

# Strategije obrade u CAD/CAM programskim sistemima

Cvijetin Mladenović, Nikola Kalentić, Vladimir Blanuša, Mirjana Bojanić, Aleksandar Živković  
Departman za proizvodno mašinstvo  
Fakultet tehničkih nauka  
Novi Sad, Srbija

[mladja@uns.ac.rs](mailto:mladja@uns.ac.rs), [nikolakalentic@yahoo.com](mailto:nikolakalentic@yahoo.com), [blanusa@uns.ac.rs](mailto:blanusa@uns.ac.rs), [bojanicm@uns.ac.rs](mailto:bojanicm@uns.ac.rs), [acoza@uns.ac.rs](mailto:acoza@uns.ac.rs)

*Sadržaj*— Uzimajući u obzir rastuće zahteve društva, može se zaključiti da su osnovni ciljevi koji se postavljaju pred savremenu industriju povećanje tačnosti i proizvodnosti, smanjenje troškova, kao i uštede u materijalu i energiji.

Povećanje proizvodnosti, kao jedan od pomenutih ciljeva, posebno je značajno pri obradi glodanjem zbog kompleksnosti površina koje se obrađuju ovim postupkom. Jedna od karakteristika obrade glodanjem, koja direktno utiče na proizvodnost, je strategija obrade, koja predstavlja način na koji se alat kreće pri obradi.

U radu je na primeru grube obrade izradka kompleksne geometrije analiziran uticaj strategija obrade na proizvodnost. Pored toga, izvršena je i analiza uticaja maksimalne visine neravnina, koje nastaju kao posledica putanje alata i radijusa njegovog vrha, na vreme završne obrade.

*Ključne riječi: CAD/CAM sistemi, obrada glodanjem, strategija obrade, tačnost, vreme obrade*

## I. UVOD

Razvoj proizvoda kompleksne geometrije, kao novi tehnološki izazov proistekao iz automobilske i aeronautičke industrije, drastično je ubrzao usavršavanje programskih sistema za projektovanje primenom računara (CAD). Zahvaljujući tome, savremeni CAD sistemi omogućuju korisnicima modelovanje vrlo kompleksnih oblika, što dovodi do problema pri izradi ovakvih delova u pogledu vremena i cene obrade.

Kompleksni geometrijski oblici izazvali su najviše problema kod obrade glodanjem, i to posebno pri izradi složenih površina kalupa za brizganje i duvanje plastike [1]. Zbog toga, je veliki broj istraživanja realizovan iz problematike glodanja složenih površina i optimizacije putanja alata za glodanje [1,3,4,5]. Određeni broj rezultata ovih istraživanja, koja se odnose na nove i efikasne strategije obrade, uspešno je implementiran u savremene programske sisteme za računarnom podržanu proizvodnju (CAM).

Proučavanje strategija obrade glodanjem je od posebnog značaja u slučajevima kada je potrebno izabrati adekvatnu

strategiju obrade, koja podrazumeva minimalnu hrapavost obrađene površine i minimalne troškove obrade. Takođe, često se dešava da je nakon mašinske obrade potrebno ručno poliranje obrađene površine kako bi bila postignuta zahtevana hrapavost iste. Ove operacije dorade moguće je minimizirati ili čak potpuno eliminisati izborom adekvatne strategije završne obrade, čime je takođe moguće značajno smanjiti vreme i ukupne troškove obrade.

U radu je, na primeru obrade dela složenog oblika, koja se izvodi glodanjem u tri zahvata (zahvat grube, poluzavršne i završne obrade), analiziran uticaj izabrane strategije na vreme grube obrade, kao i uticaj maksimalne visine neravnina na vreme potrebno za završnu obradu. U cilju smanjenja uticaja poznavanja samog CAD/CAM sistema na pomenutu analizu, razmatrana su tri programska sistema i poređeni su rezultati njihove primene.

## II. STRATEGIJE OBRADU U NEKIM CAD/CAM SISTEMIMA

Strategija obrade, ili putanja alata, predstavlja način na koji se alat kreće pri obradi definisane zapremine [1].

