

Konstrukcija kućišta male portalne CNC glodalice

Horvat, Nenad

Undergraduate thesis / Završni rad

2010

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje***

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:838532>

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

*Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-26***

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering
and Naval Architecture University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu

Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Nenad Horvat

Zagreb, 2010.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet strojarstva i brodogradnje

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada:

Prof. dr. sc. Toma Udiljak

Student:

Nenad Horvat

Zagreb, 2010.

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno, koriste i se znanjem i vještinama ste enim tokom studija na Fakultetu strojarstva i brodogradnje Sveu ilišta u Zagrebu te navedenom literaturom.

Zahvaljujem se na pomo i, savjetima i ustupljenoj literaturi, te utrošenom vremenu i trudu svome mentoru prof. dr. sc. Tomi Udiljaku.

Tako er se zahvaljujem stru nom suradniku dipl. ing. Zlatku atlaku na pruženoj pomo i i savjetima tijekom izrade ovog rada, te znanstvenom novaku dipl.ing. Tomislavu Staroveškom.

Veliku zahvalu dajem svojim roditeljima, kao i ostatku obitelji na strpljenju i pomo i, te bezgrani nom povjerenju koje su mi ukazali tokom dosadašnjeg dijela studija.

Na kraju hvala svim mojim kolegama i priateljima na pomo i, susretljivosti i nesebi nosti, te nezaboravnim trenucima tijekom studija.

Nenad Horvat

Naslov: **KONSTRUKCIJA KU IŠTA MALE PORTALNE CNC GLODALICE**

Opis zadatka:

U laboratoriju za alatne stope je izvšen djelomi ni „retrofiting“ male portalne glodalice pri emu je razvijeno i ugra eno upravlja ko ra unalo otvorene arhitekture. Time su ostvareni uvjeti za razvoj i ugradnju algoritama nadzora i upravlja kih algoritama. Prva primjena takvih rješenja biti će pri bušenju kostiju.

Da bi se mala portalna glodalica opremlila za cjeovita ispitivanja postupka bušenja kostiju, u radu treba projektirati, izraditi dokumentaciju i realizirati ku ište stroja koje će omogu iti temperiranje radnog prostora te prihvati teku ine (kod bušenja kostiju to će biti fiziološka otopina) za hla enje kroz vreteno.

1. SAŽETAK

U Laboratoriju za alatne strojeve Fakulteta strojarstva i brodogradnje, nalazi se mala portalna CNC glodalica. Na glodalici je izvršen djelomični „retrofiting“, pri čemu je razvijeno i ugrađeno upravljačko hardver i software, te su time ostvareni uvjeti za razvoj i ugradnju algoritama nadzora i upravljačkih algoritama.

Prva primjena takvih rješenja bit će pri bušenju kostiju, za potrebe ispitivanja Laboratorija za medicinsko inženjerstvo Fakulteta strojarstva i brodogradnje. Kod bušenja će se koristiti fiziološka otopina, te sam prostor, tj. okolina obrade, treba biti zagrijana adekvatnim grijačim tijelom. U cilju ispunjenja potrebnih uvjeta cijeli sustav će se izolirati kućištem. Još kod konstruiranja portalne glodalice, nije se predviđala upotreba za buduće složena ispitivanja u području medicine, te zbog istog sama konstrukcija kućišta nije bila najjednostavnija. Imajući na umu ispunjenje svih funkcionalnih, tehnoloških i ekoloških zahtjeva, ovim radom predloženo je jedno od mogućih rješenja konstrukcije kućišta dotične portalne CNC glodalice. Prikazat će se problemi koji su se javljali tokom konstrukcije, te njihova predložena rješenja.

2. SADRŽAJ

| | |
|--|----|
| 1. SAŽETAK | 3 |
| 2. SADRŽAJ | 4 |
| 3. POPIS SLIKA | 5 |
| 4. UVOD | 7 |
| 5. RAZVOJ NUMERI KOG UPRAVLJANJA I NC STROJEVA | 8 |
| 6. OBRADA ODVAJANJEM ESTICA..... | 11 |
| 7. GLODANJE | 16 |
| 8. BUŠENJE | 18 |
| 9. KONSTRUKCIJA ALATNIH STROJEVA..... | 20 |
| 10. KONSTRUKCIJA KU IŠTA PORTALNE GLODALICE..... | 29 |
| 11. ZAKLJU AK..... | 48 |
| 12. LITERATURA | 49 |

3. POPIS SLIKA

| | | |
|-------------|--|----|
| Slika 1. | Razvoj alatnih strojeva..... | 9 |
| Slika 2. | Vremena utrošena za obradu na NU alatnim strojevima..... | 10 |
| Slika 3. | Podjela postupaka obrade odvajanjem estica | 11 |
| Slika 4. | Obrada odvajanjem kao sustav..... | 14 |
| Slika 5. | Oblici glodala | 17 |
| Slika 6. | Spiralno svrdlo | 19 |
| Slika 7. | Modularna gradnja portalnih glodalica | 20 |
| Slika 8. | Prikaz podjele pogona na obradnom centru | 21 |
| Slika 9. | Osnovne zna ajke visokobrzinske obrade | 22 |
| Slika 10. | Uobi ajene izvedbe glavnog pogona | 23 |
| Slika 11. | Obradna jedinka sa servo motorima i kugli nim navojnim vretenima..... | 24 |
| Slika 12. | Mogu e realizacije posmi nih pogona | 25 |
| Slika 13. | Posmi ni pogon s motorom i kugli nim navojnim vretenom..... | 25 |
| Slika 14. | Posmi ni pogon s linearnim motorom | 26 |
| Slika 15. | Gra a kugli nog navojnog vretena | 26 |
| Slika 16. | Gra a pogona s kugli nim navojnim vretenom | 27 |
| Slika 17.a) | Mala portalna CNC glodalica | 29 |
| Slika 17.b) | Mala portalna CNC glodalica | 30 |
| Slika 18. | CAD model portalne glodalice..... | 30 |
| Slika 19. | CAD model portalne glodalice-pogled odozgo..... | 31 |
| Slika 20. | CAD mofel portalne glodalice-pogled sa strane | 32 |
| Slika 21. | Centralni stup..... | 32 |
| Slika 22. | Nepomi ni okvir ku išta | 33 |
| Slika 23. | Zatvoreni okvir ku išta | 34 |
| Slika 24. | Zatvoreni okvir pri vrš en za glodalicu | 34 |
| Slika 25. | Zatvoreni pomi ni okvir | 35 |
| Slika 26. | Kliza | 35 |
| Slika 27. | Prikaz položaja pomi nog i nepomi nog okvira | 36 |
| Slika 28. | Rješenje vodilice pomi nog okvira | 36 |
| Slika 29. | Prihvatz vodilica | 37 |
| Slika 30. | Rješenje brtvljenja izme u pomi nog i nepomi nog okvira u presjeku | 37 |
| Slika 31. | Rješenje brtvljenja izme u pomi nog i nepomi nog okvira | 38 |

| | |
|--|----|
| Slika 32. Posuda za skupljanje fiziološke otopine..... | 38 |
| Slika 33.a) Rješenje za podizanje pomi nog okvira..... | 39 |
| Slika 33.b) Rješenje za podizanje pomi nog okvira..... | 40 |
| Slika 34.a) Spoj lancem | 40 |
| Slika 34.b) Spoj lancem | 41 |
| Slika 35. Spoj lancem s prednje strane..... | 41 |
| Slika 36. Ku išta za zaštitu lan anika..... | 42 |
| Slika 37. Transparentan pogled kroz ku ište lan anika..... | 42 |
| Slika 38. Prikaz vodilica utega po cijeloj visini | 43 |
| Slika 39. Tla ne opruge | 43 |
| Slika 40. Prikaz manjeg ku išta | 44 |
| Slika 41. Rješenje za prolaz kabela..... | 44 |
| Slika 42. Zaštita kliznih vodilica | 45 |
| Slika 43. Prikaz glodalice s otvorenim vratima..... | 46 |
| Slika 44. Prikaz prihvata za termometar | 46 |
| Slika 45. Završni izgled glodalice..... | 47 |

4. UVOD

Razvoj tehnologije omogu uje i poti e sve ve u primjenu novih i tehnoloških rješenja u svim podru jima ljudske djelatnosti. Proizvodni sustavi postali su znatno kompleksniji, pa je uloga simulacije u objašnjavanju njihovog rada postala vrlo važna. Simulacije u podru ju proizvodnje su relativno nov pojam. Kako se tržište globalizira, pritisak konkuren cije postaje sve intenzivniji. Pove ana cijena rada u razvijenim zemljama prisilila je kompanije da, ili pove aju stupanj automatizacije u proizvodnji, ili se relociraju u ekonomski prihvatljivije okruženje. Osim toga, pove ana konkuren cija na tržištu dopušta kupcima da imaju specifi ne zahtjeve kod proizvoda. Na zahtjeve za velikom fleksibilnoš u i manjim serijama odgovorilo se višim stupnjem automatizacije i modularnim konceptima poput CIM-a (Computer Integrated Manufacturing).

Ra unala danas predstavljaju osnovu svih inženjerskih projekata jer se, osim za mehani ke konstrukcije, CAD/CAM istodobno koristi u oblikovanju medicinskih, elektroni kih komponenata, arhitektonskih i gra evinskih objekata i ostalog gdje je uklju eno geometrijsko oblikovanje. Njihovim korištenjem i integracijom sa inženjerskim radom, sa opravdanjem se može o ekivati napredak tehnologija te razvoj novih proizvoda uz smanjenje troškova.

Razvojem ra unala i pripadaju om podrškom, inženjerski posao svakim danom postaje naizgled sve jednostavniji. Naizgled, jer iako se ini da je posao znatno olakšan upotrebom visokosofisticiranih programskih i hardverskih alata, potrebno je mnogo znanja da bi korisnik istih mogao predvidjeti kona an ishod koji daju ti alati.

5. RAZVOJ NUMERI KOG UPRAVLJANJA I NC STROJAVA

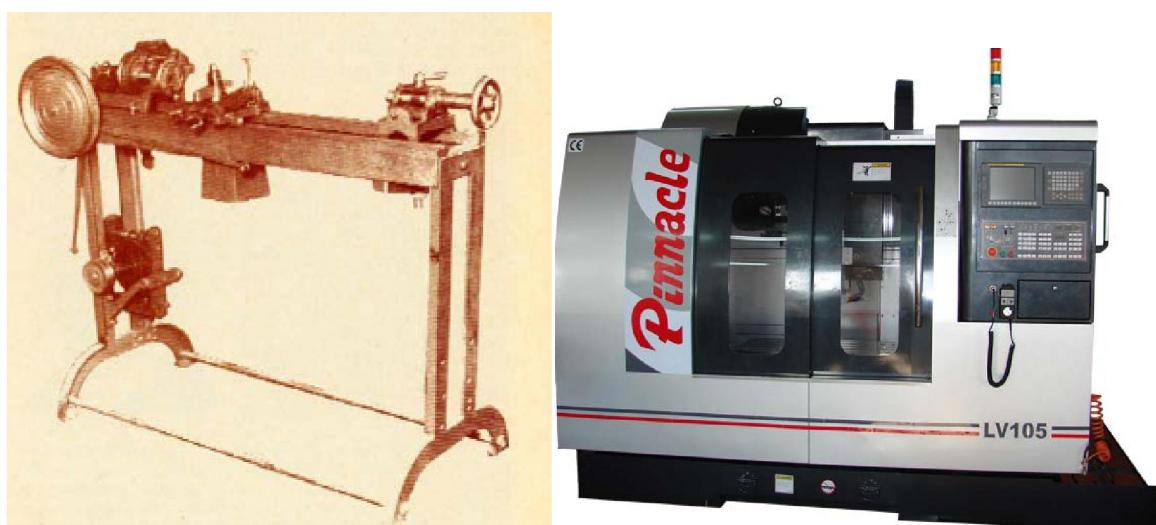
Alatni strojevi su strojevi koji mogu izravljati sami sebe i u osnovi se definiraju kao strojevi koji služe za obradu i izradu pojedinih dijelova svih ostalih strojeva i uređaja. Alatni stroj dio je obradnog sustava koji služi za osiguravanje međusobnog gibanja između reznih alata i obratka.

Alatne strojeve prema načinu upravljanja dijelimo na :

- Ručno upravljeni alatni strojevi (operator upravlja strojem)
- Automatski upravljeni alatni strojevi (Program – geometrijski i tehnički podaci)

Suvremeni inteligentni sustavi svoj su razvoj i primjenu počeli više od 250 godina od pojave prvih strojeva. Njima je prethodio razvoj: alatnih strojeva (prvi tokarski stroj, 1717. V. Britanija), automatskog upravljanja (razboj za pletenje pomoću bušene limene pločice, 1808. Joseph M. Jacquard, Francuska), obradnih strojeva (prvi jednovreteni tokarski stroj 1873-80.), kompjutorske tehnike (prvi elektronski digitalni kompjuter 1943-46. dr. John W. Mauchly i dr. J. Presper Eckert), numeričko upravljanje (1947. u SAD, John Parsons prvi put u povijesti numerički upravljava strojem), programskih jezika (prvi programski jezik APT za strojno programiranje razvijen 1958. na M.I.T. u SAD), numeričkih i kompjuterskih upravljenih alatnih strojeva (1952. na M.I.T. predstavljen prvi NC stroj, 1954. u primjeni, a 1972. prvi CNC stroj), specijalnih mehanizama sa šest stupnjeva slobode, poznat kao Stewart mehanizam, što je postala osnova za razvoj nove generacije alatnih strojeva, brzih robota i rekonfigurablenih tehničkih sustava (1960. D. Stewart), razvoj fleksibilnih obradnih sustava (1968. D.N.T. Williamson, razvijen i prikazan prvi fleksibilni obradni sustav), razvoj fleksibilnih proizvodnih sustava (1978.), nastanak automatizirane tvornice dobivene povezivanjem više obradnih sustava (tvornica CIM, 1986/87), pa sve do osamdesetih godina prošlog stoljeća kada nastaju moderni inteligentni i proizvodni sustavi, tvornice bez ljudi [7].

Razvitak numeri ki upravljanih alatnih strojeva uvjetovan je izrazitim razvijkom elektronike što je omoguilo njihovu proizvodnju. Numeri ki upravljeni alatni stroj spada u grupu automatskih upravljanih alatnih strojeva. Geometrijski i tehnološki podaci zadaju se preko programa, a program se upisuje u upravljačku jedinicu alatnog stroja. Samostojeći je stroj i rukno se intenzivno poslužuje. Posjeduje AIA (Automatska izmjena alata) i spremište alata te je više strani na obrada i više operacijska u jednom stanzanju.

