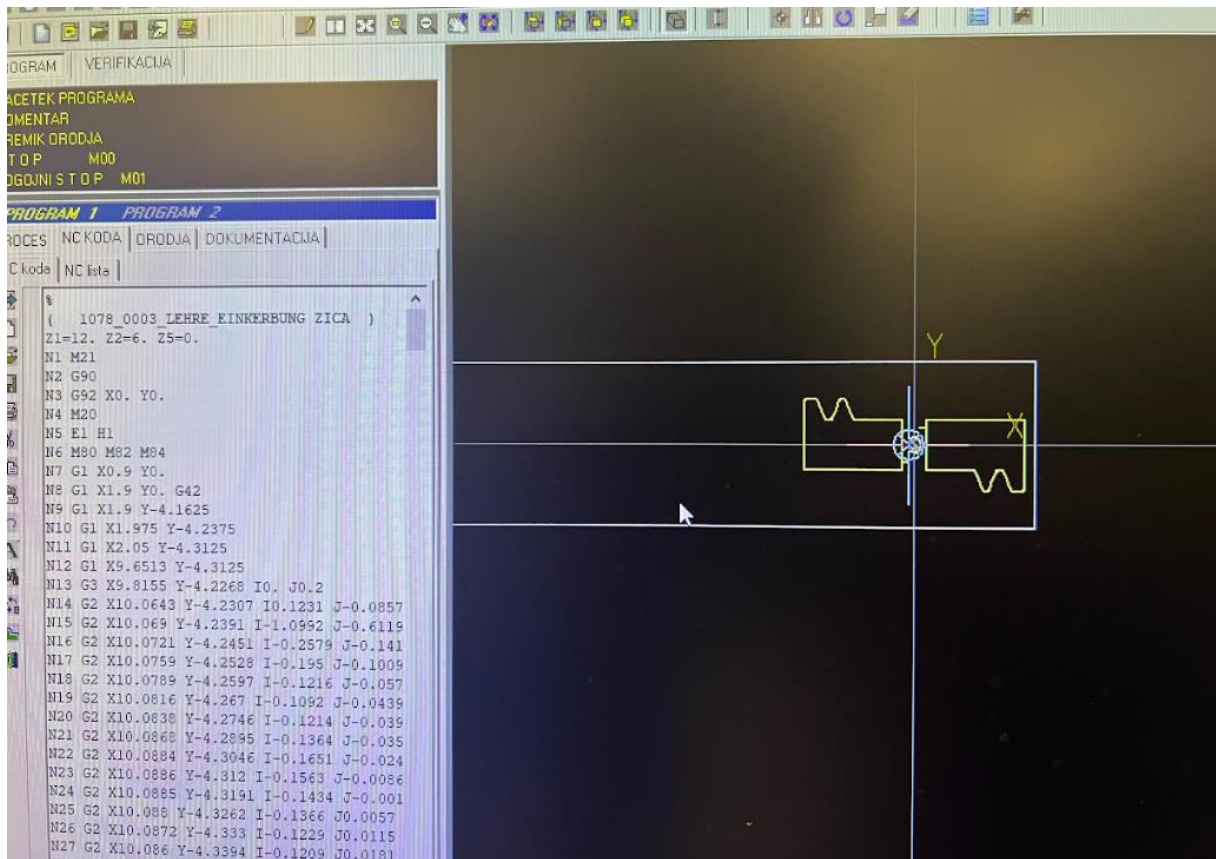
Slika 14: Prikaz etalona v 3D-obliki v programu SolidWorks (sprednja stran)



Slika 15: Prikaz etalona v 3D-obliki v programu SolidWorks (zadnja stran)