Postoji ne mali broj programskih sistema koji pružaju podršku u raznim sferama proizvodnje, uključujući i oblast definisanja strategija obrade. Zajednički cilj ovih CAD/CAM sistema je da olakšaju projektantima i tehnolozima razvoj novih proizvoda i tehnologije njihove izrade.

Da bi CAD/CAM sistem mogao da zadovolji potrebe savremene proizvodnje pred njega se postavljaju određeni zahtevi, odnosno CAD/CAM sistem mora da poseduje [9]:

- Napredne strategije obrade koje će svesti vreme obrade na minimum, omogućavajući pri tome proizvodnju delova složenog oblika;
- Mogućnost programiranja 2-osnih, 3-osnih, 5-osnih mašina alatki, pa čak i manipulatora i industrijskih robota;
- Napredne metode detektovanja kolizije;
- Jednostavnu upotrebu kako bi se brzo programirale višeosne mašine alatke;
- Naprednu podršku za visokobrzinske obrade, itd.

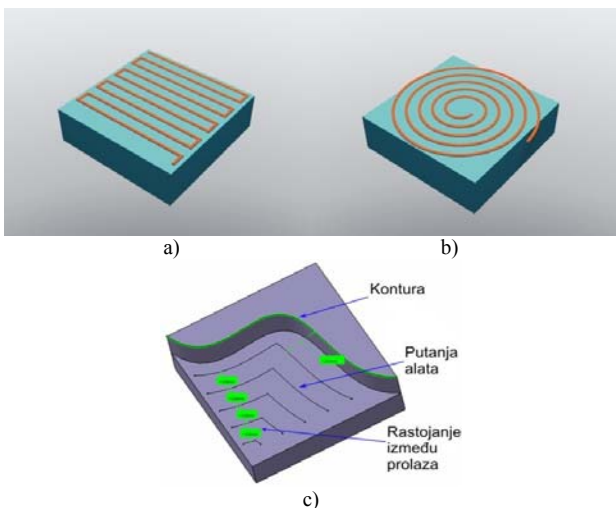
Neki od danas najzastupljenijih CAD/CAM sistema, a koji ispunjavaju prethodne zahteve, su: CAM-TOOL, CATIA,

EdgeCAM, ESPRIT, FeatureCAM, MasterCAM, PowerMILL, Pro/ENGINEER, ProTOOLMAKER, SurfCAM. U ovim sistemima moguće je projektovati zahvate obrade glodanjem na mašinama alatkama u rasponu od 2-osnih do 5-osnih, kako za grubu tako i za završnu obradu.

Osnovni cilj grube obrade glodanjem je što veća proizvodnost, odnosno uklanjanje najveće moguće zapremine materijala u najkraćem vremenskom periodu [1], dok završna obrada služi za uklanjanje materijala preostalog nakon grube obrade, i njen osnovni cilj je postizanje željenog oblika, dimenzija i površinske hrapavosti dela koji se obrađuje [1].

Osnovne strategije grube obrade glodanjem, koje sadrže skoro svi CAD/CAM sistemi, su [3]:

- Rastersko glodanje – putanje alata su na jednakom odstojanju i paralelne su sa jednom osom koordinatnog sistema mašine alatke, a obrada se izvodi i u jednom i u drugom smeru kretanja (slika 1a);
- Spiralno glodanje – alat se kreće po spiralnoj putanji iz centra obrađivane površine sa prethodno definisanim preklapanjima putanje alata (slika 1b);
- Profilno glodanje – putanja alata se generiše na osnovu profila izradka, a kretanje alata se izvodi po prethodno definisanim koracima (slika 1c).



