

Konstrukcija CNC stroja za graviranje

Hajdinjak, Leo

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:643062>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-04**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište
Sjever**

Završni rad br. 395/PS/2022

Konstrukcija CNC stroja za graviranje

Leo Hajdinjak, 4160/336

Varaždin, rujan 2022. godine



Sveučilište Sjever

Odjel za strojarstvo

Završni rad br. 395/PS/2022

Konstrukcija CNC stroja za graviranje

Student

Leo Hajdinjak, 4160/336

Mentor

Zlatko Botak, doc.dr.sc.

Varaždin, rujan 2022. godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Proizvodno strojarstvo

PRISTUPNIK Leo Hajdinjak

MATIČNI BROJ 4160/336

DATUM 12.09.2022.

KOLEGIJ Tehnologija I

NASLOV RADA Konstrukcija CNC stroja za graviranje

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Construction of a CNC engraving machine

MENTOR dr. sc. Zlatko Botak

ZVANJE docent

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. Marko Horvat, dipl. ing., predsjednik povjerenstva
2. doc. dr. sc. Zlatko Botak - mentor, član povjerenstva
3. Zoran Busija, dipl. ing., član povjerenstva
4. Siniša Švoger, dipl. ing., rezervni član povjerenstva
- 5.

Zadatak završnog rada

BROJ 395/PS/2022

OPIS

U završnom radu pristupnik treba razraditi strojarski dio konstrukcije CNC stroja za graviranje. U uvodnom dijelu rada pristupnik treba općenito opisati način rada CNC alatajnog stroja uključujući upravljanje, te njegove prednosti i nedostatke prilikom upotrebe. U nastavku rada potrebno je opisati gradbenu strukturu CNC stroja i navesti izvedbe i ulogu pojedinih sastavnih dijelova stroja, kao što su postolje, vodilice, pogoni glavnog i pomoćnih vretena i prijenosnici snage i gibanja. U praktičnom dijelu rada treba razraditi konstrukciju pojedinih dijelova CNC gravirke, prema postavljenim zahtjevima za maksimalne dimenzije stroja. Potrebno je opisati način izbora i izrade pojedinih dijelova stroja, te njihovu ulogu u sklopu. U zaključku završnog rada potrebno je analizirati dobre i loše karakteristike razrađene konstrukcije i dati smjernice za daljna poboljšanja.

ZADATAK UREĐEN

15.09.2022



POTPIS MENTORA

Botak Zlatko

IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

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

Ja, LEO HAJDINJAK (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog/seminarskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom KONSTRUKCIJA CNC STROJA ZA GRAVIRANJE (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljen način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Leo Hajdinjak
(vlastoručni potpis)

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

Ja, LEO HAJDINJAK (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom KONSTRUKCIJA CNC STROJA ZA GRAVIRANJE (upisati naslov) čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

Leo Hajdinjak
(vlastoručni potpis)
(vlastoručni potpis)

Sažetak

Graviranje je obrada materijala odvajanjem čestica. To je tehnika urezivanja određenih kontura na čvrstu podlogu pomoću alata raznih oblika i dimenzija. Unatoč činjenici da je moguće kupiti široku paletu CNC strojeva na tržištu, pažljivo planiranje i konstruiranje vlastitog stroja željenih karakteristika može biti puno jeftinije. U početku rada prikazane su teoretske osnove CNC strojeva, te osnovna razlika između CNC i NC strojeva. Također je opisan način rada uključujući upravljanje, te njegove prednosti i nedostaci prilikom upotrebe. U nastavku je opisana gradbena struktura te uloga pojedinih sastavnih dijelova stroja.

U praktičnom dijelu razrađena je konstrukcija pojedinih dijelova CNC gravirke, prema postavljenim zahtjevima za maksimalne dimenzije stroja. Opisan je izbor i izrada pojedinih dijelova stroja, te njihova uloga u sklopu. Navedeno je područje rada, točnost obrade i karakteristike pojedinih elemenata stroja, te prikazano nekoliko izradaka. Na kraju su navedeni približni troškovi osnovnih elemenata te približna cijena samog stroja. Sama kvaliteta stroja ovisi o točnosti alata koji se koriste, a cilj je dobiti stroj što veće kvalitete uz što je moguće manju ukupnu cijenu.

Abstract

Engraving is the processing of materials by separating particles. It is a technique of engraving certain contours on a solid surface using tools of various shapes and sizes. Despite the fact that it is possible to buy a wide range of CNC machines on the market, carefully planning and constructing your own machine with the desired characteristic can be much cheaper. At the beginning of the paper, the theoretical foundations of CNC machines are presented, as well as the basic differences between CNC and NC machines. The mode of operation of the control is also described, including its advantages when used. Below is a description of the built structure and the role of individual components of the machine.

In the practical part, the construction of the individual parts of CNC engraving machine was elaborated, according to the set requirements for the maximum dimensions of the machine. The selection and production of individual parts of the machine, as well as their role in the assembly, are described. The area of work and the accuracy of the processing and the characteristics of individual elements of machine are specified. At the end, the approximate costs of the basic elements and the approximate price of the machine itself are listed. The quality of the machine itself depends on the accuracy of the tools we use, and the goal is to get a machine of the highest quality and lowest overall price.

Popis korištenih kratica

AD-DC	Izmjenična struja – istosmjerna struja
NC	Numerical Control – numeričko upravljanje
CNC	Computer Numerical Control – numeričko upravljanje računalom
CAD	Computer Aided Design – računalom potpomognuto konstruiranje
CAM	Computer Aided Manufacturing – računalom potpomognuta izrada
2D/3D	2 Dimensions/ 3 Dimensions - dvodimenzionalno/ trodimenzionalno

Sadržaj

1.	Uvod	1
2.	Teoretska osnova CNC stojeva.....	3
2.1.	Razlika NC i CNC stoja	3
2.2.	CNC alatni stroj	5
2.3.	Upravljanje CNC alatnim strojem	5
3.	Gradbena struktura CNC strojeva.....	8
3.1.	Postolja CNC strojeva.....	8
3.2.	Vodilice CNC strojeva	11
3.2.1.	Kuglični linearni ležajevi i osovine cilindričnog profila	12
3.2.2.	Profilne vodilice s linearnim kolicima.....	12
3.3.	Glavni pogon alatnih strojeva (vretena).....	14
3.3.1.	Klasični pogon	14
3.3.2.	Direktni pogon	15
3.3.3.	Motorvreteno.....	16
3.4.	Sustavi za posmično gibanje CNC strojeva	17
3.4.1.	Motori za posmično gibanje.....	17
3.4.2.	Mehanički prijenosnik	18
4.	Konstrukcija strojarskog dijela CNC gravirke	20
4.1.	Postolje CNC gravirke	21
4.2.	Vodilice CNC gravirke	23
4.3.	Glavni pogon CNC gravirke	25
4.4.	Sustavi za posmično gibanje CNC gravirke	26
4.4.1.	Motori za posmično gibanje	26
4.4.2.	Mehanički prijenosnici CNC gravirke.....	28
5.	Područje rada i točnost obrade CNC stroja za graviranje.....	29
6.	Troškovi izrade CNC stroja za graviranje	31
7.	Zaključak	32
8.	Literatura	33
	Popis slika/grafikona	34
	Prilozi.....	

1. Uvod

Graviranje je tehnika urezivanja (odvajanja čestica materijala) kontura na čvrstu, tvrdu, najčešće ravnu podlogu, pomoću alata raznih oblika i dimenzija. U današnje vrijeme koriste se različite tehnike graviranja, a neke od njih su: ručno graviranje (klesanje), graviranje pjeskarenjem, graviranje ručnim strojevima i graviranje numerički upravljanim strojevima za graviranje (CNC stroj). Tradicionalno graviranje koje se provodi ručnim alatima, danas se još uvijek primjenjuje kod zlatara, staklenih gravera, oružarskih radionica itd. Ipak danas je sve veća potražnja za modernim tehnikama, odnosno strojevima koji bi zamijenili te olakšali rad čovjeka. Svaki graver ima drugačiji način primjene tehnike graviranja, te je po tome svaki prikaz graviranja specifičan sam po sebi. Zbog toga se danas sve više koriste CNC gravike koje omogućuju izradu velikog broja proizvoda istog oblika i dimenzija.

CNC obrada omogućuje izradu raznih proizvoda, pa je s lakoćom moguća izrada složenih oblika određene kvalitete. Sa sve dostupnijim softverskim alatima, obrada na CNC strojevima postaje jednostavniji i privlačniji posao za modelare i inovatore. Može se proizvoditi manja ili veća serija istih proizvoda jednostavnijeg ili složenijeg oblika. CNC strojevi su vrlo fleksibilni i omogućuju brzo preuređivanje programa obrade, bez potrebe drugog računala ili stroja. Uspoređujući ih sa ručno upravljanim strojevima, može se otkriti da su u njima računalno upravljani sustavi puno precizniji i omogućuju izradu vrlo složenih oblika, dok se kod ručno upravljanih strojeva mogu proizvesti samo osnovne forme.