Slika 16: Prikaz programa na žični eroziji



Začetek programa (etalon)

```

%
( 1078_0003_LEHRE_EINKERBUNG_ZICA )
Z1=12. Z2=6. Z5=0.
N1 M21
N2 G90
N3 G92 X0. Y0.
N4 M20
N5 E1 H1
N6 M80 M82 M84
N7 G1 X0.9 Y0.
N8 G1 X1.9 Y0. G42
N9 G1 X1.9 Y-4.1625
N10 G1 X1.975 Y-4.2375
N11 G1 X2.05 Y-4.3125
N12 G1 X9.6513 Y-4.3125
N13 G3 X9.8155 Y-4.2268 I0. J0.2
N14 G2 X10.0643 Y-4.2307 I0.1231 J-0.0857
N15 G2 X10.069 Y-4.2391 I-1.0992 J-0.6119
N16 G2 X10.0721 Y-4.2451 I-0.2579 J-0.141
N17 G2 X10.0759 Y-4.2528 I-0.195 J-0.1009
N18 G2 X10.0789 Y-4.2597 I-0.1216 J-0.057
N19 G2 X10.0816 Y-4.267 I-0.1092 J-0.0439
N20 G2 X10.0838 Y-4.2746 I-0.1214 J-0.0396
N21 G2 X10.0868 Y-4.2895 I-0.1364 J-0.0354

```

N22 G2 X10.0884 Y-4.3046 I-0.1651 J-0.0244

Sredina programa (etalon)

N430 M80 M82 M84
N431 G1 X-0.9 Y0.
N432 G1 X-1.9 Y0. G42
N433 G1 X-1.9 Y4.1625
N434 G1 X-1.975 Y4.2375
N435 G1 X-2.05 Y4.3125
N436 G1 X-9.6513 Y4.3125
N437 G3 X-9.8155 Y4.2268 I0. J-0.2
N438 G2 X-10.0643 Y4.2307 I-0.1231 J0.0857
N439 G2 X-10.069 Y4.2391 I1.0992 J0.6119
N440 G2 X-10.0721 Y4.2451 I0.2579 J0.141
N441 G2 X-10.0759 Y4.2528 I0.195 J0.1009
N442 G2 X-10.0789 Y4.2597 I0.1216 J0.057
N443 G2 X-10.0816 Y4.267 I0.1092 J0.0439
N444 G2 X-10.0838 Y4.2746 I0.1214 J0.0396
N445 G2 X-10.0868 Y4.2895 I0.1364 J0.0354
N446 G2 X-10.0884 Y4.3046 I0.1651 J0.0244
N447 G2 X-10.0886 Y4.312 I0.1563 J0.0086

Konec programa (etalon)

N838 G1 X-1.9 Y-4.1625
N839 G1 X-1.9 Y-3.
N840 G1 X-0.9 Y-3. G40
N841 E1 H1
N842 M80 M82 M84
N843 M00
N844 G1 X-1.9 Y-3. G42
N845 G1 X-1.9 Y0.
N846 M00
N847 G1 X-0.9 Y0. G40
N848 M21
N849 M81 M83 M85
N850 M00
N851 G0 X0 Y0
N852 M30
%

3.3 ANALIZA STROŠKOV

Za izdelavo treh elementov je bil skupni strošek približno 590 EUR, kar pomeni povprečno približno 197 EUR na enoto. Stroški vključujejo vse glavne elemente:

- material in komponente (npr. senzorji, elektronika, konstrukcijski deli),
- stroške izdelave (npr. obdelava, 3D-tisk),
- stroške razvoja (načrtovanje, sestavljanje, osnovno programiranje).

V primerjavi s komercialnimi merilnimi napravami, ki lahko dosegaajo cene v višini več sto ali celo tisoč evrov, predstavlja ta rešitev cenovno ugodno alternativo, zlasti za manjša ali srednje velika podjetja, kjer je pomembna tudi prilagodljivost sistema.

Ker naprava omogoča hitro, natančno in ponovljivo merjenje plastičnih odlitkov, lahko znatno pripomore k zmanjšanju proizvodnih napak in s tem k znižanju stroškov kakovosti. Investicija se lahko povrne že v kratkem času ob redni uporabi v proizvodnem procesu.

