

# Pet osni obradni sustavi

---

**Bistrović, Matija**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2017**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:691224>

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

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



*Repository / Repozitorij:*

[University North Digital Repository](#)





**Sveučilište  
Sjever**

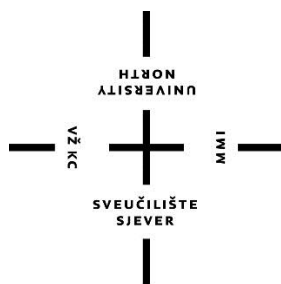
**Završni rad br. 230/PS/2017**

## **Pet osni obradni sustavi**

**Matija Bistrović, 0064/336**

Varaždin, rujan 2017. godine





# Sveučilište Sjever

**Proizvodno strojarstvo**

**Završni rad br. 230/PS/2017**

## **Pet osni obradni sustavi**

**Student**

Matija Bistović, 0064/336

**Mentor**

Antun Stoić, prof.dr.sc.

Varaždin, rujan 2017. godine

# Prijava završnog rada

## Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za strojarstvo

PRISTUPNIK Matija Bistrović

MATIČNI BROJ 0064/336

DATUM 15.9.2017.

KOLEGIJ CNC obradni sustavi

NASLOV RADA Pet osni obradni sustavi

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Five axis machining systems

MENTOR prof.dr.sc. Antun Stoić

ZVANJE redoviti profesor u TZ

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. prof.dr.sc. Živko Kondić, redoviti profesor
2. prof.dr.sc. Antun Stoić, red.prof. u TZ
3. Marko Horvat, dipl.ing., predavač
4. dr. sc. Zlatko Botak viši predavač
5. \_\_\_\_\_

## Zadatak završnog rada

BROJ 230/PS/2017

OPIS

U završnom radu potrebno je definirati zahtjeve koji se postavljaju na konstrukciju petoosnog alatnog stroja. Specifičnosti obrada i primjena petoosnih strojeva. Usporedba obrade na troosnim i petoosnim strojevima. Izvedbe petoosnih strojeva. Programiranje petoosnih strojeva i postprocesiranje.

ZADATAK URUČEN

21.09.2017.



Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja i vještine tijekom studija i navedenu literaturu.

Ovom prilikom zahvaljujem se svome mentoru prof.dr.sc. Antunu Stoiću na pomoći, savjetima i ustupljenoj literaturi te utrošenom vremenu i trudu.

Zahvaljujem se svojoj obitelji i prijateljima na pruženoj potpori tokom studija.

Matija Bistrović

## SADRŽAJ

SAŽETAK.....	9
1. UVOD .....	10
2. POVIJEST PETOOSNIH OBRADNIH STROJEVA .....	15
2.1 Razvoj numeričkog upravljanja .....	15
2.2 Razvoj petoosne obrade .....	21
3. PRIMJENA PETOOSNIH OBRADA .....	23
3.1 Industrija kalupa i alata.....	23
3.1.1 Izrada jezgre kalupa.....	24
3.1.2 Izrada matrice kalupa .....	25
3.2 Izrada alata petoosnom obradom .....	26
3.3 Petoosna obrada u drvenoj industriji .....	27
3.4 Izrada propelera .....	28
3.5 Izrada turbinskih lopatica.....	29
3.6 Suvremena primjena petoosne obrade .....	31
3.6.1 Visokobrzinska obrada .....	31
3.6.2 Tvrda obrada.....	32
3.6.3 Suha obrada .....	33
3.6.4 Višeosna obrada pomoću robota .....	35
3.6.5 Mikro obrada .....	36

4.	IZVEDBA PETOOSNIH OBRADNIH STROJEVA.....	38
4.1	Izvedba strojeva prema položaju rotacijskih osi.....	40
4.2	Petoosne obrade ovisne o izvedbi stroja.....	44
5.	PROGRAMIRANJE PETOOSNIH OBRADNIH STROJEVA.....	46
5.1	Korištenje postprocesora.....	46
5.2	Trend programiranja petoosnih obrada.....	47
6.	ODNOS TROOSNE I PETOOSNE OBRADE .....	51
7.	ZAKLJUČAK .....	54
8.	LITERATURA .....	55



## POPIS SLIKA

Slika 1. Programiranje obrade na računalu [1].....	11
Slika 2. Trendovi suvremene proizvodnje.....	12
Slika 3. Obilježja suvremene proizvodnje.....	13
Slika 4. Potrošnja i zarada obradnim strojevima u svijetu [2] .....	14
Slika 5. FMS sustav u automobilskoj industriji [3].....	17
Slika 6. Odnos FMS i RMS sustava .....	19
Slika 7. Primjer simultane obrade [5].....	22
Slika 8. Izrada jezgre kalupa [4].....	24
Slika 9. Primjer kalupa u automobilskoj industriji [5] .....	24
Slika 10. Izrada matrice kalupa [4] .....	25
Slika 11. Izrada koničnog alata [4].....	26
Slika 12. Glodalo za obradu drva [6] .....	27
Slika 13. Izrada kalupa trupa broda petoosnom obradom [7] .....	27
Slika 14. Petoosna obrada u drvenoj industriji [8] .....	28
Slika 15. Izrada rebara propelera [15] .....	29
Slika 16. Strategija obrade turbinskih lopatica zaobljenim glodalom [4] .....	30
Slika 17. Strategija obrade turbinskih lopatica glodalom čiji su rubovi vrha zaobljeni[4] .....	30
Slika 18. Visokobrzinska obrada kod izrade kalupa [9].....	32
Slika 19. Tokarenje otvrdnutog materijala [10] .....	33
Slika 20. Prikaz omjera troškova kod zbrinjavanja sredstva za hlađenje, podmazivanje i ispiranje .....	34

Slika 21. Primjena robota u svjetskoj industriji [11].....	36
Slika 22. Izvedba alatnog stroja iz skupine 3/2' [12].....	39
Slika 23. Izvedba alatnog stroja iz skupine 2/3' [12].....	40
Slika 24. Izvedba alatnog stroja sa rotacijskim osima na vretenu [12] .....	42
Slika 25. Izvedba alatnog stroja sa rotacijskim osima na radnom stolu [12] .....	43
Slika 26. Izvedba alatnog stroja sa rotacijskim osima na radnom stolu i na vretenu [12] .....	44
Slika 27. Primjer obratka za obradu pozicioniranjem alata [8] .....	45
Slika 28. Mjesto postprocesora kod obradnog stroja .....	47
Slika 29. STEP-NC slanje podataka [13] .....	49
Slika 30. Gibanje alata kod petoosne i troosne obrade .....	51
Slika 31. Odnos visine alata i visine profila [14] .....	52
Slika 32. Prikaz nagiba alata kod petoosne obrade [14] .....	53

## SAŽETAK

Današnje svjetsko tržište puno je novih kompleksnijih zahtjeva obrada površina što za sobom povlači i kompleksnije strojeve na kojima se takve površine izrađuju. Takvi zahtjevi postavljaju se na što ekonomičniju i što fleksibilniju proizvodnju uz stalnu prisutnu konkurenciju na tržištu. Svjetska proizvodna bila je prisiljena uvesti nove alatne strojeve na tržište koji omogućuju gibanje alata po nekoliko osi tijekom obrade, od kojih neke mogu biti translacijske i rotacijske. U današnjici, na tržištu možemo naći strojeve sa nekoliko osi upravljanja, ali najzastupljeniji su oni sa pet osi upravljanja. Dva su osnovna razloga zbog kojih su se standardne koncepcije strojeva trenutno zadržale na pet osi. Prvi je taj što se obratku tijekom obrade može dovesti alat u zahvat sa svih strana i u bilo kojoj orijentaciji, što omogućuje potpunu obradu u samo jednom stezanju. Drugi razlog je taj što višeosna upravljačka računala strojeva podatke i dalje tretiraju jednako kao i petoosna upravljačka računala. Iako danas postoje koncepcije strojeva sa mnogo više osi od pet, oni se i nadalje programiraju metodama programiranja petoosnih obrada, samo što im upravljačka računala upravljaju u određenom trenutku sa različitim osima na načine koji se razlikuju u ovisnosti od koncepcija i proizvođača stroja.

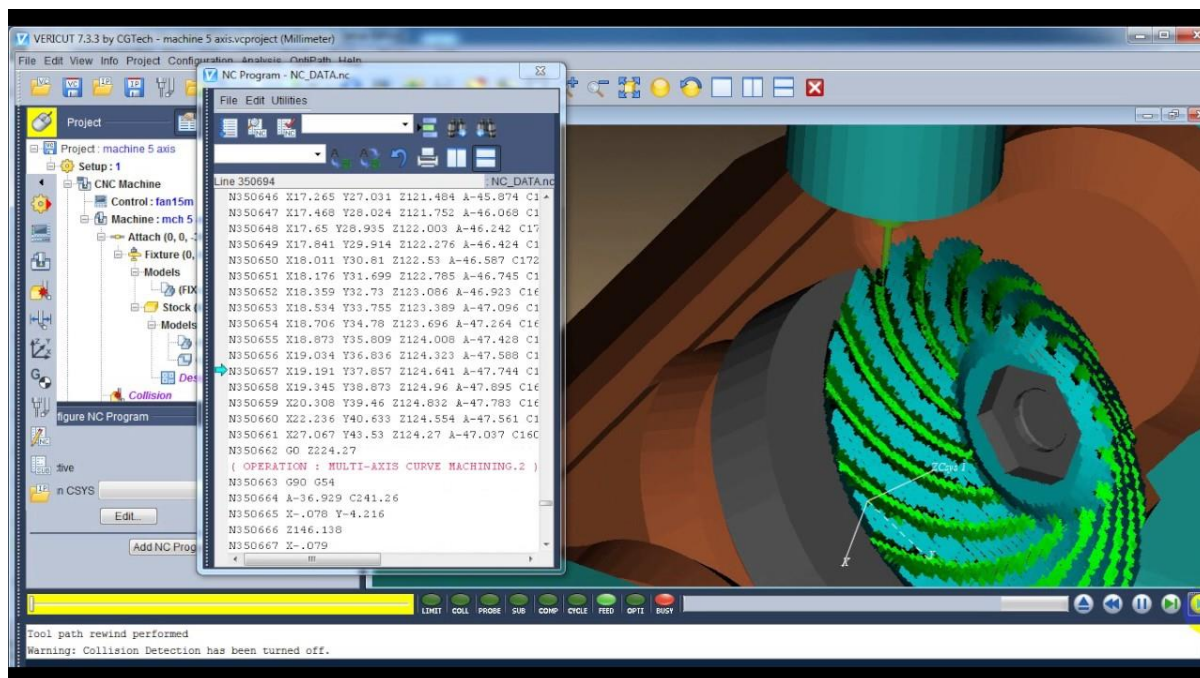
U uvodnom poglavlju prikazuju se zahtjevi kupaca i tržišta koji su doveli do pojave petoosne obrade. Nadalje se ukratko opisuju značajke petoosnih obrada u današnjici te njihovi utjecaji na današnju industriju. U drugom poglavlju prikazuje se povijest i uzroci nastanka petoosnih obrada. Prikazuju se tehnologije koje su se koristile u počecima nastajanja automatizacije alatnih strojeva te svi čimbenici koji su rezultirali pojavom novijih tehnologija na tržištu. Treće poglavlje sadrži današnju primjenu petoosnih obrada u svjetskoj proizvodnji. Ukratko su opisane sve grane industrije u kojima se na javlja, tj. primjenjuje. Četvrto poglavlje sadrži koncepciju strojeva za petoosnu obradu, popraćeno slikama. U sljedećem poglavlju kratko je opisano korištenje postprocesora tijekom programiranja petoosnih obrada, te su pojašnjeni strojni jezici koji se javljaju u ovoj temi. U zadnjem poglavlju, ukratko je opisana razlika između troosne i petoosne obrade.

# 1. UVOD

U proteklim godinama, razvoj tehnologije doveo je do novog, suvremenog načina rada čiji je cilj olakšati čovjekov posao. Radionički crteži na papiru postali su povijest. U današnjici, radionički crteži zamijenjeni su 3D modelima koji omogućuju lakše očitavanje informacija i razumijevanje izgleda dijelova i sklopova. Napretkom tehnologije također se pojavila potreba za izradcima sve složenijih površina. Kako u zrakoplovnoj i automobilske industriji, izradci nepravilnih površina javljaju se i u industriji turbina, propelera, industriji alata i kalupa. Što su zahtjevi kupaca sve veći, pojava nepravilnih konstrukcijskih površina dovela je do značajnog unapređenja klasičnih ručno upravljajućih numeričkih strojeva. Pojava troosnih strojeva znatno je olakšala posao radnika i poboljšala kvalitetu izrade, ali dolaskom petoosnih strojeva na tržište, strojna obrada postala je vrh u svijetu.

Takvi strojevi sadrže tri translacijske osi te dvije rotacijske osi. Složene nepravilne površine za ovakav stroj nije predstavljalo problem, jer u jednom stezanju komada alat je mogao doći do svake od površina pod bilo kojom orijentacijom one bile. Također, bitno je napomenuti da uvođenje petoosnih obradnih strojeva ne bi imalo svoj značaj u unapređenju da nije popraćeno brzim razvojem CAD/CAM sustavom. Tako je ručno pisanje koda za NC strojeve (numeričko upravljane strojeve, Eng. Numerical Control) zamijenjeno programiranjem obrade u grafičkom okruženju na računalu (**slika 1.**) uz mnoge znatne uštede vremena.

Međutim, brzi razvoj petoosnih obradnih sustava rezultirao je pojavom i novijih materijala na tržištu. Zbog stalnih zahtjeva za povećanjem kvalitete proizvoda danas su prisutne mnoge težnje uvođenja stalnog uvođenja novih materijala, kako materijala obradaka, tako i proizvoda te materijala za izradu alata. Kod obradaka se uvijek nastoji uvoditi nove bolje materijale, sa bolim karakteristikama i svojstvima. Takvi zahtjevi doveli su i do povećanja cijene nekog proizvoda, ali i bolja svojstva, tj. kvalitetu.