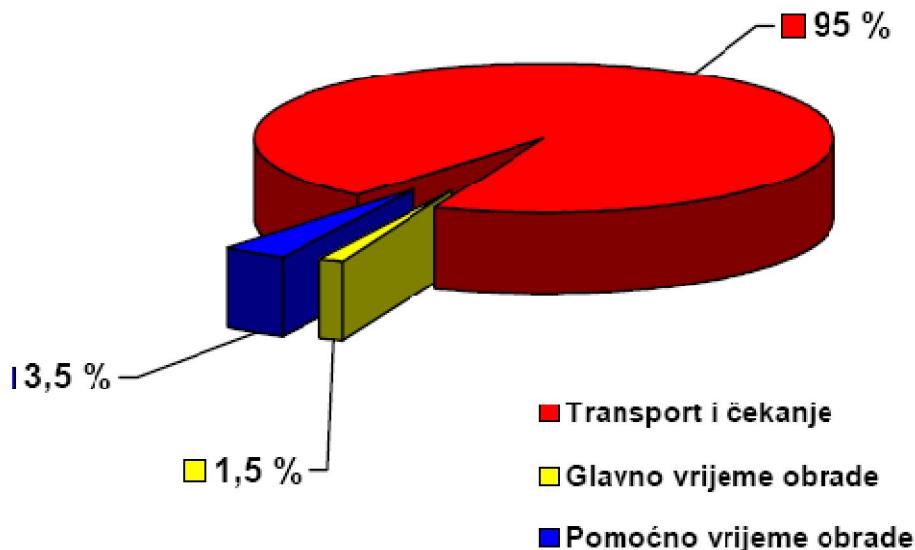


a) Tokarilica iz približno 1825. godine

b) Numeri ki upravljeni CNC stroj

Slika 1. Razvoj alatnih strojeva [2]

Dinamičan razvoj CNC alatnih strojeva inicira osnovu razvoja fleksibilnih proizvodnih sustava kod kojih se stalnim tehnikim unapređenjima i razvojem automatskih uređaja za izmjenu alata i obradaka kontinuirano skraćuju kako pomoćna vremena tako i vremena strojne obrade. U tijeku razvoja postupka obrade odvajanjem estica od same pojave NC alatnih strojeva do pojave suvremenih proizvodnih sustava zasnovanih na automatizaciji i integraciji NC-a, vidljiv je stalni rast produktivnosti kroz značajna skraćenja pomoćnih i glavnih vremena obrade u toku razvojnog procesa. Od ukupnog strojnog vremena oko 1,5 % ili glavno vrijeme obrade (provodi se neposredna obrada), 3,5 % ili pomoćno vrijeme obrade (postavljanje, skidanje obratka, mjerjenje itd.), a tek 95 % vremena odnosi se na transport i ekanje.



Slika 2. Vremena utrošena za obradu na NU alatnim strojevima [2]

Industrijska proizvodnja, posebno metalopreraiva ka industrija, primjenom fleksibilnih obradnih sustava ostvaruje:

- povećanje produktivnosti rada za 2 do 10 puta,
- smanjenje troškova proizvodnje,
- pouzdaniju kvalitetu proizvoda,
- skraćenje ciklusa proizvodnje za 2 do 5 puta,
- skraćenje protoka proizvodnje,
- smanjenje proizvodnog prostora,
- smanjenje troškova obrtnih sredstava, trosmjenski rad

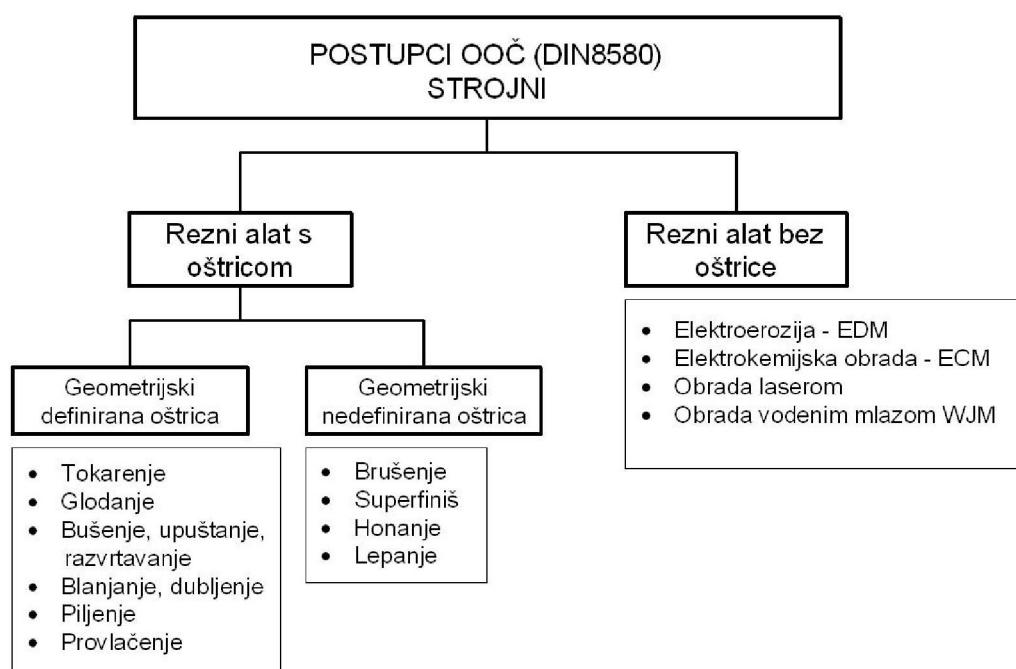
Gibanja na alatnim strojevima, kinematika i dinamika stroja te sami izgled i gabariti definiraju svrhu stroja te način i primjenu obrade odvajanjem destica na samim strojevima.

6. OBRADA ODVAJANJEM ESTICA

Obrada odvajanjem estica je skup proizvodnih tehnologija tj. postupaka obrade materijala sa ciljem da se iz sirovog materijala (pripremak) dobije gotov proizvod (izradak). Obrada odvajanjem estica je najvažniji industrijski proces pretvorbe materijala. To je širok pojam koji pokriva veliki broj procesa obrade koji služe za odstranjivanje viška materijala s obratka, obično u obliku odvojene estice.

Obrane odvajanjem estica se upotrebljavaju kako bi se sirovci obradili s alatom u željene oblike točno određenih dimenzija i kvaliteta površina kako bi ispunili konstrukcijske zahtjeve. Gotovo u svakom proizvodu se nalaze komponente koje zahtijevaju obradu velike točnosti. Zbog velike dodane vrijednosti finalnom proizvodu skup procesa obrade odvajanjem estica je najvažniji od svih osnovnih procesa proizvodnje. Može se isto reći da je obrada odvajanjem estica najčešće primjenjena i najskuplja obrada. Glavnina industrijske primjene obrade odvajanjem estica je u metalima ali se sa zahtjevima tržišta također raspršila i na druge materijale.

Proizvodni postupci obrade odvajanjem podijeljeni su (prema DIN 8580):



Slika 3. Podjela postupaka obrade odvajanjem estica [3]

Tri glavna faktora vezana su uz proces obrade odvajanjem estica:

- obradak,
- alat,
- alatni stroj

Alatom nazivamo sredstva kojim se obra uje obradak u toku proizvodnje. Da bi iz sirovog materijala dobili koristan proizvod potrebna je odvojena estica koja je definirana kinematikom i gibanjima samog stroja, prema kojima se odre uju parametri obrade. Bez definiranih gibanja nije mogu e ostvariti obradu odvajanjem.

Gibanja su podijeljena na:

a) GLAVNO GIBANJE (G) - izvodi se brzinom v_c (brzina rezanja), i njome se obavlja odvajanje estica, pri emu se troši najve i dio snage na alatnom stroju. Po obliku glavno gibanje može biti:

- kružno ili pravocrtno
- kontinuirano ili diskontinuirano

b) POSMI NO GIBANJE (P) - izvodi se brzinom v_f (posmi na brzina) i služi za održavanje kontakta izme u alata i obratka. Po obliku i posmi no gibanje može biti:

- kružno ili pravocrtno
- kontinuirano ili diskontinuirano

c) DOSTAVNO GIBANJE (D) - primak-odmak; potrebno je za dovo enje alata i obratka u zahvat, zauzimanje dubine rezanja, te povrat nakon obavljenе obrade.

Za izbor postupka obrade tako er je potrebno odrediti sljede e režime i parametre:

- **Materijal obrade:** Kemijska struktura obratka može se odrediti ili je ve poznata.
- **Po etna geometrija obradka:** Veli ina i oblik predmeta obrade može biti uvjetovana prethodnim procesom (lijevanje, kovanje, prešanje itd.) i direktno utje e na izbor procesa obrade.
- **Materijal alata:** U upotrebi su tri naj eš a materijala alata: brzorezni elik (HSS), tvrdi metali te cermet. esto se primjenjuju i alati od tvrdog metala s kemijskim

presvlakama (Titan karbid i Titan nitrid). Kubni bor nitrid, keramika i dijamant se također primjenjuju ali rjeđe.

- **Parametri obrade:** Za svaku obradu odvajanjem estica potrebno je odrediti **brzinu rezanja (vc)**, **posmak (f)** i **dubinu rezanja (ap)**. Pravilan odabir ovih parametara zavisi od ulaznih varijabli: dodatni materijal koji je potrebno ukloniti, materijal obratka, materijal alata te vrsta obrade odvajanjem.

- **Geometrija alata:** Geometrija alata se određuje kako bi se ispunile specifične funkcije obrade. Pri obradi odvajanjem estica razlikujemo alate s geometrijski definiranom oštricom (tokarski nož) i alate s geometrijski nedefiniranom oštricom (zrno u brusnoj ploši).

- **Stezne naprave:** Predmeti obrade se drže na određenoj poziciji u odnosu na alat stegnuti u stezne naprave ili u same alatne strojeve. Za različite alatne strojeve postoje i različite vrste steznih naprava (od univerzalnih do specijalnih steznih naprava). Stezne naprave su isto tako ključne za postizanje precizne obrade.

- **SHIP:** Sredstvo za hlađenje, ispiranje i podmazivanje ima sljedeće funkcije:

- hlađenje radnog predmeta, alata i strugotine,
- smanjenje trenja podmazivanjem,
- odstranjanje strugotine iz zone rezanja,
- poboljšavanje kvalitete obrade površine.

- **Mehanizmi stvaranja odvojene estice:** Proces obrade odvajanjem estice je proces pri kojem oštrica alata ulazi u materijal obratka i odstranjuje sloj materijala u obliku odvojene estice. S ulaskom reznog alata u obradak materijal ispred alata se deformira i reže uz velika naprezanja. Materijal napušta reznu zonu po prednjoj površini alata u obliku odvojene estice. Osnovni mehanizam odvajanja materijala je lokalna rezna smrća na deformacija materijala obratka ispred rezne oštice alata.

- **Sile rezanja:** Sile rezanja moraju biti dovoljno velike kako bi došlo do odvajanja materijala i stvaranja odvojene estice. Odvojena estica nastaje kombinacijom plastične deformacije i loma materijala. Deformirana estica se lomom odvaja od osnovnog materijala. Proces odvajanja i formiranje estice može se najlakše analizirati ako je glavna oštrica okomita na relativno kretanje.

U procesu obrade materijala odvajanjem estica dolazi do **trošenja alata**. Zbog toga je od izuzetnog značaja da se razumiju mehanizmi i procesi koji djeluju

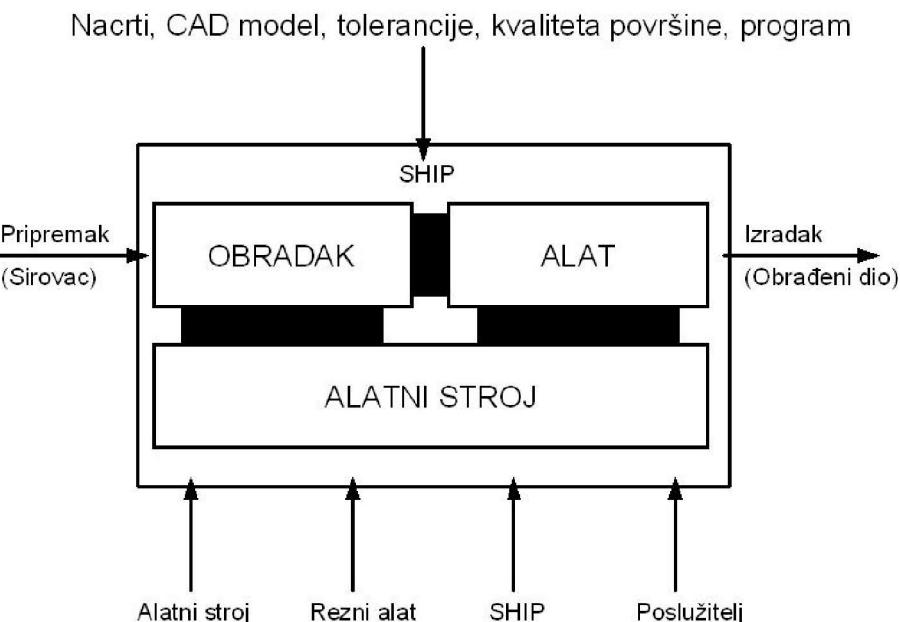
izme u obratka, estice i alata. Vrlo složeni proces stvaranja estice se provodi pod velikim optereenjima, brzinama rezanja i trenjima koja uzrokuju visoka naprezanja i deformacije. Zbog toga dolazi do razvoja velikih sila rezanja i toplina. Sve ovo dovodi do velikog ubrzanja fizikalnih i kemijskih procesa vezanih uz trošenje alata.

Prednosti obrade odvajanjem estica su:

- jedini na in da se ostvari visoka preciznost i visoka kvaliteta obraene površine
- jedini na in formiranja oštih rubova, ravnih površina, te unutarnjih i vanjskih profila
- jedini na in oblikovanja otvrdnutih i krutih materijala
- ekonomiost (za male serije, tj. prototipove)
- presudna je kod formiranja složenih oblika s zahtjevnom dimenzijskom točnošću i površinskom hrapavosću

Nedostaci obrade odvajanjem estica su:

- generiraju se velike količine odvojenih estica
- više vremena se troši za obradu nego za formiranje površina
- u slučaju lošeg projektiranja obrade odvajanjem može doći do narušavanja svojstava obratka i obraene površine



Slika 4. Obrada odvajanjem kao sustav [2]

Pravilan pristup projektiranju i konstrukciji alatnih strojeva temelji se na obradi odvajanjem kao sustavu, definiranju postupka obrade, alatnog stroja, prepostavci oblika i materijala obratka, alatima i njihovim reznim oštricama, u novije vrijeme kompatibilnostima sa programima i mogu noš u programiranja te svemu ostalom iznad navedenom: silama rezanja, steznim napravama, to noš u pozicioniranja, SHIP-u, masama krutih tijela, itd... Upravo sve prethodno navedeno su ulazne varijable za pristup projektiranju alatnog stroja.

7. GLODANJE

Glodanje je postupak obrade odvajanjem estica (rezanjem) obradnih površina proizvoljnih oblika. Izvodi se na alatnim strojevima, glodalicama, pri emu je glavno (rezno) gibanje kružno kontinuirano i pridruženo je alatu. Posmi no gibanje je kontinuirano, proizvoljnog oblika i smjera i pridruženo je (naj eš e) obradku. Kod nekih novijih strojeva dostavno kretanje esto obavlja alat, koji ponekad izvršava posmi no kretanje. Os okretanja glavnog gibanja zadržava svoj položaj prema alatu bez obzira na smjer brzine posmi nog gibanja. Alat za glodanje je glodalo definirane geometrije reznog dijela, s više glavnih reznih oštrica koje se nalaze na zubima glodala. Rezne oštice periodi no ulaze u zahvat s obratkom i izlaze iz njega tako da im je dinami ko optere enje jedno od osnovnih obilježja. Istodobno je u zahvatu s obratkom samo nekoliko reznih oštrica. Glodanje je složenija operacija od tokarenja i bušenja, ne samo zbog ve eg broja oštrica, ve i zbog promjenjivog presjeka „strugotine“ za vrijeme dok jedan Zub izvodi obradu. Prema na inu sastavljanja radnog i posmi nog kretanja, glodanje možemo podijeliti na obodno i eono.