Slika 1. Primeri strategija grube obrade; a) rastersko glodanje, b) spiralno glodanje, c) profilno glodanje

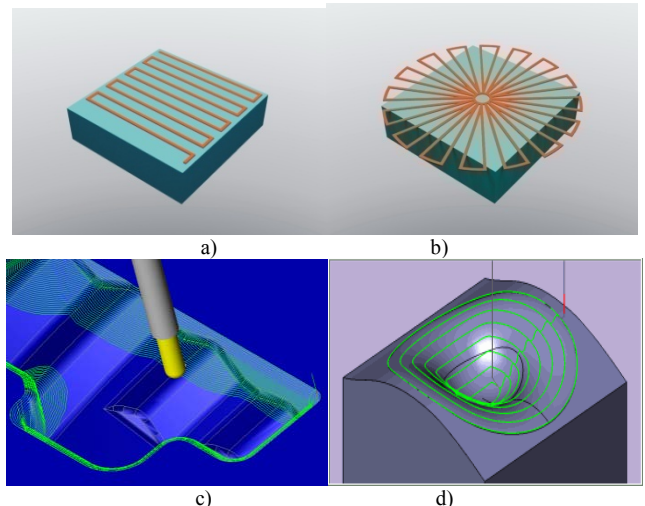
Pored nabrojanih osnovnih strategija obrade, koje se u različitim CAD/CAM sistemima mogu pronaći pod različitim nazivima, postoji i niz drugih strategija nastalih kombinovanjem prethodno navedenih.

Što se tiče završne obrade, postoji veći broj strategija nego pri gruboj obradi. Neke od osnovnih strategija završne obrade glodanjem, koje se takođe mogu naći pod različitim nazivima, su [5]:

- Raster završno glodanje – koristi se najčešće za završnu obradu ravnih pravougaonih površina (slika 2a).
- Radijalno glodanje – alat se kreće iz centralne tačke po putanjama koje su međusobno pod definisanim uglom

(slika 2b). Ova strategija se primenjuje za obradu ravnih ili skoro ravnih površina kružnog oblika.

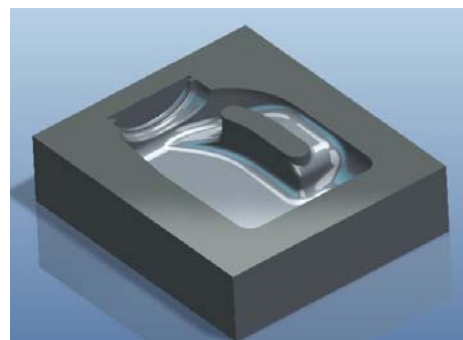
- 3D ofset glodanje – pri ovoj strategiji alat se kreće konstantnim korakom po definisanim putanjama koje prate konturu i oblik površine koja se obrađuje (slika 2c). Ova strategija se najčešće primenjuje pri završnoj obradi delova složenog oblika.
- Završno glodanje sa konstantnom visinom u pravcu “Z” ose – alat se kreće prateći konturu izradka koji se obrađuje, pomerajući se u pravcu Z ose po konstantnim prethodno definisanim koracima (slika 2d).



Slika 2. Primeri strategija završne obrade; a) rastersko glodanje, b) radijalno glodanje, c) 3D ofset glodanje [7], d) glodanje sa konstantnom visinom u pravcu “Z” ose [10]

### III. UTICAJ STRATEGIJE NA VREME PRI GRUBOJ OBRADI

Analiza uticaja izabrane strategije obrade na potrebno vreme za obradu je izvršena na primeru grube obrade dela prikazanog na slici 3.