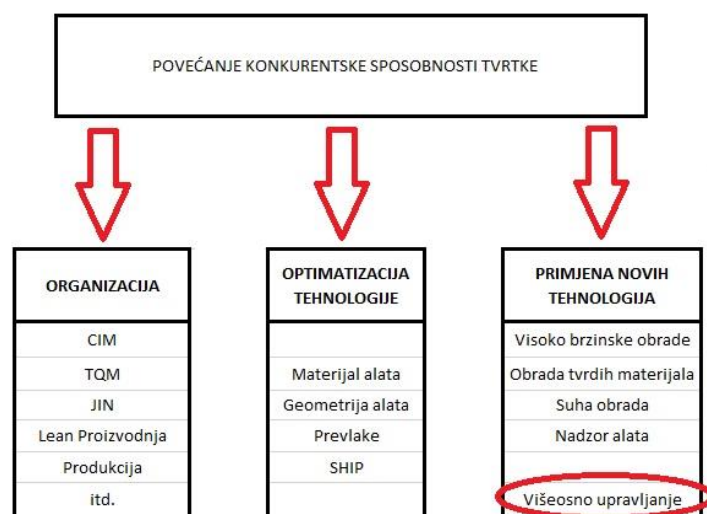
*Slika 1. Programiranje obrade na računalu [1]*

Rezni alati imaju vrlo intenzivan razvoj zbog stalne izloženosti novim zahtjevima za sve većim brzinama obrade, što boljom kvalitetom površine, nižim cijenama te manjem trošenju oštrica alata. Najveći dio raznih alata izrađeni su od tvrdog metala sa različitim veličinama zrna karbida i različitim brojem i vrstama prevlaka. U današnjice se sve više koriste super tvrdi materijali iz kubičnog borovog nitrida (Eng. CBN, Cubic Boron Nitride) jer takav materijal ima odlične karakteristike i preduvjet je za učinkovite obrade otvrdnutih i kompozitnih materijala.

Danas na području proizvodnje postoje različite obradne tehnologije koje su najčešće povezane s karakterističnim granama industrije, kod kojih su u mnogim slučajevima međusobno povezane. Uz konvencionalne i standardne CNC (Eng. Computer Numerical Control, računalnom upravljane strojeve) obrade najviše su zastupljene:

- Visokobrzinske obrade
- Tvrdе obrade
- Suhe obrade
- Mikro obrade
- Obrade vodenim mlazom
- Obrade upotrebom robota
- Elektroerozije
- Itd.

U današnjem trendu svi teže k tome da ne izrađuju velike serije proizvoda, već male serije. Razlog tome je što za nekoliko mjeseci od dana predstavljanja tog proizvoda na tržištu doći će isti takav proizvod, ali noviji model. Time se nastoji raditi male serije proizvoda, ali po cijeni veliko serijske proizvodnje. Takvi trendovi zahtijevaju izrazito veliku fleksibilnost i efikasnost u proizvodnji. Da bi tvrtka u današnje vrijeme to mogla postići, potrebno je da prati trendove na svim aspektima suvremene proizvodnje (**slika 2.**) , od kojih je višeosno upravljanje samo jedna grana u uspješnosti tvrtke.



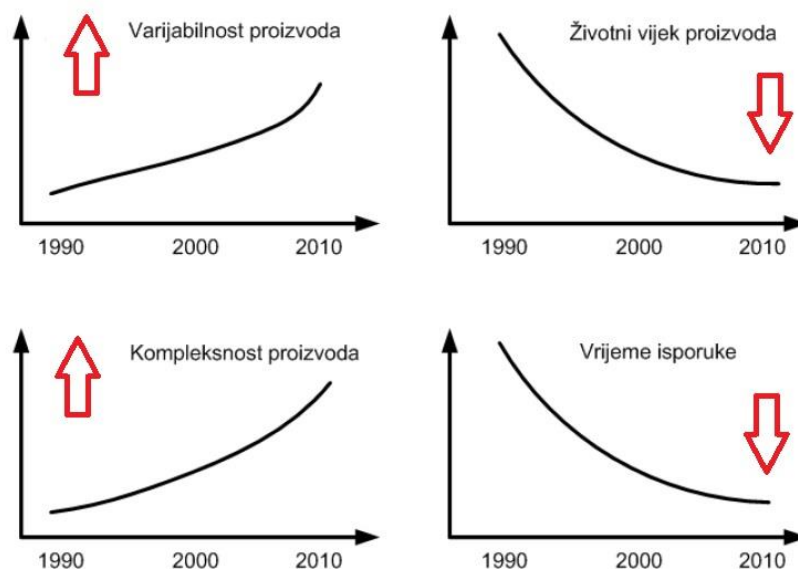
*Slika 2. Trendovi suvremene proizvodnje*

Iz prikaza se vidi da su pritisci na konkurentnost i fleksibilnost proizvodnje veliki, a osnovni zahtjevi koji vode do tih trendova u današnjici su:

- Zahtjevi za očuvanje okoliša
- Zahtjevi za stalnim povećanjem kvalitete površina
- Zahtjevi za većom produktivnošću
- Zahtjevi za što kraće vrijeme isporuke
- Zahtjevi za iskorištenjem alatnih strojeva

Kako je tehnologija došla do značajnog unapređenja, time su došle i nove i zahtjevnije želje kupaca. Zahtjevi tržišta u odnosu od prije 10-tak godina značajno su se promijenili. Osnovna obilježja suvremenog tržišta su :

- Jeftiniji i kvalitetniji proizvodi
- Utjecaj konkurencije
- Česte promjene želja kupaca
- Povećanje broja varijanti proizvoda
- Povećanje utjecaja i želja kupaca i oblik i karakteristike proizvoda
- Smanjenje veličine serije proizvoda
- Skraćenje vijeka trajanja proizvoda na tržištu

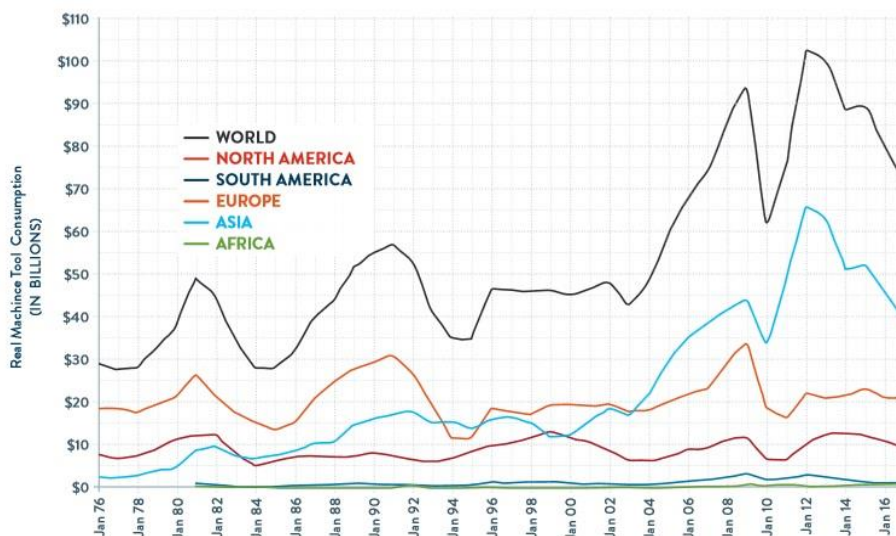


Slika 3. Obilježja suvremene proizvodnje

Da bi neka tvrtka ostala konkurentna na tržištu, uz sve trendove, zahtjeve kupaca, zahtjeve za obradnim strojevima i obradnim sustavima, koji moraju na sve zahtjeve ponuditi primjerene odgovore, tvrtka mora imati dobru organizaciju rada. Mora biti na dobrome glasu u svijetu. Uz to sve, tvrtka mora se pridržavati i sljedećeg:

- Održavanje kvalitete proizvoda uz minimalni otpad
- Smanjenje proizvodnih troškova
- Visoki stupanj iskorištenja radnog vremena
- Veliku fleksibilnost
- Mogućnost brze reakcije na zahtjeve tržišta
- Autonoman rad

Najveći problem u svijetu je uspostaviti neku optimalnu cijenu nekog proizvoda. Uz sve uložene i navedene napore tvrtke, potrebno je i uvažiti aspekt globalizacije u svijetu. U današnjem svijetu lako je pronaći zemlju sa jeftinom radnom snagom. Tako primjerice danas zemlje sa jeftinom radnom snagom uspijevaju kroz strana ulaganja pribaviti najnovije tehnologije, te uz jeftin rad radnika dati nisku cijenu konačnog proizvoda na tržište, što takve zemlje drži konkurentnim u svijetu. **Na slici 4.** može se uočiti koliko zemlje svijeta godišnje zarade na obradnim strojevima. Vodeća sila u svijetu je Kina koja od svojih početaka drži svoj konstantan porast dok zemlje Europe konstantno drže svoj prosjek od početka njihove proizvodnje.



Slika 4. Potrošnja i zarada obradnim strojevima u svijetu [2]



## 2. POVIJEST PETOOSNIH OBRADNIH STROJEVA

### 2.1 Razvoj numeričkog upravljanja

Razvoj automatizacije alatnih strojeva započela je oko 1800 godine kada je po prvi puta bregasta osovina pokretala alatni stroj. Bila je to prekretnica u stvaranju alatnog stroja. 1825 godine Thomas Blanchard prvi je konstruirao kopirnu tokarilicu za proizvodnju dijelova vojne opreme. 50-tak godina kasnije, 1870 Christopher M.Spencer usavršio je tokarilicu s okretnom glavom. Međutim, svi takvi izumi u tom vremenu bili su daleko od numeričkog upravljanja, jer nisu mogle biti apstraktno programirane. Između obrađivanog obratka i koraka obrade nije postojala povezanost, pa je rad takvim strojem bio iznimno težak. Bregasta vratila su radila na različitim kodiranim informacijama koje su se sa mnogim ručnim tehnologijama unosile u sustav. Stvarna automatizacija ovih strojeva nastupila je mnogo desetljeća kasnije.

Sljedeća od investicija u alatne strojeve bila je hidraulika. Uvođenjem hidraulike u strojeve sa bregastim vratilima rezultirala je pojavom automatizacije kroz dodatne naprave koje su koristile probnu iglu koja bi omogućavala prelazak preko zadanog predloška. Osnivači Francis A.Pratt i Amos Whitney konstruirali su stroj „Keller“ koji je mogao kopirati predloške duge do nekoliko metara. Sljedeći alatni stroj prezentirala je tvrtka „General Motors“ pedesetih godina dvadesetog stoljeća pod nazivom „snimi i ponovi“ (Eng. Record and Playback). Njihovim strojem omogućeno je snimanje putanje alata kojim je prilikom obrade upravljao iskusan radnik. Snimanjem putanje alata, snimka se pospremila kako bi u budućnosti netko drugi mogao koristiti.

#### Povijesni tijek razvoja alatnog stroja prikazanih pod godinama:

- 1650. Nizozemska – sustavi za automatsko zvonjenje zvona
- 1700. Engleska – upotreba bušene kartice za upravljanje strojevima za pletenje
- 1800. razvijanje stroja za pletenje i tkanje upravljani bušenom vrpcom
- 1863. M. Fourneaux patentirao prvi automatski pijanino

- 1870. E. Whitney uvodi proizvodnju zamjenjivih dijelova (prva upotreba steznih naprava)
- 1940. uvođenje hidraulike, pneumatike u elektrike za automatsko upravljanje strojem
- 1945. Mauchly u Eckert patentiraju prvo digitalno elektroničko računalo ENIAC
- 1948. inicijativa za razvoj numeričkog upravljanja alatnih strojeva
- 1952. patent MIT-a (numerički upravljana glodalica – bušilica)
- 1952. Američko zrakoplovstvo pokreće projekt razvitka alatnog stroja koji je sposoban obrađivati složene dijelove (omogućiti sigurno zamjenu dijelova) u zrakoplovnoj industriji
- 1957. prva svjetska instalacija numerički upravljanog alatnog stroja
- 1959. razvoj automatskog programiranja i programskog jezika APT (Eng. Automatic Programmed Tools)
- 1959. MIT osnivač prvog jezika za programiranje NC strojeva
- 1960. Nastanak direktnog numeričkog upravljanja – DNU (Eng. Direct Manual Control) Omogućeno je direktno slanje programa iz DNC računala u upravljačku računalo CNC stroja
- 1968. kompanija „Kearney & Tracker“ izrađuju prvi obradni centar
- 1970. pojava CNC alatnih strojeva
- 1980. pojava CAD/CAM sustava, javljaju se prvi sustavi na Linux i Microsoft operativne sustave
- 1990. veliki pad cijena u CNC tehnologiji
- 1997. pojava upravljačkih računala zasnovanih na otvorenoj arhitekturi (PC Windows)

U današnjici, razvile su se različite razine NC upravljanja i načini upravljanja za poboljšanje produktivnosti i ekonomičnosti same proizvodnje. Razne industrijske grane zahtijevale su različita usavršavanja ovih tehnologija, što je dovelo do neke potpuno drugačije specifične razine vezane uz NC upravljanje. Neke od ovih specifičnih načina upravljanja jesu:

- Fleksibilni obradni centri ili FMS (Eng. Flexible Manufacturing System)
- Direktno numeričko upravljanje strojem ili DNC
- Rekonfigurabilni proizvodni sustavi ili RMS (Eng. Reconfigurable Manufacturing System)

### Fleksibilni obradni sustavi FMS

Bitno je navesti da su to sustavi koji posjeduju određenu količinu fleksibilnosti koja omogućava sustavu da reagira u slučaju zahtjeva za promjenom bilo onda predvidiva, ili pak slučajna, odnosno nepredvidiva. Fleksibilnost stroju omogućuje da brzo reagira na promjene kako i mogao proizvesti novije tipove nekog proizvoda ,te mu omogućuje sposobnost promjene redoslijeda operacija koje se izvršavaju. Usmjeren fleksibilnost sastoji se od sposobnosti korištenja većeg broja strojeva korištenih u seriji, kao i sposobnost sustava da apsorbira velike promjene kao u primjerice količini proizvedenih dijelova.