7.1 Alat-glodalo

Alat za glodanje je glodalo definirane geometrije reznog dijela, s više glavnih reznih oštrica koje se nalaze na zubima glodala i mogu biti smještene ili na obodnoj (rje e) ili na obodnoj i eonoj plohi glodala. Postoji više kriterija podjele glodala, a naj eš e se dijele po obliku i namjeni: valjkasta, eona, vretenasta s ravnom ili loptastom elnom plohom, plo asta s pravokutnim ili profilnim popre nim presjekom, pilasta glodala, odvalna glodala, te glodala posebnih oblika. Rezni dio glodala izra uje se od materijala znatno ve e tvrdo e od obra ivanog materijala, a naj eš e se koriste brzorezni elici, tvrdi metali, cermet, keramika te kubni nitrid bora. Od brzoreznog elika izra uje se cijelo glodalo [6].



Slika 5. Oblici glodalaca [9]

8. BUŠENJE

Bušenje je obrada odvajanjem estica kod koje alat vrši glavno gibanje, rotaciju, i posmi no gibanje, translaciju, a služi za izradu rupa i prvrta.

Neprestani razvoj industrije i potrebe tržišta postavljaju više zahtjeve i utje u na neprestani napredak i unaprje enje svih obrada odvajanjem estica, pa tako i bušenja.

Me u raznovrsnim tehnološkim procesima u metalnoj industriji obrada bušenjem smatra se jednom od najvažnijih obrada. Na ve ini elementa koji se nalaze na strojevima, ure ajima, mehanizmima i aparatima susreemo provrte izraene bušenjem. To ne zna i da se provrti obra uju isklju ivo bušenjem.

Postoji niz razli itih postupaka kojim se mogu izraditi prvrta. To su: tokarenje, probijanje, autogeno rezanje, štancanje, lijevanje... Me utim, zbog raznovrsnih oblika, kvaliteta i kvantiteta izra ivanih obradaka ove se obrade ne mogu primjeniti u svim slu ajevima i potrebama. Prema tome, kada se obra uju ve e koli ine metalnih predmeta, obrada bušenjem ima najširu primjenu jer omogu uje oblikovanje prvrta i na predmetima složenog oblika. Prvrti se buše na taj na in da rezni alat prodire u materijal i obradom odvajanjem estica oblikuje prvrt u metalnim i nemetalnim predmetima. Danas se ovom obradom gotovo sasvim udovoljava sve strožim zahtjevima u pogledu kvalitete obra enih površina i to nosti dimenzija obra enog prvrta. Obradom bušenjem mogu se obra ivati gotovo svi materijali. Naj eš e je potrebna preciznost izrade prvrta bušenjem upravo presudna kod odabira tehnologije obrade.

8.1 Alat-svrdlo

Svrdla su alati koji se upotrebljavaju za bušenje i proširivanje prvrta razli itih dubina u raznim materijalima.

Spiralno svrdlo se sastoji od:

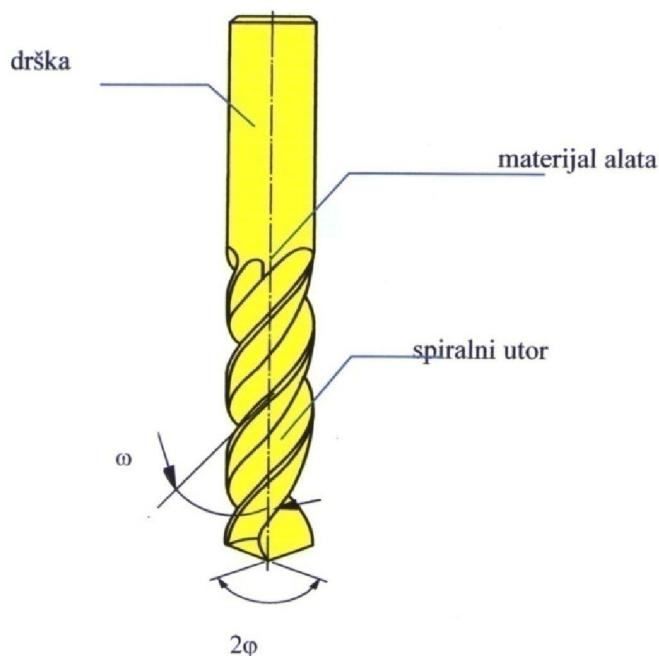
- radne dužine svrdla, koja sadrži spiralne utore, a uklju uje u sebi rezni dio i kalibriraju i dio svrdla,

- usmjeravaju eg dijela, dio svrdla koji osigurava usmjeravanje svrdla u procesu rezanja,
- drška, dio svrdla koji služi za pri vrš enje svrdla i za prijenos okretnog momenta sa alatnog stroja

Najlakše podjele svrdla su prema njihovoj geometriji, i to naj eš e prema obliku drške. Postoje svrdla s cilindri nom i konusnom drškom.

Svrdla možemo podijeliti na:

- spiralna svrdla,
- svrdla s plo icama od tvrdog metala,
- ravna svrdla,
- zabušivala,
- specijalne izvedbe spiralnih svrdala i
- noževe i motke za bušenje.

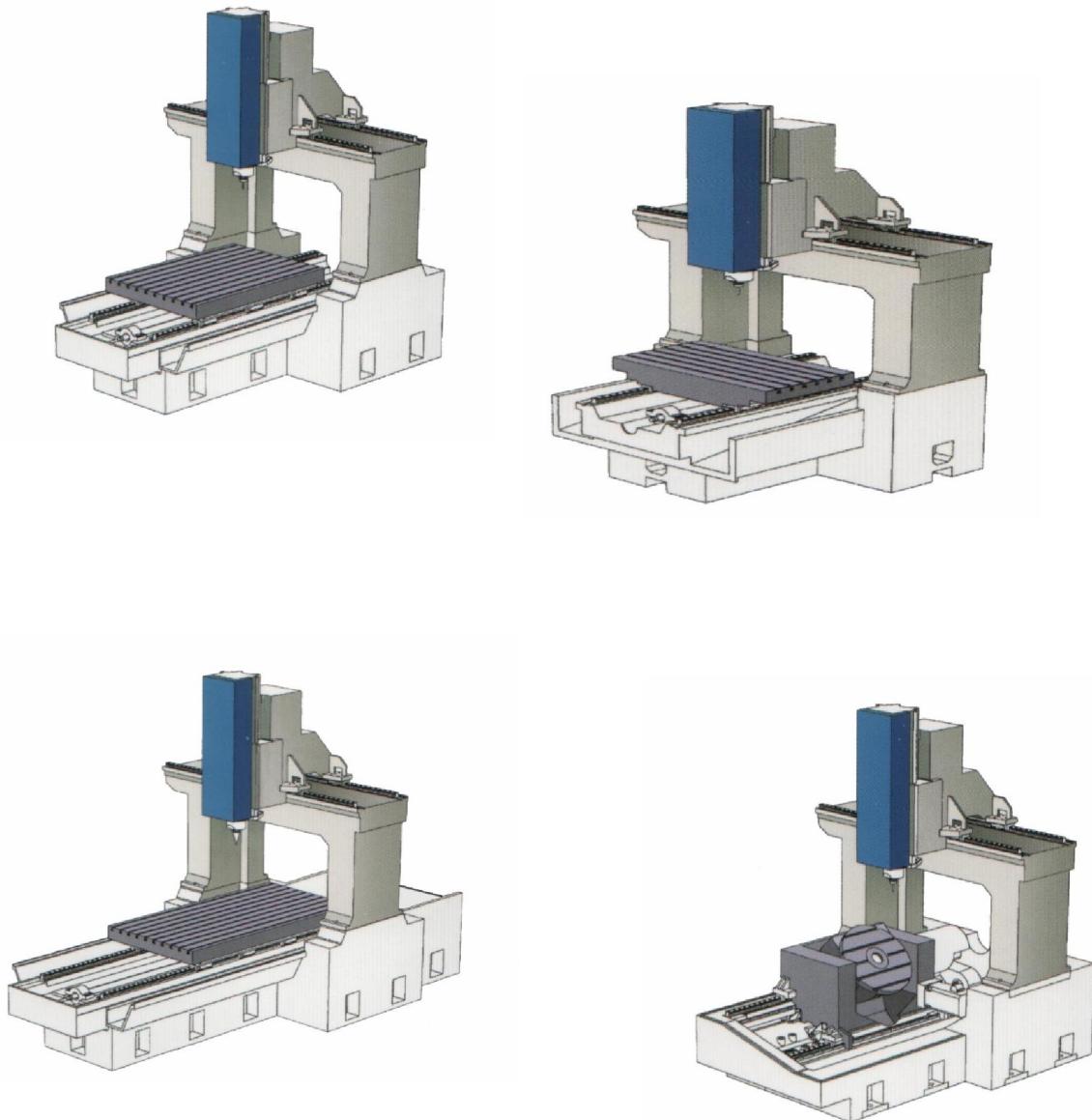


Slika 6. Spiralno svrdlo

9. KONSTRUKCIJA ALATNIH STROJEVA

Razvoj familije alatnih strojeva:

- horizontalni razvoj (različiti oblici AS razvijeni iz osnovnog oblika)
- vertikalni razvoj (različite veličine istog stroja)



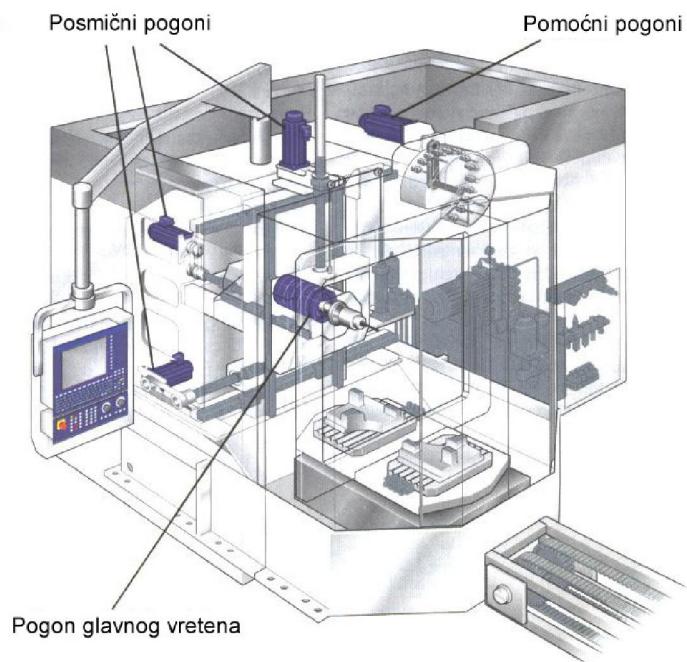
Slika 7. Modularna gradnja portalnih glodalica [4]

Modularna gradnja AS temelji se na standardnim modulima koji su me usobno povezani standardiziranim su eljima. Temelj svakog modula je standardni prigon.

Prema vrstama primjene pogoni u alatnim strojevima daju se podijeliti na:

- **posmi ne pogone** za sve NC-osi (npr. X,Y,Z....)
- **pogon glavnog vretena** (npr. vreteno glodala obradnog centra, vreteno tokarskog stroja ili pogon brusilice) te
- **pomo ne pogone** (npr. za izmjenu alata, izmjenu paleta ili rotacijskog stola).

Tipični obradni centar sa posmim pogonima, pogonom gl. vretena i pomo nim pogonima prikazan je na slici 8.

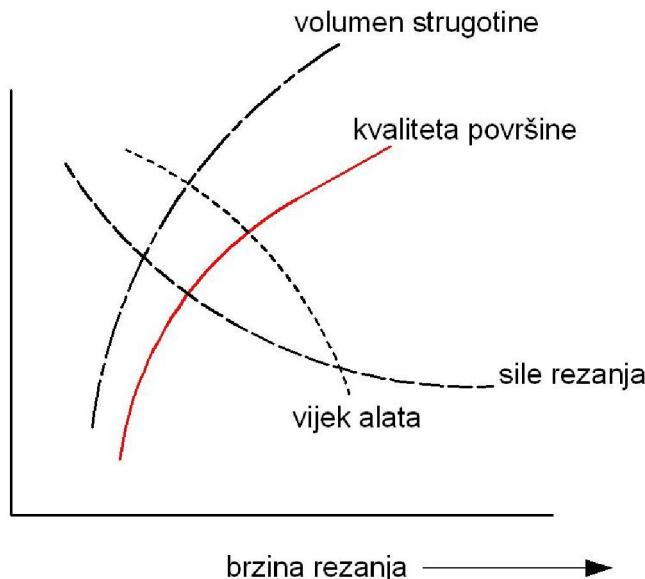


Slika 8. Prikaz podjele pogona na obradnom centru [8]

Upravljeni glavni i pomočni pogoni važne su komponente svakog alatnog stroja i igraju važnu ulogu kako za proizvodnost stroja tako i za kvalitetu. Od stroja se zahtjeva sve veća točnost obrade, veća brzina obrade (HSC), kraće pomočne vremena kao i kraće vremena praznog hoda što na pogone postavlja zahtjeve za:

- visokom dinamikom,
- preciznom sinkronizacijom više gibanja (posmim nih gibanja i gibanje glavnog vretena),
- zadržavanje geometrije položaja,
- šire područje broja okretaja,

- većim momentima,
- većim ubrzanjima,
- kraji praznim hodom,
- manje ili bez održavanja,
- manje zagrijavanja.



Slika 9. Osnovne značajke visokobrzinske obrade [8]

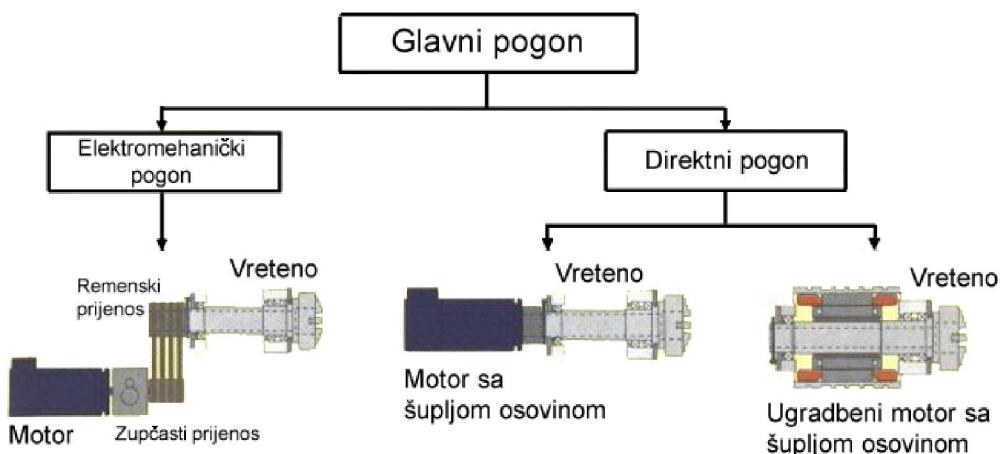
Kao odgovor na ove zahtjeve, uz nove koncepte, tehnološka i konstrukcijska rješenja, dolazi do korištenja direktnih pogona u glavnim i posmim pogonima modernih alatnih strojeva, a u nekim područjima primjene su postali standard. Razvoj u inkovitim integriranim direktnih pogona u sinkronim i asinkronim izvedbama pružaju alternativu remenskim, zupastim i prijenosnicima s kuglim navojnim vretenom. Međutim, prilikom odabira u obzir se moraju uzeti i dinamičke mogunosti pogona na temelju analize odnosa između pogona i opterećenja.

