

AUTOMATSKO PROGRAMIRANJE CNC STROJEVA

Botak Z.¹, Ćurković Bogunović L.²

¹Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

²Duro Đaković Specijalna vozila d.d., Slavonski Brod, Hrvatska

Sažetak: Sve veća zastupljenost CNC strojeva u proizvodnji iziskuje nove metode pripreme proizvodnje i boljeg iskorištenja strojeva. Želja svih korisnika CNC strojeva je da bi izrada NC programa za određeni stroj bila što kraća, uz minimalno korištenje i utrošak resursa. Da bi zadovoljili ove zahtjeve, proizvođači CAM programske opreme nastoje izraditi programe za djelomično ili potpuno automatsko programiranje alatnih strojeva.

Ključne riječi: automatsko programiranje, NC program

Abstract: The growing presence of CNC machines in production demands new methods of production preparation and higher degree of machine utilization. All CNC machine users have one wish – to make the creation of NC programme for a certain machine as short as possible by minimal usage and cost of resources. In order to satisfy these demands, the producers of CAM programme equipment are intent upon creating programmes for partial or complete automatic programming of universal lathes.

Key word: automatic programming, NC programme

1. UVOD

Programiranje CNC (eng. Computer Numerical Control) strojeva podrazumijeva izradu naredbi pomoću kojih se upravlja određenim funkcijama nekog alatnog stroja. Postupak programiranja, između ostalog, znači traganje za optimalnom putanjom alata. Optimizacija putanje alata je posebno važna kod velikoserijske proizvodnje jer male uštede na jednom komadu dovedu do značajnih smanjenja troškova ukupne serije.

Danas dostupna softverska rješenja za NC programiranje imaju već u sebi ugrađene module za optimizaciju putanje alata, koji osim geometrije alata i obratka uvažavaju još i tehnološke parametre. Praktični primjeri su dokazali da je neki obradak moguće izraditi na više načina od kojih je, gledajući postavljene zahtjeve, optimalan obično samo jedan. Može se dogoditi da postoji i više jednakovrijednih optimalnih rješenja.

Kod numeričkog upravljanja alatnog stroja svi se podaci, važni za obradu, šalju stroju u numeričkom obliku.

Poseban dio stroja, tzv. upravljanje, te podatke obradi i pošalje izvršnim elementima stroja (pogonskom ili koračnom motoru).

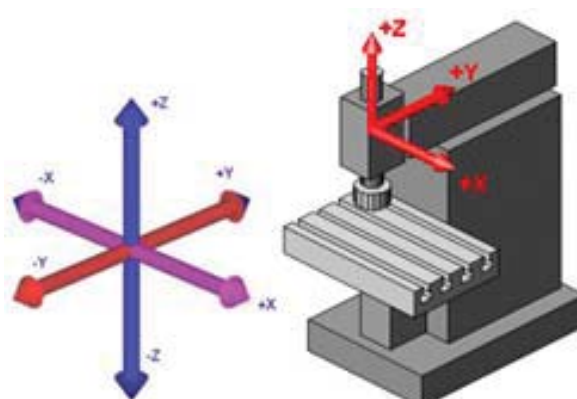
NC programiranje se u osnovi sastoji iz četiri operacije [1]:

- određivanje redoslijeda operacija
- izrada tehnološkog plana
- NC programiranje (kodiranje)
- prijenos programa na upravljački dio alatnog stroja

Prije nego programer pristupi nekoj od ovih aktivnosti mora dobiti podatke o geometriji obratka (nacrt) i podatke o raspoloživim strojevima i alatima. Na temelju tih podataka izrađuje tehnološki plan u kojem detaljno piše o svim operacijama, alatima, načinu stezanja i o stroju za obradu. Nakon toga slijedi NC programiranje gdje se točno definiraju putanje alata i zatim prilagođavaju upravljačkoj jedinici stroja. U zadnjoj fazi programiranja se program prenese u upravljačku jedinicu stroja.

2. OSNOVE NC PROGRAMIRANJA

Kod NC programiranja se koordinatni sistemi stroja i obratka obično postavljaju tako da se kod približavanja alata obratku,



Slika 1. Koordinatni sistem stroja

alat uvijek pomiče u negativnu stranu koordinatnih osi (slika 1.).