*Slika 5. FMS sustav u automobilske industriji [3]*

Osnovna karakteristika FMS sustava je to da se sastoji od triju osnovnih podsustava. Sustav alatnih strojeva koji se sastoji od CNC strojeva, spojen je sustavom za manipulaciju obradcima kako bi se optimizirao protok dijelova, a sve to je upravljano sustavom upravljanja na računalu. Glavne prednosti FMS sustava su:

- Velika brzina izrade
- Manja jedinična cijena
- Veća produktivnost i efikasnost
- Manje škarta
- Bolja kvaliteta
- Povećana djelotvornost sustava
- Povezivanje sa CAD/CAM sustavom

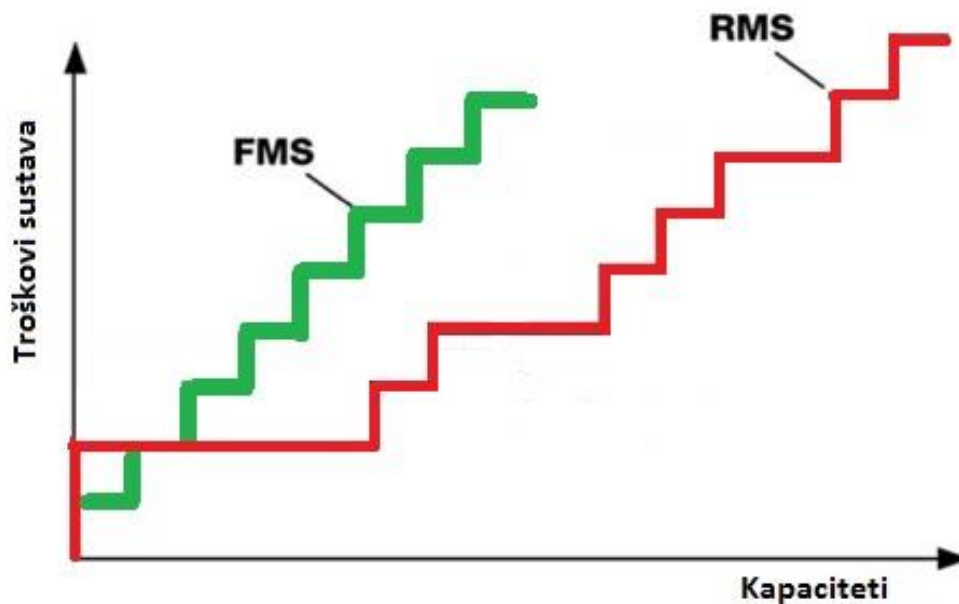
#### Direktno numeričko upravljanje ili DNC

Zbog nedostataka memorije u pojedinim obradnim centrima, obradni centar nije mogao izvesti sve operacije obrade nekog proizvoda. Uvođenjem direktnog numeričkog upravljanja stroju je bilo omogućeno da izvrši sve naredbe koje su mu prethodile. Program se u takvim slučajevima pohranjivao na stolno računalo te se isti direktno slao u sučelje alatnog stroja blok po blok. Ukoliko je računalo bilo spojeno na više takvih alatnih strojeva, računalo je moglo distribuirati podatke na više mjesta u isto vrijeme. Razvitkom PC računala proizvođačima DNC sustava su se otvorile dodatne mogućnosti za podršku proizvodnje, osim same pohrane podataka, tj. programa. Daljnjim razvitkom tehnologije, danas se pod tim terminom omogućava nadgledanje obrade u svakom trenutku, grafička podrška, upravljanje alatima, praćenje rada i ukopne proizvodnje. Ovakvi programi pružaju operaterima integrirani pregled svih informacija tijekom proizvodnje, također i menadžeru pružaju uvid u proces proizvodnje na svakom koraku.

### Rekonfigurabilni proizvodni sustavi ili RMS

U odnosu na FMS, osnovni cilj RMS-a je povećanje brzine odgovora na zahtjeve tržišta. RMS je također fleksibilan kao i FMS, ali u ograničenom opsegu. RMS sustav koristi se sve od maloserijskih pogona do velikoserijskih. Sustav je konstruiran tako da može brzo postaviti svoje proizvodne mogućnosti na iznenadne promjene tržišta ili zahtjeve kupaca, odnosno unutarnjih sistemskih promjena. Idealna izvedba RMS sustava sastoji se od :

- Modularnosti
- Integriteta
- Prilagodljive fleksibilnosti
- Raspona djelovanja
- Promjenjivosti
- dijagnosticiranja



Slika 6. Odnos FMS i RMS sustava

Modularnost omogućuje raspodjelu proizvodnih funkcija na različite operacijske jedinice kako bi se moglo upravljati između više različitih proizvodnih shema. Osnovni cilj RMS sustava je postizanje optimalne razine proizvodnje. U RMS sustavu znatna količina komponenti je postavljena kao pomična (npr. upravljačke osi, upravljačka računala, strojevi, itd.) tako da se prilikom rada mogu nesmetano na proces zamijeniti novijima koje odgovaraju postavljenim zahtjevima.

Integritet predstavlja brzu i preciznu zamjenu različitih modula u skupovima što mehaničkih, informacijskih ili upravljačkih sučelja. Integritet također omogućuje konstruktorima strojeva da povežu različite skupove komponenata stroja sa strojnim modulima i tako omoguće integraciju proizvodnje.

Prilagodljiva fleksibilnost omogućuje konstruiranje sustava za proizvodnju skupova dijelova, prije nego proizvodnju svakog posebnog dijela. Skup dijelova predstavlja npr. nekoliko vrsta procesora ili nekoliko vrsta blokova motora istog tipa. To znači da u sustavu RMS-a, skup dijelova predstavlja sve dijelove koji imaju iste geometrijske značajke, jednake tolerancije te koje zahtijevaju iste obradne operacije.

Raspon dijelova predstavlja sposobnost lake promjene proizvodnih kapaciteta sa izmjenama komponenti postojećeg proizvodnog sustava. Ova karakteristika omogućuje povećanje produktivnosti stroja.

Promjenjivost omogućuje promjenu funkcionalnosti postojećeg sustava, strojeva i upravljačkih računala kako bi bili zadovoljeni zahtjevi proizvodnje. Primjer promjenjivosti može biti promjena momenta vretena stroja kada se pojavi potreba za obradom drugačijeg materijala sa drugačijim karakteristikama od onih za koje je stroj bio definiran.

Dijagnosticiranje nam omogućuje automatski uvid u trenutno stanje sustava proizvodnje i detekcije postojećih zastoja, te pronalaska rješenja za što brže uklanjanje istog.

## 2.2 Razvoj petoosne obrade

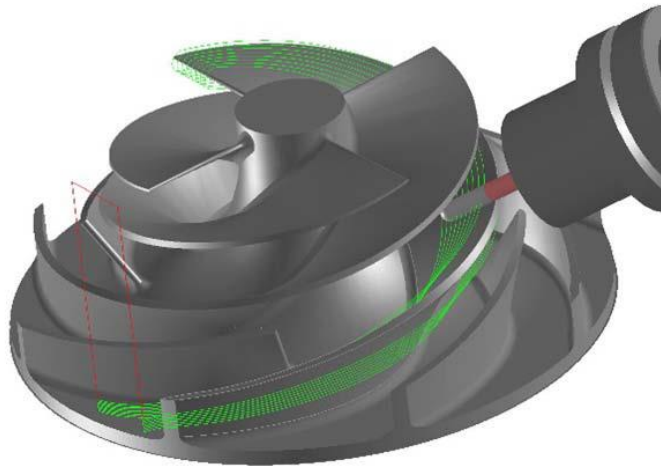
Prekretnica u razvoju petoosne obrade bila je pedesetih godina prošlog stoljeća, kada je zrakoplovna industrija prva javila težnju za nečim kompleksnijim. Također se javila potreba za izradu opreme za transport, konstrukcije i ostale druge namjene. Zahtjevnije i kompleksnije površine, zakrivljene i nagnute pod nekim kutom upravo su bili novi zahtjevi koji su se javili na tržištu. Takve zahtjevnije površine izrađivale su se na troosnim alatnim strojevima za glodanje, dok su preostale dvije osi mijenjali alternativnim postupcima, kao što su razni specijalni alati i naprave. Raznim kompanijama bilo je jasno da je neophodno uvesti *simultanu* petoosnu obradu u svoje poslovanje, najviše iz financijskih razloga. Uvođenjem pet osi na tržište rada, nastao je preokret u razvoju strojeva za glodanje s pet simultanih osi gibanja i pripadajućim upravljačkim jedinicama. Vrhunac doseže 1958. godine kada je uspostavljen prvi projekat u U.S. Air Force kompaniji.

### Simultana petoosna obrada

Da bi se obradili kompleksni obratci nepravilnih površina potrebno je mijenjati relativnu orijentaciju alata prema obratku tijekom cijelog vremena obrade. Relativna orijentacija alat-obradak mijenja se sa svakim korakom, tj. upravljačko računalo CNC stroja proračunava putanju svih pet osi simultano tijekom procesa obrade.

Najznačajnija područja primjene simultane petoosne obrade su u proizvodnji:

- turbinskih i kompleksnih lopatica
- ubrizgavača pumpi za gorivo
- aluminijskih naplataka za vozilo
- medicinskih proteza i implantata
- kalupa i alata



*Slika 7. Primjer simultane obrade [5]*

Nakon 1958. godine, tvrtka *Cincinnati Milling Co.* imala je ugovor o petosnoj vertikalnoj glodalici koja bi se sastojala od triju „kontrolera“. Stroj je imao pet osi gibanja ( $x, y, z, a$  i  $b$ ). Jedan od kontrolera bio je zadužen za translacijsko gibanje triju osi ( $x, y, z$ ), dok je drugi bio zadužen za prvu rotacijsku os ( $a$ ), a treći za drugu rotacijsku os ( $b$ ).

Uključivanjem stroja, uključilo se i računalo koje je pratilo dubinu glodala triju translacijskih osi i dva kuta nagiba rotacijskih osi. U ono vrijeme bio je to jedan od najzahtjevnijih zadataka. Bez NC tehnologije, cijeli ovaj sustav bio bi puno više teži za rukovanje.

U današnjici, ovakvoj obradi puno je potpomogao razvoj računala i prateće tehnologije, također i razvoj elektronike koji je doprinio projektiranju kvalitetnih i snažnih upravljačkih jedinica. Danas na tržištu možemo pronaći veliki broj CAD programa koju su sve više povezani sa CAM programima, što nam u današnjici uvelike doprinosi i olakšava put od ideje do konačnog gotovog proizvoda.



## 3. PRIMJENA PETOOSNIH OBRADA

### 3.1 Industrija kalupa i alata

Značajnu ulogu u industriji kalupa itekako ima obrada odvajanjem čestica. Kalupi za izradu polimernih proizvoda mogu u konačnici biti izrazito kompliciranog i zahtjevnog oblika što predstavlja veliki izazov za konstruktore kalupa.

Izrada kalupa može se podijeliti u dvije skupine :

#### 1. Izrada standardnih elemenata kalupa:

- Kalupne ploče
- Elementi za vođenje
- Elementi za centriranje
- Itd.

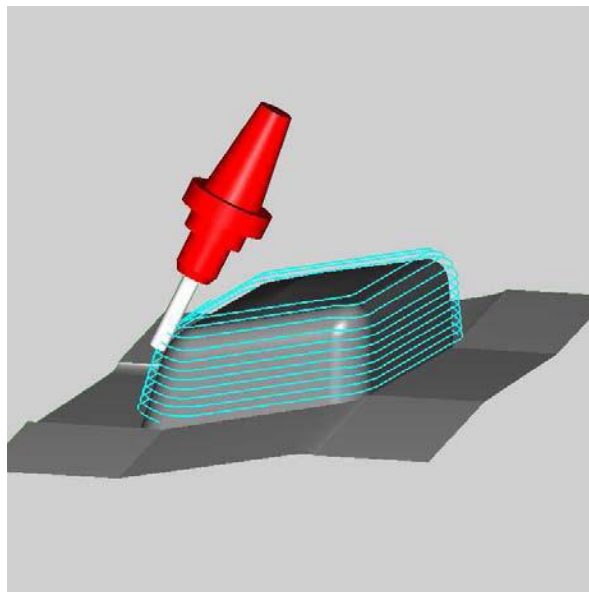
#### 2. Izrada nestandardnih elemenata kalupa:

- Žigovi
- Gnijezda
- Klizači
- Itd.

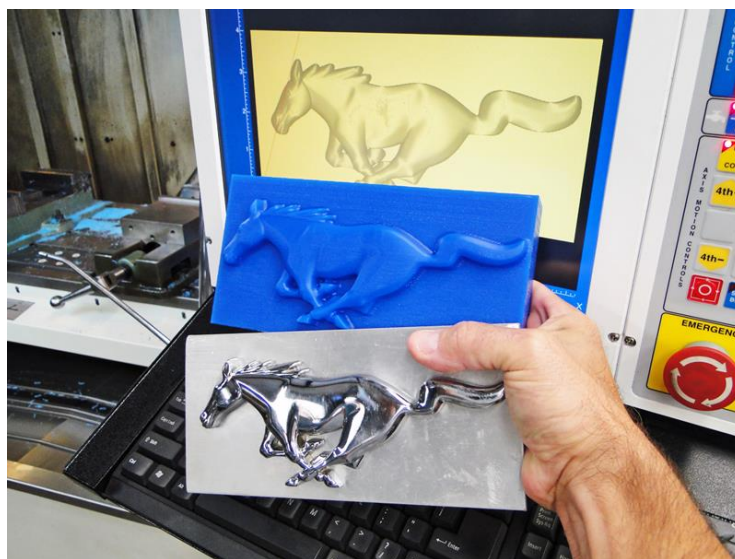
Kod izrade standardnih elemenata kalupa proizvodnja može biti velikoserijska i maloserijska, dok kod izrade nestandardnih elemenata proizvodnja je većinom pojedinačna. Kako pojedinačna proizvodnja predstavlja skup i dugotrajan proces, proizvođači imaju potrebu tražiti rješenja koja bi smanjila navedene troškove, tj. gubitke. Uvođenjem petoosnih strojeva za izradu kalupa, ovi gubitci su uvelike smanjeni. Petoosna obrada u izradama kalupa trenutno drži svoj vrh u ovoj grani industrije.