9.1 Glavni pogoni alatnih strojeva

Pogon glavnog radnog vretera alatnog stroja mora pružiti dovoljno snage za obradu odvajanjem destica te, ovisno o izvedbi, za pokrivanje gubitaka uslijed trenja među mehaničkim komponentama u pogonskom lancu. Visokobrzinska obrada (HSM) je tehnologija koja danas sve više zauzima svoje mjesto i potiskuje tehnologije

konvencionalne obrade, a utjecaj glavne brzine rezanja jedan je od značajnih faktora koji utječe na povećanje produktivnosti strojeva.

Gradnja glavnog pogona može se izvesti na više načina (slika 10). Klasificacija izvedbe glavnog pogona sastoji se od motora sa kućištem koji je spojen s vretenom alata preko jednostupanjskog ili višestupanjskog prijenosnika (zupčastog i/ili remenskog). Ovakav raspored ima prednost da je motor priključen s vanjske strane na prirubnicu standardnih mjera i tako termički odvojen od prostora obrade i samog vretena.



Slika 10. Uobičajene izvedbe glavnog pogona [8]

Obzirom na vrstu struje koja teče kroz priključne vodove, elektromotori mogu biti motori istosmjerne struje i motori izmjenične struje. Izmjenični motori mogu biti jednofazi i višefazni (najčešći trofazni). S obzirom na uzbudu i izvedbu rotora električni su motori sinkroni, asinkroni i kolektorski.

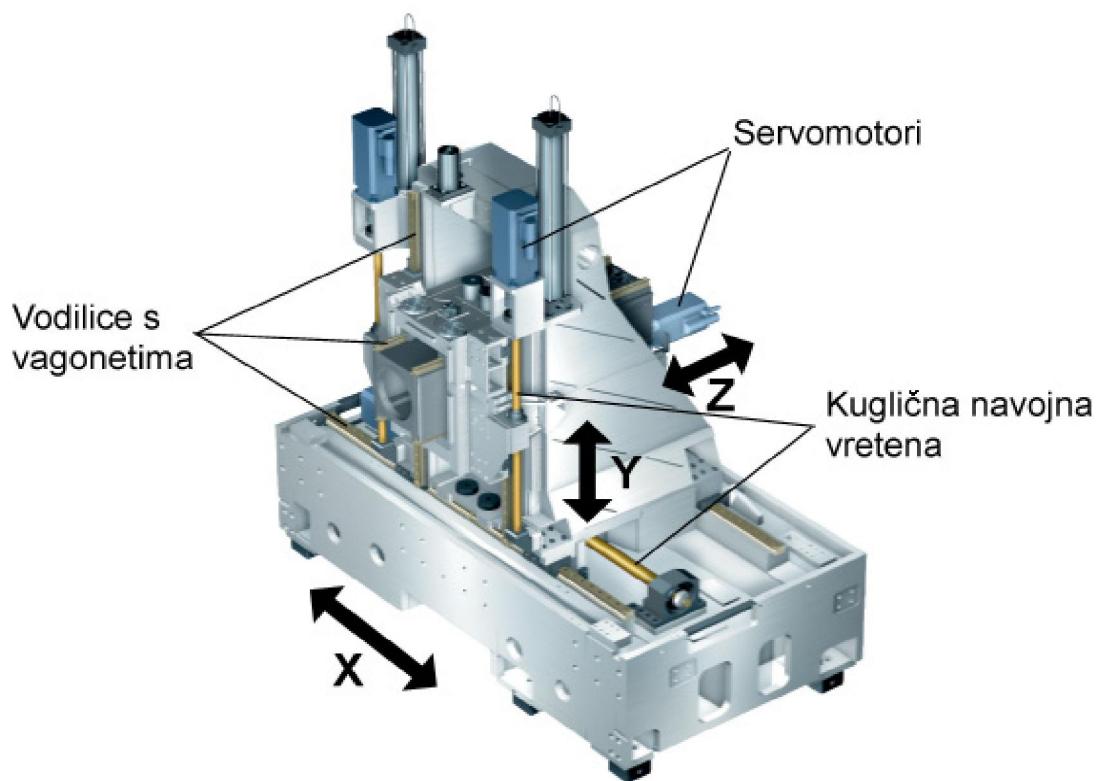
Prijenosni dio ograničava pogon brojem okretaja, krutost u i dinamikom te stoga i proizvodnost cijelog stroja. Ovaj nedostatak doveo je do direktno pogonjenih vretena, gdje se okretni moment rotora pogonskog motora prenosi direktno na vreteno alata. Eliminacija prijenosnih elemenata pridonosi većoj krutosti, kao i postizanju kraćih vremena ubrzanja i kretanja. Korištenjem motora sa šupljom osovinom omogućava se bolje hlađenje kroz alat, a da se toplina dobivena gubicima u motoru ne bi prenijela na vreteno alata, može se motor opremiti protutankom hlađenjem i tako povećati iskoristivost.

9.2 Linearni posmi ni pogoni alatnih strojeva

Posmi ni pogoni pružaju mehani ku energiju potrebnu za gibanja NC-osi i ispunjavaju višestruke namjene prijenosa i pozicioniranja unutar proizvodne jedinke. Visokobrzinska obrada (koja se ne e razmatrati u ovome radu), popra ena je sa visokim posmi nim brzinama koje zahtjevaju velika ubrzanja i usporavanja izvršnih elementa, dovode i do zna ajnih promjena uvjeta rezanja.

Bitne komponente posmi nog pogona su:

- motor,
- mehani ki dijelovi osi sa sustavom mjerena pozicije,
- upravlja ki dio sastavljen od energetskog i regulacijskog dijela.

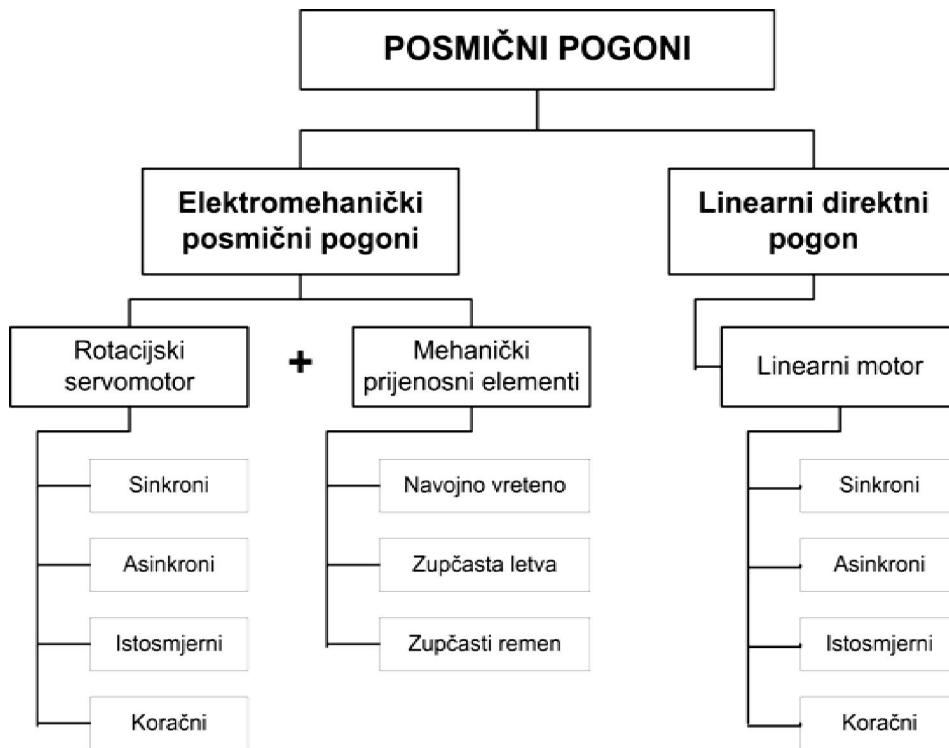


Slika 11. Obradna jedinka sa servo motorima i kugli nim navojnim vretenima [8]

Motor kao pretvornik energije pruža potrebnu mehani ku energiju za gibanje i zadržavanje položaja. Uz motor kao elektri ni aktivni dio idu i dodatne ugradbene cjeline kao npr. ko nica, dava položaja, spojka na pogonsko vratilo, integrirana zaštita od preoptere enja.

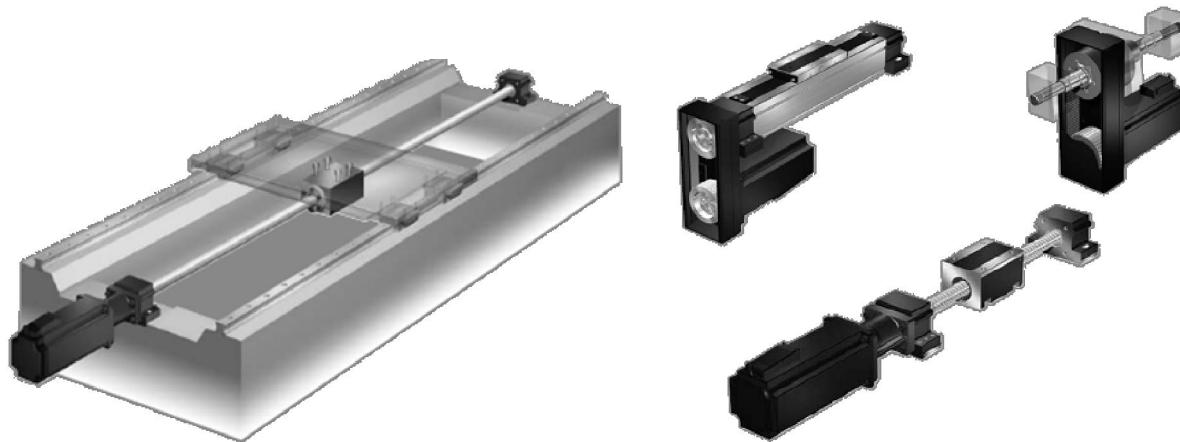
Mehani ki dijelovi osi alatnog stroja sastoje se od stola (kliza a) tj. konstrukcije osi sa sustavom vo enja i mehani kim prijenosnim elementima.

Različite mogućnosti realizacije linearnog posmičnog gibanja prikazane su na slici



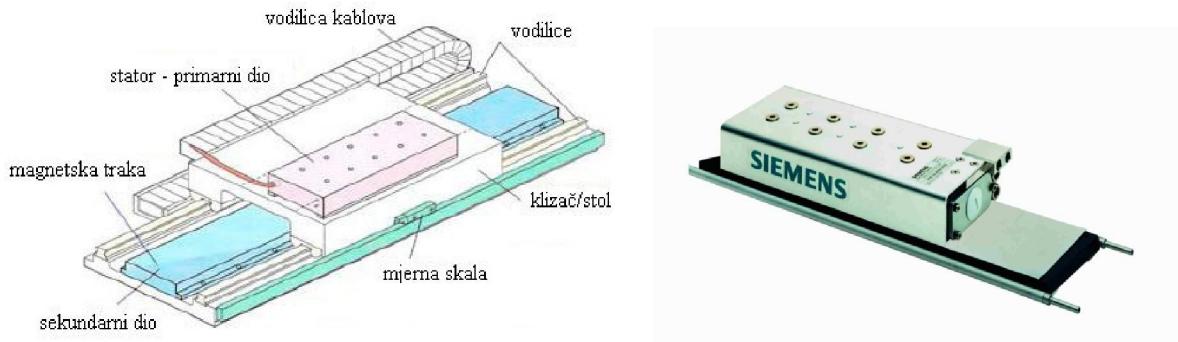
Slika 12. Mogućnosti realizacije posmičnih pogona [9]

Većina posmičnih pogona u alatnim strojevima sastoji se danas od servomotora na koji je spojen mehanički prijenosnik (npr. kuglično navojno vreteno) za pretvaranje rotacijskog gibanja motora u translacijsko gibanje stola (kliza a). Za postizanje optimalnog ubrzanja ili brzine linearne pokretane mase, esto se smješta zupčasti ili remenski prijenosnik između motora i navojnog vretena.



Slika 13. Posmični pogon s motorom i kugličnim navojnim vretenom [10]

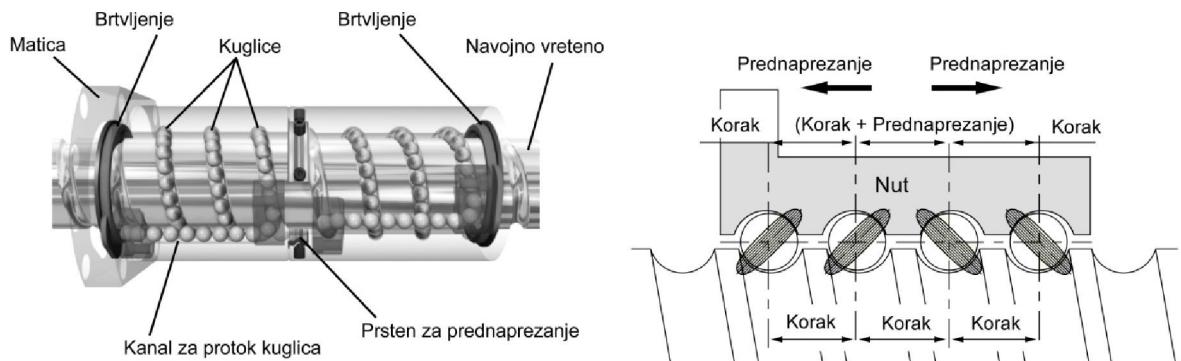
To no određivanje pozicije kliza a izvodi se preko direktnog sustava za određivanje pozicije. Kutna pozicija rotora motora dobija se preko rotacijskog davača. Kod manjih zahtjeva za to nošenje u pozicija kliza a može se odrediti samo sa rotacijskim davačem. Za pomoć na kretanje modernih visokobrzinskih strojeva danas se upotrebljavaju pogoni sa direktnim linearnim motorima integriranim u konstrukciju posmih osi, dok se za veće upotrebljavaju profilirane vodilice sa valjnim elementima (slika. 14)



Slika 14. Posmi ni pogon s linearnim motorom [11]

9.2.1 Posmi ni pogoni s kugli nog navojnim vretenom

Kugli nog navojno vreteno pretvara rotacijsko gibanje motora povezano na vreteno ili u drugom slučaju na maticu preko uspona navoja u translacijsko gibanje. Građa kugli nog navojnog vretena prikazana je na slici 15. gdje je i prikazan princip anuliranja zračnosti između vretena i matice pomoću prednapona preko prstena postavljenog između dvije matice



Slika 15. Građa kugli nog navojnog vretena [5]

Bitna značajka pogona preko kugli nog navojnog vretena (dalje KNV) jest da su posmi ne sile koje se mogu dostići i prijenosom sile između vretena i matice, te dodatnih prijenosnika relativno velike. Sposobnost ubrazanja pogona s KNV je gotovo neovisna o linearno pokretnoj masi i određuje se uglavnom preko koraka

uspona i momenata inercije motora i vretena. Danas se pomo u viskodinami kih kugli nih navojnih vretena postižu brzine od oko 80 m/min.