U povijesti se graviranje koristilo kao preslikavanje reljefa na metalnim podlogama, najčešće u dekorativne svrhe. Prvo takvo graviranje evidentirano je još 1446. godine, dakle sami princip graviranja postoji više od 500 godina. Charles Babbage je 1800. godine konstruirao prvo digitalno računalo, ali ono nije nikada bilo izvedeno. 1870. godine Eli Whitney uvodi proizvodnju zamjenjivih dijelova (upotreba naprava i stega). 1940. godine uvode se hidraulika, pneumatika i elektrika za automatsko upravljanje strojem. U drugoj polovici dvadesetog stoljeća nameću se sve složeniji zahtjevi pri izradi i obradi graviranja pomoću CNC stroja. Takav sve veći razvitak tehnologija dovodi do prvog suvremenog rješenja, koje se javlja u SAD-u 50-ih godina, kada je napravljen alatni stroj s numeričkim upravljanjem. Numerički upravljani strojevi omogućuju sofisticiraniji rad sa alatima i alatnim strojevima, a imaju dosta sličnu konstrukciju kao i dotadašnji ručno kontrolirani alati i strojevi. Uvođenje CNC strojeva sasvim je izmijenilo i olakšalo proizvodnju. Obrada zahtjevnijih linija, krivulja i raznih oblika, te količina strojnih operacija, koja je do tada zahtijevala popriličan ljudski rad, zamijenjena je strojem. S povećanjem korištenja CNC

strojeva, povećala se fleksibilnost i brzina proizvodnje, smanjio broj radnika, a potreba za visokoobrazovanim programerima i CNC operaterima znatno se povećala. Istovremeno su se smanjili i troškovi proizvodnje, a upotreba tehnologije značila je jeftiniju i kvalitetniju proizvodnju.

CNC stroj za graviranje omogućuje glodanje kontura u 2D i 3D obliku. Programski alati za kreiranje i kontrolu programa postali su vrlo jednostavni za korištenje i programsku obradu. CNC stroj za graviranje temelji se na procesu uklanjanja materijala, te je suprotan procesu nanošenja materijala, koji je tipičan za 3D printere. Pomoću njih moguća je visokoprecizna obrada raznih vrsta materijala kao npr. drveta, stakla, čelika, granita itd. Općenito je obrada CNC glodalicom brža od 3D pisača. Puno ljudi danas sami odlučuje izgraditi vlastiti stroj, a za to postoje različiti razlozi. Određeni proizvodi mogu zahtijevati specifične obrade površine i razne razine preciznosti, koje ne mogu ispuniti na tržištu dostupni strojevi. Razlog za vlastitu izradu gravirke također može biti želja za planiranjem i konstrukcijom vlastitog stroja, koja predstavlja izazov i omogućuje stjecanje novih znanja te iskustva.

Prilikom projektiranja strojarskog dijela CNC stroja za graviranje kreće se od potrebnih specifikacija. CNC gravirka trebala bi moći obrađivati plastiku, materijale za izradu prototipa, aluminij i drvo. Treba voditi računa o dimenzijama stroja, longitudinalnim kretanjima, pojedinim karakteristikama te upravljanju.

2. Teoretska osnova CNC stojeva

Skraćenica CNC dolazi iz engleskog jezika i znači *Computer Numerical Control* (računalno numeričko upravljanje), odnosno upravljanje računalom. Stroj se sastoji od dva ključna glavna dijela. Prvi dio je mehanički, koji se ne razlikuje puno od klasičnih strojeva, a na njemu se odvija obrada. Drugi dio je CNC kontroler, koji upravlja mehaničkim dijelom stroja te kontrolira i usmjerava obradu. Odnosi se na automatizaciju, prilagodljivost, integraciju i inteligenciju, odnosno rad bez čovjeka – autonomnost. Stroj radi prema posebnim kodiranim naredbama upravljačke jedinice stroja (CNC računalnog programa), koje sadrže detaljan popis tijeka obrade. Na slici 1 može se vidjeti moderna profesionalna CNC glodalica s pet upravljanih osi. [3]



Slika 1 Profesionalni CNC gravirni stroj [3]

2.1. Razlika NC i CNC stoja

Prethodnici CNC strojeva bili su NC strojevi. NC označava englesku riječ za *Numerical Control*, odnosno numeričko upravljanje. NC upravljanje je upravljanje alatnim strojevima, također pomoću posebnih kodiranih naredbi koje se učitavaju u upravljačku jedinicu stroja. U NC sustavu se program učitava u upravljačku jedinicu pomoću bušene trake, kartice ili

diskete, a zatim se provodi obrada predmeta, pri čemu operator na stroju nema mogućnost mijenjanja programa. To je i jedna od osnovnih razlika između NC i CNC strojeva. Kod NC strojeva se sve potrebne izmjene moraju obaviti izvan stroja i nakon toga ponovno učitati program u upravljačku jedinicu stroja. Ovi su strojevi imali ograničenu upotrebu. Njihove NC upravljačke jedinice ograničene su fiksnom logikom. Razvojem elektronike i računalne tehnologije, jeftinoća i fizička redukcija upravljačkih komponenti doprinjeli su zamjeni NC strojeva sa CNC strojevima. U CNC sustavu mikroprocesor omogućuje izmjenu računalnog programa na samom stroju, a također je moguće provesti i izmjene tokom same strojne obrade predmeta. To svojstvo omogućuje veliku prilagodljivost u radu (fleksibilnost), uštedu u vremenu te je uveliko pridonjelo raširenosti upotrebe CNC strojeva. [1] [5]

Prednosti CNC strojeva u odnosu na NC strojeve:

- veća produktivnost i posljedično kraće vrijeme izrade proizvoda,
- bolja kvaliteta i točnost obrade,
- niži troškovi proizvodnje,
- veće brzine dodavanja, kraće vrijeme pripreme i dorade,
- bolja prilagodljivost stroja,
- mogućnost obavljanja više radnih operacija u jednom angažmanu,
- mogućnost optimizacije procesa rada, gdje se mogu odrediti troškovi, vrijeme i kvaliteta obrade,
- mogućnost izrade vrlo zahtjevnih proizvoda,
- mogućnost korištenja jednog stroja za više obrada.

Nedostaci CNC strojeva u odnosu na NC strojeve:

- održavanje,
- visoka cijena,
- potreban visok stupanj obrazovanja operatera i programera.

2.2. CNC alatni stroj

Mehanički dio stroja razlikuje se od klasičnih strojeva po tome što može imati ugrađenu automatsku softversku izmjenu alata i paleta. Mjerenje položaja osi izvodi se pomoću visokopreciznog mjernog sustava. Visoka preciznost rada stroja osigurana je kontrolom brzine i položaja pogonskih motora te preciznim vođenjem uz pomoć kugličnog vretena i matice. Broj okretaja glavnog vretena moguće je kontrolirati. Sve to omogućuje kordinaciju rada pojedinih osi i glavnog pogona stroja, koja je neophodna za preciznu obradu duž konture izratka.

Upravljački dio stroja s ugrađenim računalom brine se za obradu proizvoda na mehaničkom dijelu, prema unaprijed određenom NC programu. Općenito je kontrolni dio podijeljen u tri dijela, a to su: ulazna jedinica, upravljačka jedinica i izlazna jedinica.

Ulazna jedinica brine se za unos podataka ili programa. Za dobivanje NC programa potrebno je prvo imati nacrtan 2D ili 3D model (CAD) izratka, koji se zatim uz pomoć računalnog programa za NC programiranje (CAM) pretvara u NC kod, odnosno program za izradu. NC program se također može unijeti izravno pomoću tipkovnice u odgovarajući kodirani oblik (G-kodovi).

Upravljačka jedinica obrađuje podatke, izračunava, te šalje u mehanički dio stroja, a istovremeno prima povratnu informaciju o stanju i položaju mehaničkog dijela stroja. Regulator omogućuje prikaz grafičke simulacije programa. U memoriji se može pohraniti veći broj programa.

Izlazna jedinica šalje podatke upravljačkim elektromotorima koji osiguravaju pomicanje vodilica stroja i obradu. Izlazne jedinice također uključuju ekran, kroz koji operater može promatrati grafičke simulacije položaja alata, rotacije vretena, upozorenja na pogreške itd. Na taj način programer može komunicirati sa strojem preko ulaznih jedinica. [1] [2] [5]

2.3. Upravljanje CNC alatnim strojem

Upravljanjem se ostvaruje relativno gibanje alata i obratka, a pojedinom vrstom gibanja ostvaruje se potrebna geometrija radnog komada. Postoje tri vrste upravljanja:

- upravljanje točka-po-točka ili pozicioniranje,
- upravljanje po pravcu (pravocrtno ili linijsko upravljanje),

- konturno upravljanje.

NC program ili G-kod je tekstualna datoteka sa zapisom kodiranih upravljačkih naredbi za proizvodnju izratka. Naredbe su podijeljene u tri kategorije:

- geometrijske naredbe – određuju smjer kretanja stroja,
- tehnološke naredbe – određuju posmak, brzine rezanja i rezni alat,
- naredbe pomoćnih funkcija – kontroliraju uključivanje i smjer vretena, hlađenje itd.