Slika 3. Polovina kalupa za duvanje proizvoda od plastike

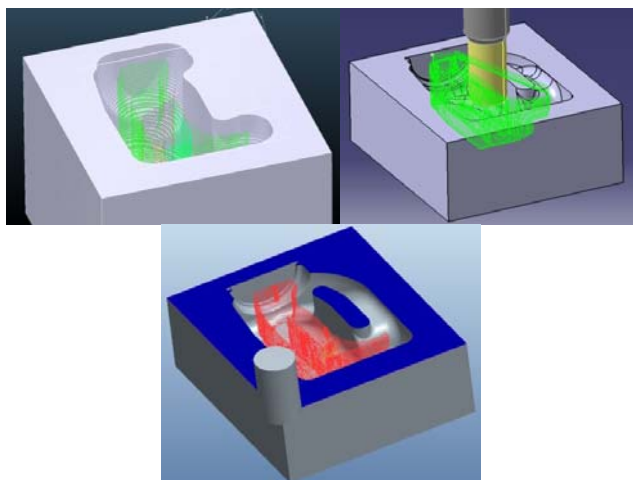
U cilju smanjenja uticaja poznavanja samog CAD/CAM sistema, za analizu su izabrana tri sistema, jedan specijalizovani CAM sistem (A), i dva CAD/CAM sistema opšte namene (B i C). Analiza je sprovedena za dve osnovne strategije grube obrade koje postoje u sva tri sistema, za rastersko glodanje i za profilno glodanje. Kako bi uticaj

strategije na vreme obrade došao do izražaja korišćeni su isti alati i režimi obrade za izradu posmatranog dela, dati u tabeli I.

TABELA I. ALATI I REŽIMI OBRADJE PO ZAHVATIMA IZRADE DELA

Zahvat	Alat	Prečnik alata [mm]	Br. ob. gl. vretena [o/min]	Pomak [m/min]
Gruba obrada	Čeono glodalo	□ 50	2000	1000
Poluzavršna obrada	Vretenasto glodalo	□ 16	3000	500
Završna obrada	Vretenasto glodalo sa loptastim završetkom	□ 16	4500	500

Na slici 4 prikazane su simulacije grube obrade u CAD/CAM sistemima A, B i C, za strategiju profilnog glodanja sa režimima prikazanim u tabeli 1.



Slika 4. Simulacije grube obrade u CAD/CAM sistemima A, B i C

U tabeli II prikazana su vremena grube obrade za dve usvojene strategije obrade, dobijena u izabranim CAD/CAM sistemima.

TABELA II. VREMENA GRUBE OBRADJE ZA USVOJENE STRATEGIJE OBRADJE

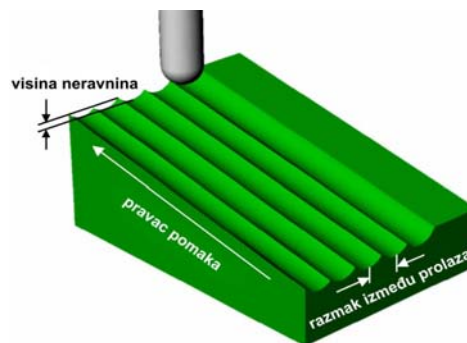
CAD/CAM sistem / Strategija	Sistem A	Sistem B	Sistem C
Rastersko glodanje	25min 34s	27min 11s	27 min 24s
Profilno glodanje	22min 38s	22min 15s	23min 42s

Analizom prikazanih rezultata, može se zaključiti da se pravilnim izborom strategije obrade u posmatranim CAD/CAM sistemima mogu ostvariti značajne uštede u vremenu potrebnom za grubu obradu. Konkretno, za grubu obradu posmatranog dela pravilnim izborom strategije obrade sistem A omogućuje uštedu od ≈3min. u vremenu obrade, sistem B uštedu od ≈5min. a sistem C uštedu od ≈4min.

#### IV. UTICAJ MAKSIMALNE VISINE NERAVNINA NA VREME ZAVRŠNE OBRADJE

Iako je već napomenuto da se obrada posmatranog dela izvodi u tri zahvata (zahvat grube, poluzavršne i završne obrade), poluzavršna obrada nije bila predmet analize u ovom radu, te je stoga uticaj maksimalne visine neravnina analiziran za zahvat završne obrade.

Završna obrada složenih površina glodanjem najčešće se izvodi loptastim glodalima. Međutim, kako geometrija loptastog glodala ne odgovara u potpunosti geometriji obrađivane površine, na njoj se formiraju neravnine u obliku talasa (slika 5) [6]. U savremenim CAD/CAM sistemima definisanjem maksimalne vrednosti ovih neravnina sistem proračunava broj potrebnih prolaza alata i njihovo rastojanje.