Kod ručnog programiranja NC strojeva programer piše NC program bez pomoći namjenskih programa. Sve putanje alata se korak po korak proračunavaju ručno pomoću tehnoloških kartica alata i stroja.

Ručno programiranje je dugotrajan proces, zahtijeva odgovarajuću stručnost programera i postoji velika vjerojatnost pojave grešaka u programu.

Kod izrade NC programa pomoću računala većinu poslova kod programiranja obavlja računalo. Programiranje je lakše i brže, a cijeli postupak obrade je moguće simulirati. Ulazni podaci geometrije obratka su u elektronskom obliku, a tehnološki i geometrijski podaci o strojevima i alatima dobiju se iz baza podataka. Osnovni elementi programske opreme:

- oprema za izradu geometrije
- tehnološka baza podataka
- oprema za NC programiranje
- programer

Oprema za izradu geometrije obratka se sastoji iz računala i programa za CAD modeliranje (SolidWorks, Catia, ProEngineer).

Tehnološka baza podataka sadrži podatke o stroju, alatima i režimima obrade za pojedini alat i materijal. Kod programiranja se tehnološki podaci automatski prikazuju u padajućim izbornicima, a programer samo izabire željene elemente.

Oprema za NC programiranje automatski izračunava parametre obrade i izrađuje listu korištenih alata, naprava i strojeva, a sastoji se iz:

- geometrijskog modula
- tehnološkog modula
- procesora
- postprocesora
- simulatora

Programer korak po korak upisuje pojedine vrijednosti obrade, izabire alate i naprave te na kraju izradi redoslijed operacija. Sistem automatski proračuna putanju alata, a pomoću simulacije su izbjegnute kolizije između alata, steznih naprava i stroja.

3. AUTOMATSKO PROGRAMIRANJE CNC STROJEVA

Učinkovit sistem NC programiranja mora biti sposoban u kratkom vremenu napraviti program za izratke komplicirane geometrije i različite vrste obrada (tokarenje, glodanje, bušenje itd). NC program mora biti pouzdan i bez kolizija između pojedinih dijelova sistema. Vrijeme programiranja i pripremno završna vremena trebaju biti što kraća, a programer mora imati mogućnost brzog unosa izmjena. Kod pojedinačne izrade velikih obradaka ili obrade skupocjenih materijala, traži se program "bez greške". Kod masovne proizvodnje pripremno-završna vremena dijele se na mnogo obradaka, pa su važniji vrijeme obrade pojedinog komada i redoslijed operacija.

Sistem za programiranje mora svakako imati mogućnost ručne izmjene geometrije obratka, mogućnost izmjene vrste stroja i strategije obrade.

Sistem za automatsko programiranje NC strojeva dijeli se na četiri podsistema [2]:

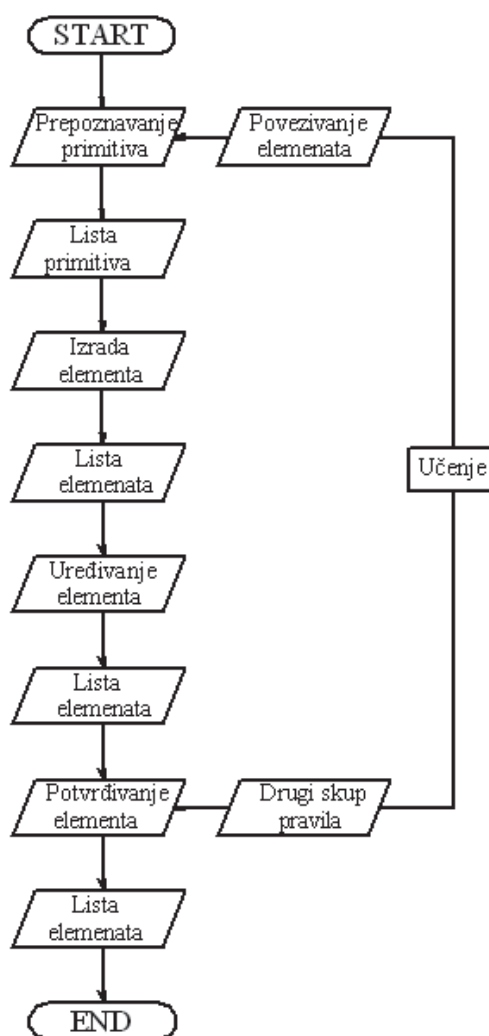
- podsistem za izradu ulaznih informacija o obratku
- baza podataka
- procesor
- postprocesor (prilagođavanje izlaznih informacija).

