



100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu

100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



Proizvodnja podržana računalom CAM

6. sem: IIM, PI, RI

2. predavanje 2018/2019

Zagreb, 13. ožujka 2019.



100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Proizvodnja

Zašto je proizvodnja značajna ?

Proizvodnjom se dodaje vrijednost proizvodu; značajan udio u GDP
"Europska industrijska renesansa".

Podjela proizvodnje ?

- „P” i „p”
- Proizvodne tehnologije: „+”, „-”, „0”, AM i HIBRIDNE
- diskretna i kontinuirana

Promjena koja se dogodila u diskretnoj proizvodnji:

- Velike serije; 1 proizvod
- Duga vremena razvoja



- Male serije; Više proizvoda
- Kratka vremena razvoja
- Česte promjene

FSB Zagreb, PI, IIM, RI



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

CAM

CAM - učinkovita primjena računala u proizvodnji.

a) Izravna (direktna) primjena – upravljanje i nadzor

b) Posredna (indirektna) primjena – CAPP, planiranje, MRP, „scheduling“, ...

Povijest CAM-a

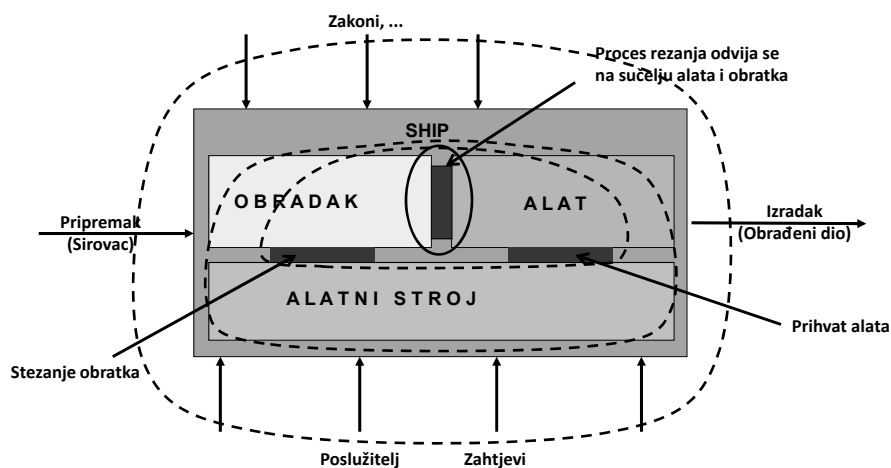
1950-te	NC - "ožičeno" relejno upravljanje; APT jezik za programiranje NC
1960-te	Industrijski robot; Interaktivna računalna grafika
1970-te	CNC; DNC/FMS; CAD/CAM; PLC; Računalni vid; 3-D CAD
1980-te	Solid modeling; Tvorničke mreže; MAP/TOP; CIM; Istodobno inženjerstvo
1990-te	Inteligentni proizvodni sustav
	...
	Autonomna proizvodnja
... -te	Održiva proizvodnja, ...
2010-te	INDUSTRY 4.0

FSB Zagreb, PI, IIM, RI



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Obrada odvajanjem kao sustav



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Utjecaj sastavnica obradnog SUSTAVA na proces obrade

POSTUPCI OBRADE

VBO (HSM); "TVRDE" OBRADNE (HM); SUHE OBRADNE (DM); OBRADNE S MIN. PRIMJENOM SHIP-a (MQL); LASERSKE OBRADNE; MICRO OBRADNE; KRIOGENE OBRADNE; NEKONVENIONALNE OBRADNE: WJM, AWJM, LASER, IBM, EBM, EDM; HIBRIDNE OBRADNE

REZNI ALATI

GEOMETRIJE, MATERIJALI, PREVLAKE, PRIHVATI

MATERIJALI OBRADAKA

MEH. SVOJSTVA, STRUKTURA, GEOMETRIJA, ...
Ti i Ti-legure; Mg i legure; KOMPOZITI; KERAMIKE; BILOŠKA TKIVA

PRIHVATI ALATA I OBRADAKA

ALATNI STROJ, UPRAVLJANJE STROJEVIMA I PROCESIMA

AUTOMATIZACIJA, INTEGRACIJA, FLEKSIBILNOST, „INTELIGENCIJA“ MONITORING, AU, AI, AUTONOMNOST

“OKRUŽENJE” (uže i šire)