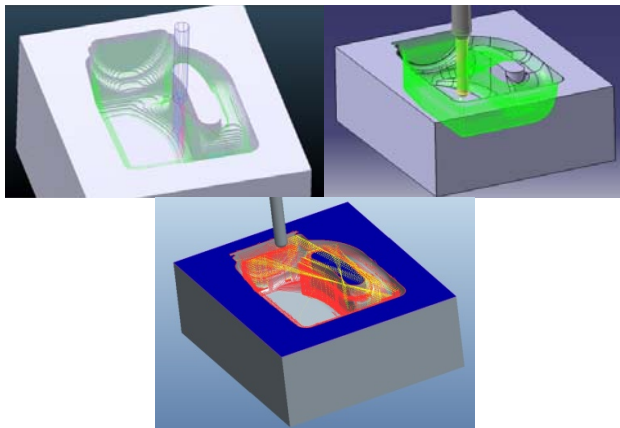
Slika 5. Maksimalna visina neravnina na obrađenoj površini pri obradi loptastim glodalom [6]

U izabranim CAD/CAM sistemima za usvojenu istu strategiju završne obrade, alate i režime rezanja, analiziran je uticaj maksimalne visine neravnina na vreme završne obrade i rezultati su prikazani u tabeli III. Treba napomenuti da je izabrana strategija obrade 3D ofset, jer ona omogućava najjednostavnije definisanje maksimalne visine neravnina u sva tri programska sistema.

TABELA III. UTICAJ MAKSIMALNE VISINE NERAVNINA NA VREME ZAVRŠNE OBRADJE

CAD/CAM sistem / Visina neravnine	Sistem A	Sistem B	Sistem C
0,02 mm	2h 44min	2h 45min	2h 51 min
0,05 mm	1h 39min	1h 41min	1h 37min
0,08 mm	1h 19min	1h 22min	1h 13min

Na slici 6 prikazane su simulacije završne obrade u sistemima A, B i C.



Slika 6. Simulacije završne obrade u CAD/CAM sistemima A, B i C

Analizom prikazanih rezultata može se zaključiti da dozvoljena maksimalna visina neravnina ima značajan uticaj na vreme završne obrade. Razlog tome je činjenica da je dubina obrade varijabilna, odnosno CAD/CAM sistem na osnovu oblika površine koja se obrađuje i maksimalne visine neravnina, proračunava potrebnu dubinu obrade, broj prolaza i rastojanje između prolaza. Odnosno, pri malim vrednostima maksimalne visine neravnina glodalo tokom obrade napravi veći broj putanja kretanja nego što to uradi pri većim vrednostima maksimalne visine neravnina.

## V. ZAKLJUČAK

Pravilan izbor adekvatne strategije obrade je od posebnog značaja kada je potrebno obraditi složene površine, a pri tome smanjiti hrapavost i troškove obrade.

U radu je na primeru grube obrade dela složenog oblika ispitan uticaj strategija obrade na vreme obrade. Analiziranjem dobijenih rezultata može se zaključiti da se pravilnim izborom strategije obrade mogu ostvariti značajne uštede u pogledu vremena potrebnog za obradu. Međutim, treba napomenuti da izbor odgovarajuće strategije zavisi od oblika dela koji se obrađuje, te da su dobijeni rezultati relevantni samo za posmatrani deo složenog oblika, odnosno delove slične konfiguracije.

Pored toga, sprovedena je i analiza uticaja maksimalne visine neravnina, koje ostaju na obrađenoj površini posle prolaska alata, na vreme završne obrade posmatranog dela.

Rezultati dobijeni ovom analizom pokazali su da maksimalna visina neravnina ima značajan uticaj na vreme obrade, odnosno njenim povećanjem se smanjuje vreme obrade. Međutim, treba voditi računa o tome da će, ukoliko se usvoji prevelika visina neravnina, gotov deo zahtevati doradu kako bi se dostigla zadovoljavajuća hrapavost.