3.1. Podsistem za obradu ulaznih informacija

Ulazni podaci (geometrija obratka) se u 2D ili 3D obliku dobiju od nekog CAD programa, a nakon toga se prevode u jednostavan oblik. Takav oblik sadrži sve potrebne informacije o obratku i razumljiv je različitim sistemima koji ga trebaju.

Predstavljanje dijelova obratka pomoću volumnog modela omogućuje jednostavno određivanje unutarnjih i vanjskih točaka, mase, zapremine i momenta inercije.

Podatke o geometriji obratka nije moguće direktno koristiti kod programiranja jer sa stajališta proizvodnje sadrže premalu količinu podataka. Modul Automatic Feature Recognition (AFR) služi kao poveznica između CAD i CAM sistema jer na temelju određenih pravila i algoritama prepozna i napravi listu geometrijskih elemenata (tijela).

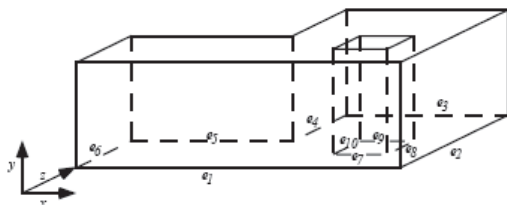


Slika 2. Prepoznavanje karakterističnih svojstava elemenata [9]

Postupak za određivanje elemenata sastoji se od četiri koraka: prepoznavanje primitiva, izrada elementa, uređivanje elementa i potvrđivanje elementa.

3.1.1. Prepoznavanje svojstva primitiva

Kod prepoznavanja primitiva određuju se sve pojedinačne površine, sjecišta i rubovi koji omeđuju element, a nakon toga se primitivi grupiraju po skupinama (slika 2.).



Slika 3. Obradak s utorom [10]

Utor na obradku na slici 3. opisan je sljedećim vrijednostima:

- lokacija: = (0,0,1);
- orijentacija: = (0,1,0);
- dubina: = 2;
- profil: = $\{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6\}$;
- dno = 0;
- otok = $\{I_1\}$;
- profil I_1 = $\{e_7, e_8, e_9, e_{10}\}$;
- dno I_1 = 0;
- visina I_1 = 2.

Brojčane vrijednosti u potpunosti određuju geometriju utora koji predstavlja tijelo određene zapremine odstranjeno od početnog oblika materijala (sirovca). Oduzeta količina materijala se naziva delta volumen i jednaka je razlici volumena sirovca i izratka:

$$\Delta = V_{\text{sirovca}} - V_{\text{izratka}} \quad (1)$$

Za izradak na slici 4 se delta volumen dobije sastavljanjem tijela S_1 i S_2 i oduzimanjem tijela S_3 ;

($S_1 \cup S_2$) - S_3 , gdje je:

$$S_1 = \{(x,y,z): 1 \leq x \leq 4, 0 \leq y \leq 1, 1 \leq z \leq 3\}; \quad (2)$$

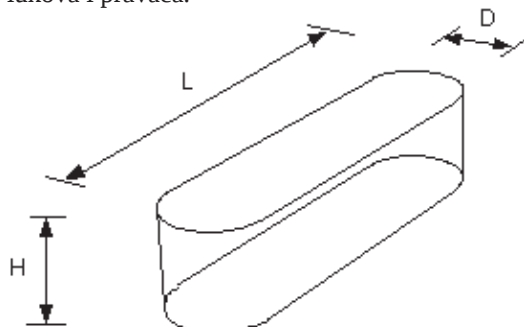
$$S_2 = \{(x,y,z): 4 \leq x \leq 7, 0 \leq y \leq 1, 1 \leq z \leq 5\}; \quad (3)$$

$$S_3 = \{(x,y,z): 5 \leq x \leq 6, 0 \leq y \leq 1, 3 \leq z \leq 4\}; \quad (4)$$