Slika 16. Gra a pogona s kugli nim navojnim vretenom [10]

Podru je upravljanja posmi nih pogona sa KNV odre eno je vlastitom frekvencijom mehani kog sustava. Elasticiteti u pogonskoj vezi, u vezi sa pokretanim masama vode do mehani kih vlastitih frekvencija koje u praksi dopuštaju maksimalno faktor K_v od 5 (m/min)/mm. K_v faktor važan je prilikom regulacije položaja. Kod projektiranja pogona s KNV kao posmi nih pogona u visokodinami kom alatnom stroju, optimum iz maksimalne brzine, ubrzanja, to nosti te radnog vijeka odre uje se preko razli itih parametara kao što su korak uspona, prijenosni omjer izme u motora i navojnog vretena, moment tromosti, kao i krutost ovisno o poziciji KNV.

Za pravilno definiranje gibanja potrebno je uz promjer, duljinu i korak kugli nog navojnog vretena znati i na in uležištenja, vrstu i dimenzije ležajeva, vrstu pogona, asinhroni, sinhroni ili servomotori, maticu koja se preporu a u tvorni koj izvedbi s kugli nim navojnim vretenom radi jednostavnije montaže. Za prigon posmi nog gibanja moraju se pretpostaviti sile obrade, brzine, trajanje optere enja, pozicioniranje itd... Posmi no gibanje definirano je posmi nom brzinom i kre se u rasponu od $v_f < 80$ m/min, a < 10 m/s² 1g, i za KNV specijalne izvedbe koje se danas razvijaju $v_f < 200$ m/min i a < 15 m/s² 1.5g.

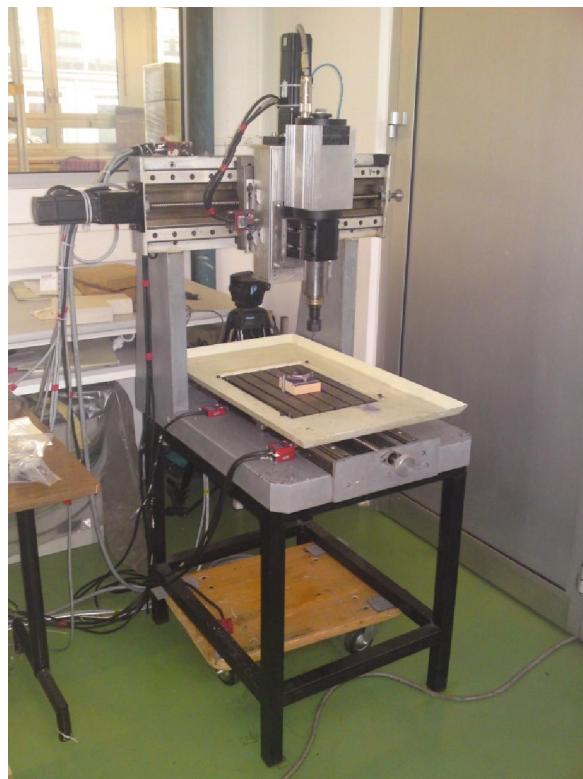
Potrebno je definirati i na in prijenosa snage i momenta s motora na KNV. eš e se koristi direktni prijenos iz razloga samoko nosti motora i jednostavnije montaže. Za razliku od direktnog prijenosa gdje motor u slu aju nepravilnog rada može zaustaviti KNV, kod posrednog prijenos u slu aju nezgode, pucanja remenice, motor je u nemogu nosti zaustaviti gibanje KNV-a i može do i do havarije stroja. Prednost korištenja posrednog prijenosa snage preko remenice je mogu nost ostvarivanja

velikog momenta, preko prijenosnog omjera koji naj eš e iznosi 1:2. Iz tog razloga mora se optimizirati i odlu iti što je najbolje za pojedini proces. Ve a to nost, pozicioniranost i samoko nost s direktnim prijenosom ili veliki prijenos snage i momenta s posrednim prijenosom na KNV. Pozicija KNV-a u samom stroju definirana je prostorom za KNV, tj. Njegovim dimenzijama, prostorom za uležištenje, prostorom za maticu te potrebnim prostorom za pogonski motor i spojku. Pristup projektiranju KNV-a temelji se na pretpostavljenim stati kim i dinami kim optere enjima koja se javljaju za vrijeme obrade a imaju izravan utjecaj na KNV i stvaraju otpor gibanju KNV-a.

10. KONSTRUKCIJA KU IŠTA PORTALNE GLODALICE

Osnovni zahtjevi koje konstrukcija treba ispuniti su:

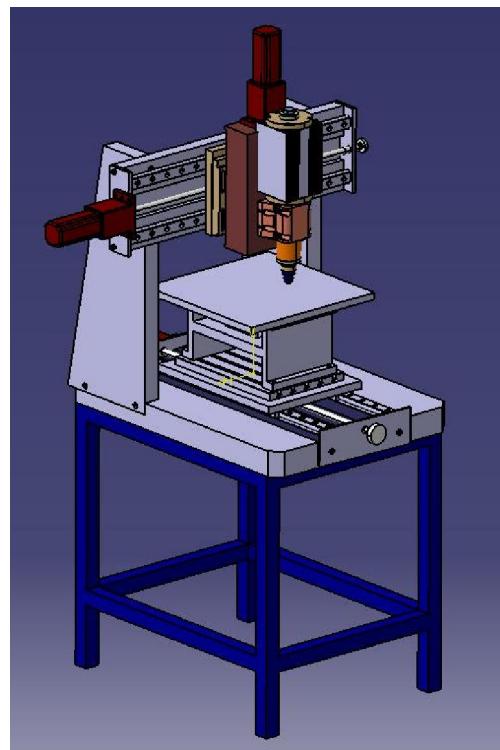
- funkcionalnost (proizvod mora ostvariti osnovnu funkciju za koju je namjenjen),
- tehnologijnost (jednostavnost proizvoda za proizvodnju, vršenje što manjeg stupnja obrade te korištenje što je više moguće standardnih elemenata),
- trajnost (vremenski period u kojem proizvod ostvaruje funkcionalnost),
- estetikost,
- reciklabilnost,
- optimalnost (minimalne mase uz maksimalnu krutost),
- ekonomikost



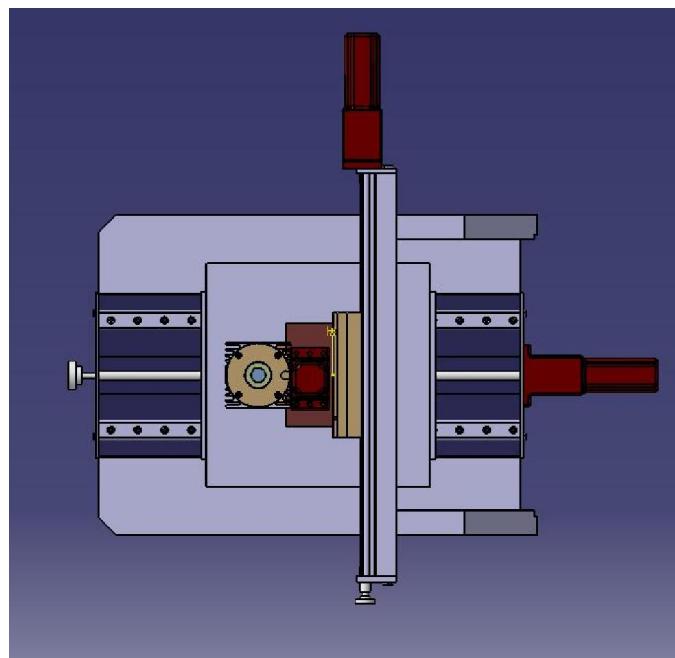
Slika 17.a) Mala portalna CNC glodalica



Slika 17.b) Mala portalna CNC glodalica



Slika 18. CAD model portalne glodalice



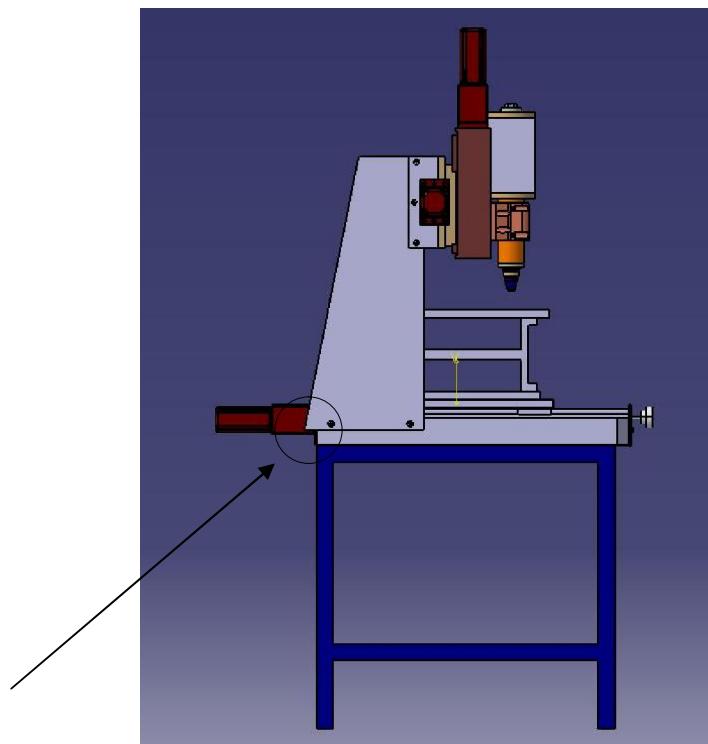
Slika 19. CAD model portalne glodalice-pogled odozgo

Prvi zadatak prilikom konstrukcije ku išta bio je „snimanje“ postojeće glodalice u Laboratoriju za alatne strojeve, te u mjerilu (M1:1), dizajnirati 3D model. Na slikama 18. i 19. vidimo sastavljenu glodalicu sa svim funkcionalnim dijelovima.

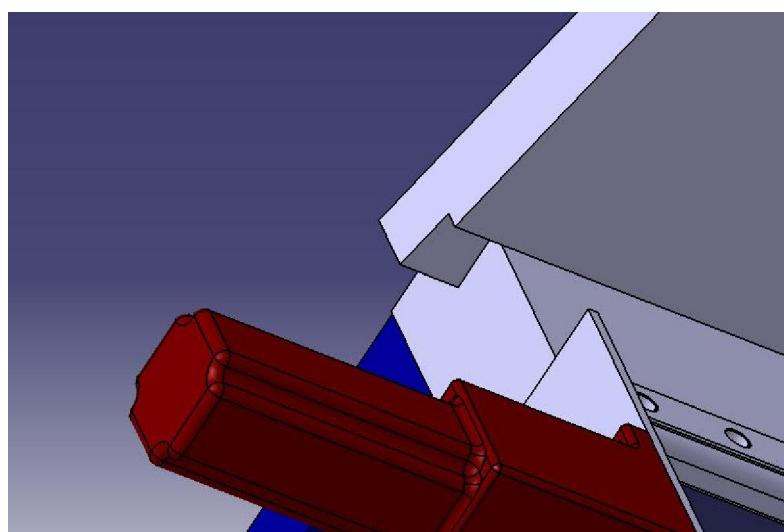
Dodatni zahtjevi koje bi ku ište trebalo ispunjavati, tj. ograničenja su:

- ku ište treba biti demontažno (mogunost da se cijelo skine sa stroja)
- mogunost pristupa svim dijelovima (u slučaju podešavanja)
- ku ište treba biti dobro „zabrtvljeno“ (ne smijemo dozvoliti bilo kakvo kapanje fiziološke otopine prilikom obrade)
- ku ište treba imati posudu za skupljanje rashladne tekućine i priključak za pumpu
- treba imati mjesto za smještaj grijačeg tijela, ili priključak za dovod zagrijanog zraka
- treba nam prikazati u svakom trenutku temperaturu koja je u ku ištu
- imati jednostavno otvaranje i zatvaranje
- zahtjevi sigurnosti

Na slici 19. vidi se da su motori za posmi na gibanja me usobno postavljeni pod 90° te nam to otežava montažu samog ku išta. S druge strane centralni stupovi su dulji od radnog stroja i ograni ava nas motor da se približimo konstrukcijom do samog radnog stola, to je prikazano slikama 20. i 21.



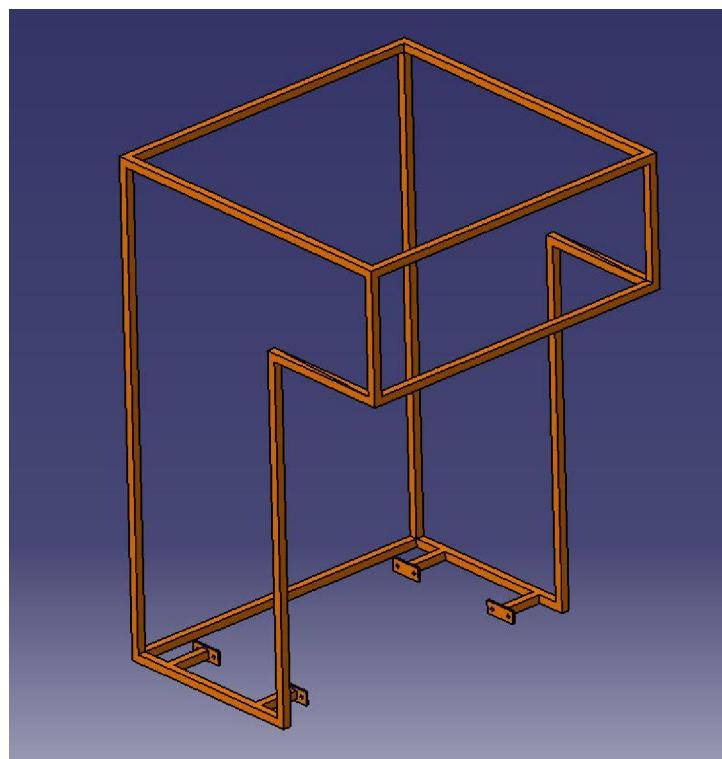
Slika 20. CAD model portalne glodalice-pogled sa strane



Slika 21. Centralni stup

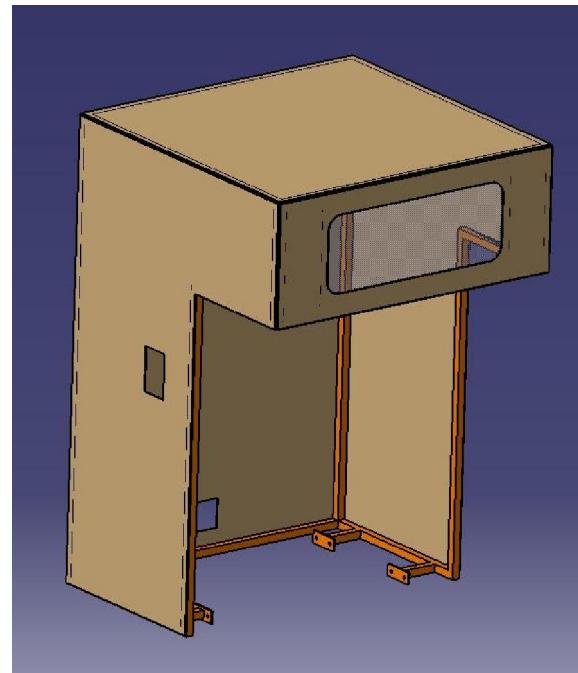
Portal je širi od centralnih stupova, pa se i na doti nim stranama ku ište mora odmaknuti od radnog stola.