Pored prethodno prikazanog izbor strategije obrade zavisi i od serijnosti proizvodnje, tako da uslovi proizvodnje direktno utiču na izbor funkcije cilja u svakom konkretnom slučaju.

## LITERATURA

1. Janák, M.: *Manufacturing Strategies In CAM Systems*, 7th International Multidisciplinary Conference, Baia Mare, Romania, May 17-18, 2007, pp. 291-295, ISSN-1224-3264

2. Liua, N., Loftusa, M., Whitten, A.: *Surface finish visualisation in high speed, ball nose milling applications*, International Journal of Machine Tools & Manufacture 45, 2005, pp.1152–1161, ISSN: 0890-6955.
3. Novak-Marcincin, J., Janák, M., Novakova-Marcincinova, L., Fecova, V., Barna, J.: *Application Of The Computer Aided Selection Of Optimal CNC Milling Strategy*, 34th International Conference On Production Engineering, 28.-30. September, 2011, Niš, Serbia, pp. 181-184, ISBN: 978-86-6055-019-6.
4. Novák-Marcinčin, J., Janák, M.: *Software Support For Selection Of Suitable Milling Strategy*, Scientific Bulletin, Serie C, Volume XXIII, Fascicle: Mechanics, Tribology, Machine Manufacturing Technology, pp. 119-122, ISSN 1224-3264
5. Ramos, A.M., Relvas, C., Simoes, J.A.: *The influence of finishing milling strategies on texture, roughness and dimensional deviations on the machining of complex surfaces*, Journal of Materials Processing Technology 136, Elsevier, 2003, pp.209–216, ISSN: 0924-0136.
6. Ramos, A.M.: *Surface Partitioning for 3+2-axis Machining*, Doctoral dissertation, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 2007.
7. SURFCAM 3-Axis: [http://www.surftware.com/surfcam\\_design\\_3\\_axis\\_velocity.aspx](http://www.surftware.com/surfcam_design_3_axis_velocity.aspx), Pristupljeno 21.02.2013.
8. Wang, J., Armarego, E.J.A.: *Computer-Aided Optimization Of Multiple Constraint Single Pass Face Milling Operations*, Machining Science and Technology, Vol. 5/1, 2001, pp. 77-99, ISSN: 1532-2483.
9. Waurzyniak, P.: *CAD/CAM Software Drives Innovation*, Manufacturing Engineering Magazin, SME Editor, Dearborn, MI, USA, February 2010, pp. 47-55.
10. ZW3D Base: <http://help.zwsoft.com/en/zw3d/articles/article-734.html>, Pristupljeno 21.02.2013.

**Napomena:** Rad predstavlja deo istraživanja na projektu "Savremeni prilazi u razvoju specijalnih uležištenja u mašinstvu i medicinskoj protetici", TR 35025, podržanom od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, Republike Srbije.

## ABSTRACT

Taking into account the growing demand of the society, it can be concluded that the main objectives that are set before modern industry are increasing the accuracy and productivity, reducing of costs, and savings in materials and energy.

The increase productivity as one of these goals are particularly important in milling because of complex surfaces that are manufactured by this method. One of the characteristics of milling process, which directly affects the productivity, is the machining strategy which represents the way of tool movement through the manufactured volume.

In this paper is analyzed the impact of machining strategy on productivity on the example of rough machining of the complicated geometry workpiece. Besides, the analysis of the impact and the maximum height of irregularities, which occur

as a result of tool path and the radius of its peak at the time of final processing.

In addition, it was performed the analysis of maximum scallop height impact on the time of finishing machining. This scallops occur as a result of tool path and the radius of its peak. In order to reduce influence of the knowledge of CAD/CAM systems on the these analyzes, in this paper are elaborated three software systems and compared their results.

**Keywords:** *CAD/CAM systems, milling, machining strategy, accuracy, machining time*

## **MACHINING STRATEGY IN CAD/CAM SOFTWARE SYSTEMS**

Cvijetin Mladenović, Nikola Kalentić, Vladimir Blanuša,  
Mirjana Bojanić, Aleksandar Živković