3.1.2. Izgrađivanje elementa

Kada je primitiv određen, može se pomoću geometrijskog algoritma koristiti za izradu elementa. Važno je izgraditi što jednostavnije elemente dijeljenjem i spajanjem površina, zaokruživanjem rubova itd.

Slika [4] prikazuje utor za pero koji je u potpunosti određen s tri brojčane vrijednosti, a sastoji se iz kružnih lukova i pravaca.



Slika 4. Geometrijski oblik utora [11]

Utor je osnovni geometrijski oblik s točno određenim i standardiziranim dimenzijama koje su pohranjene u bazi podataka.

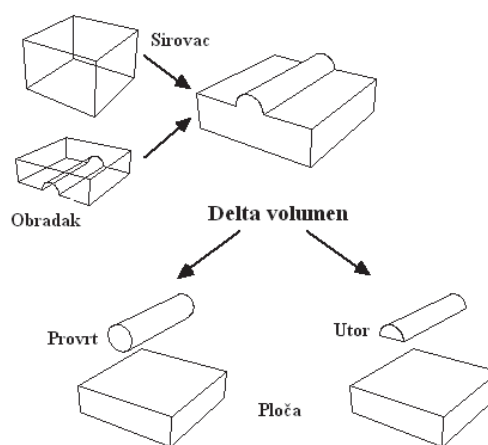
3.1.3. Uređivanje elemenata

Vrlo je važno prepoznati interakciju između primitiva jer se u protivnom može dogoditi da u element nisu uključeni svi primitivi ili je izgrađen pogrešni osnovni element (slika 5.).

Moguće interakcije između primitiva su opisane u tabeli 1.

Tabela 1. Moguće interakcije između primitiva [11]

Interakcija	Povezivanje ploha	Gubljenje zaobljenja	Dijeljenje ploha
I	NE	NE	NE
II	NE	NE	DA
III	NE	DA	NE
IV	DA	NE	NE
V	DA	DA	NE
VI	DA	NE	DA

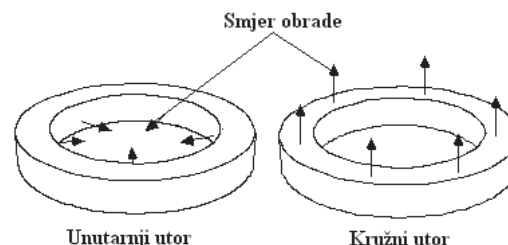


Slika 5. Različito predstavljanje elementa [11]

3.1.4. Potvrđivanje elementa

Drugi skup pravila omogućuje potvrđivanje geometrijskog odnosa među elementima, pri čemu je model u potpunosti verificiran. U slučaju da model nije potvrđen, potrebno je ponovno pristupiti učenju sistema ili dopunjavanju baze podataka novim primitivima.

Važno je napomenuti da se ne uvažavaju sva pravila za kompletnu izradu modela jer sadrže previše informacija i ograničenja, koja usporavaju kasnije proračune pojedinih operacija. Na primjer, za određeni element se provjerava samo slobodan pristup alata za obradu, bez određivanja vrste alata, načina stezanja ili redoslijeda operacija.

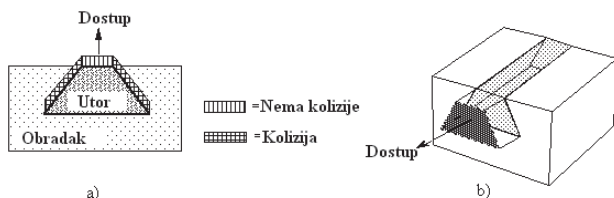


Slika 6. Razvrstavanje primitiva prema dostupnosti alatu [11]

Zbog odstranjivanja materijala s obratka, mora biti omogućen slobodan pristup alatu do svih obrađivanih površina. Pristup alata je važan kod povezivanja primitiva. Elementi mogu geometrijski biti jednaki, ali zbog pristupa alata iziskuju različite načine obrade.