Za jednostavnije izratke, NC program može se napisati ručno. U ovom slučaju programer mora izračune napraviti ručno. Također je moguće i programiranje izravno na stroju. Kod računalnog programiranja prvo je potrebno napraviti 3D model (CAD), koji se zatim uz pomoć računalnog NC programa (CAM) pretvara u G-kod. CAM računalni program nudi optimalne tehnološke parametre, omogućuje simulaciju procesa proizvodnje i izračuna vrijeme proizvodnje prema određenim tehnološkim parametrima. G-kod se zatim preuzima i pohranjuje u upravljački program stroja.

Upravljanje radom CNC stroja sastoji se od:

- razrade tehnologije i utvrđivanja redoslijeda zahvata, alata i režima rada,
- pripreme alata,
- programiranja,
- pripreme stroja i
- izrade prvog izratka (prvog komada u seriji)

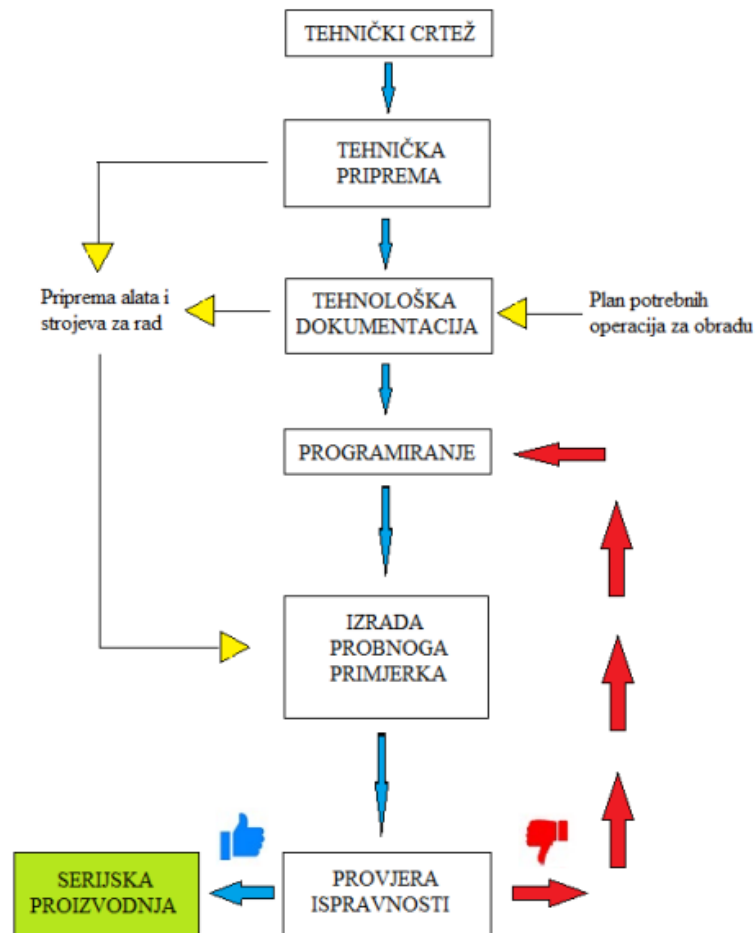
CNC programer odgovoran je za pravilan odabir tehnologije obrade, alata i slijeda zahvata, kao i za moguće probleme vezane uz operacije izrade na CNC stroju. On je također odgovoran i za kvalitetu izrađenog proizvoda. CNC programer mora izraditi tehnološku dokumentaciju koja sadržava NC kod, listu potrebnih reznih alata, redoslijed stezanja i način stezanja sirovca.

Potrebno znanje CNC programera:

- dobro čitati tehnički crtež,
- dobro poznavati vrste, namjenu i mogućnosti pojedinih alata,
- dobro poznavati tehnološke mogućnosti pojedinog stroja, znati odrediti optimalne operacije izrade,
- znati prepoznati ograničavajuće čimbenike koji se mogu javiti tijekom izrade,

- dobro poznavati matematičke funkcije, posebno trigonometrijske, radi mogućnosti izračuna koordinata,
- poznavati svojstva materijala koji se obrađuje,
- poznavati upravljačku jedinicu stroja tj. G i M funkcije, koordinatni sustav, referentne točke stroja i alata, kao i eventualno dopunske funkcije (paletni sustav, izmjena alata, itd.),
- rukovati upravljačkom jedinicom stroja,
- prepoznati istrošenost i/ili oštećenje alata itd. [5] [6]

Shematski prikaz dijagrama toka od izrade tehničkog crteža do serijske proizvodnje prikazuje slika 2.



Slika 2 Shematski prikaz procesa proizvodnje

3. Gradbena struktura CNC strojeva

U ovom poglavlju opisuju se osnovni elementi gradbene strukture CNC strojeva, a to su: postolje, vodilice i glavni pogon. Opisani su njihovi osnovni oblici te glavne karakteristike.

3.1. Postolja CNC strojeva

Postolje svakog stroja je njegov osnovni element, koji nosi sve ostale aktivne i pasivne komponente (vretena, vodilice, stupove). Funkcije postolja stroja su: prihvat svih pokretnih i nepokretnih dijelova i sklopova te prenošenje opterećenja (sila, momenata i masa) na temelj stroja. Izrađuju se u zavarenoj i lijevanoj izvedbi, a mogu se izrađivati i od ekstrudiranih aluminijskih profila kad na njih ne djeluju velika opterećenja. Kod konstruiranja postolja se u obzir uzimaju: opterećenje, prigušenje, prijenos topline i buka.

Oblici postolja:

- temeljna ploča – za prihvat stupa, može se koristiti kao rezervoar za SHIP;
- krevet – kod tokarilica, za prihvat suporta i konjića, kosa izvedba - odvođenje odvojenih čestica;
- stupovi – okrugli ili prizmatični;
- poprečna greda – kod portalne izvedbe stroja, povezuje dva stupa, daje krutost stroju;
- konzola – za prihvat vreteništa

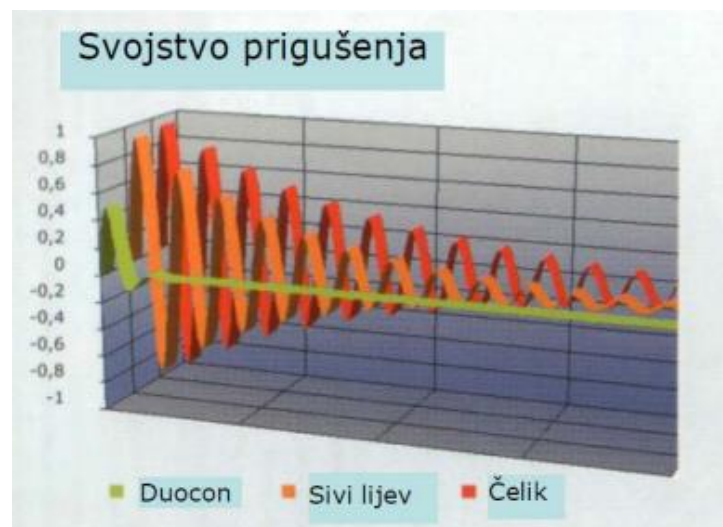
Izvedbe postolja:

- lijevana – sivi lijev i mineralni lijev (polimerni beton)
- zavarena – čelična izvedba (limovi i profili)

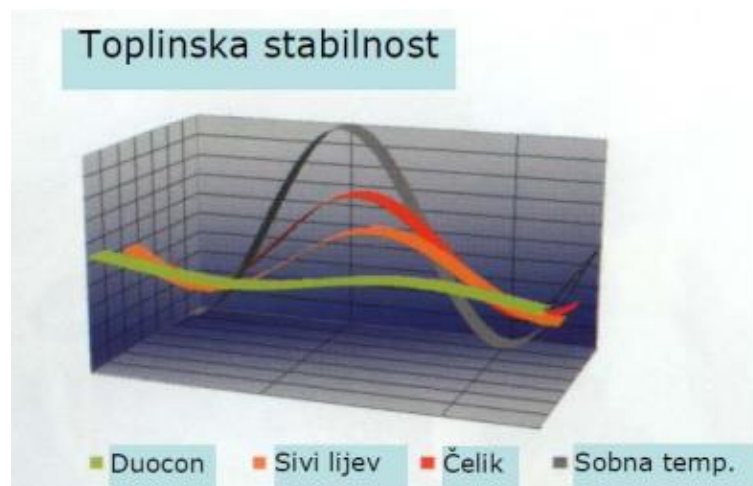
Lijewane izvedbe postolja koriste se za serijsku proizvodnju stroja. Dobro prigušuju vibracije i mogu podnijeti velika statička opterećenja. Kod izrade postolja, nakon lijevanja obavezno je žarenje ili starenje. Žarenjem se zaostala unutarnja naprezanja mogu smanjiti na 5% početnih unutarnjih naprezanja. Starenjem se smanjuju unutarnje napetosti za 50% kroz godinu dana, a to je skupo i sporo, pa je bolje žarenje.