Ideja je da se napravi okvir od cijevi 20x20, na koji će se u vrstiti eli ne ploće debljine 2mm pomoći u vijaka i time omogućiti da se svaka ploča može posebno demontirati u slučaju potrebe.

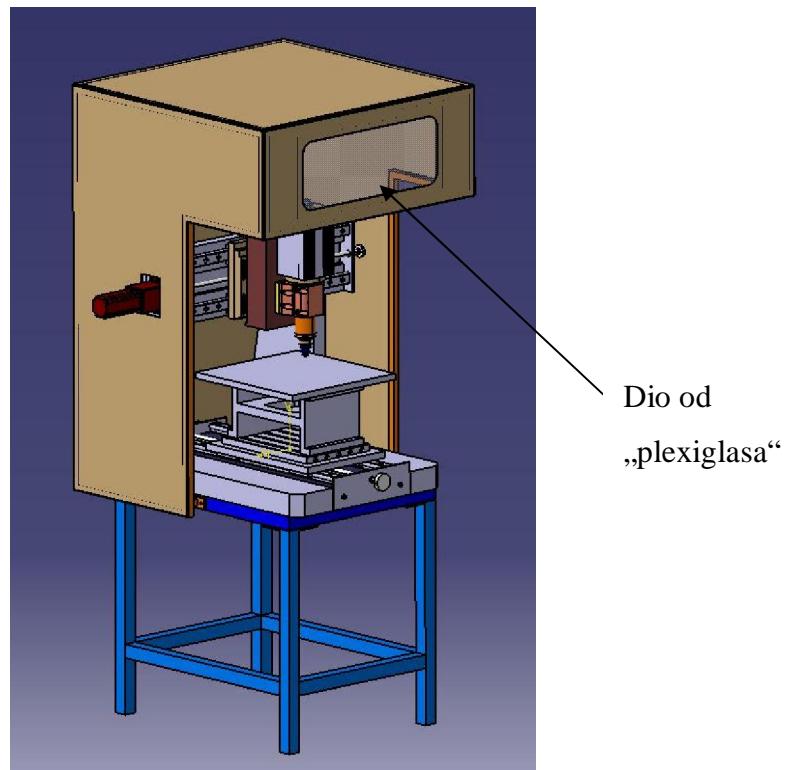


Slika 22. Nepomični okvir ku išta

Prostori između otvora za motore i samih motora, zadržati će se gumom, ili pomoći u tzv. „etka“. Na prednjoj strani postavljen je jedan dio od plexiglasa, kroz koji možemo vizualno kontrolirati kretanja po osi z.

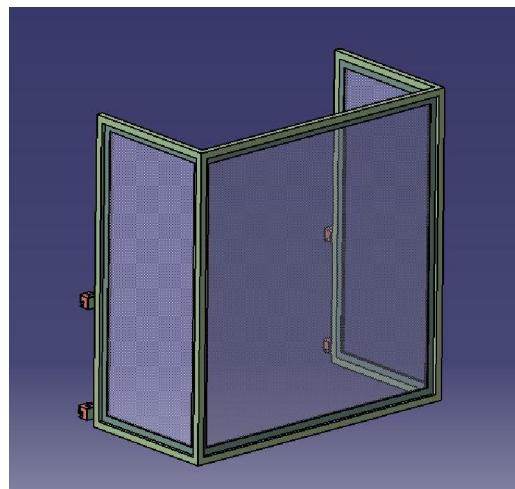


Slika 23. Zatvoreni nepomi ni okvir ku išta

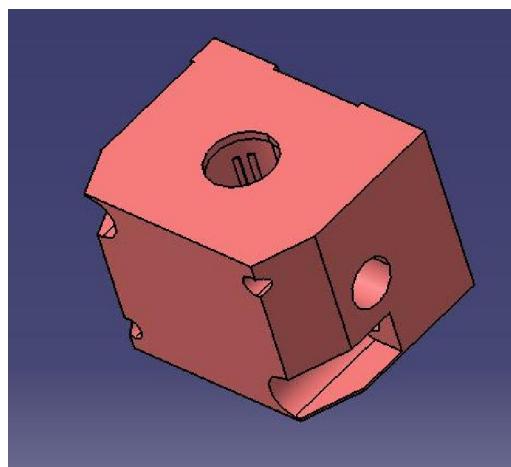


Slika 24. Zatvoreni okvir pri vrš en za glodalicu

Nakon nepomi nog dijela ku išta, stavit e se jedan pomi ni dio, koji e omogu iti pristup radnom prostoru, tj. mjestu obrade, te mogu nost da u svakom trenutku možemo vizualno pratiti proces zbog stranica od plexiglasa. Na okvir smo pri vrstili standardne kliza e za linearne vodilice proizvo a INA-e.

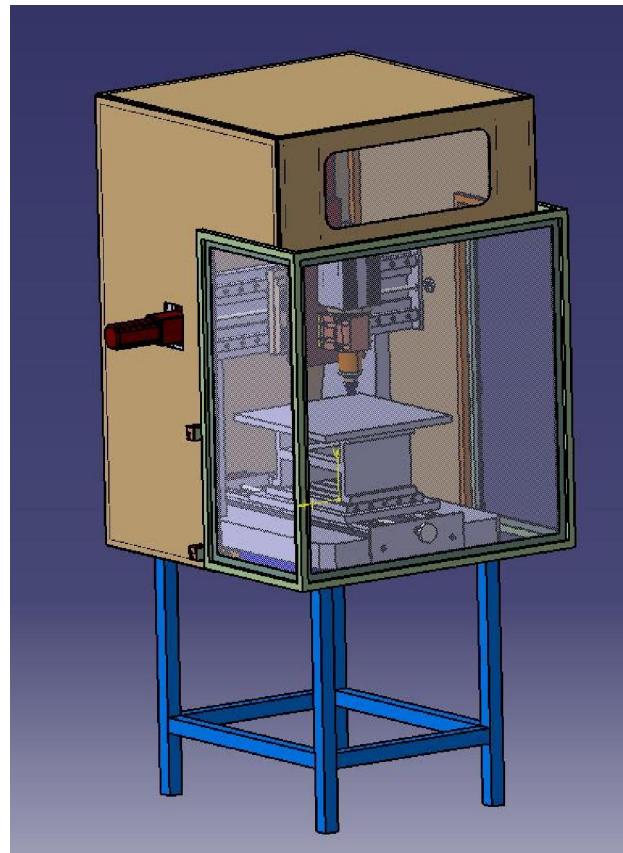


Slika 25. Zatvoreni pomi ni okvir

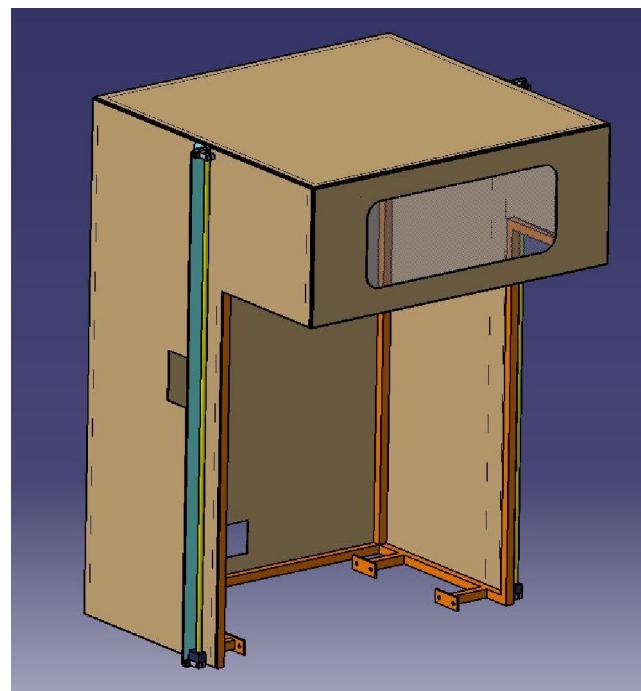


Slika 26. Kliza

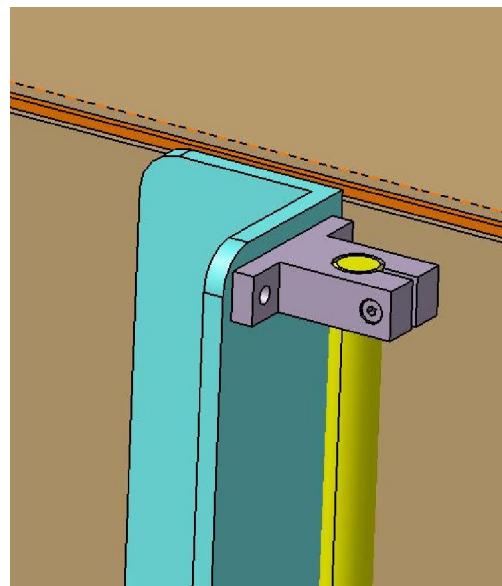
Nakon što su se fiktivno spojili pomi ni i nepomi ni okvir, vidi se da su potrebne vodilice pomo u kojih e se voditi pomi ni okvir. Rješenje je standardizirano, uz pomo L profila, pomo u kojih spajamo vodilice na eli ne plo e okvira. (Slike 27. i 28.)



Slika 27. Prikaz položaja pomi nog i nepomi nog okvira

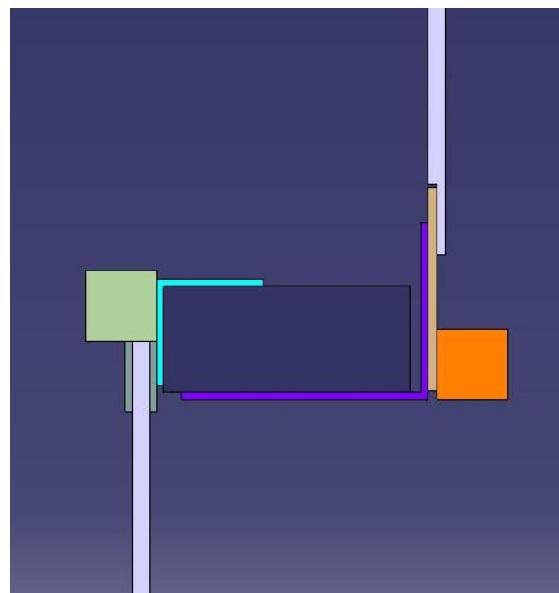


Slika 28. Rješenje vodilice pomi nog okvira

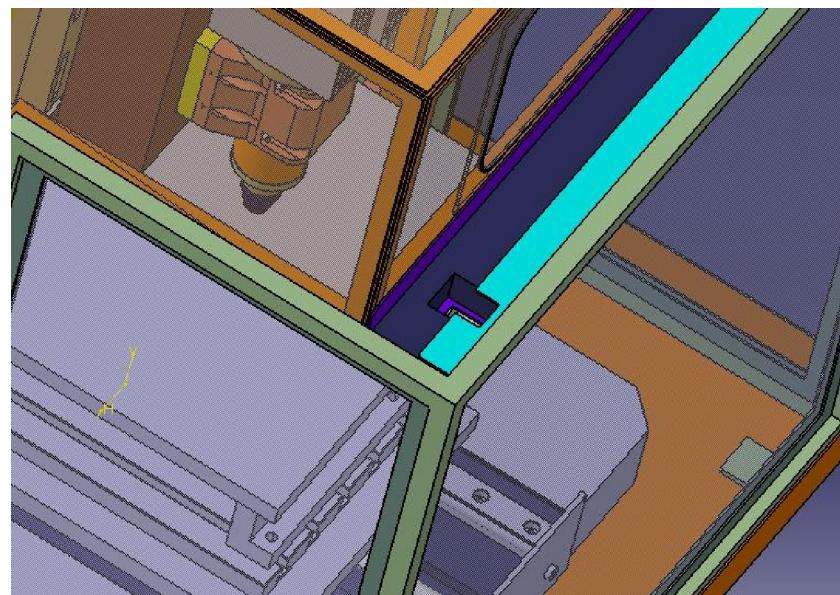


Slika 29. Prihvata vodilica

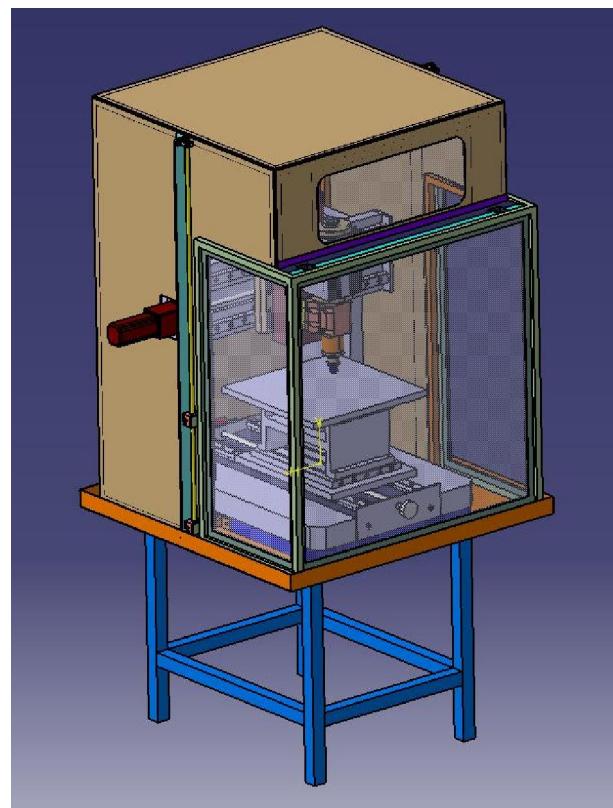
Rješenje problema brtvljenja između pomoćnih nog i nepomoćnih nog okvira prikazano je slikama 30. i 31., pomoći u 2 suprotno orijentiranih L profila i gumom između njih. Bojni razmak između okvira može se također rješiti „etkama“.