### 3.1.1 Izrada jezgre kalupa

Petoosna obrada kod strmijih površina jezgre kalupa pruža mnoge prednosti jer se u ovom slučaju obrada može isprogramirati na način da je kontaktna geometrija između alata i obrađivanje površine linija, što u konačnici ima manju hrapavost, a željenu površinu lako može obraditi u manje prolaza i u manjem vremenu (slika 8.). Jedini problem kod ovog procesa izvođenja obrade predstavljaju strme površine i mali polumjeri zakrivljenosti, koji se kasnije mogu obraditi nekom drugom metodom.



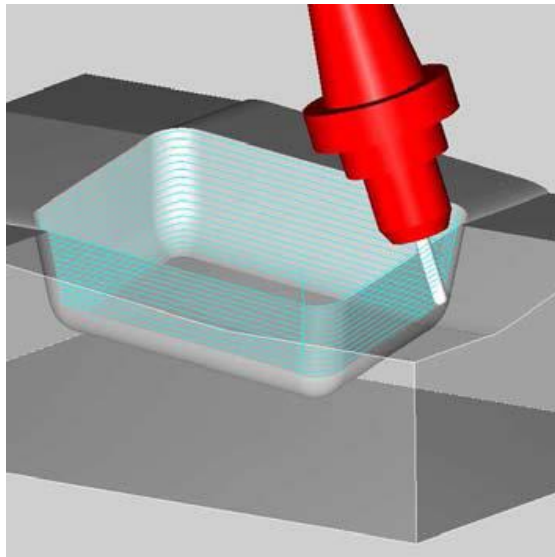
Slika 8. Izrada jezgre kalupa [4]



Slika 9. Primjer kalupa u automobilskoj industriji [5]

### 3.1.2 Izrada matrice kalupa

Zbog sigurnosnog sustava petoosnog obradnog stroja nemoguće je izazvati koliziju kada se radi o dubinskoj obradi matrica kalupa (**slika 10.**). Stroj sam preračunava kut nagiba alata u odnosu na površinu koju obrađuje te s time osigurava odličnu kvalitetu površine. Snažan algoritam koji ne samo što osigurava izbjegavanje kolizije, on omogućava obradu kalupa sa standardnim glodalima manjih promjera. Obrada se vrši bez neželjenih vibracija koje se javljaju prilikom završnih obrada zbog većih brzina rezanja. Uvođenjem petoosne obrade u izradu matrice kalupa koja zamjenjuje obradu kojom su se prije izrađivale matrice kalupa (elektroerozijom) izrazito je skraćeno vrijeme izrade kalupa, kao i smanjena cijena konačnog proizvoda.

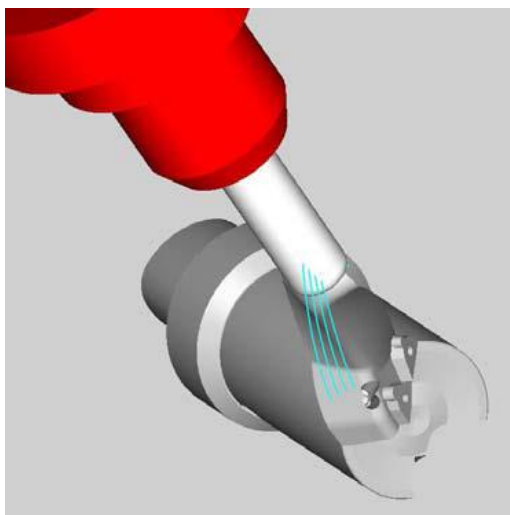


*Slika 10. Izrada matrice kalupa [4]*

### 3.2 Izrada alata petoosnom obradom

U današnjici, nezamislivo je izvesti postupak glodanja ležišta izmjenjivih pločica u simultanom petoosnom modu kada se radi o reznim alatima za obradu metala. U većini slučajeva je potrebna obrada na nekoliko različitih dubina i širina, ovisno o tipu alata. Kratko vrijeme kod izrade alata je veoma ključno, budući da se radi o skupom postupku obrade. Smanjiti vrijeme je moguće kada bismo postigli glatku putanju alata, koja je podržana u sustavu petoosnih upravljačkih računala.

Kod obrade *koničnih alata* (slika 11) osnovni preduvjet za uspješnu obradu ima djelotvorna kontrola kolizije na mjestima obrade zareza i oštih prijelaza. Jedino petoosni obradni strojevi u današnjici imaju takvu mogućnost kontrole.



Slika 11. Izrada koničnog alata [4]

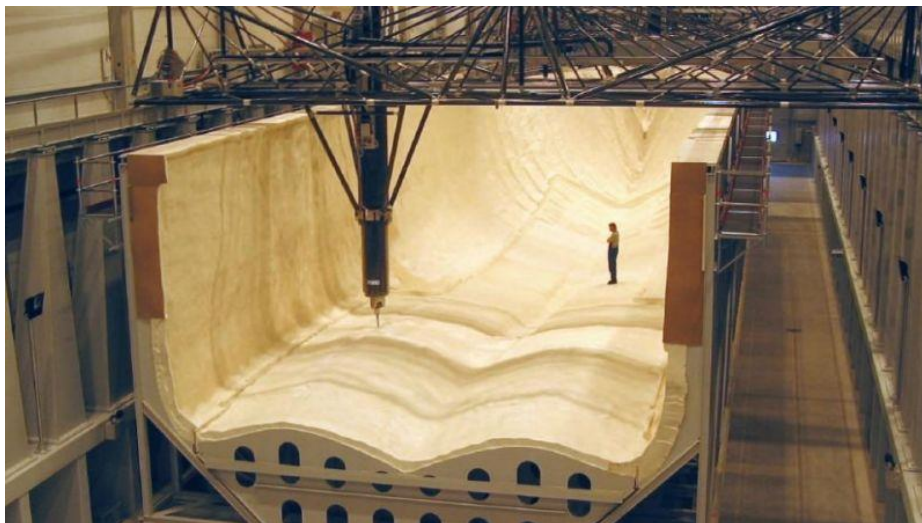
Petoosna obrada koristi se i kod izrade *alata za obradu drva* (slika12.). Dokazano je da dijametralno suprotno nagnute rezne oštrice na alatima za obradu drveta dovode do boljih performansi obrade drva. Alat sa takvom geometrijom nezamislivo je izraditi bez petoosne obrade.



*Slika 12. Glodalo za obradu drva [6]*

### **3.3 Petoosna obrada u drvenoj industriji**

Izrada drvenih kalupa velikih dimenzija korištenjem petoosnog obradnog stroja rezultira velikim smanjenjem vremena obrade u odnosu na jednake modele koji se izrađuju primjenom troosne obrade. Uz znanje da je kod troosne obrade potrebno raspodijeliti obradak na nekoliko dijelova kako bi se mogla postići željena obrada, treba postaviti i nultočke za svaki pojedini dio. U ovom dijelu zahtjeva, petoosna obrada je nedostižna. Najbitnija značajka petoosnog obradnog stroja je mogućnost izrade cijelog gotovog sklopa nekog proizvoda prema kojemu se mogu predvidjeti neželjeni zastoji ili prazni hodovi stroja koji mogu kod dijelova velikih dimenzija ( npr. kalup za izradu trupa broda, **slika13.**) uvelike povećati vrijeme izrade.



*Slika 13. Izrada kalupa trupa broda petoosnom obradom [7]*

Upotreba petoosnih obradnih strojeva također je prisutna i u industriji izrade namještaja (**slika 14.**). Današnje tržište zahtjeva sve veće i veće nepravilnije površine, što je za ručnu obradu drva koja se izvodila nekad jednostavno neizvediva. Petoosna obrada je jedina mogućnost izrade ovakvih površina.

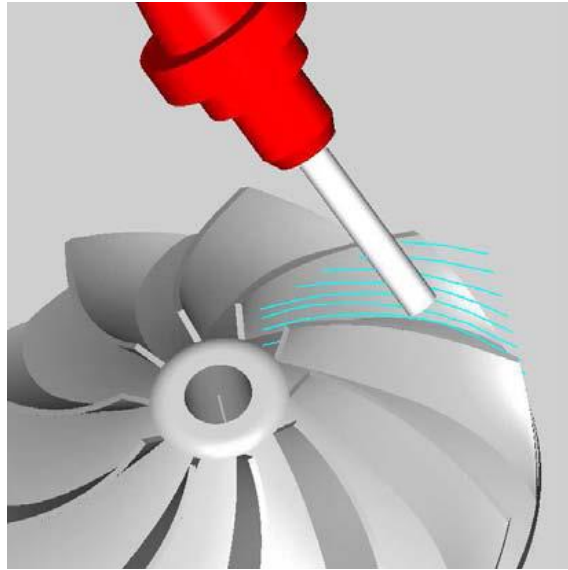


*Slika 14. Petoosna obrada u drvenoj industriji [8]*

### **3.4 Izrada propelera**

Geometrija propelera (**slika 15.**) jedna je od najzahtjevnijih površina za proces gibanja. Jedan od razloga za to je taj što vrlo malen prostor za okretanje alata mora biti kombiniran s visokim zahtjevima za kvalitetu obradnih površina. Drugi razlog su ekonomski zahtjevi za kratkim vremenom izrade u kombinaciji sa zahtjevima za glatkim prolazima alata preko obratka s mnogo obradivih površina. Treći uzrok su pojava vibracija kod obrade zbog tankih rebara propelera.

Propeleri zahtijevaju precizno i glatko pomicanje alata, jer svako drugo kretanje alata ostavlja tragove oštećenosti na površini propelera. Kako bi se postigao ovakav način kretanja alata petoosna upravljačka računala pružaju korisniku različite mogućnosti odabira putanje alata.

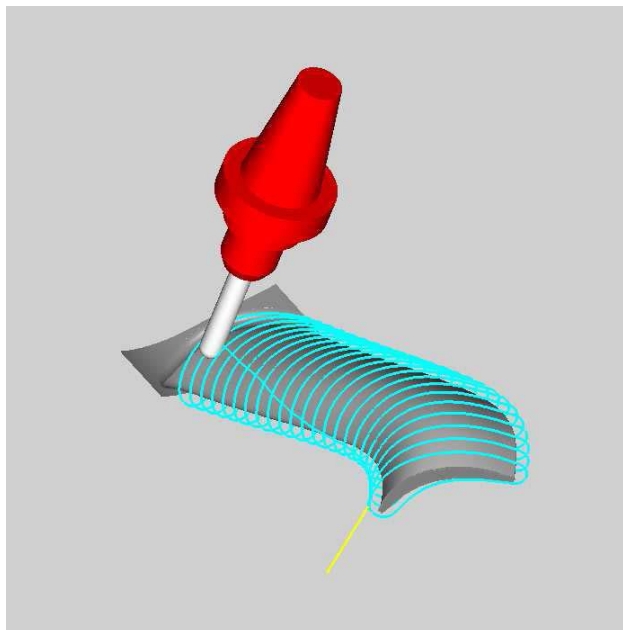


*Slika 15. Izrada rebara propelera [15]*

### **3.5 Izrada turbinskih lopatica**

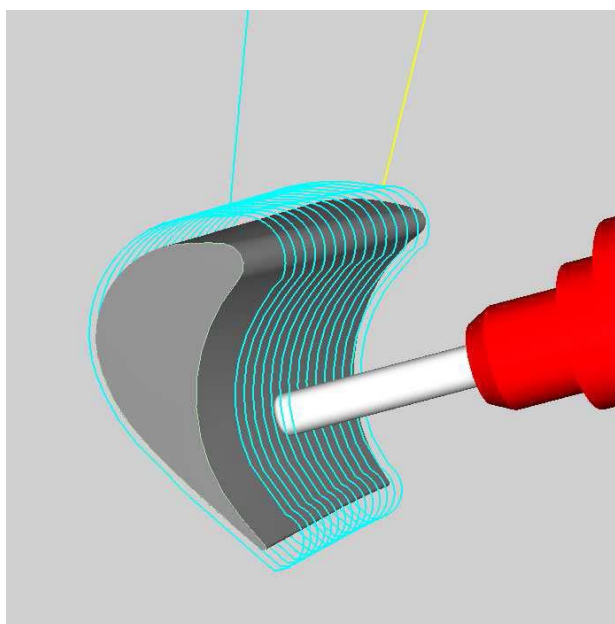
Izrada turbinskih lopatica jedan je od klasičnih zadataka za petoosne obrade. U ovom slučaju, potrebno je kombinirati programiranje i upravljanje putanje alata sa zakrivljenim obrađivanim površinama. Kod same obrade koriste se glodala sa većim promjerom uz simultano petoosno upravljanje. Pravilno programiranje putanje alata izrazito je bitno radi smanjenja vremena ukupne izrade. Kako je obrada turbinskih lopatica izrazito zahtjevna, u sustav petoosne obrade uvode se postprocesori koju su optimirani kako bi pružali podršku upravljačkim računalima kod lakog upravljanja putanjama alata.

Kod obrade turbinskih lopatica postoje dvije strategije izvođenja. Prva strategija prikazana je na **slici 16.** i prikazuje nam da se obrada turbinskih lopatica izvodi sa glodalima sa zaobljenim vrhom uz okretanje alata za predviđeni kut, kako bi se izbjegla kolizija i kako bi se uspostavili idealni uvjeti rezanja na površini. U ovoj strategiji koristi se spiralna putanja alata zbog izbjegavanja tragova na površini koji su uzrok preklapanja putanje alata.