Nedostatak lijevanja je u tome što svaka promjena oblika postolja zahtijeva promjenu kalupa, dok je prednost u tome što se površina presjeka postolja lako može promijeniti promjenom modela.

Minerlani lijev je kompozit plastične mase i šljunka. Specifična masa mu je manja od sivog lijeva, stroj je lakši i bolje prigušuje vibracije (i do 10 puta), slika 3. Sporiji je prijenos topline (manje linearno istezanje), pa je dobro toplinski stabilan, slika 4. Ima veći modul elastičnosti od sivog lijeva i čelika (manje deformacije - visoka statička i dinamička krutost postolja). Naziva ga se još i materijalom budućnosti za izradu visokobrzinskih alatnih strojeva.



Slika 3 Prigušenje vibracija [10]



Slika 4 Toplinska stabilnost [10]

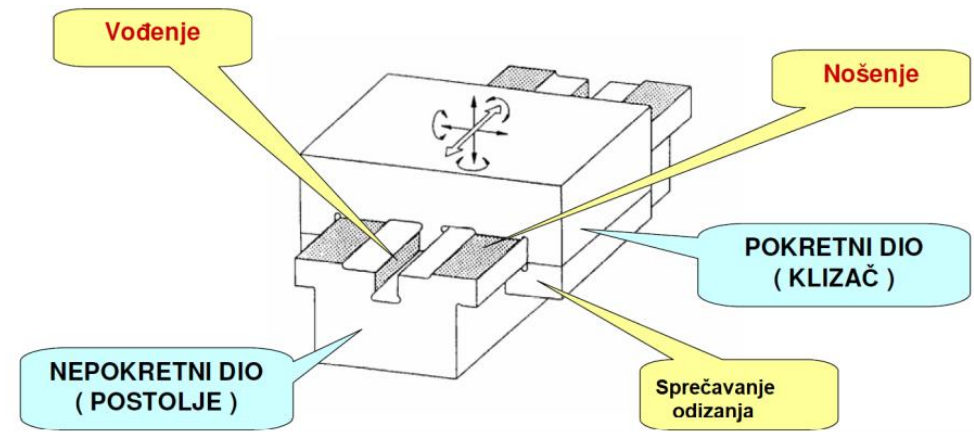
Zavarene izvedbe postolja strojeva najčešće se koriste za postolje za jedan ili zajedničko postolje za nekoliko strojeva. Koriste se za izradu prototipa prije serijske proizvodnje. Nakon zavarivanja postolja obavezno je žarenje, kako bi se uklonila sva unutarnja naprezanja izazvana zavarivanjem. Kod samog zavarivanja postoji opasnost od distorzije pojedinih dijelova zbog unosa topline. Prednosti izrade postolja u zavarenoj izvedbi su te što čelik kao materijal ima veći modul elastičnosti, te je vrlo lako izraditi postolja velikih dimenzija, dodati nove detalje ili pak promijeniti oblik. [1]



Slika 5 Zavarena izvedba postolja stroja [1]

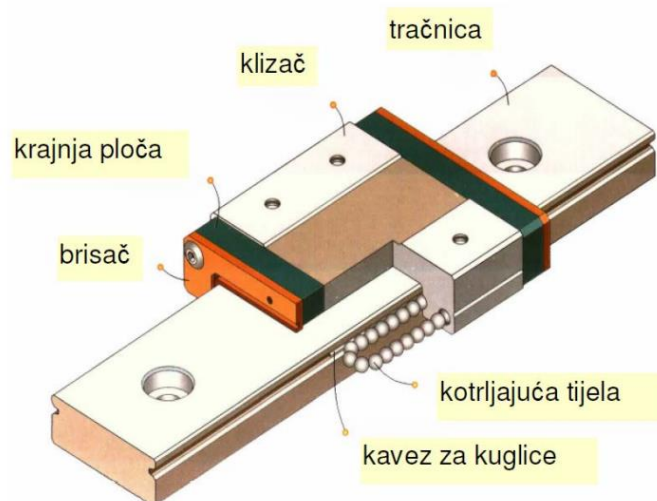
3.2. Vodicice CNC strojeva

Vodicice (slika 6) su elementi postolja čija je zadaća povezivanje nepokretnih i pokretnih dijelova obradnog stroja.



Slika 6 Klizna vodilica [10]

Osiguravaju jedan stupanj slobode gibanja klizača. Postoje dvije osnovne izvedbe vodilica, a to su klizne i kotrljajuće vodilice. Klizne vodilice najstarije su i najjednostavnije izvedbe vodilica. Imaju veliku kontaktnu površinu s pokretnim dijelom, dobro prigušuju vibracije te imaju veliku krutost, otpornost na velika opterećenja i udarna djelovanja. Kotrljajuće vodilice (slika 7) imaju trenje kotrljanja koje je manje u odnosu na trenje klizanja. Manje su mase od kliznih vodilica. Omogućeno je brže pozicioniranje, brza i jednostavna ugradnja te postoje gotovi kupovni elementi. Kotrljajuće vodilice zauzimaju više prostora na stroju te su skuplje. [1] [3]



Slika 7 Kotrljajuća vodilica [11]

3.2.1. Kuglični linearni ležajevi i osovine cilindričnog profila

Najčešće su upotrebljavani za manje CNC glodalice kod kojih nema zahtjeva velike točnosti. Postoji velik izbor različitih vrsta linearnih ležajeva, koji imaju nižu cijenu u odnosu na profilne vodilice. Sastoje se od kugličnog linearnog ležaja u aluminijskom kućištu, koji može biti otvorenog ili zatvorenog tipa i osovine cilindričnog profila, koja se učvršćuje na konstrukciju pomoću bočnih nosača linearne cilindrične osovine ili potpore za osovину cilindričnog profila. Prednost im je dobar omjer cijene i kvalitete, lako održavanje i kompaktne dimenzije. U potpunosti zadovoljavaju potrebu kada je riječ o obradi lakih metala, drva i granita te se najčešće koriste kod stolnih glodalica za tu primjenu.



Slika 8 Kuglični linearni ležaj i osovine [11]

3.2.2. Profilne vodilice s linearnim kolicima

Profilne linearne vodilice (slika 9) imaju nekoliko puta veću dinamičku nosivost od sustava s kugličnim linearnim ležajevima i osovinama cilindričnog profila. Primjenjuju se za linearno profesionalno vođenje, odnosno kod strojeva pred koje je postavljen veći konstrukcijski zahtjev. Veliki izbor profilnih vodilica s linearnim kolicima omogućuje njihovu upotrebu u različite svrhe.

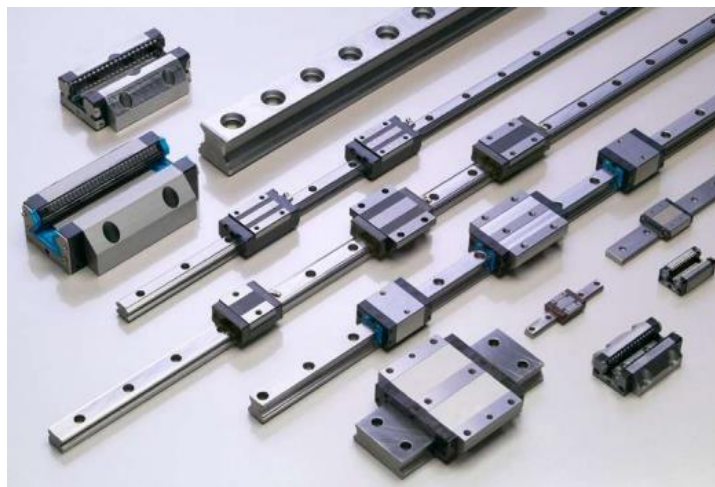
Prednosti:

- visok stupanj ponovljivosti
- preciznost

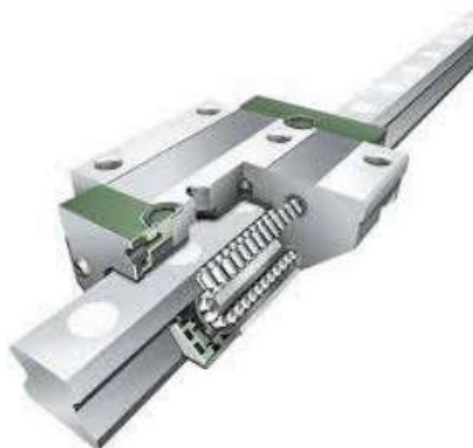
- krutost
- jednakomjerno i glatko gibanje
- dulji životni vijek

Nedostaci:

- relativno visoka cijena
- velika masa



Slika 9 Profilne vodilice s linernim kolicima [10]



Slika 10 Presjek linearnih kolica [10]