Slika 30. Rješenje brtvljenja između pomoćnih nog i nepomoćnih nog okvira u presjeku



Slika 31. Rješenje brtvljenja između pomičnih nog i nepomičnih nog okvira

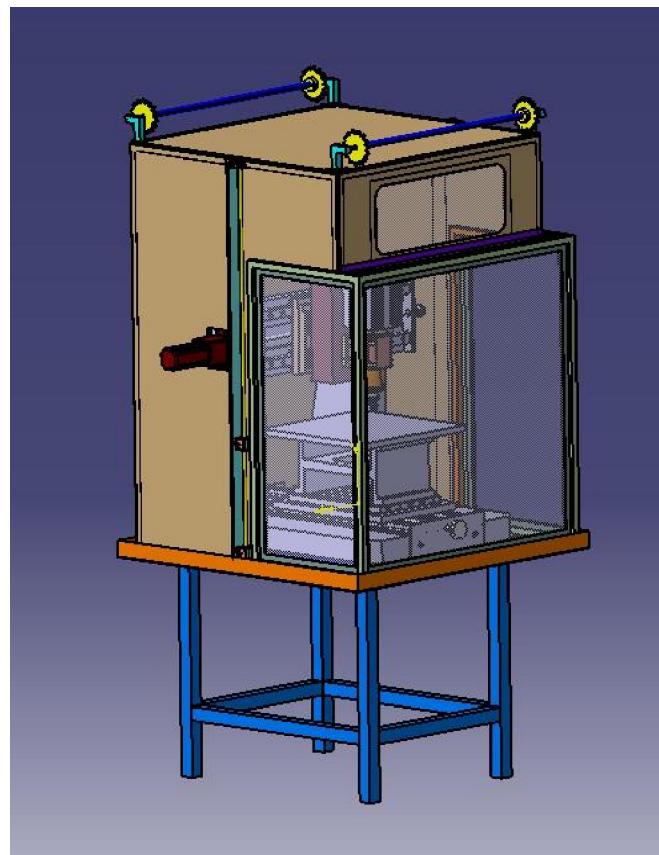


Slika 32. Posuda za skupljanje fiziološke otopine

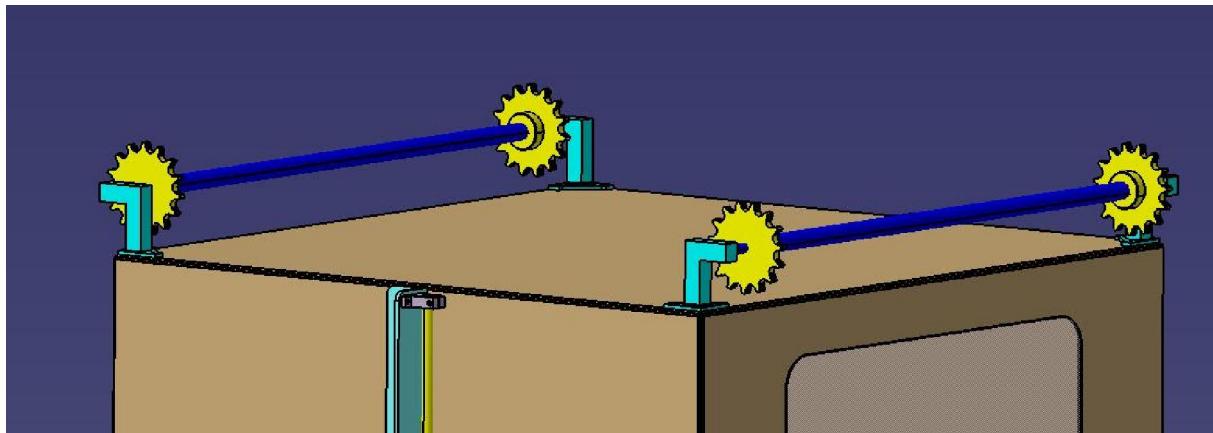
Problem skupljanja fiziološke otopine, riješen je postavljanjem posude po cijeloj dužini. Time se usmjerava otopina, koja se slijevati po stranicama ku išta, na željeni mjesto.

Sljede i problem je rješenje podizanja i spuštanja pomi nog okvira, tj. kako ga fiksirati u odre enom položaju. To smo riješili postavljanjem po dva para lan anika spojenih na zajedni ku osovinu, na vrh nepomi nog ku išta. Lan anici povezujemo lancima, koji se spajaju s jedne strane na pomi ni okvir a s druge strane na uteg. Zada a utega je da olakša podizanje i spuštanje pomi nog okvira. Uteg putuje po vodilicama, sustav je prikazan slikom 38.

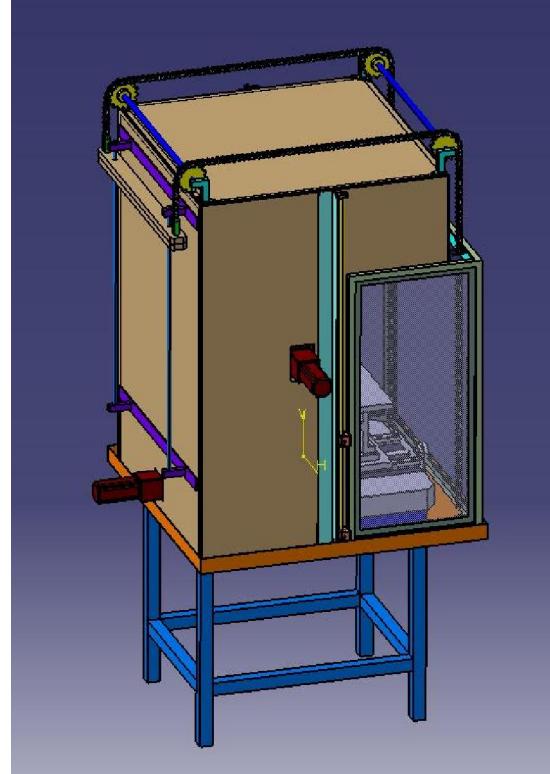
Spojevi lanca i utega, tako er lanca i okvira rješeni se postavljanjem posebnih nosa a i pri vrš ivanjem vijkom, maticom i kontra maticom.



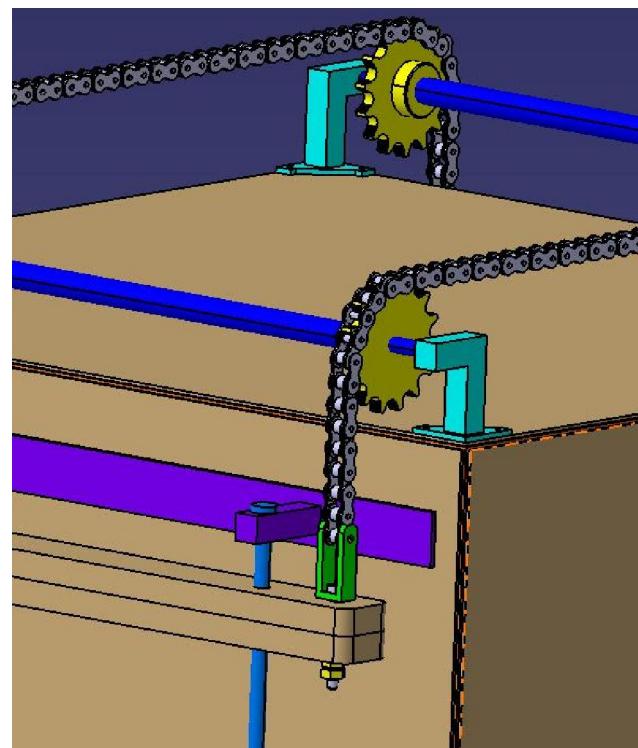
Slika 33.a) Rješenje za podizanje pomi nog okvira



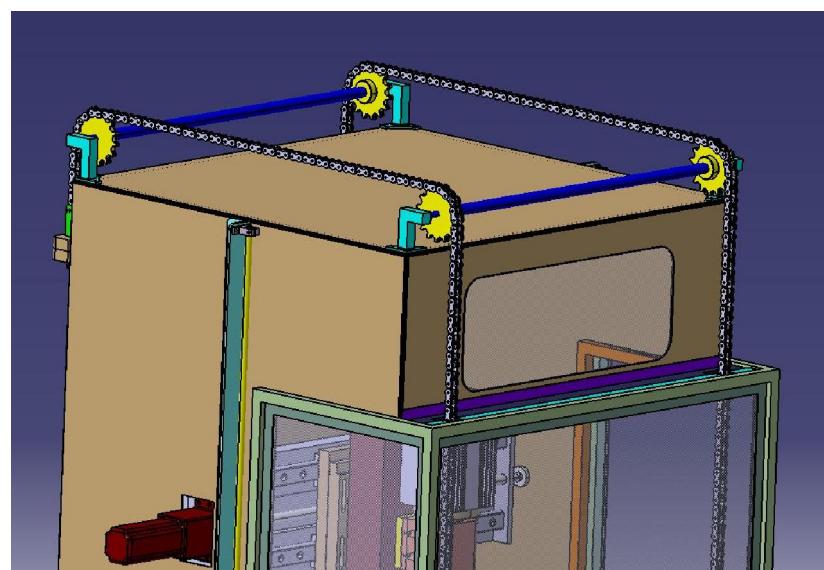
Slika 33.b) Rješenje za podizanje pomi nog okvira



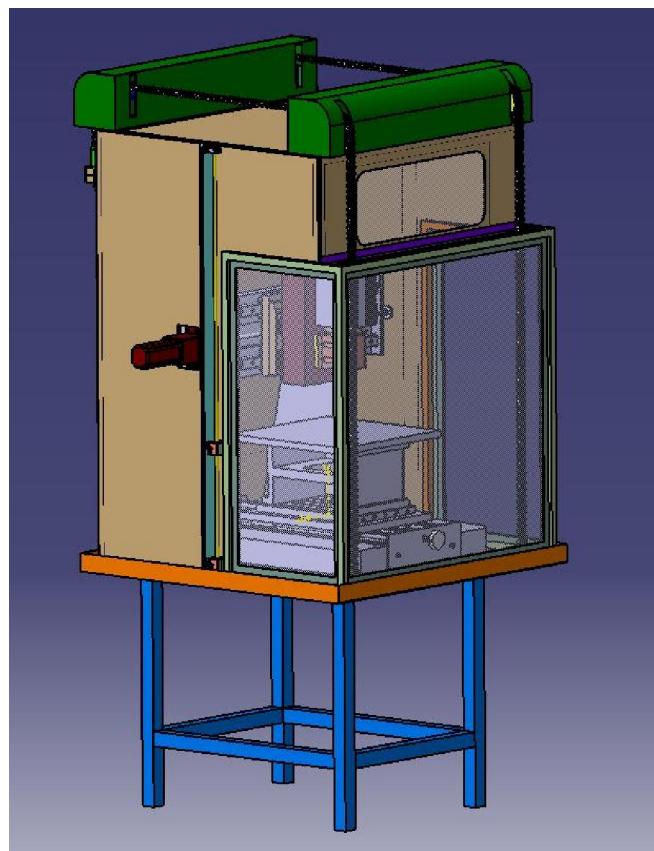
Slika 34.a) Spoj lancem



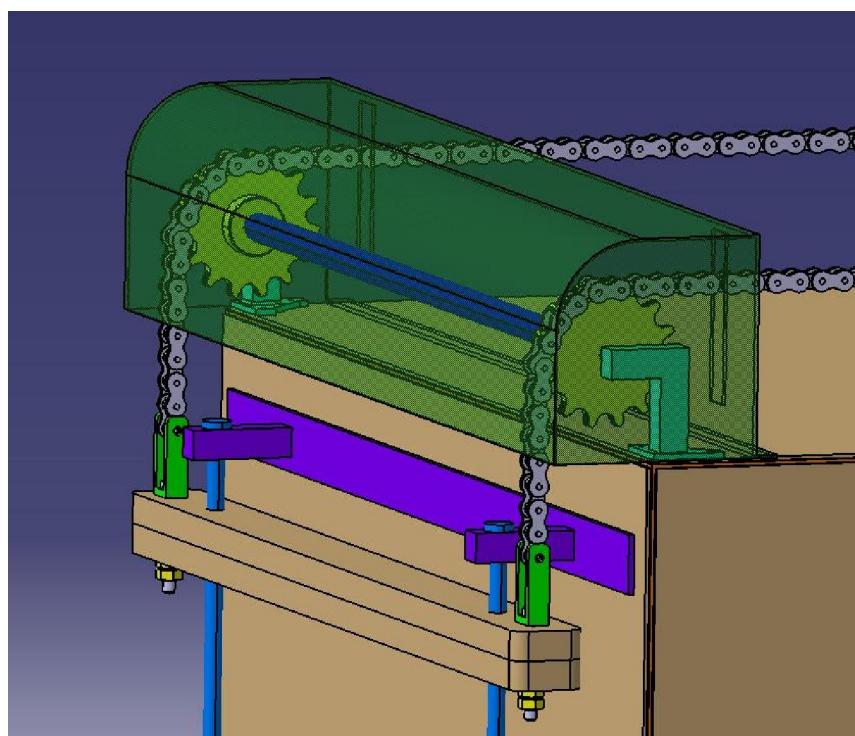
Slika 34.b) Spoj lancem



Slika 35. Spoj lancem s prednje strane

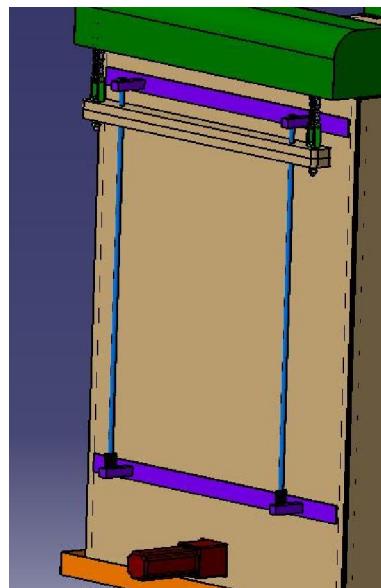


Slika 36. Ku išta za zaštitu lan anika



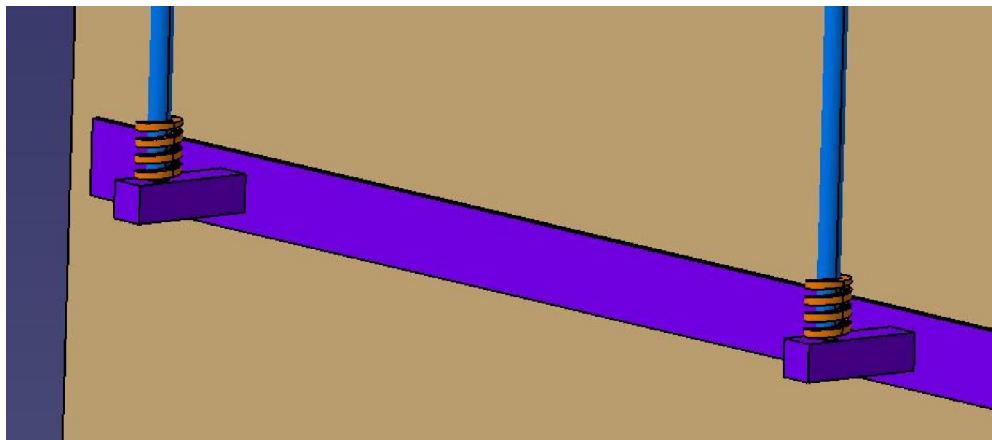
Slika 37. Transparentan pogled kroz ku ište za zaštitu la anika

Za zaštitu lančanika, tj., da slučajno ne dođe do mogućnosti kontakta ljudskih ruku između lanca i lančanika, postavljaju se zaštite. Svaki par lančanika smješten je u jednu kućište.