*Slika 16. Strategija obrade turbinskih lopatica zaobljenim glodalom [4]*

Preostala strategija obrade turbinskih lopatica prikazana je na **slici 17.** i predstavlja obradu sa glodalom čiji su rubovi vrha zaobljeni. U ovom načinu obrade također se koristi spiralna putanja alata. Korištenjem alata većeg promjera, postiže se smanjenje vremena obrade u usporedbi sa strategijom korištenja glodala sa zaobljenim vrhom.



*Slika 17. Strategija obrade turbinskih lopatica glodalom čiji su rubovi vrha zaobljeni[4]*



## 3.6 Suvremena primjena petoosne obrade

U današnjici, razvoj petoosne i višeosne obrade ima čvrste temelje u proizvodnji, te njihova primjena kod obrade pojedinih komponenti zahtjeva određene značajke koje su specifične samo za to područje primjene. Takve specifičnosti su ovisne o brojnim čimbenicima kao što je koncepcija strojeva, tehnologija obrade i sl. S time se višeosna obrada može izdvojiti sama za sebe, a neke od najznačajnijih su:

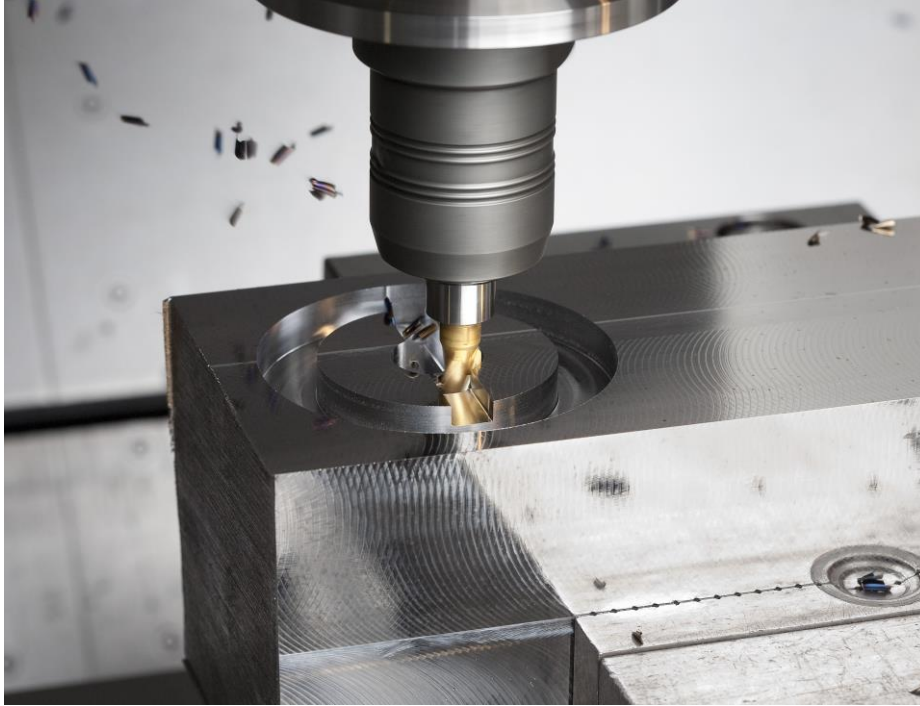
- Visokobrzinska obrada
- Tvrda obrada
- Suha obrada
- Višeosna obrada pomoću robota
- Mikro obrada

### 3.6.1 Visokobrzinska obrada

Jedna od najvažnijih obrada koja se svojim karakteristikama davno izdvojila kao zasebno područje obrade odvajanjem čestica. Osnovni razlog uvođenja visokobrzinske obrade u petoosnu obradu su potreba za velikom količinom odvojenog materijala sa obratka kod određenih obrada, te obrada otvrdnutih materijala. Visokobrzinska obrada se u većini slučajeva koristi za izradu kalupa, alata, i kompleksnih 3D komponenti (**slika 18.**), a na tržištu je gotovo lako pronaći gotove programske module jer CAD/CAM proizvođača u današnjici ima jako puno.

Kod programiranja visokobrzinske obrade program aktivira algoritme koji generiraju glatke putanje alata prilikom zahvata i prilikom dostavnog kretanja alata. Time se ravnomjerno zadržava putanja alata kao i eliminacija praznog hoda alata, čime se osigurava održavanje visokih vrijednosti posmaka i kvalitete obrade. Kao rezultat visokobrzinskog moda obrade dobivaju se glatke putanje koje su dodatno osigurane protiv kolizije alata i

obratka. Time se dobije veća kvaliteta površine uz manje trošenje alata. To je izrazito bitno jer smanjeno trošenje alata utječe na produljenje vijeka trajanja alata, a kratki vijek trajanja alata jedan je od značajnijih problema kod visokobrzinskih obrada, najviše zbog cijene.



*Slika 18. Visokobrzinska obrada kod izrade kalupa [9]*

### **3.6.2 Tvrda obrada**

Do nedavno završne obrade materijala su se izvodile ručno, većinom brušenjem i sl. Napretkom tehnologije i potražnja novih kompleksnijih zahtjeva na tržištu, završne obrade se u današnjici izvode tokarenjem (**slika 19.**), glodanjem, strojnim brušenjem, razvrtavanjem i svakakvim drugim što strojnim i kemijskim postupcima. Pojava otvrdnutih materijala (toplinski obrađeni materijali) još je više potaknula razvoju tehnologije u svijetu. Karakteristično za otvrdnute materijale je tzv. bijeli sloj koji nastaje na površini obratka nakon prolaza alata. Bijeli sloj sastoji se od sitnih martenzitnih zrnaca visoke tvrdoće, što predstavlja dodatni problem za tehnologije obrade i rezne materijale, jer bijeli sloj na

materijalu može prouzročiti negativne posljedice tijekom eksploatacije. Alat za obradu ovakve vrste materijala izrađen je od kubičnog borovog nitrida (Eng. Cubic Boron Nitride) koji je svojim karakteristikama i tvrdoćom, na drugom mjestu u svijetu. Nakon dijamanta.

Do sada je to jedini materijal sposoban za obradu ove vrste materijala. Dijamantni alati se također koriste za tvrde obrade i obrade teško obradivih materijala koji nisu na bazi željeza, ali se ne mogu koristiti za tvrdnu obradu čelika jer nisu dovoljno postojani na visokim temperaturama koje se prilikom obrade javljaju.



*Slika 19. Tokarenje otvrdnutog materijala [10]*

### **3.6.3 Suha obrada**

Kako je do nedavno korištenje sredstva za hlađenje, podmazivanje, i ispiranje bilo neophodno na nekom alatnom stroju, noviji zahtjevi na tržištu zahtijevaju smanjenje primjene upravo tih sredstva. Razlozi koji su doveli do toga su:

- Visoka cijena nabave i zbrinjavanja sredstva za hlađenje, podmazivanje, i ispiranje
- Štetno djelovanje sredstva na zdravlje operatera na alatnim strojevima
- Štetno djelovanje sredstva na okoliš



*Slika 20. Prikaz omjera troškova kod zbrinjavanja sredstva za hlađenje, podmazivanje i ispiranje*

Sljedeći značajni čimbenici koji su doveli do smanjenja sredstva za hlađenje, podmazivanje i ispiranje su: štetno djelovanje sredstva na alatni stroj, troškovi čišćenja i zbrinjavanja, izgubljeni satovi rada zbog bolovanja radnika, povećanje troškova održavanja itd. Zaštita okoliša postala je neophodna za sve proizvođače su svijetu koji još uvijek koriste sredstva za hlađenje, podmazivanje i ispiranje te im takav način rada predstavlja velike troškove. Kod masovne proizvodnje, većinom u automobilske industriji, koristile su se velike količine upravo tih sredstva radi povećanja produktivnosti i točnosti. Nakon što je dokazano da ta sredstva štete, što na stroj, što na čovjeka, pokrenuta je akcija sprječavanje tog problema. U proizvodnji je uvedena tzv. skoro suha obrada koja osigurava minimalne potrebne količine sredstva za podmazivanje pomiješane sa stlačenim zrakom, čime se količina sredstva za podmazivanje svodi gotovo na nulu.

### 3.6.4 Višeosna obrada pomoću robota

Razvoj i primjena novih računalnih tehnologija dovela je do pojave robotike kod CNC obradnih sustava. Prema istraživanjima iz 2015. godine, upotreba robota (**slika 21.**) u svjetskoj proizvodnji raste iz godine u godinu za čak 20 % godišnje. Skoro pa nezamislivo je kolike su to brojke komada robota u svjetskoj proizvodnji. Tipična primjena robota u industriji uključuje različita zavarivanja, bojanja, sastavljanja komponenti, premještanja, skladištenja te raznih drugih operacija. Sve navedene radnje zahtijevaju visoku točnost, preciznost i brzinu, te nam upravo robotska ruka to može omogućiti. Do danas je već razvijeno puno različitih upravljačkih računala za više-robotsko upravljanje, u razvoju je i pokretljivost robota koja je u stalnom porastu, a izrađuju se i roboti sa dvije ruke postavljene na istom postolju.

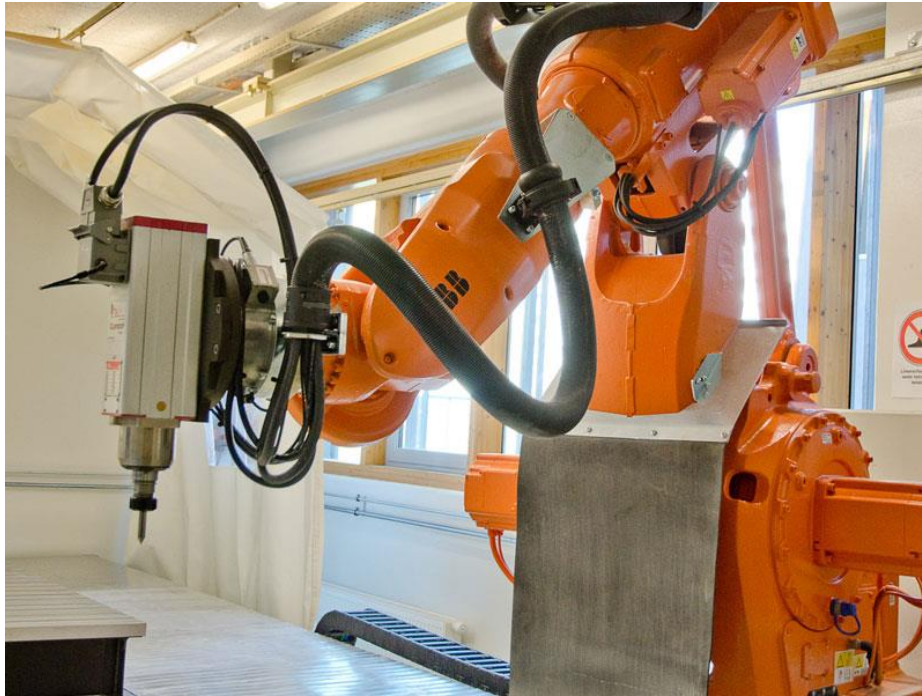
Iz dana u dan roboti zamjenjuju CNC obradne sustave, i to u sljedećim kategorijama:

- Brušenje
- Završne obrade površina
- Bušenje i razvrtavanje
- Kompleksna rezanja i odvajanje materijala
- Izrada kalupa

Mnoge su prednosti robota kada ih uspoređujemo sa CNC obradnim strojevima, a neke od njih su zasigurno bolje iskorištenje energije, bolje iskorištenje fizičkog rada te izrazito bitna dosljedna proizvodnja.

Glavni nedostatak robota u odnosu na CNC obradni stroj je nestandardni programski jezik kojeg koristi robot. Dok kod CNC obradnog sustava, NC kod je standardni i važeći je za svaki CNC obradni stroj koji omogućuje isti princip obrade. Roboti se programiraju svaki posebno, ovisno o proizvođaču. U ovo područje problema uloženo je izrazito puno financijskih i znanstvenih ulaganja, te se uskoro očekuju programi na PC platformi koji će u

potpunosti biti u mogućnosti prevoditi NC kod namijenjen CNC obradnom stroju u jezik prihvatljiv robotu. Uz očekivane manje troškove uređaja i opreme, na taj bi način petosni i višeosni roboti mogli izvoditi jednake zadaće kao i CNC strojevi. Naravno, mnogo efikasnije i točnije te sa kraćim vremenom izrade.



*Slika 21. Primjena robota u svjetskoj industriji [11]*

### **3.6.5 Mikro obrada**

Svakom obradnom procesu prethodi donošenje proračuna i odabir tehnologije na osnovi parametara kao što su djelotvornost, utrošak energije, utjecaj na okoliš, kao i ekonomske značajke. Sve navedene mjere su usporedno sa razvojem tehnologije vodile prema proizvodnji sve manjih dijelova, što se posebno očitovalo u elektronici, optici, medicini, biotehnologiji, auto i zrakoplovnoj industriji, tako da se danas može govoriti o zasebnim granama tehnologije nazvanim mikro i nano obrade, koje uključuju obradne procese na razini manjoj od jednog milimetra.

Zahtjevi za smanjenjem dimenzija neprestano su se razvijali u različitim granama industrije. Uz nastajanje novih tehnologija izvedenih pomoću raznih fizikalnih i kemijskih procesa, konvencionalni načini obrade sve su se više prilagođavali proizvodnji sve manjih dijelova. Kao posljedica toga danas postoji širok izbor korištenih metoda mikro obrade, bez potpuno utvrđenih međusobnih prednosti i nedostataka. Dodatna razlika mikro obrade u odnosu na makro obradu je to što čimbenici kao što su veoma male razlike u istrošenosti reznog dijela alata, veličina i orijentacija zrna u materijalu, te ostali parametri koji nemaju značajan utjecaj kod standardnih obrada, a u mikro obradi postaju značajni u pogledu točnosti, kvalitete i cjelovitosti proizvoda.