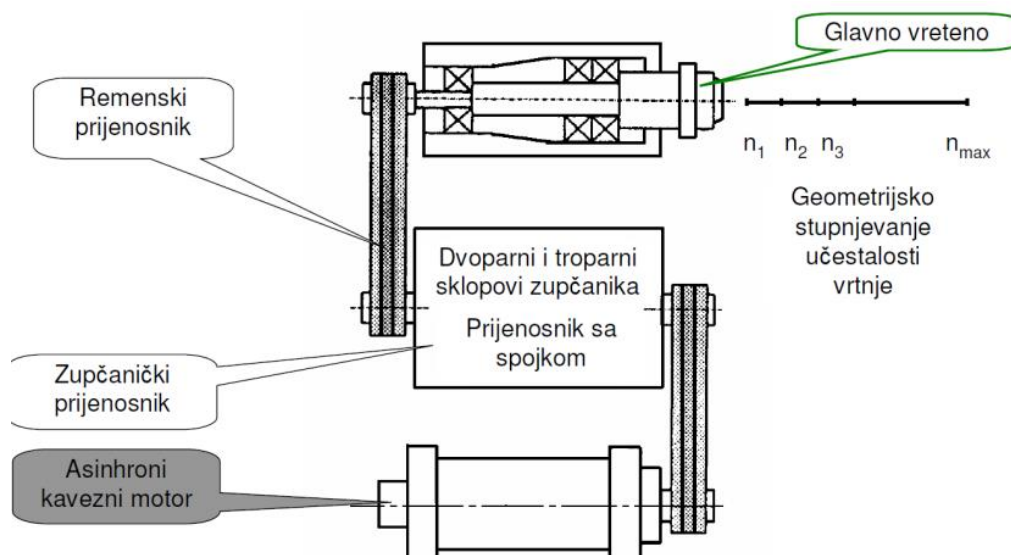
3.3. Glavni pogon alatnih strojeva (vretena)

Vreteno je motorom pogonjeno vratilo koje pozicionira alat i prenosi snagu s motora na alat, ili drži obradak (vrši prihvata obratka). Najčešće glavno gibanje je rotacijsko gibanje. Glavno vreteno alatnog stroja također se definira i kao sklop (modul) stroja, koji sudjeluje u ostvarivanju glavnog (rotacijskog) gibanja.

Pogon glavnog vretena može biti ostvaren kao klasični pogon, direktni pogon i motorvreteno. [1] [3]

3.3.1. Klasični pogon

Kod klasičnih alatnih strojeva okretni moment sa motora na vreteno prenosi se preko sistema remenskog ili zupčanog prijenosa. Željeni broj okretaja moguće je ostvariti različitim parovima zupčanika, čijim se međusobnim kombinacijama dobiva željeni broj okretaja glavnog vretena. Ovakvi pogoni danas se koriste samo na starijim strojevima jer imaju puno nedostataka, a u praksi se koriste motori na kojima je moguće mijenjati broj okretaja. Neki od njihovih nedostataka su velika buka, nemogućnost precizne regulacije kretanja i stupnjevita promjena broja okretaja.



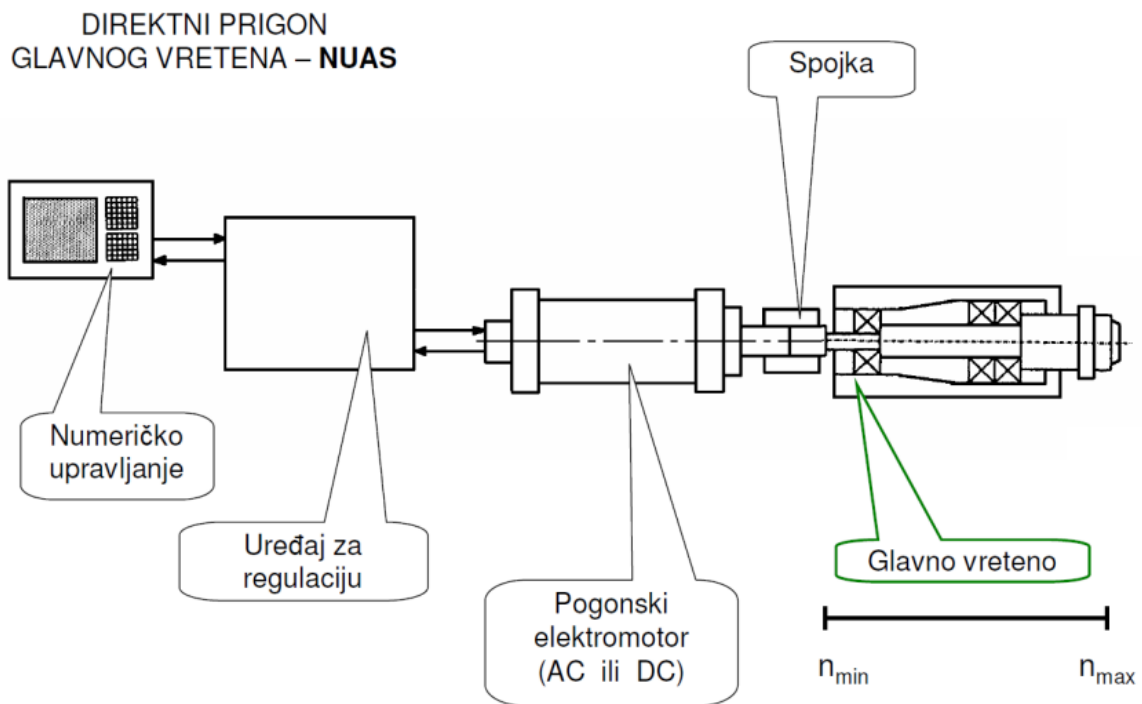
Slika 11 Klasični sustav pogona glavnog vretena [10]

3.3.2. Direktni pogon

Zbog velikog broja nedostataka klasičnog pogona, u suvremenim strojevima je došlo do razvoja direktnog pogona glavnog vretena, koji se i danas koristi. Glavno vreteno može biti spojeno na elektromotor pomoću remenskog prijenosa ili zupčaste spojke, a brzina okretaja se regulira na motoru. Regulacija broja okretaja postiže se promjenom frekvencija i napona napajanja asinkronog motora.

Prednosti ovog pogona su:

- kontinuirana promjena broja okretaja,
- kraće vrijeme zaleta i kočenja,
- povećana produktivnost obrade, kvaliteta i točnost,
- manje buke i vibracija te
- veći stupanj iskorištenja.



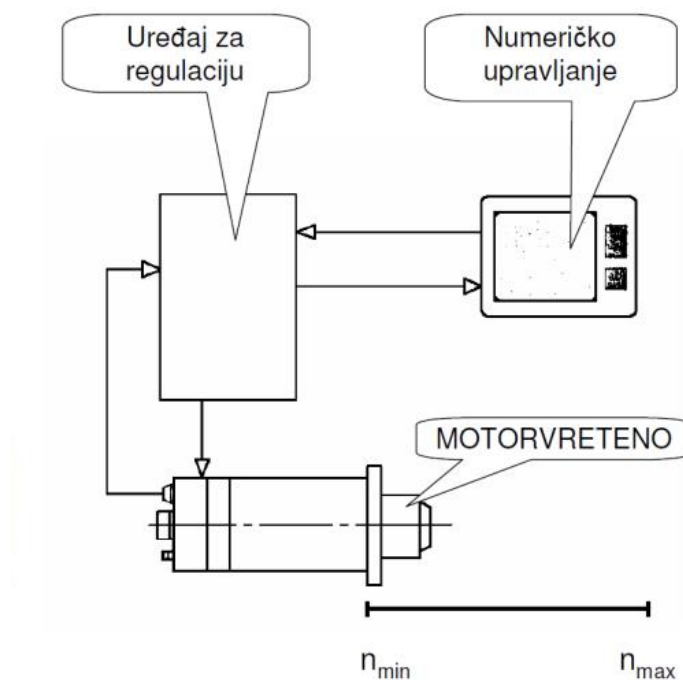
Slika 12 Direktan pogon glavnog vretena[10]

3.3.3. Motorvreteno

Motorvreteno je sistem integrirane gradnje glavnog vretena i elektromotora. Zadnjih godina se sve više koristi za potrebe visokobrzinske obrade. Rotor elektromotora je ujedno i glavno vreteno stroja, a stator elektromotora je kućište glavnog vretena stroja. Ovdje je ostvarena veća točnost obrade zbog visoke krutosti sustava. Brzina vrtnje regulira se kao i kod sustava direktnog pogona glavnog vretena. Nedostatak ovog sustava je taj što rad elektromotora uzrokuje pojavu topline koja se prenosi na glavno vreteno, pa je tijekom rada stroja potrebno hlađenje vretena vodom, uljem ili zrakom. Općenito su motorvretena dosta skupa, ali je u cjelosti stroj jeftiniji zbog jednostavnije konstrukcije.