Na slici 6. se unutarnji utor (osigurač seger) obrađuje s unutarnje strane, a kružni utor (brtva) s gornje strane. Zbog jednostavnosti se određuju samo potrebni uvjeti za slobodan pristup elementu, kao što su lokalna, polu-beskonačna, djelomična i bočna dostupnost elementa.

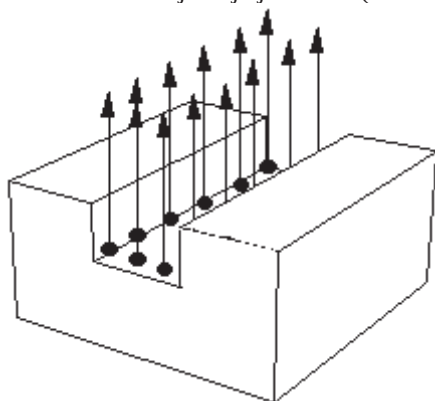
Lokalna dostupnost - element se produžuje u svim smjerovima do rubova sirovca i provjerava se kolizija elementa i sirovca. U slučaju da element siječe sirovac (obradak), obrada nije moguća.



Slika 7. Lokalna dostupnost [11]

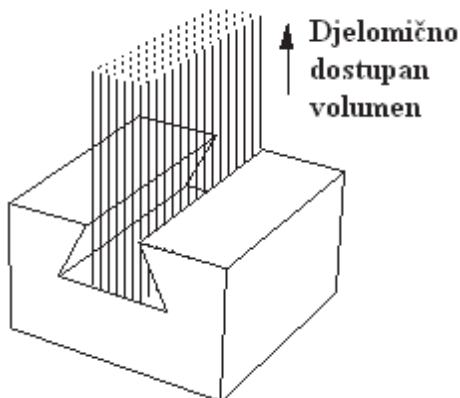
Utor u obliku lastavičjeg repa na slici 7. je lokalno nedostupan u smjeru okomice (a) i lokalno dostupan u horizontalnom smjeru (b).

Polu-beskonačna dostupnost - element je neograničeno dostupan za obradu iz najmanje jedne osi (slika 8.).



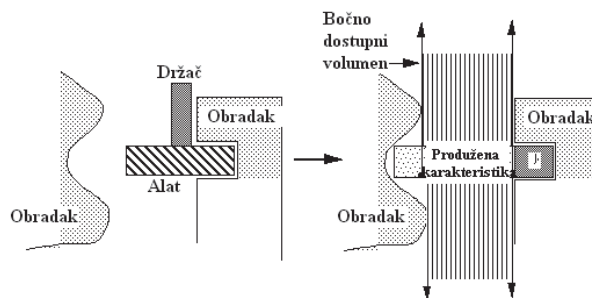
Slika 8. Polu-beskonačna dostupnost [11]

Djelomična dostupnost - podrazumijeva se obrada samo određenog volumena elementa, na primjer glodanje utora u obliku lastinog repa (slika 9.).



Slika 9. Djelomična dostupnost [11]

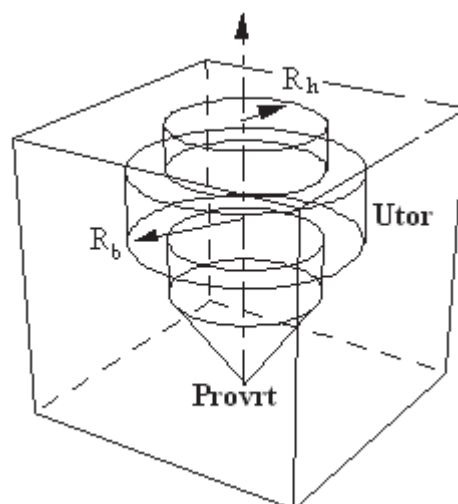
Ograničena-jednostrana dostupnost - element je dostupan za obradu iz smjera d, ako je njegova karakteristika djelomično dostupna za obradu uzduž smjera d (slika 10.).