Podjelu mikro obrade možemo svrstati u nekoliko grana:

- Mehanička obrada
- Elektro-fizikalna i kemijska obrada
- Mikro oblikovanje
- Obrada energetskim zrakama
- Litografija
- Obrada dodavanjem materijala

Ovakve grane različitih tehnologija praćen je istraživačkim aktivnostima iz područja mjeriteljstva, upravljanja, CAD/CAM sustavima, standardizacijom, rukovanje materijalom i dr. Potrebno je istaknuti da se dimenzije gotovih proizvoda stalno smanjuju u ovisnosti o vremenskom toku, a na današnjem stupnju automatizacije učinkovito se obrađuju metalni i nemetalni dijelovi, polimerni i keramički materijali .

## 4. IZVEDBA PETOOSNIH OBRADNIH STROJEVA

Broj osi stroja odnosi se na broj stupnjeva slobodnog gibanja, tj. broj mogućih nezavisno upravljanih pomičnih dijelova stroja. ISO norma preporučuje korištenje desnog koordinantnog sustava s alatom postavljenim smjeru osi Z. Kod analize strojeva sastavlja se njegov kinematički dijagram iz kojega se mogu uočiti dvije skupine osi: osi kojima se upravlja kretanjem obratka i osi kojima se upravlja kretanje alata. Pet stupnjeva slobodnog gibanja je minimum za ostvarenje maksimalne fleksibilnosti stroja. To u konačnici znači da alat i obradak mogu biti orijentirani pod bilo kojim kutom jedan na drugoga.

Koristeći translacijske T i rotacijske R osi, kod dosadašnjih izvedbi petoosnih strojeva korištene su sljedeće kombinacije osi:

- Tri translacijske i dvije rotacijske osi
- Dvije translacijske i tri rotacijske osi
- Jedna translacijska i četiri rotacijske osi
- Pet rotacijskih osi

Najveća skupina alatnih strojeva spada u skupinu sa tri translacijske i dvije rotacijske osi, i to je najveća skupina strojeva u svjetskoj proizvodnji. Skupina sa dvije translacijske osi i tri rotacijske osi koriste se većinom u brodogradnji, kod izrade brodskih propelera i sl. Preostale dvije skupine koriste se kod nekih robota i to najčešće u kombinaciji sa dodavanjem dodatnih osi. Kako je najzastupljenija skupina strojeva sa tri translacijske i dvije rotacijske osi, nadalje će se razmatrati samo ova skupina strojeva.

Uzimajući u obzir da li su osi stroja postavljene kao osi kojima se giba alat ili osi kojima se giba obradak, petoosni strojevi mogu pripadati u sljedeće grupe:

- 0/5'
- 1/4'
- 2/3'
- 3/2'
- 4/1'
- 5/0'



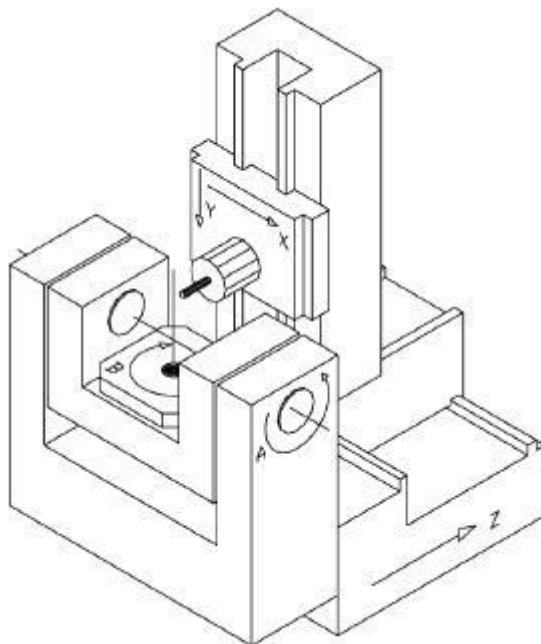
Oznake bez apostrofa označavaju osi kojima se giba alat, a oznake sa apostrofom predstavljaju osi kojima se giba stol sa obratkom. Brojevi označavaju broj osi.

0/5' strojevi – po svim osima se giba stol sa obratkom, a alat je fiksiran u prostoru. Ova konstrukcija je najbolje iskorištena prilikom obrade relativno malih obradaka.

4/1' strojevi – po četiri osi se giba alat, a po jednoj osi se giba obradak. Kod ovih strojeva postoje dvije mogućnosti: osi kojom se giba obradak može biti rotacijska (R') ili translacijska (T').

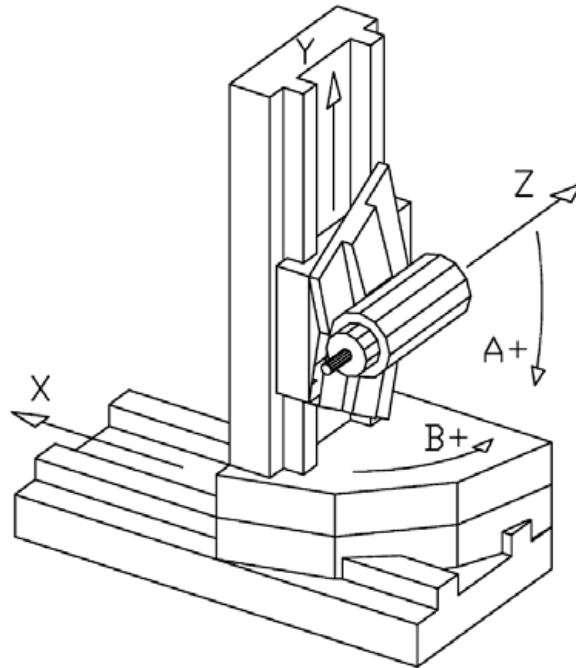
1/4' strojevi – jednom osi giba se alat, a po četiri osi giba se obradak. Ovdje su također dvije mogućnosti, da se alat giba osima R ili T.

3/2' strojevi – po tri osi giba se alat, a po dvije osi giba se obradak (**slika 22.**). Ovdje postoje mogućnosti da se obradak giba po osima T'T' ili R'R' ili može biti kombinacija T'R'. Ovakvi strojevi omogućuju obrade velikih obradaka ali je konstrukcija stroja povezana s gibanjem alata komplicirana. Najčešće se koristi kombinacija gdje su obje osi kojima se giba obradak rotacijske.



Slika 22. Izvedba alatnog stroja iz skupine 3/2' [12]

2/3' strojevi – po dvije osi giba se alat, a po tri osi giba se obradak (**slika 23.**). Ovdje također postoje tri kombinacije osi kojima se giba alat: RR, TT i RT.



Slika 23. Izvedba alatnog stroja iz skupine 2/3' [12]

5/0' strojevi – po svim osima se giba alat, dok je obradak fiksiran na stolu. Ovi strojevi su jedni od prvih modela petoosnih strojeva koji su namijenjeni za obradu masivnijih obradaka. Kako se u kinematici kretanja alata nalazi mnogo veznih točaka, mogu se na obrađivanoj površini pojaviti značajne greške uzrokovane elastičnim deformacijama i zračnostima u ležajevima.

#### 4.1 Izvedba strojeva prema položaju rotacijskih osi

Kod petoosnih obradnih strojeva veliki značaj ima položaj rotacijskih osi. Primjerice, u obzir se uzima da li se rotacijskim osima giba alat ili obradak. Moguće relacije za izvedbu strojeva prema položaju rotacijskih osi mogu biti:

- RR strojevi – obje rotacijske osi su na vretenu
- R'R' strojevi – obje rotacijske osi su na stolu obratka
- R'R strojevi – jedna rotacijska os je na vretenu, druga na stolu

RR strojevi - obje rotacijske osi nalaze se na glavnom vretenu (**slika 24.**). Ovdje su česte izvedbe gdje se rotacijske osi sijeku u jednoj točki, što značajno pojednostavljuje obrađivanje podataka i izračun za upravljačka računala.

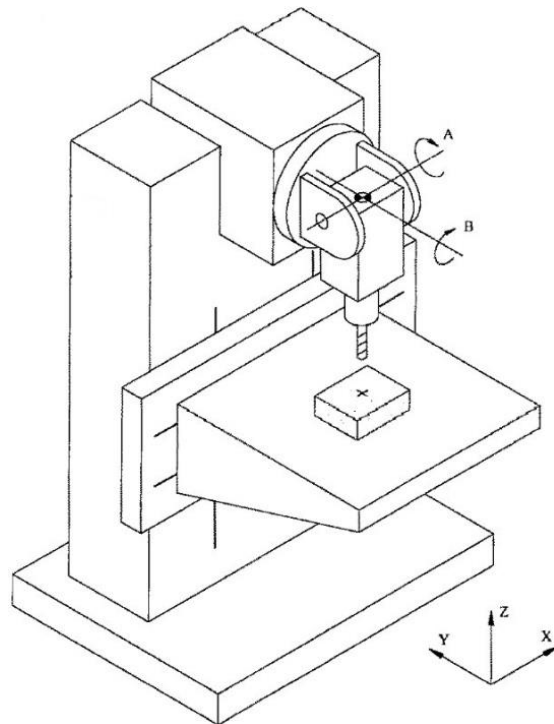
*Prednosti ovih strojeva su:*

- moguća je obrada velikih obradaka
- vrijednosti X,Y,Z osi stroja u NC programu ovise jedino o duljini alata

Tako se ishodište koordinatnog sustava obratka u slučaju novog stezanja može podesiti jednostavnom translacijom.

*Nedostaci ove izvedbe su:*

- kompleksnost pogona glavnog vretena
- smanjena krutost iz razloga što rotacijska os vretena ograničava prijenos sile
- kod brzina vrtnje od preko 5000 o/min dolazi do djelovanja kontra momenta izazvanog žiroskopskim efektom
- kružna interpolacija u proizvoljno izabranoj ravnini, kao i ciklusi bušenja u proizvoljnoj orijentaciji često nisu mogući
- promjene u duljini alata ne mogu se izvesti translacijama koordinatnih sustava kojih bi se podaci prenijeli u upravljačko računalo stroja, nego je potrebno ponovo generirati NC-kod.



Slika 24. Izvedba alatnog stroja sa rotacijskim osima na vretenu [12]

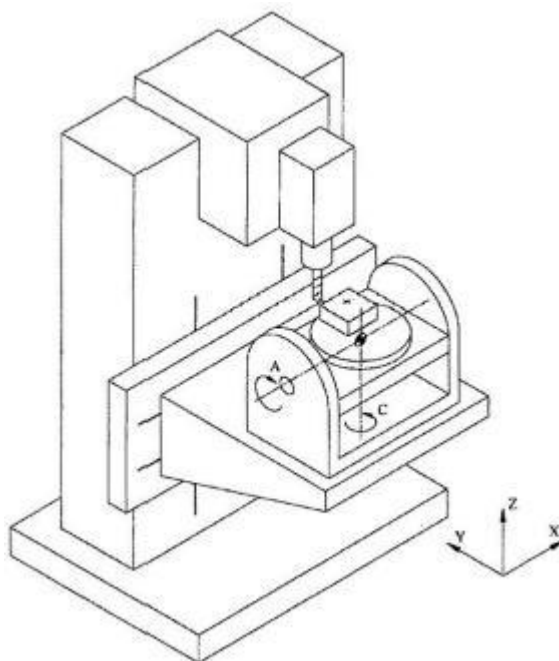
R'R' strojevi – obje se rotacijske osi nalaze na stolu, a alat može biti fiksiran u prostoru ili može sadržavati od jedne do tri translacijske osi (**slika 25.**).

*Prednosti ovih strojeva su:*

- u slučaju horizontalne izvedbe glavnog vretena optimalno odstranjivanje odvojenih čestica izvodi se uz pomoć gravitacije na način da ona jednostavno pada na podlogu
- os alata tijekom obrade uvijek je paralelna sa Z osi stroja. Na taj se način obrada prilikom određene orijentacije alata uvijek vrši u XY ravnini, tako da se zadane funkcije izvode u jednostavnom troosnom modu
- kompenzacija duljine alata izvodi se cijelo vrijeme u NC upravljačkom računalu stroja kao kod troosnih strojeva.

*Nedostaci ove izvedbe su:*

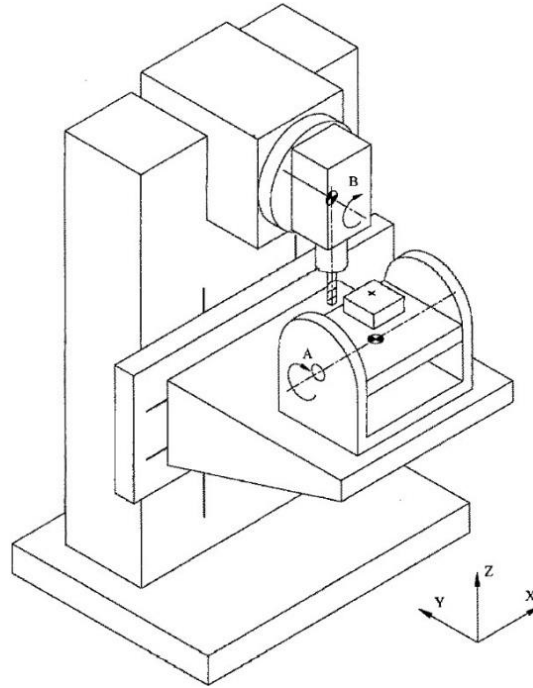
- strojevi s rotacijskim stolom su uvijek namijenjeni obradcima ograničenih dimenzija
- radni prostor alata je zbog nagiba alata često smanjen (po X,Y i Z osima)
- transformacija kartezijevih CAD/CAM koordinata pozicije alata u odnosu na koordinate osi stroja je ovisna o poziciji obratka na stolu. To znači da ukoliko se položaj obratka na stolu promijeni, transformacija osi NC programa se ne može provesti automatski nego je potrebno ponovo generirati cijeli kod.



*Slika 25. Izvedba alatnog stroja sa rotacijskim osima na radnom stolu [12]*

R'R' strojevi omogućavaju raznu primjenu kod proizvodnje. Omogućavaju obradu elektroda i ostalih obratka sa svih strana, omogućavaju obradu dijelova koji zahtijevaju veliku preciznost i točnost te omogućuju obradu turbina i ostalih drugih zahtjevnih površina. Kod toga je moguće izvoditi obrade koje se sastoje od istih značajki tako da se programira obrada jednog inkrementa, pa se za ostale inkremente koristi isti program s tim da se samo alat zakrene ili pomakne za određeni kut ili udaljenost. Glavnu primjenu imaju kod izrada krila zrakoplova i trupova brodova.