3.4 PREDSTAVITEV KONČNEGA IZDELKA

Merilna naprava za merjenje plastičnih odlitkov ima pomembno vlogo v avtomobilski industriji, kjer so natančnost, ponovljivost in kakovost ključnega pomena. Naprava omogoča hitro in zanesljivo merjenje dimenzij plastičnih komponent, s čimer zagotavlja, da ti deli ustrezajo predpisanim tolerancam. S tem pomaga preprečevati napake v proizvodnji, zmanjšuje količino odpadnih izdelkov in prispeva k zmanjšanju stroškov.

Uporabna je v različnih fazah proizvodnega procesa, bodisi kot del vmesne kontrole kakovosti bodisi za končno preverjanje izdelkov.

Naprava je primerna tako za ročno kot za avtomatizirano uporabo in se lahko prilagodi različnim vrstam plastičnih odlitkov. V primerjavi s kompleksnejšimi in dražjimi merilnimi sistemi ponuja enostavnejšo in cenovno dostopnejšo rešitev, ki je še posebej koristna za srednje velika proizvodna podjetja.

Zaradi vseh teh prednosti merilna naprava pomembno prispeva k izboljšanju kakovosti izdelkov in učinkovitosti proizvodnega procesa v avtomobilski industriji.

4 ZAKLJUČEK

V okviru diplomskega dela je bila razvita in izdelana merilna naprava za merjenje plastičnega odlitka, namenjena izboljšanju kontrole kakovosti v industrijskem okolju, zlasti v avtomobilski industriji. Glavni cilj dela je bil zasnovati cenovno dostopno, natančno in uporabniku prijazno rešitev, ki omogoča ponovljive in zanesljive meritve ključnih dimenzij plastičnih izdelkov.

Z izvedbo projekta je bilo dokazano, da je mogoče s premišljeno izbiro komponent in učinkovitim načrtovanjem razviti napravo, ki po funkcionalnosti dosega osnovne zahteve industrijskega merjenja, obenem pa ohranja nizke stroške izdelave. Naprava omogoča hitro zaznavanje odstopanj od predpisanih toleranc, kar pomembno prispeva k zmanjšanju proizvodnih napak in povečanju splošne kakovosti izdelkov.

Diplomsko delo predstavlja pomemben korak k večji avtomatizaciji in digitalizaciji procesa merjenja v manjših in srednje velikih podjetjih, kjer pogosto ni dostopa do dražjih, kompleksnejših merilnih sistemov. V prihodnosti bi bilo napravo možno nadgraditi z dodatnimi senzorji ali vključitvijo v širše sisteme za nadzor kakovosti in sledljivost.

Diplomsko delo dokazuje, da lahko tudi preproste tehnične rešitve pomembno prispevajo k optimizaciji proizvodnih procesov ter povečajo zanesljivost in konkurenčnost podjetij na trgu.

5 VIRI

Almo trgovina in storitve. 2007. [Elektronski vir]. [Navedeno: 18. junij 2025.] <https://www.almo.si>

ETCN Machining. 2024. *Osnovno znanje o CNC strojih.* [Elektronski vir]. [Navedeno: 18. junij 2025.] <https://etcnmachining.com/sl/blog/cnc-machine-basic-knowledge/>

Team MFG. 2024. *G in M kode pri CNC obdelavi.* [Elektronski vir]. [Navedeno: 18. junij 2025.] <https://www.team-mfg.com/sl/blog/g-and-m-codes-in-cnc-machining.html>

si.izzi.digital. Koordinatni sistemi. [Elektronski vir]. [Navedeno: 18. junij 2025.] <https://si.izzi.digital/DOS/493832/513468.html>

Vine-doo. Žična erozija. [Elektronski vir]. [Navedeno: 18. junij 2025.] <https://vine-doo.com/zicna-erozija/>