Slika 10. Ograničena-jednostrana dostupnost [11]

Pravila za potvrđivanje elementa omogućuju da se izgradi geometrijsko ispravan element za obradu. Pravila znatno skraćuju vrijeme određivanja elementa.

Geometrijska pravila se također koriste za osiguranje ispravne obrade, a uvažavaju geometrijske specifičnosti obratka, radnu okolinu i tehnologiju. Primjer geometrijskog ograničenja obratka prikazan je na slici 11.



Slika 11. Geometrijska ograničenja [11]

U slučaju $R_b \geq 3 \cdot R_h$ nije moguće izraditi utor jer nema mjesta za ulaz alata.

Geometrijska ograničenja osiguravaju da elementi ostanu dostupni za obradu alatom; da provrti ne budu preduboki i utori preširoki.

Modul za izgrađivanje elemenata svakom elementu pridruži odgovarajuće tehnološke podatke iz baze, koji određuju mjesta i veličinu rezanja materijala, dubinu rezanja i strategiju obrade. Programer može ručno mijenjati i prilagođavati pravila za prepoznavanje primitiva i izradu elemenata, može stvoriti potpuno novi element i odabrati strategiju obrade. Promjene u geometriji jednog elementa automatski ažuriraju promjene svih ostalih veličina koje su u neposrednoj vezi s elementom.

CAD crteži sadrže u sebi određenu količinu informacija koje nisu nužne za programiranje, kao što su šrafure, tekst, sastavnica itd. Takve informacije se filtriraju na filteru podataka koji izabere samo potrebne elemente.

Ako je crtež u potpunosti određen geometrijskim oblicima, automatski se izradi NC program za obradu. U slučaju da se kod prevođenja ulaznih podataka pojavi greška, CAM sistem mora je prepoznati i popraviti u pravilan geometrijski oblik:

- produživanjem ili skraćivanjem elemenata
- pojednostavljivanjem konture
- spajanjem ili rastavljanjem elemenata
- izmjenama radijusa i zaobljenja rubova
- pomicanjem, rotiranjem, kopiranjem, povećanjem ili smanjivanjem elemenata

Elementi koji nemaju toleriranu srednju vrijednost nazivne mjere također se moraju korigirati. Po potrebi, sistemu za programiranje dodaju se podaci o visini pojedinih elemenata (npr. dubina žlijeba) koje nije moguće odrediti iz crteža, a važni su za pozicioniranje alata.

3.2. Baza podataka

U bazama podataka pohranjeni su različiti geometrijski i tehnološki podaci za materijale koji se obrađuju, za alate, strojeve i naprave. Svaki podatak je pohranjen u kodiranom obliku po točno određenom redosljedu. Na početku automatskog programiranja NC stroja mora programer odabrati materijal obratka, na temelju kojeg računalo iz baze podataka izabere geometrijski pogodno i trenutno dostupne alate za obradu.



Slika 12. Geometrijski pogodni alati za obradu

Istodobno s geometrijskim, iz tehnološke se baze generiraju i tehnološki podaci za izabrani alat (max. dubina, posmak i brzina rezanja itd.) – tabela 2.

Tabela 2. Tehnološki podaci o alatu

TEHNOLOŠKI PODACI	CoroMill 490	
dubina rezanja a_p (mm)	1,5	
brzina rezanja v_c (m/min)	173	
broj okretaja n (min ⁻¹)	2200	
posmak po zubu f_z (mm)	0,25	
posmična brzina v_f (mm/min)	1650	
max. dubina rezanja a_e (mm)	20	
postojanost T (h)	50	

Nakon toga CAM program izračuna prikladnost alata za pojedinu obradu, prema kriterijima koje na početku izvođenja programa postavi programer.

Obično se svakom kriteriju (maksimalno odnašanje materijala, maksimalna postojanost alata, minimalni

troškovi i vrijeme izrade) pridruži neki težinski faktor - prema važnosti tog kriterija.