*R'R strojevi* - po jedna rotacijska os nalazi se na glavnom vretenu i na stolu (**slika 26.**). Iako na tržištu postoji veliki broj strojeva ovakve izvedbe, oni sadrže nedostatke obiju prijašnjih grupa, te se koriste sa obradu isključivo manjih obradaka. Područje primjene im je gotovo jednako kao u strojeva sa rotacijskim osima na stolu.



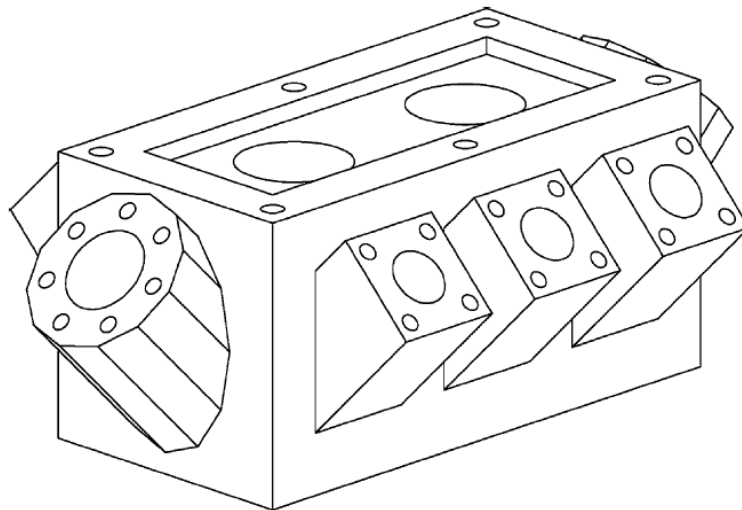
Slika 26. Izvedba alatnog stroja sa rotacijskim osima na radnom stolu i na vretenu [12]

## 4.2 Petoosne obrade ovisne o izvedbi stroja

Kod petoosni obradnih strojeva najveći nedostatak je u zglobovima pokretljivih dijelova stroja. Kao posljedica ovog problema je smanjena krutost stroja. Konstruktori ovakvih strojeva ulažu puno truda i napora da se ovaj problem izbjegne, ali u današnjici još uvijek postoji zračnost između komponenata. Stoga, kako bi se stroj što više očuvao i kako bi mu se produljio vijek trajanja, treba paziti na izbor tehnologija obrade prilikom upotrebe stroja. Iz tog razloga strojevi imaju opciju „zaključavanja“ rotirajućih osi tijekom obrade što im daje dodatnu krutost. Ovakav način štednje strojeva proizlazi i iz činjenice da se više od 95% obrada na pet osnim strojevima može izvršiti korištenjem samo tri translacijske osi. Stoga je rotirajuće osi potrebno otključavati samo prilikom onih obrada kod kojih prednosti petoosne

obrade dolaze do izražaja. Tako petoosne obrade dijele se u dvije osnovne grupe, to su *obrade pozicioniranjem alata*, i već prije spomenuta *simultana petoosna obrada*.

*Obrada pozicioniranjem alata* prikladan je način obrade dijelova koji se sastaju od više provrta te više obradivih površina (**slika 27.**). Kada bi se ovakav komad obrađivao na troosnom obradnom stroju, obrada se ne bi mogla izvesti u jednom stezanju. Međutim, kod petoosne obrade alat je moguće orijentirati relativno prema obratku u bilo kojem položaju. Kada se željena orijentacija postigne, provrti i ravne površine mogu biti obrađeni na način da se pojedine osi drže nepomičnima, svakako rotacijske osi. Ukoliko je potrebno samo izbušiti provrt, teoretski je to moguće sa samo jednom osi. U slučaju 2D utora, dovoljne su i dvije osi. Uz to, najčešće se koristi već prije spomenuto simultano upravljanje sa tri translacijske osi, jer se time omogućava mod brzog kretanja alata.



*Slika 27. Primjer obratka za obradu pozicioniranjem alata [8]*

*Simultana petoosna obrada* doseže vrhunac kod obradnih strojeva. Nema površine koju simultanom putanjom alata ne može obraditi te je ona ujedno i krajnji doseg koji se od ove tehnologije može izvući. Iako se simultana petoosna obrada koristi samo u specifičnim industrijama ili u vrlo malom postotku kod većine proizvođača komponenti, oni dijelovi koji se sa njom obrađuju u prošlosti su mogli biti obrađeni isključivo ručnim postupcima. Stoga je jasno koliko se upotrebom petoosne obrade dobilo na standardizaciji dimenzija obradaka i brzini izrade.

## 5. PROGRAMIRANJE PETOOSNIH OBRADNIH STROJEVA

Kod petoosne obrade jedini način programiranja je korištenjem CAD/CAM sustava. Kada se model napravi u CAD programu, program nam omogućuje razne načine obrade. Odabirom obrade koju želimo, program sustavu predaje parametre putanje alata ili CL podatke (Eng. Cutter Location). Navedeni podatci nadalje se prilagođavaju u postprocesoru za izvođenje na zadanom stroju, odnosno generira se NC kod. Kako je složenost upravljanja petoosnom obradom velika, CAM sustav se sastoji od velikih količina algoritama koji dovode do generiranja najpogodnijeg NC koda.

### 5.1 Korištenje postprocesora

Postprocesorova glavna zadaća je da služi kao sučelje između CAM sustava i numerički upravljanog stroja. Postprocesor očitava instrukcije za obradu koje dolaze iz CAM programa, te na temelju toga, postprocesor ispisuje valjani NC kod namijenjen određenom stroju. U današnjici postprocesori služe i za dodatno optimizaciji procesa, tu služe kao dopuna slabim točkama CAM programa i NC upravljačkog računala stroja. Većina CAM programa generira kodove u obliku neutralnih jezičnih datoteka koje sadrže instrukcije obrade za stroj. Te datoteke nalaze se ili u formatu CL podataka, ili u nekom od ASCII formata načinjenih u APT jeziku. APT jezik sadrži instrukcije za izradu u obliku simbolične geometrije, preko koje se generiraju CL podaci.

Sa druge strane nalazi se NC stroj koji zahtjeva podatke podešene za vlastito upravljačko računalo. U većini slučajeva zna se dogoditi da su podatci iskazani jezicima sa simboličnom geometrijom nerazumljivi, pa ih je potrebno dalje prevesti u stroju razumljiv jezik, NC kod. Upravo takav postupak prevođenja jezika naziva se postprocesuiranje, a računalni program koji ga izvodi je postprocesor (**slika 28.**). Za svaki tip stroja potrebno je izraditi njegov odgovarajući postprocesor.



Postprocesorima se prilikom programiranja ugrađuju inteligentne funkcije potrebne za detekciju granica kretanja osi. Prilikom određivanja orijentacije alata praktički uvijek postoje dvije mogućnosti. To proizlazi iz činjenice da se do svake orijentacije može doći odabirom različitih parova kutova zakreta rotacijskih osi. Pravilno postavljeni postprocesori u takvim slučajevima uvijek moraju odabrati povoljnije rješenje.



*Slika 28. Mjesto postprocesora kod obradnog stroja*

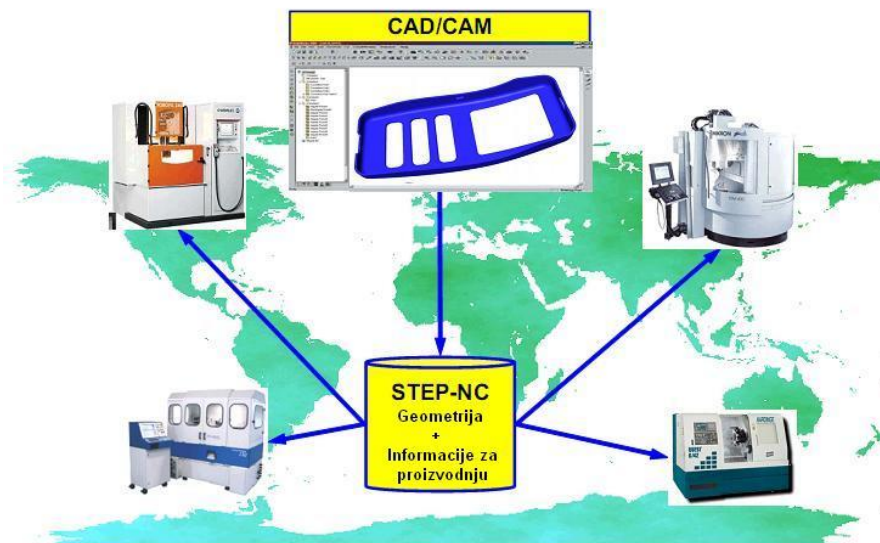
Za uspješnu obradu na CNC strojevima uz postprocesor za generiranje NC koda važna je dokumentacija koja detaljno prikazuje tehnologu ili operateru na CNC stroju kako obradak stegnuti u napravu, koje alate koristiti u obradi, držače alata. Kvalitetna dokumentacija sadrži i vrijeme obrade za svaku operaciju te moguće upozorenje zamjene alata zbog mogućeg trošenja oštrice alata.

## **5.2 Trend programiranja petoosnih obrada**

Trenutni NC programi kod petoosnih obrada temeljeni su na ISO 6983 standardu, pod imenom NC kod, tj. G kod, kod kojih su gibanja pomičnih dijelova stroja potrebna za obradu određena položajem i posmakom alata u odnosu na osi stroja. Međutim, kako današnja proizvodnja teži sve većoj fleksibilnosti time raste i razina upravljanja jer je NC kod nizak oblik upravljačkog jezika, koji CNC-u dostavlja ograničene informacije isključujući vrijedne podatke kao što su geometrija plana obrade (Eng. Process Plan).

Svjetska proizvodnja itekako je dobro prihvatila NC kod kao standardni jezik, on je u stvarnosti prilično ograničen za današnje proizvodne lance. Unatoč velikoj učinkovitosti CAD/CAM i CNC sustava upravljanja, njihovo međusobno neadekvatno sučelje usporava predviđeni rast produktivnosti. Programiranje NC-koda rezultira golemim programima koji su složeni za izvođenje, a korekcija grešaka i upravljanje izvršenjem programa je ograničeno. Situaciju dodatno pogoršava mnogo različitih jezika i različitih specifičnih dodataka od strane proizvođača na programski jezik, pa su programi za izradu komponenti nerazumljivi između različitih upravljačkih uređaja. Takvo stanje je iniciralo istraživanja u razvoj programa koji bi obradnim centrima dostavljali više informacija iz CAD modela, te programa koji bi bili međusobno razumljivi između različitih upravljačkih računala. Istraživanja su dovela do razvoja novih metoda programiranja za buduće obrade nazvanih STEP-NC.

STEP-NC je jezik upravljačkih računala obradnih strojeva koji proširuje STEP standarde uvođenjem dodatnog standarda, a to je ISO 14649. Time je u STEP standard dodana geometrijska i tolerancijska provjera, tj. kontrola. STEP-NC jezik konkretno je osmišljen da zamjenjuje standardni NC kod sa suvremenim asocijativnim protokolom, koji povezuje podatke CNC procesa sa opisom konačnog geometrijskog izradka dok je on u fazi izrade. STEP-NC kod sadrži velik izbor geometrijskih podataka, od onih standarda za komunikaciju sa strojno neovisnim putanjama alata, pa sve do onih korištenih kod CNC programa. Zadaća mu je opskrbiti CAM sustav i upravljačka računala s opisanim operacijama i geometrijama na način da obradak, stezna naprava i oblik alata budu vizualno analizirani u kontekstu putanje alata.



Slika 29. STEP-NC slanje podataka [13]

Unos podataka u sučelje CNC obradnog stroja u obliku standardnog NC koda specifičan je za svaki određeni stroj i ograničen je naredbama kojima se upravljaju osi stroja. Na taj način alat koji vrši obradu posjeduje minimalno informacija o željenim rezultatima obrade. STEP-NC kod omogućuje da mnogo više informacija dolazi do upravljačkog računala stroja i da nove informacije o obratku budu konstantno dostavljane. Neke mogućnosti ovog načina programiranja su:

- Optimizacija posmaka i brzine obrade korištenjem tolerancija i informacija
- Simulacija direktno na zaslonu stroja, u svrhu kontrole i sprječavanja kolizije
- Vizualno praćenje procesa
- Opis putanje alata je prenosiva i neovisna o geometriji stroja
- Pojednostavljena provjera zadanih tolerancija, mogućnost provjere direktno na stroju

STEP-NC izlazni podatci su veoma komplicirani za ručnu izmjenu jer sadrže velike količine podataka. Međutim, kod računalnih podataka veličina koda može se reducirati, jer STEP-NC kod sadrži XML formate spremanja umjesto standardnog ASCII koda. Ovaj način programiranja i dalje je aktualan, te teži ka daljnjim proširenjima novijih tehnologija. Modeli procesa za nove tehnologije obično se uvode od strane vrhovnog odbora ISO sustava.

Programne unapređenja podupiru mnoge grane u proizvodnji koje još nisu povezane sa STEP-NC sustavima.

Stalnim napretkom informatičke tehnologije, velik je utjecaj i na razvijanje industrijske tehnologije, kod koje je najveći uspjeh dosegao razvoj računala projektiranja tehnoloških procesa, tj. CAPP.

CAPP (Eng. Computer Aided Process Planing) su određenim slijedom poredani koraci čija je zadaća djelotvorno i ekonomično odrediti način transformacije sirovca u gotovi proizvod.