LGM FRI. *SolidWorks skripta.* [Elektronski vir]. [Navedeno: 18. junij 2025.] <https://lgm.fri.uni-lj.si/aluo/CAD1/pdf/Solidworks%20skripta.pdf>

PRILOGE

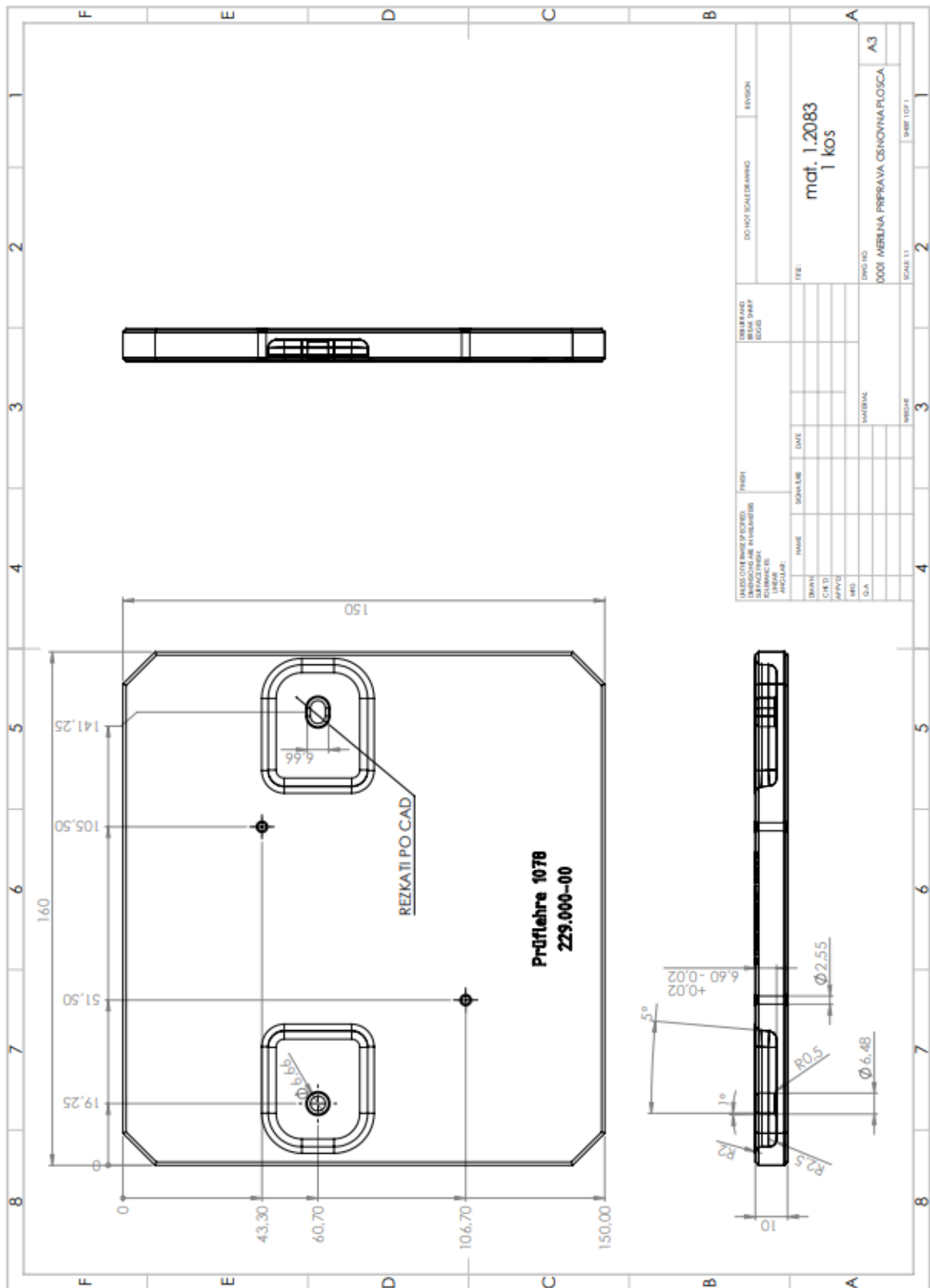
PRILOGA A: Osnovna plošča

PRILOGA B: Vtikač – kontrola

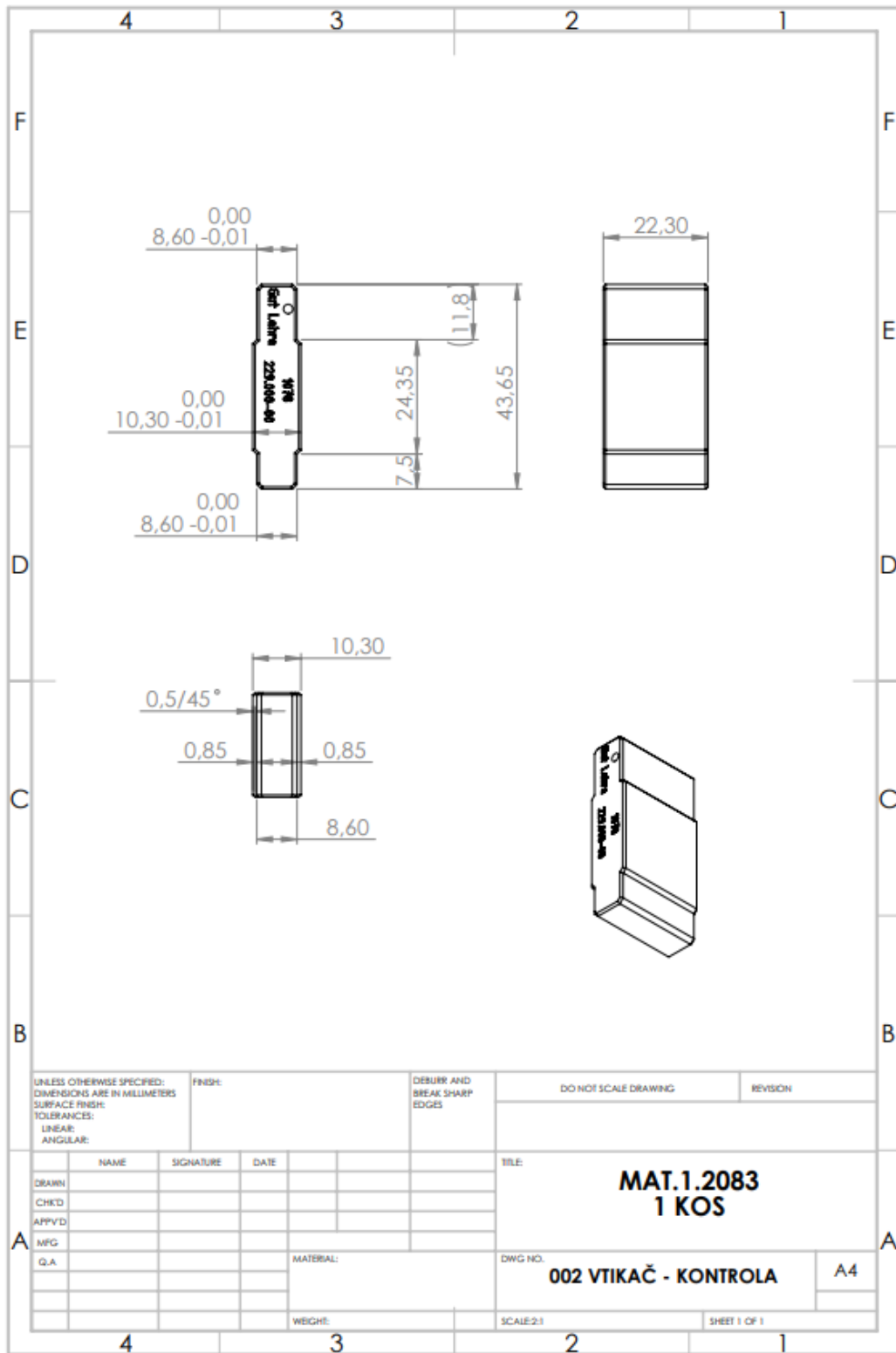
PRILOGA C: Etalon

PRILOGA D: Tabela toleranc

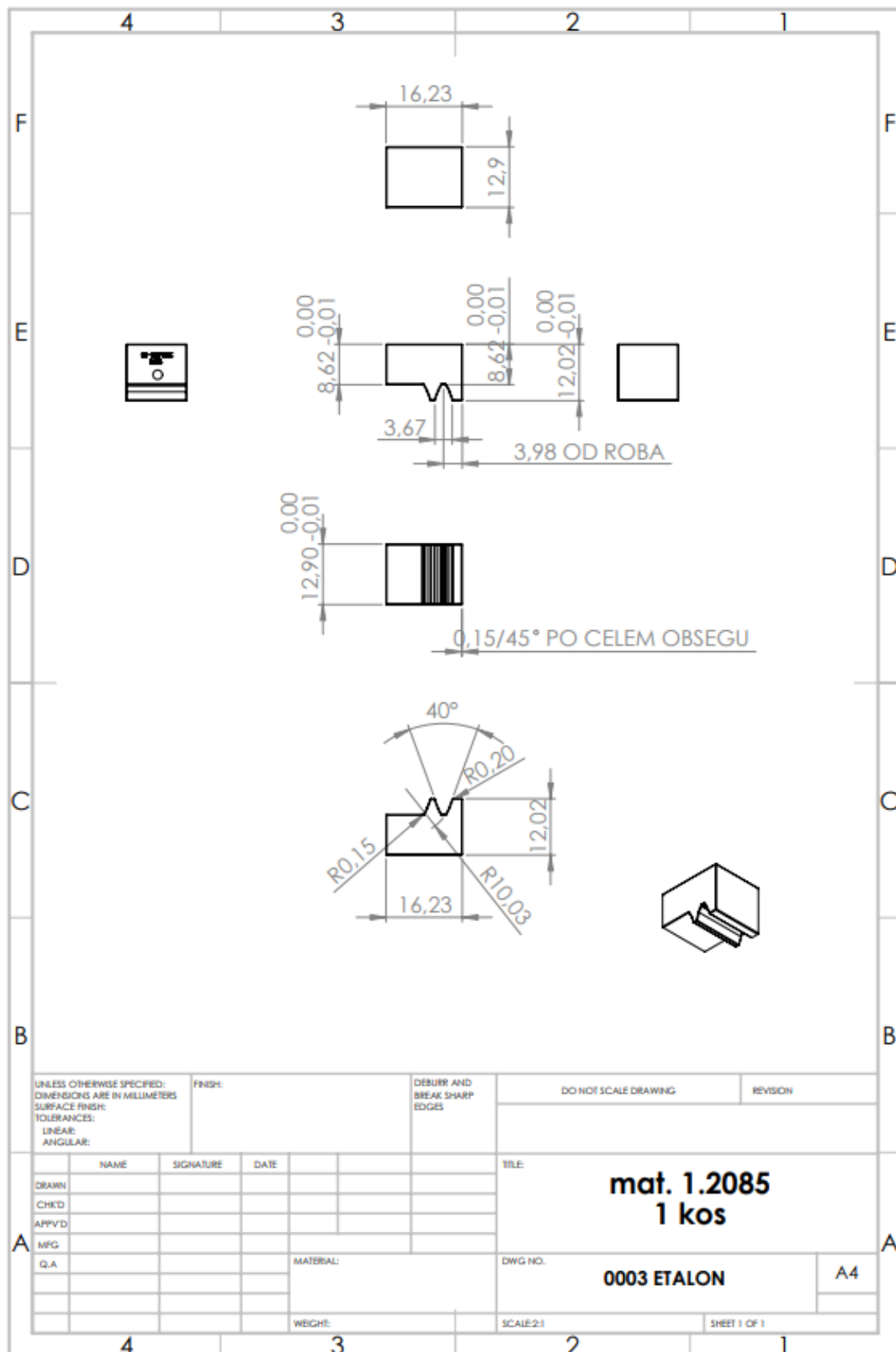
PRILOGA A: OSNOVNA PLOŠČA



PRILOGA B: VTIKAČ – KONTROLA



PRILOGA C: ETALON



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:	DEBURR AND BREAK SHARP EDGES	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
DRAWN	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE: mat. 1.2085 1 kos	
CHKD							
APPVD							
MFG							
Q.A					MATERIAL:	DWG NO. 0003 ETALON	A4
					WEIGHT:	SCALE:2:1	SHEET 1 OF 1

PRILOGA D: TABELA TOLERANC

CAD- Farbtabelle

Kategorie	Geometriertyp	Obere Toleranzgrenze	Untere Toleranzgrenze	Visi-Farbe	Visi-FH-Nr.	ISO-Code	Zusammenfassung	Bemerkung
Klein	Klein Rundbohrloch	0,1	-0,1		4	166-164-155	Standard ISO 31	