Prednosti motorvretena su:

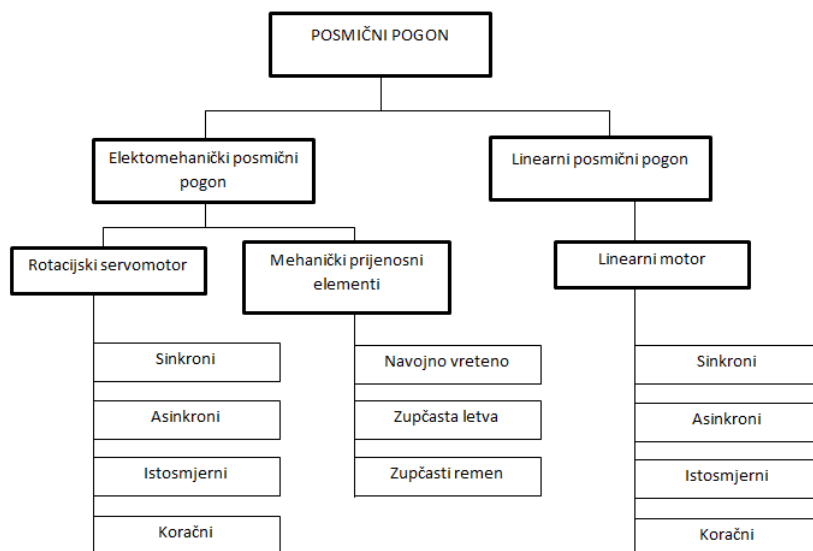
- visoki brojevi okretaja,
- minimalne vibracije i
- jednostavna konstrukcija.



Slika 13 Sustav s motorvretenom [10]

3.4. Sustavi za posmično gibanje CNC strojeva

Mehaničku energiju potrebnu za gibanje NC-osi i obavljanje višestruke namjene prijenosa i pozicioniranja unutar proizvodne jedinice pružaju posmični pogoni. Posmično gibanje izvodi se određenom brzinom koja utječe na tijek obrade proizvoda. Kod visokobrzinske obrade koriste se visoke posmične brzine, koje zahtijevaju velika ubrzanja i usporavanja izvršnih elemenata, dovodeći do značajnih promjena uvjeta rezanja. Bitni dijelovi posmičnog pogona su motor, mehanički dijelovi osi sa sustavom mijenjanja pozicije i upravljački dio sastavljen od energetskog i regulacijskog dijela.



Slika 14 Moguće izvedbe posmičnih pogona

3.4.1. Motori za posmično gibanje

To su električki prijenosnici za kontinuiranu promjenu učestalosti vrtnje. Pružaju potrebnu mehaničku energiju za gibanje i zadržavanje položaja.

Prednosti kontinuirane promjene učestalosti vrtnje:

- moguće je postići bilo koju vrijednost učestalosti vrtnje (unutar granica),
- moguća je promjena vrijednosti za vrijeme rada stroja,
- moguće je ostvariti optimalnu brzinu rezanja (uvjeti rada – katalog) i

- moguća je obrada uz konstantnu brzinu rezanja (bolja kvaliteta obrade).

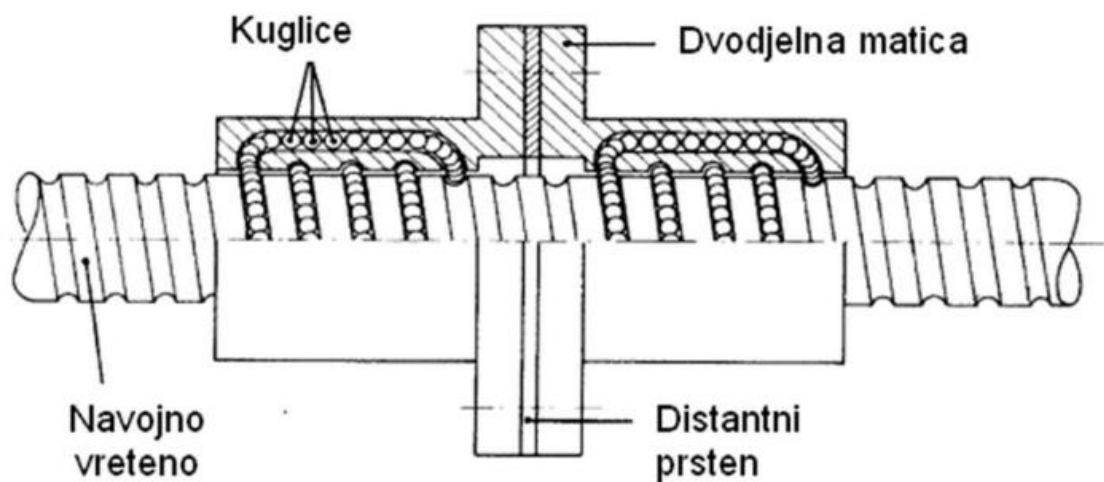
Tipovi motora koji se upotrebljavaju za posmično gibanje:

- servomotori,
- koračni motori i
- linearni motori.

3.4.2. Mehanički prijenosnik

Osnovna svrha mehaničkog prijenosnika je pretvorba rotacijskog u pravocrtno gibanje, a pretvorbu je moguće ostvariti pomoću kugličnog navojnog vretena, ozubljene letve i zupčastog remena.

Kuglično navojno vreteno s dvodjelnom maticom (slika 15) je mehanička naprava za pretvaranje rotacijskog gibanja u linearno gibanje. Pretvorbu rotacijskog u linearno gibanje može izvesti samo uz dodatnu dvodjelnu maticu koja se isporučuje zajedno s kugličnim navojnim vretenom.



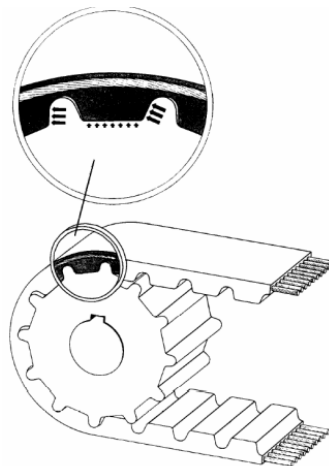
Slika 15 Kuglično navojno vreteno i dvodjelna matica [10]

Zupčasta letva (slika 16) predstavlja jedan od najpraktičnijih i najstarijih načina pretvaranja rotacijskog u linearno gibanje jer po ničemu ne zaostaje za skupim navojnim vretenima, posebno na većim dužinama, a vrlo je jeftina te je vrlo laka ugradnja.



Slika 16 Zupčasta letva [10]

Zupčasti remen (slika 17) se za dobivanje pravocrtnog gibanja može koristiti samo kod alatnih strojeva male snage i slabe preciznosti, jer se usljed radnih opterećenja rasteže te nije pogodan za veće sile i točnosti. Njegova upotreba također je vrlo jednostavna i jeftina. Nakon određenog vremena korištenja može doći do deformacije remena, pa dolazi do pojave netočnosti.



Slika 17 Zupčasti remen [10]

4. Konstrukcija strojarskog dijela CNC gravirke

Upotreba CNC gravirke uvelike je olakšala serijsku proizvodnju određenih proizvoda, za koje je karakteristično da su jednakih dimenzija i kvalitete. Uzevši u obzir sve prethodno utvrđene zahtjeve stroja, najbolja je konstrukcija od gotovih aluminijskih profila i čeličnog lima, složenih tako da tvore kompaktnu cjelinu male mase, dobre krutosti i zadovoljavajuće preciznosti. Sastoji se od tri osi: x-os, y-os i z-os. Potrebne dimenzije stroja su: duljina 608 mm, širina 730 mm i visina 850 mm. Nadalje se razrađuje konstrukcija strojarskog dijela CNC gravirke, prema zadanim parametrima, a konačni rezultat prikazuje slika 18. Električne komponente stroja izrađene su i montirane od strane druge osobe.



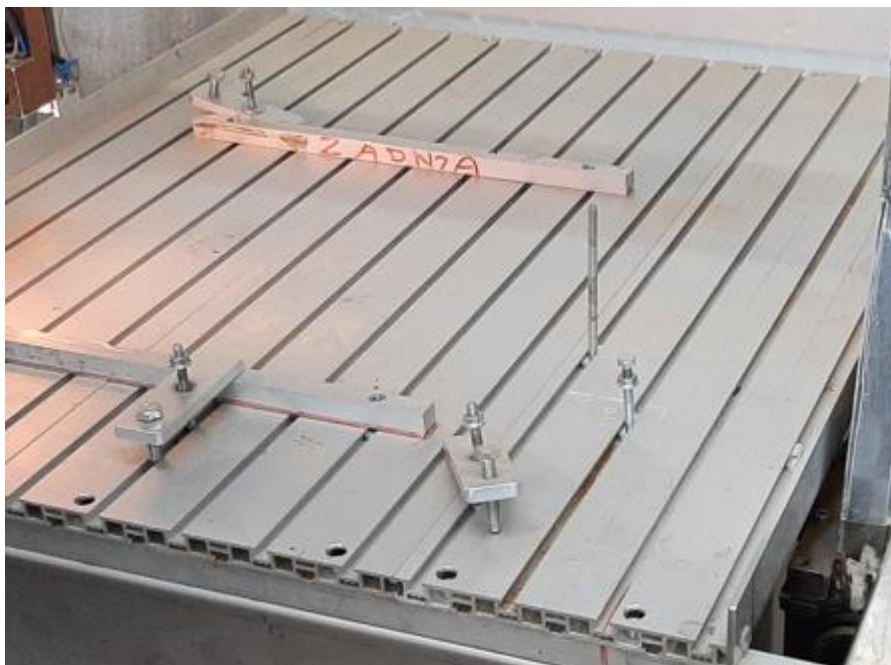
Slika 18 Izrađena konstrukcija CNC stroja za graviranje

4.1. Postolje CNC gravirke

Postolje gravirke je temelj konstrukcije jer se na njemu nalaze svi mehanički dijelovi. Sastoji se od temeljne ploče, stupa i poprečne grede. Većina dijelova postolja izrađena je od aluminijskih profila jer nema velikih opterećenja na postolje, a cjelokupna masa je manja. Postolje je potpuno montažno i spajano rastavljivim elementima (vijci i matice). Nije se izvelo povezivanje zavarivanjem, zbog lakše izrade i moguće pojave deformacija kod zavarivanja, koje bi mogle kasnije utjecati i na određene performanse i točnost stroja.