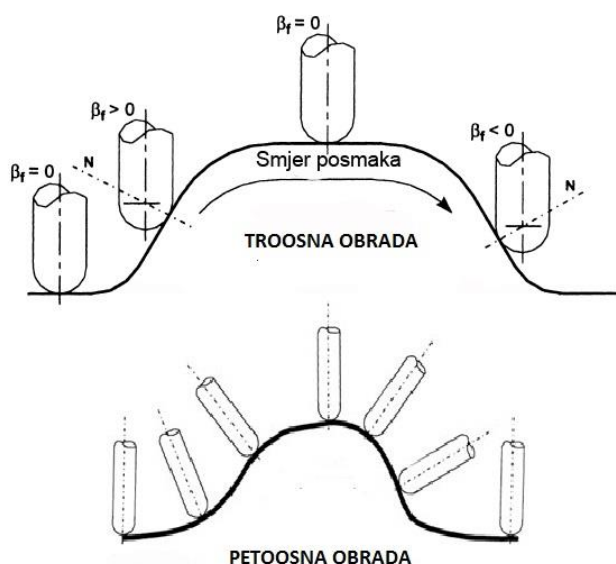
Suvremeni pristupi imaju tendenciju spajanja CAPP-a sa CAD/CAM tehnologijama na bazi prepoznavanja značajki i tolerancijama modela proizvoda.

Osnovne zadaće CAPP-a su: prepoznavanje značajki proizvoda, odabir odgovarajućih obradnih postupaka, određivanje načina stezanja obratka, određivanje slijeda postupaka obrade, određivanje tolerancija, određivanje parametara obrade, postavljanje vremena obrade i generiranje NC koda.

## 6. ODNOS TROOSNE I PETOOSNE OBRADE

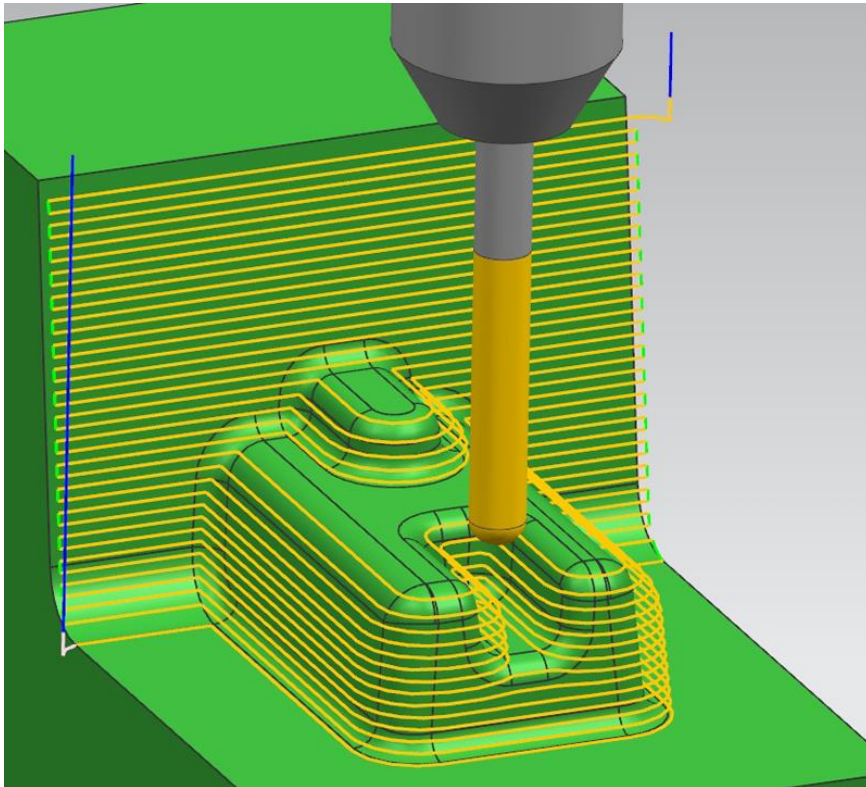
U slučaju troosne obrade neravnih i zahtjevnih površina, uvijek će ostati barem jedna obrada koja se sa troosnim obradnim strojem ne može izvesti. Takve površine zahtijevaju po nekoliko stezanja kako bi se došlo do željenog komada kada bismo obrađivali troosnom postupkom. Uvođenjem petoosne obrade na to mjesto, takva obrada pokazuje nedostižne rezultate. Prednosti još više dolaze do izražaja ukoliko se na takvim obradcima dodatno zahtjeva i bušenje provrta i sl.

Problem koji je prisutan kod troosnih obrada je u putanji alata. Naime, između vrha alata u obliku polukugle i obratka, prilikom prolaska alata ostaje dio materijala koji nije moguće sinuti sa obrađene površine i koji ostavlja površinsku hrapavost, pa se jednostavno ne može izbjeći završna operacija brušenjem ili poliranjem. Na **slici 30.** moguće je uočiti prednost petoosne obrade u odnosu na troosnu obradu. Razlog tome je što petoosna obrada nudi mogućnost samo jednog stezanja komada čime je smanjeno ukopno vrijeme obrade, te daje veću kvalitetu obrađene površine. Veća kvaliteta površine razlog je pravilnog odabira putanje alata (nagiba) i pravilne orijentacije alata prilikom obrade. Odabirom optimalnih parametara obrade, završna obrada brušenjem ili poliranjem nije potrebna, a površinska hrapavost ostaje finija u odnosu na površinu obrađenom troosnom obradom.



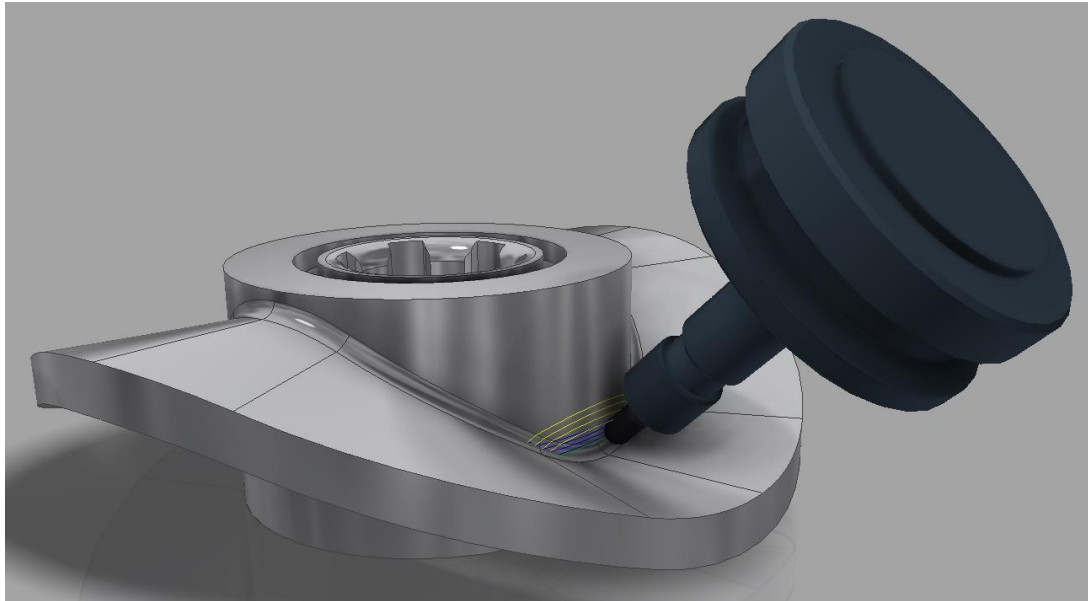
Slika 30. Gibanje alata kod petoosne i troosne obrade

Prilikom petoosne obrade postoji mogućnost korištenja velikog broja različitih alata. Na primjer, glodalom sa ravnim vrhom slobodno možemo obrađivati bilo kakvu površinu, čak i ako je naravna. U tom slučaju moguće je vršiti obradu nešto manjim nagibom alata u odnosu na površinu što daje mogućnost obrade s većim tolerancijama. Najveća kvaliteta obrađene površine najbolje je vidljiva kod konturnog glodanja troosnom ili petoosnom obradom. Kada se govori o troosnoj obradi, bitno je da duljina alata uvijek bude dulja od visine obrađivanog profila, što je vidljivo na **slici 31**. To je najveći nedostatak u ovom slučaju, jer što je profil veće visine, alat mora biti još duži, čime se značajno smanjuje krutost alata, javljaju se vibracije alata što rezultira slabijom kvalitetom obrađivane površine.



*Slika 31. Odnos visine alata i visine profila [14]*

Obrada ovakvih profila upotrebom petoosne obrade značajno je naprednija i pogodnija, jer u mogućnosti imamo promjenu orijentacije nagiba alata (**slika 32.**), te time možemo koristiti puno kraći alat. Kraćim alatom izbjegavamo vibracije i obrađena površina puno je kvalitetnija.



*Slika 32. Prikaz nagiba alata kod petoosne obrade [14]*

Prednosti petoosne obrade nad troosnom obradom na mjestima gdje je troosna obrada moguća mogu se tako sažeti u sljedeće stavke :

- smanjenje prostora i broja strojeva, kao i pomoćnih dijelova uz dobivanje jednakih rezultata,
- povećanje proizvodnosti kako smanjenjem broja stezanja, tako i smanjenjem broja potrebnih operacija,
- smanjenje broja i trajanja poslije-obradnih radnji postizanjem određene kvalitete obrađene površine uz mali broj stezanja,
- smanjenje vremena i troškova koji se pojavljuju prilikom kontrole kvalitete.

## 7. ZAKLJUČAK

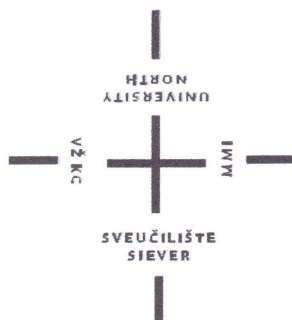
Živimo u vremenu kada je razvoj tehnologije i informatike dosegao svoj vrhunac. Povod tome bili su sve veći zahtjevi tržišta za što nepravilnijim i složenijim površinama obrade, koju čovjek od prije nekoliko godina unazad, nije ni mogao zamisliti izraditi. Uvođenjem CNC tehnologija prekretnica je u svjetskoj proizvodnji. Na zahtjeve veće točnosti, veće produktivnosti i ekonomičnosti te na zahtjeve uštede vremena i energije razvila se *petoosna obrada*. U današnjem vremenu ne postoji proizvod kojeg petoosni stroj ne bi mogao izraditi. To je samo dokaz koliko je tehnologija alatnih strojeva napredovala. Slobodno možemo očekivati da će sa vremenom takve obrade biti još razvijenije, te da će CAD/CAM tehnologija razvijati dodatne mogućnosti upravljanja. Ovakvi zahtjevi bi sigurno mogli utjecati na konstruktore strojeva i programere CAD/CAM sustava da ujedine zajedničke napore u razvijanju sučelja između strojeva i upravljačkih računala na način da im se postupno ugrađuje dodatna inteligencija. Ovo je posebno bitno iz razloga što petoosna obrada povezuje nekoliko različitih većih tehničkih područja od kojih su najznačajnije integracija stroja, tehnologije, upravljanja i programiranja. Time konstruktori strojeva, ali i njihovi korisnici imaju potrebu stalnog praćenja razvoja svih tih područja. Time se u budućnosti može očekivati potreba za sve educiranijim kadrom za primjenu petoosne obrade i svih povezanih novih tehnologija općenito. Što se tiče programiranje petoosnih obrada, bitno je da korisnik dobro savladava osnove rada računalnog programa i obradnog stroja. Kod računalnih programa potrebno je poznavati načine na koje se pomoću programa može konstruirati obrada kao i mogućnosti koje program pruža za prevođenje podataka u jezik razumljiv obradnom stroju. Valja zaključiti da je sam postprocesor jedan veoma bitni dio cijelog obradnog sustava. Za učinkovito korištenje obradnog sustava, važna je i komunikacija između programera CAD/CAM programskim paketima s operaterima za CNC strojevima, odnosno važna je dobro pripremljena dokumentacija koja prikazuje sve potrebne informacije za uspješno izvođenje obrade.



## 8. LITERATURA

- [1] <http://www.cnccookbook.com/CCCNCGCodeCourse.htm> (rujan, 2017)
- [2] <http://www.gardnerweb.com/cdn/cms/2016%20WMTS%20Report.pdf>
- [3] <https://userscontent2.emaze.com/images/38d4b8ac> (rujan, 2017)
- [4] 5-Axis Machining With 5axCore; ModuleWorks GmbH.
- [5] <http://www.centroidcnc.com/digitizing> (rujan, 2017)
- [6] <https://www.moduleworks.com/products/simulation/?lang=en> (rujan, 2017)
- [7] <http://gizmodo.com/5918270/> (rujan, 2017)
- [8] R. Baptista, J. F. Antune Simoes; Three and Five Axes Milling of Sculptured Surfaces; Journal of Material Processing Technology; 2000. 103/398-03.
- [9] <http://www.aerospacemanufacturinganddesign.com/article/seco-milling> (rujan, 2017)
- [10] <http://www.aeroexpo.online/seco-tools/product-170496-21135.html> (rujan, 2017)
- [11] <http://ming3d.com/wordpress/?p=1194> (rujan, 2017)
- [12] Y.H. Jung, D.W. Lee, J.S. Kim, H.S. Mok; NC post-processor for 5-axis
- [13] V. Idek, M. Maričić; STEP-NC; seminarski rad; Fakultet strojarstva I brodogradnje
- [14] <http://www.axiomtech.rs/cam/nx-cam> (rujan, 2017)
- [15] U. W. Youn, Y. Jun, S. Park; Interference-free Tool Path Generation in Five-Axis Machining of a Marine Propeller; International Journal for Research; 4383-4402, 2003.

# Sveučilište Sjever



## 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, MATIJA BISTROVIĆ pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor završnog rada pod naslovom

PET OSNI OBRADNI SUSTAVI te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student:

Matija Bistrovic

(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, MATIJA BISTROVIĆ neopozivo izjavljujem da sam suglasan s javnom objavom završnog rada pod naslovom PET OSNI OBRADNI SUSTAVI čiji sam autor.

Student:

Matija Bistrovic

(vlastoručni potpis)