Baza podataka strojeva sadrži podatke o karakteristikama stroja kao što su pogonska snaga, radno područje, naprave za pritezanje, magazin s alatom itd.

Baza podataka za alate i strojeve može se neprestano dopunjavati novim vrijednostima, a podaci se obično dobivaju neposredno od proizvođača alata i strojeva.

3.3. Procesor

Procesor je skupina programa koji na temelju ulaznih i podataka iz baza podataka određuju putanju alata po unaprijed programiranoj strategiji (minimalno vrijeme izrade, minimalni troškovi itd.). Neke od osnovnih strategija obrade glodanjem:

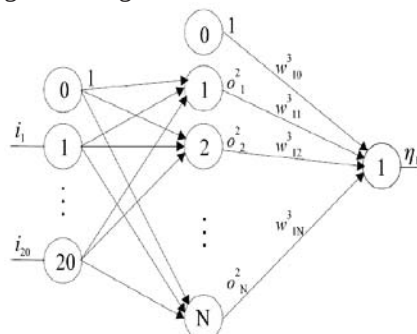
- glodanje po konturi
- glodanje utora
- glodanje navoja
- bušenje

Pri tome sistem za programiranje mora uvažiti različita ograničenja:

- standard - izabere ga korisnik
- odstupanja kod upotrebe novih alata, tehnologije i parametara obrade
- specijalne baze podataka
- utjecaj strategije obrade na ostalu geometriju
- povezivanje geometrijskih i obradnih veličina; promjena geometrije obratka dovodi istodobno do promjena režima obrade

CAM sistem mora automatski optimirati redosljed izmjene alata, optimirati stezanje obratka te režime obrade. Moguće je grupirati slične operacije obrade, npr. bušenja te ponovno optimirati putanje alata s uvažavanjem kolizije obradnog stroja, alata, naprava i obratka.

Optimizacija parametara obrade može se izvesti nekim programom umjetne inteligencije, kao što su neuronske mreže ili genetski algoritmi.



Slika 13. Neuronska mreža [7]

Neuronska mreža (eng. Neural Network) je način obrade informacija koji radi po istom principu kao i ljudski mozak. Svaki umjetni neuron je, slično kao i živčana stanica u mozgu, povezan s ostalim umjetnim neuronima. Neuroni na istoj razini nisu međusobno povezani. Povezani su s neuronima na prethodnoj razini, a izlaz im je na neurone na sljedećoj razini (slika 13.).

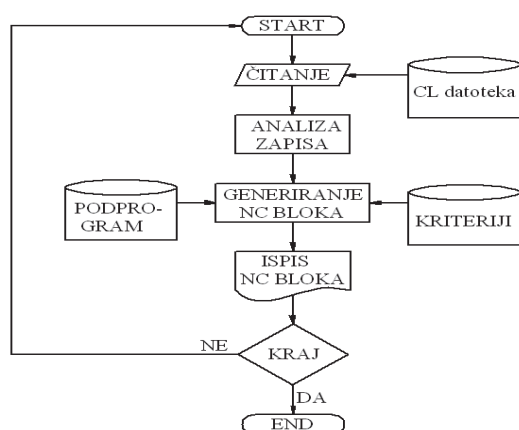
Neuronska mreža dobiva ulazne podatke na ulaznoj razini, koji zatim putuju do izlaza gdje se dobiju odgovori na ulazne signale. Dobijemo informacije o

najpogodnijem alatu za obradu te informaciju o optimalnim parametrima obrade.

Prije prijenosa NC programa na stroj, potrebno je simulirati cjelokupni tijek obrade gdje je vidljiva količina odrezanog materijala nakon svake operacije obrade. Simulacija se izvodi i u slučajevima kad zbog raspršivanja sredstva za hlađenje i podmazivanje nije moguće vizualno pratiti tijek obrade.

3.4. Postprocesor

Postprocesor je program koji datoteku iz CAM programa (CL datoteku) prevodi u programski jezik čitljiv upravljačkoj jedinici obradnog stroja. Kod toga se uvažavaju karakteristike stroja kao što su NC osi, G i M funkcije, kinematika, izmjena alata i obradaka i sl. Princip rada postprocesora je vidljiv iz slike 14.