Temeljna ploča je iz aluminijskih profila s utorima koji služe za centriranje (stezanje) obratka. Spojena je s ostatkom konstrukcije pomoću dvanaest vijaka (šest sa svake strane) M10 predviđenih za spajanje aluminijskih profila. Povezana je aluminijskim kvadratnim cijevima 20x20 mm (jedna naprijed i jedna iza), a cijevi su povezane vijcima za donji, čelični dio konstrukcije. Uloga ovih cijevi je da podese željenu visinu temeljne ploče. Sa lijeve i desne strane temeljne ploče je ostavljena praznina od 25 mm zbog dijela konstrukcije za y-os.

Aluminijski komadi za pozicioniranje/ stezanje obratka na temeljnoj ploči nasjedaju u utor na aluminijskom profilu, te se stežu pomoću vijaka i matica M10, originalno namijenjenih za tu primjenu i na taj način vrši se pozicioniranje/ stezanje.



Slika 19 Aluminijski stol s utorima



Slika 20 Stezanje obratka na radnom stolu

Stupovi konstrukcije su kvadratne čelične cijevi 80x80x3 mm, vijcima spojene za čelični dio konstrukcije ispod temeljne ploče. Na gornji i donji dio čeličnih cijevi zavarena je čelična pločica dimenzija 120x120 mm sa izrezanim otvorom 80x80 mm, u koji se umeće cijev te se zavaruje. Korišteno je ukupno 8 pločica, zbog lakšeg pričvršćenja i veće stabilnosti same konstrukcije. Konstrukcija se sastoji od ukupno 4 stupa.



Slika 21 Stup konstrukcije

4.2. Vodilice CNC gravirke

Pomak po x-osi ostvaren je uz pomoć navojnog vretena (po sredini) i dvije cilindrične vodilice, po jedna sa svake strane i četiri kuglična linearna ležaja (dva sa svake strane). Cilindrične vodilice su tipa SBR 30, što su standardne okrugle vodilice s aluminijskom bazom i kugličnim ležajevima, promjera 30 mm i duljinom od 600 mm. Svaka vodilica pričvršćena je pomoću 8 vijaka M10 za dva ležaja. Ležajevi su oznake CSO 30UU.



Slika 22 Navojno vreteno za x-os



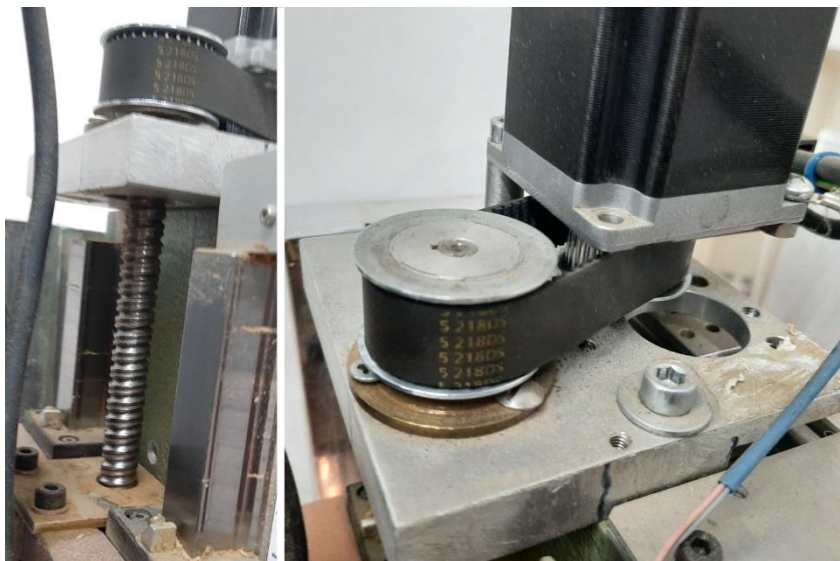
Slika 23 Cilindrična osovina i ležajevi za x-os

Pomak po y-osi ostvaren je pomoću lančanog prijenosa te dvije cilindrične osovine postavljene paralelno jedna iznad i jedna ispod lanca, promjera 16 mm. Svaka od vodilica pričvršćena je na konstrukciju s 10 vijaka M10. Sa stražnje strane konstrukcije izbušili su se provrti za vijke M10, te se vodilica s prednje strane stegla maticama. Potrebna su i dva ležaja za vođenje po vodilicama y-osi. Vodilice su oznake SBR 16.



Slika 24 Vođenje po y-osi

Vođenje po z-osi ostvareno je pomoću kugličnog navojnog vretena i dvije linearne vodilice sa svake strane kugličnog navojnog vretena. Vodilice su tipa HGR 15R koje odgovaraju za HG I QH klizače, tvrdoće 62 HRc. Imaju navojne provrte M4 te su duljine 150 mm.



Slika 25 Navojno vreteno, linearne vodilice i zupčasti remen za z-os

4.3. Glavni pogon CNC gravirke

Glavni pogon CNC gravirke ostvaren je motorvretenom, slika 26. Motorvreteno je s ugrađenim visokookretnim, posebno uravnoteženim, niskošumnim specijalnim motorom istosmjernje struje firme Kress pod nazivom PA6-GF30, od brušenog čelika. Taj tip motorvretena odgovara po dimenzijama i snazi, a ima i zračno hlađenje, pa nisu potrebne dodatne komponente za vodeno hlađenje. [8]



Slika 26 Motorvreteno Kress PA6-GF30 [8]

Karakteristike glavnog pogona navedene su tablici 1.

Tablica 1. Karakteristike glavnog pogona

Ulazna snaga	1050 W
Izlazna snaga	600 W
Brzina vrtnje	10 000 – 29 000 min ⁻¹
Dimenzije	289x73 mm
Masa	1,7 kg

Motorvreteno je pričvršćeno na ploču koju drže HG klizači z-osi, slika 27. Ulegnuto je donjim dijelom u otvor koji je pričvršćen vijcima M8. Otvor je obložen gumom da ne bi došlo do oštećenja motorvretena.



Slika 27 Stezanje motorvretena

4.4. Sustavi za posmično gibanje CNC gravirke

Kod posmičnog gibanja ne treba postići veliku točnost izrade, pa se zbog toga koriste koračni motori koji su zadovoljavajuće točnosti, umjesto servo motora koji su puno skuplji.

4.4.1. Motori za posmično gibanje

Za x-os korišten je koračni motor firme Igus oznake MOT-AN-S-060-059-086-M-A-AAAA, te je pričvršćen na ploču vijcima DIN 912 M6x25. Kod y-osi je također korišten isti koračni motor oznake MOT-AN-S-060-059-086-M-A-AAAA, te je pričvršćen istim tipom vijaka, DIN 912 M6x25. [7]



Slika 28 Igus koračni motor MOT-AN-S-060-059-086-M-A-AAAA [7]

Osnovne karakteristike Igus koračnog motora navedene su u tablici 2.

Tablica 2 Karakteristike koračnog motora Igus MOT-AN-S-060-059-086-M-A-AAAA

Priključni napon	Istosmjerna struja 48 V
Zakretni moment	5,9 Nm
Broj okretaja	500 min ⁻¹
Masa	3,2 kg

Za z-os korišten je manji motor zbog manjih opterećenja. Izabran je motor firme Igus oznake MOT-AN-S-060-020-056-L-A-AAAA. Pričvršćen je na ploču vijcima DIN 912 M5x10. [7]



Slika 29 Igus koračni motor MOT-AN-S-060-020-056-L-A-AAAA [7]

Karakteristike Igus koračnog motora za z-os prikazane su u tablici 3.

Tablica 3 Karakteristike koračnog motora Igus MOT-AN-S-060-020-056-L-A-AAAA

Priključni napon	Istosmjerna struja 48 V
Zakretni moment	2 Nm
Broj okretaja	500 min ⁻¹
Masa	1,12 kg

4.4.2. Mehanički prijenosnici CNC gravirke

Zakretni moment koračnog motora se kod x-osi prenosi preko zupčastog remena na kuglično navojno vreteno. Sustavom kuglične matice i vretena, rotacija koračnog motora pretvara se u translaciju, odnosno pomake po osima. Navojno vreteno oslonjeno je na ležaj koji se nalazi u kućištu, a njegova zadaća je preuzimanje sile gibanja i obrade. Koristi se navojno vreteno promjera 25 mm, koje je vijcima pričvršćeno na čeličnu konstrukciju ispod temeljne ploče.