	Planbohrloch	+0,02	-0,02		27	19-20-205	Standard ISO 31	
	ISO 240 Nr. 34	+0,01	-0,01		33	24-20-205	Standard ISO 31	Das Ziel gilt für die Fertigung
	ISO 240 Nr. 27	+0,02	-0,02		34	27-20-205	Standard ISO 31	Das Ziel gilt für die Fertigung
	ISO 240 Nr. 30	+0,03	-0,03		35	30-20-205	Standard ISO 31	Das Ziel gilt für die Fertigung
	ISO 240 Nr. 32	+0,04	-0,04		36	32-20-205	Standard ISO 31	Das Ziel gilt für die Fertigung
	ISO 240 Nr. 35	+0,05	-0,05		37	35-20-205	Standard ISO 31	Das Ziel gilt für die Fertigung
	ISO 240 Nr. 38	+0,06	-0,06		38	38-20-205	Standard ISO 31	Das Ziel gilt für die Fertigung
	ISO 240 Nr. 40	+0,07	-0,07		39	40-20-205	Standard ISO 31	Das Ziel gilt für die Fertigung
	ISO 240 Nr. 43	+0,08	-0,08		40	43-20-205	Standard ISO 31	Das Ziel gilt für die Fertigung
	ISO 240 Nr. 46	+0,09	-0,09		41	46-20-205	Standard ISO 31	Das Ziel gilt für die Fertigung
	ISO 240 Nr. 49	+0,10	-0,10		42	49-20-205	Standard ISO 31	Das Ziel gilt für die Fertigung
	ISO 240 Nr. 52	+0,11	-0,11		43	52-20-205	Standard ISO 31	Das Ziel gilt für die Fertigung
	ISO 240 Nr. 55	+0,12	-0,12		44	55-20-205	Standard ISO 31	Das Ziel gilt für die Fertigung
Feldbohrungen	ISO 2700 f				1	201-206-205	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				2	202-206-205	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				3	203-206-205	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				4	204-206-205	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				5	205-206-205	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				6	206-206-205	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				7	207-206-205	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				8	208-206-205	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				9	209-206-205	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				10	210-206-205	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				11	211-206-205	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				12	212-206-205	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				13	213-206-205	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				14	214-206-205	Standard ISO 31	
Normale	ISO 2700 f				0	217-217-217	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				1	218-217-217	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				2	219-217-217	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				3	220-217-217	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				4	221-217-217	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				5	222-217-217	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				6	223-217-217	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				7	224-217-217	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				8	225-217-217	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				9	226-217-217	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				10	227-217-217	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				11	228-217-217	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				12	229-217-217	Standard ISO 31	
	ISO 2700 f				13	230-217-217	Standard ISO 31	