Slika 14. Shema postprocesora [8]

Postprocesor se sastoji iz četiri modula:

- modul za čitanje CL datoteke
- modul za analizu i prevođenje
- modul za pozivanje potprograma
- modul za generiranje NC koda

Poželjno je imati univerzalan postprocesor, tako da se može napraviti kvalitetan NC program za što više upravljačkih jedinica različitih alatnih strojeva.

Automatski sistem programiranja ima određene prednosti u odnosu na ručno i programiranje uz podršku računala:

- znatno kraće vrijeme programiranja
- promjena geometrije elementa ne iziskuje ponovno programiranje
- broj alata je optimiziran
- optimirane su putanje alata

4. ZAKLJUČAK

Postupak programiranja NC strojeva provodio se dugo vremena ručno. Takav način rada bio je dugotrajan, a testiranje NC programa i otklanjanje grešaka je od programera zahtijevalo mnogo znanja i vremena.

Povećanjem kompleksnosti obradaka, na tržištu su se pojavili programi koji preko padajućih izbornika olakšavaju programiranje. Putanja alata se automatski preračunavala, a cijeli postupak izrade se mogao pratiti na ekranu preko simulacijskog programa.

Nakon toga je razvoj programske opreme išao u smjeru automatskog prepoznavanja geometrije obratka, uz pomoć baza podataka, automatskog određivanja redosljeda operacija, putanje alata i izradu NC programa. Razvojem algoritama (neuronske mreže, genetski algoritmi) koji podržavaju nove strategije obrade (visokobrzinske obrade), osim brzine programiranja poboljšala se i optimalna putanja alata.

Kroz svaku novu generaciju postaju NC programi uspješniji, što znači da se broj kolizija alata i obratka smanjuje, alat je kraće vrijeme u dodiru s obratkom i obradak je izrađen na optimalan način.

Povećanjem kompleksnosti geometrije izradaka i mogućnosti alatnih strojeva, povećat će se i potreba za sistemima za automatiziranu i samostalnu izradu NC programa, s uključenim modulima za optimizaciju i simulaciju obrade.

5. LITERATURA

1. J. Balič: CAD/CAM postopki, Univerza v Mariboru, 2002
2. J. Balič: Inteligentni obdelovalni sistemi, Univerza v Mariboru, 2004
3. J. Balič: Intelligent CAD/CAM systems for CNC programming-an overview, *Advances in Production Engineering & Management*, 01. 2006, 13-22, ISSN 1854-6250
4. G. Peterlin, P. Kržič, J. Kopač: HSP - hitro programiranje modernih strojev; *Orodjarstvo*, Portorož, 2005
5. Hans B. Kief, Helmut A. Roschiwal: NC/CNC Handbuch 2007/2008
6. M. Brezočnik, M. Kovačič: Programiranje numerično krmiljenih strojev s pomočjo strojnega učenja; *Orodjarstvo*, Portorož, 11-13 oktober 2005
7. S. Klančnik, M. Ficko, J. Balič, M. Brezočnik, S. Brezovnik, B. Vaupotič: Računalniško podprta izbira stružnega noža s pomočjo usmerjenih nevronske mreže, *Orodjarstvo*, Portorož, 7-9 listopad 2008
8. Z. Car, Z. Jurković: Proizvodna oprema; *Zavod za industrijsko inženjerstvo i management*
9. E.B. Brousseau, S.S. Dimov, R.M. Setchi: Learning and Reasoning Techniques for Automatic Feature Recognition from CAD Models, *Cardiff School of Engineering*, CF24 3AA, UK
10. J.H. Vandenbrande, Aristides A.G. Requicha: Spatial reasoning for the automatic recognition of machinable features in solid models; *IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.15.no.12, pp.1269-1285, prosinac 1993

PODACI O AUTORIMA:

1. Zlatko Botak, dipl.ing. stroj., Veleučilište u Varždinu Križanićeva 33, Varaždin
2. Ljubica Čurković Bogunović, dipl.ing. stroj., Đuro Đaković Specijalna vozila d.d., 35 000 Slavonski Brod