Za pokretanje y-osi koristi se lančani prijenos. Oblik pogonskog lanca je jednoredni valjčasti lanac. Potrebna su i dva lančanika na svakom kraju konstrukcije y-osi.

Za pokretanje z-osi služi navojno vreteno. Navojno vreteno je tipa 1605, s promjerom od 16 mm i korakom od 5 mm/okret, duljine 150 mm. Brušenjem se obrade krajevi vretena na duljini gdje dolazi ležaj. Zakretni moment koračnog motora prenosi se zupčastim remenom, isto kao i kod x-osi.

5. Područje rada i točnost obrade CNC stroja za graviranje

Glavni pogon CNC gravirke je motorvreteno firme Kress pod nazivom PA6-GF30. Multifunkcionalan je, te se može koristiti u razne svrhe. Namijenjen je za bušenje, glodanje, brušenje, poliranje, čišćenje, rezanje, rezbarenje, graviranje i označavanje. Mogu ga koristiti modelatori, draguljari, optičari, umjetnici te ostali. Ima visoku koncentričnu točnost, maksimalno odstupanje mu je 3/100 mm. Može se koristiti za obradu drva, plastike, aluminijske.

Kuglična vretena su prema opisu proizvođača prednapregnuta (3%), bez zračnosti, a obrada krajeva prema standardu za pogonski I slobodni ležaj, tj. dosjedi za ležaj su brušeni. Izrađena su tehnikom valjanja te imaju klasu točnosti IT7.

Vodilice, prema navodima proizvođača, čine linearne tračnice izrađene od ugljičnog čelika. Linearni ležajevi izrađeni su od kvalitetnog ležajnog čelika s kućištem od aluminijske legure. Kromirana površinska obrada čini ga otpornim na hrđu, izdržljivim i iznimno tvrdim. Nema potrebe za održavanjem.

5.1. Izrada probnih komada

Radno područje stroja je 550x700 mm po x i y-osi, a 130 mm po z-osi. Kod obrade određenih komada je važno osigurati da se ne prekorači brzina koju je odredio proizvođač alata. Obodna brzina se može izračunati po formuli (1)

$$v = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{60000} \quad (1)$$

gdje je:

v - obodna brzina, m/s,

d – promjer alata, mm,

n – broj okretaja u minuti motora.

Za primjer kada je alat promjera 25 mm : $v = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{60000} = \frac{25 \cdot \pi \cdot 30000}{60000} = 39,75 \frac{\text{m}}{\text{s}}$.

Komadi koji su se obradili bili su razni ukrasni elementi od drva. Obrada se izvodila rezanjem i graviranjem elemenata, koji su se kasnije spojili kako bi se dobili gotovi ukrasi. Kod izrade više komada istih elemenata, odstupanja su gotovo neprimjetna, odnosno iznose nekoliko desetina milimetra.



Slika 30 Izrađeni predmeti

6. Troškovi izrade CNC stroja za graviranje

U tablici 4 prikazani su okvirni troškovi osnovnih elemenata za izradu strojarskog dijela CNC stroja za graviranje.

Tablica 4. Troškovi izrade CNC gravirke

Materijali za izradu	Količina	Cijena [€]
Aluminijski profili	5	200
Čelične cijevi	5	200
Puni aluminijski profili	2	150
Čelik	1	50
Vodilice		
Vodilica SBR 16, SBR 30, HGR 15R	1 komplet	400
Navojno vreteno		
Navojne matice		
Elektronske komponente		
Igus koračni motor	3	550
Kress PA6-GF30	1	450
Dodatni materijal		
Vijci	110	20
Podlošci	100	5
Matice	30	5
Ostalo	1	50
UKUPNO		2080

U ove troškove nisu u obzir uzeti sati rada koje treba potrošiti za izradu ovakvog stroja, kao ni troškovi obrade za sve alate koji se koriste za samu izradu stroja (brusilice, ključevi za vijke, odvijači, rezne ploče, ploče za poliranje itd.). U cijenu također nije uračunata ni upravljačka jedinica stroja te ostala elektronička operma. Cijena kompletnog CNC stroja za graviranje premašila bi 3000 €, što je usporediva cijena sličnih strojeva sa približno jednakim specifikacijama na tržištu.

7. Zaključak

Cilj ovog završnog rada bio je pobliže obraditi problematiku konstruiranja strojarskog dijela CNC stroja za graviranje. Takav stroj sastoji se od kupljenih, doradenih i obrađenih dijelova koji zajedno tvore kruti sklop.

Navedeni stroj pruža puno lakše, točnije i jeftinije rješenje sa dovoljnom pouzdanošću i zadovoljavajućim rezultatima. Primjena takvog stroja uvelike bi olakšala i ubrzala proizvodnju određenih izradaka, te bi se ulaganje u stroj brzo isplatilo.

Krajnja kvaliteta izradaka dobivenih procesom obrade na CNC stroju za graviranje dobiva se pomoću velike točnosti vodilica, kugličnih navojnih vretena, lanaca i lančanika, zupčanika i zupčastih remena te koračnih motora. Navedeni elementi omogućuju točno pozicioniranje i kretanje alata prema zadanom programu. Kvaliteta samog obratka ovisi o CAD/CAM sustavu koji će se primjenjivati.

Podешavanje stroja za proces obrade i njegovo održavanje ovisi o spretnosti samog operatera i godinama iskustva.

8. Literatura

- [1] R. Zdenković: Atlas Alatnih Strojeva, Zagreb; Fakultet strojarstva i brodogradnje, 1991.
- [2] M. Bošnjaković, A. Stoić: Programiranje CNC strojeva, Veleučilište u Slavonskom Brodu, 2011.
- [3] Boštjan Mencin: Razvoj in izdelava CNC gravirnega stroja po principu samogradnje, diplomski rad, Strojarskog fakulteta u Ljubljani, Ljubljana, 2017.
- [4] B. Kraut: Krautov strojarski priručnik, 9. izdanje, Tehnička knjiga, Zagreb, 1988.
- [5] <https://cnc.com.hr/>, CNC strojevi, [pristupljeno 9.9.2022.]
- [6] <https://www.cnclathing.com/guide/what-is-cnc-engraving-cnc-engraving-machine-tools-techniques-cnclathing>, o CNC strojevima za graviranje, alatima i tehnologijama, [pristupljeno 9.9.2022.]
- [7] <http://www.igus.com>, step modeli koračnih motora i lanaca za električne kablove, [pristupljeno 9.9.2022.]
- [8] <https://www.rotutech.com/fr/consommables-serie-f/1229-moteur-fraisage-kress-1050fme-1.html>, model motorvretena [pristupljeno 9.9.2022.]
- [9] <https://www.trolist.hr/index.php/komponente>, CNC operma, [pristupljeno 9.9.2022.]
- [10] Alatni strojevi, prezentacije sa predavanja
- [11] Augustin Turčinov: Projektiranje i izrada CNC stroja za graviranje, završni rad, Sveučilište u Splitu, Split, 2019.

9. Popis slika/grafikona

Slika 1. Profesionalni CNC gravirni stroj	3
Slika 2. Shematski prikaz procesa proizvodnje	7
Slika 3. Prigušenje vibracija	9
Slika 4. Toplinska stabilnost	9
Slika 5. Zvarena izvedba postolja stroja	10
Slika 6. Klizna vodilica	11
Slika 7. Kotrljajuća vodilica	11
Slika 8. Kuglični linearni ležaj i osovine	12
Slika 9. Profilne vodilice s linernim kolicima	13
Slika 10. Presjek linearnih kolica	13
Slika 11. Klasični sustav pogona glavnog vretena	14
Slika 12. Direktan pogon glavnog vretena	15
Slika 13. Sustav s motorvretenom	16
Slika 14. Moguće izvedbe posmičnih pogona	17
Slika 15. Kuglično navojno vreteno i dvodjelna matica	18
Slika 16. Zupčasta letva	19
Slika 17. Zupčasti remen	19
Slika 18. Izrađena konstrukcija CNC stroja za graviranje	20
Slika 19. Aluminijski stol s utorima	21
Slika 20. Stezanje obratka na radnom stolu	22
Slika 21. Stup konstrukcije	22
Slika 22. Navojno vreteno za x-os	23
Slika 23. Cilindrična osovina i ležajevi za x-os	23
Slika 24. Vođenje po y-osi	24
Slika 25. Navojno vreteno, linearne vodilice i zupčasti remen za z-os	24
Slika 26. Motorvreteno Kress PA6-GF30	25
Slika 27. Stezanje motorvretena	26
Slika 28. Igus koračni motor MOT-AN-S-060-059-086-M-A-AAAA	26
Slika 29. Igus koračni motor MOT-AN-S-060-020-056-L-A-AAAA	27
Slika 30. Izrađeni predmeti	30

10. Popis tablica

Tablica 1. Karakteristike glavnog pogona	25
Tablica 2. Karakteristike koračnog motora Igus MOT-AN-S-060-059-086-M-A-AAAA ..	27
Tablica 3. Karakteristike koračnog motora Igus MOT-AN-S-060-020-056-L-A-AAAA ...	27
Tablica 4. Troškovi izrade	31