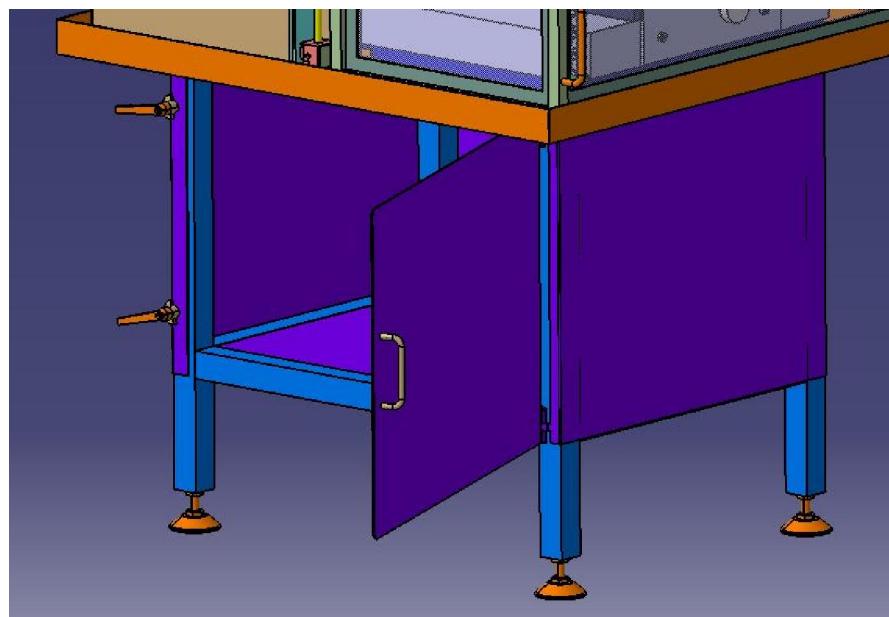
Slika 38. Prikaz vodilica utega po cijeloj visini

Na kraju vodilica utega postavljene su dvije tlačne opruge, koje su zadane ublažavanje eventualnog udarca utega i nosa na vodilicu prilikom spuštanja utega.

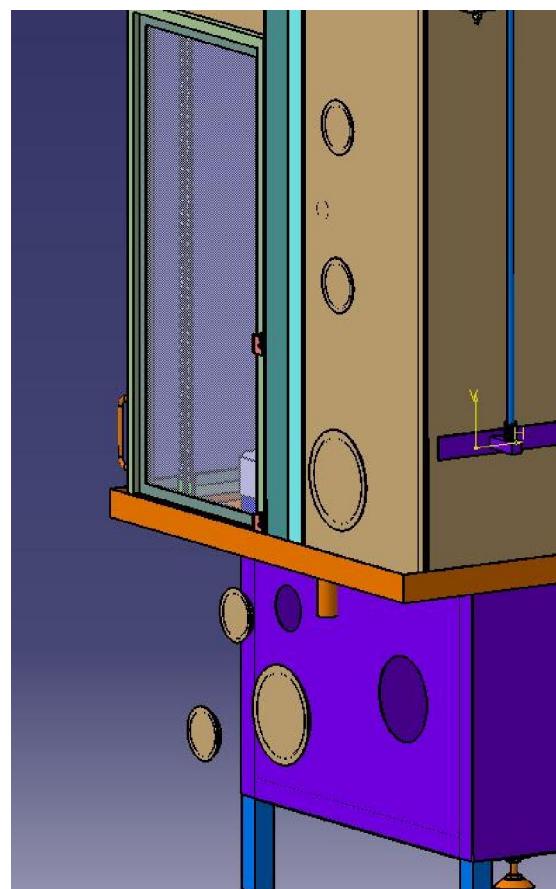


Slika 39. Tlačne opruge

Ispod kućišta glodalice smještena je jedna policu i sve je zatvoreno pomoću jednog manjeg kućišta. U tom manjem kućištu može se smjetiti upravljačka elektronika, te potrebna pumpa za dovod fiziološke otopine, slika 40. Također je prikazano da smo na postolje stroja dodali elemente za nivелиranje stroja.

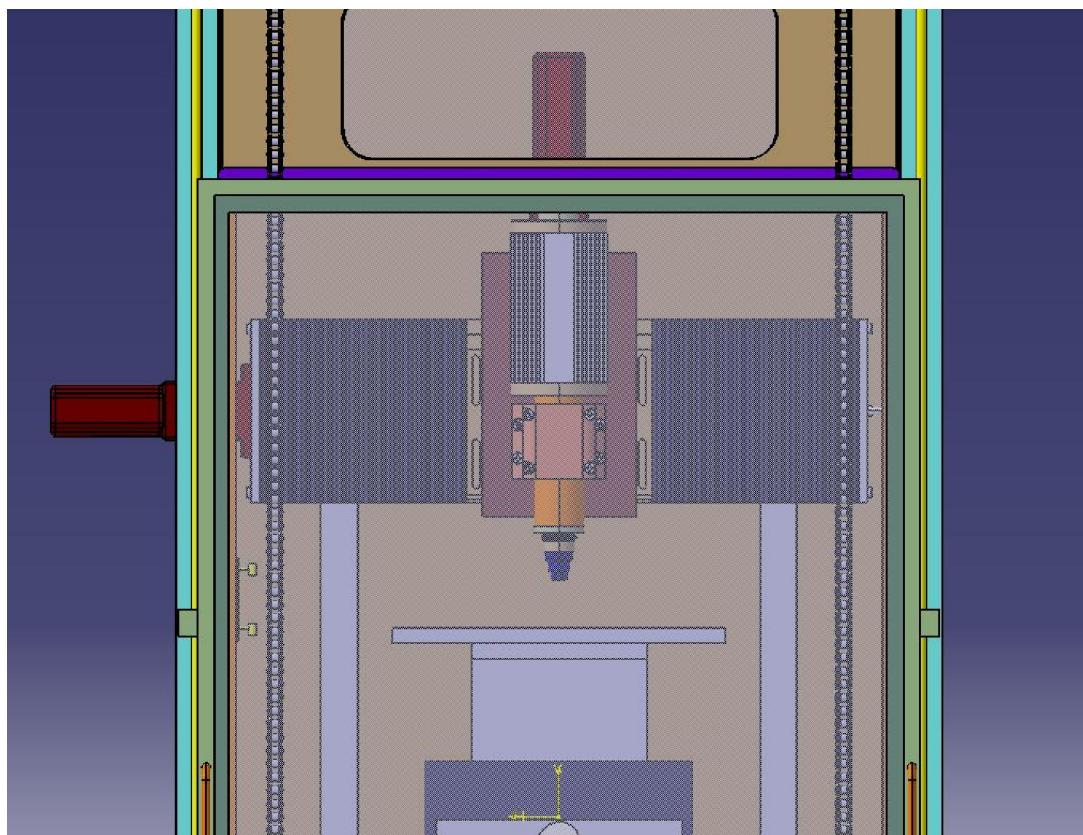


Slika 40. Prikaz manjeg ku išta

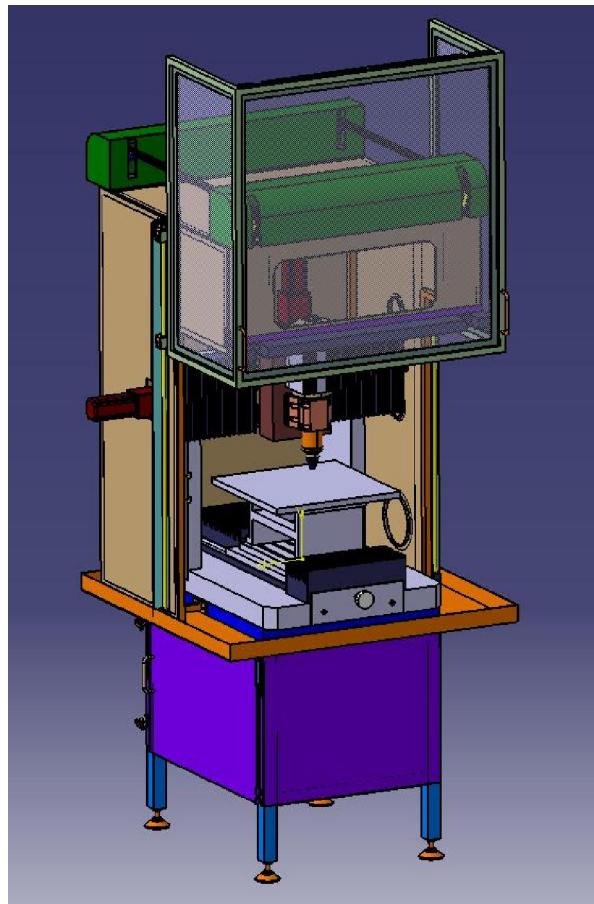


Slika 41. Rješenje za prolaz kabela

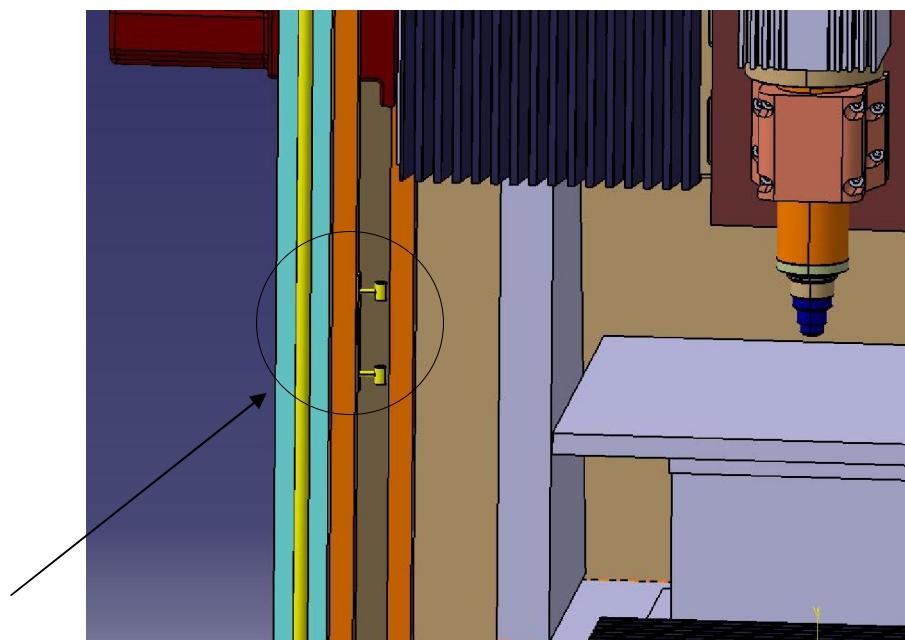
Slikom 41. prikazujemo mesta koja su predvi ena za prolaz kabela, te je prikazano i mjesto gdje se predvi a spoj posude i pumpe za dobavu fiziološke otopine. Za zaštitu kliznih vodilica predvi eno je korištenje tzv. „harmonika“, koje prekrivaju klizne vodilice i onemogu avaju zapinjanje strugotine izme u kliza a i vodilice.



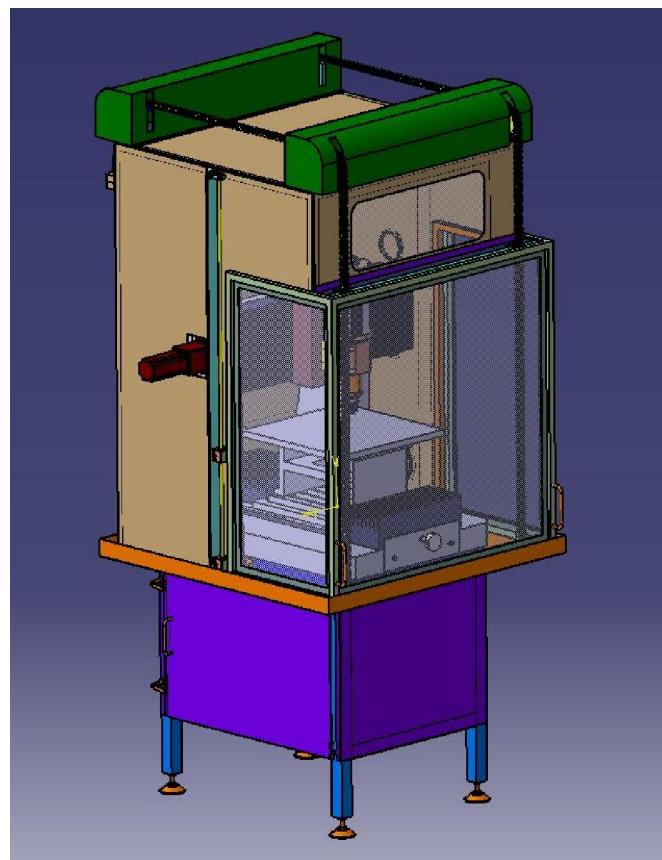
Slika 42. Zaštita kliznih vodilica



Slika 43. Prikaz glodalice sa otvorenim vratima



Slika 44. Prikaz prihvata za termometar



Slika 45. Završni izgled glodalice

11. ZAKLJUČAK

Pošto je na maloj portalnoj CNC glodalici izvršen djelomični „retrofiting“, pri čemu je razvijeno i ugrađeno upravljačko hardvo načinjeće arhitekture, ostvareni su svi uvjeti za razvoj i ugradnju algoritama nadzora i upravljačkih algoritama.

Takav sustav ima ulogu povećanja proizvodnosti, fleksibilnosti i brzine reakcije na zahtjeve tržišta, poboljšanje kvalitete i stupnja iskoristivosti sustava. Fleksibilni obradni sustavi konstruirani su za prilagodljivu proizvodnju definiranu estimacijama i brzim izmjenama, dopunama i inovacijama. Takvi sustavi trebaju biti u skladu s konceptom ravnalom vođene ili integrirane proizvodnje jer se jedino tako mogu ostvariti zadaci budućnosti, odnosno realizirati automatizirane tvornice sa intelligentnim proizvodnim sustavima.

U ovom radu se htio prikazati postupak konstruiranja, tj. slika projektiranja kućišta male CNC portalne glodalice. Prikazana su sva ograničenja i zahtjevi koje je trebalo ispuniti buduća konstrukcija. Tijek konstrukcije je prikazan postepeno po koracima, uz sve detalje koji su potrebni za rješavanje problematike. Rješenje koje je predloženo samo je jedno do niza mogućih. Rješenje nije najjednostavnije, niti najjeftinije, ali je inženjerski sofisticirano, prikladno funkcionalno i estetski. Prikazana je sloboda i maštata koje se mogu uklopiti zajedno prilikom konstruiranja, te na kraju rezultirati novim „faceliftingom“ male portalne CNC glodalice.

12. LITERATURA

- [1] Udiljak, T., Postupci obrade odvajanjem, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2006
- [2] Udiljak, T., Proizvodnja podržana raunalom, Fakultet strojarstva i brodogradnje CAM , Zagreb, 2006
- [3] Math, M., Udiljak, T., Ciglar, D., Oblikovanje deformiranjem i obrada odvajajem, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2005
- [4] Ciglar., D – Projektiranje alatnih strojeva, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2008
- [5] Todi , R., Glavni i posmi ni prigoni alatnih strojeva, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
- [6] Škori , S.; Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zavod za tehnologiju, Katedra za alatne strojeve: Predavanja iz kolegija „Proizvodni postupci“, Glodanje 2004.
- [7] Udiljak, T.; O postupcima programiranja CNC strojeva, predavanja
- [8] Todi , R; Glavni i posmi ni prigoni alatnih strojeva (Seminarski rad iz kolegija „Alatni strojevi i procesi“) Zagreb, 2006.
- [9] www.iscar.com
- [10] Precision Ball Screw Assemblies, Bosch Rexroth katalog
- [11] www.siemens.com