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

ad 1) Trendovi kod postupaka obrade

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

HSM (HSC) – High Speed Machining (Cutting)

DRY machining

HARD machining

WJM – Water Jet Machining – Obrada vodenim mlazom

AWJM – Abrasive Water Jet Machining – Obrada abrazivnim vodenim mlazom

MQL, MQC, MQLC

HPC – High Pressure Cooling

KRIOGENE OBRADNE

MIKRO I NANO OBRADNE

OBRADNE LASEROM

HIBRIDNE OBRADNE

INOVACIJE KOD KONVEKIONALNIH PROCESA (Prime, Q-cut, ...)

AM – Additive Manufacturing

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

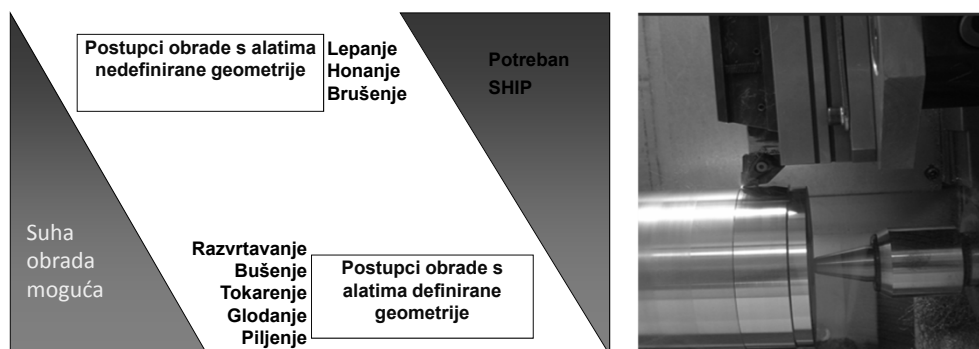
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

DRY i HARD



Mercedes-Benz: (Untertürkheim) početna istraživanja, 1994.; primjena u serijskoj proizvodnji (Al felge), 2001.; 60 % obrada je "DRY", 2012.

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Mikro obrade

Sve više je prisutan trend minijaturizacije dijelova kojega prvenstveno potiču elektronička industrija i medicinsko inženjerstvo. Dijelovi manji od $100\ \mu\text{m}$ (promjer ljudske vlasi kose) više nisu rijetkost. Kod takvih dimenzija svaka promjena u procesu uzrokovana materijalom, alatom, topliskim promjenama, vibracijama ili sl. izravno će utjecati na mogućnost kreiranja elemenata takvih dimenzija.

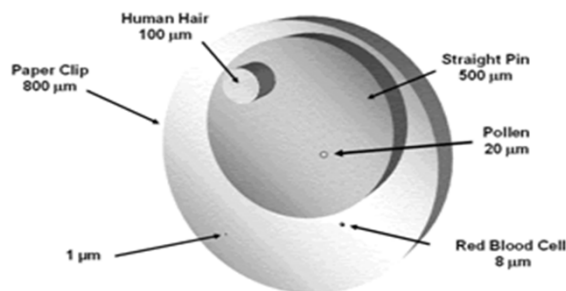


Figure 1
What is a micron?

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb

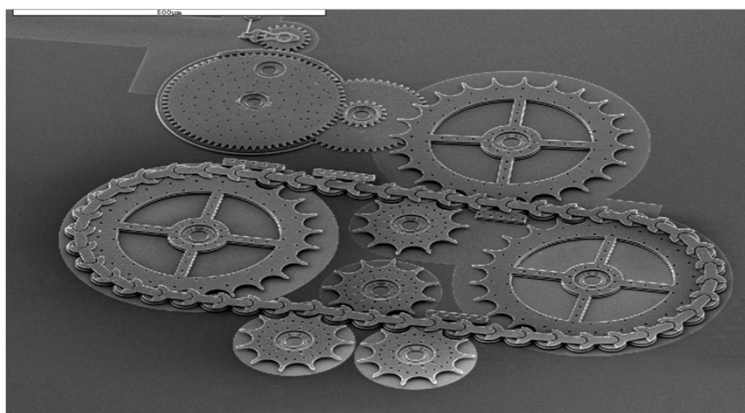


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Trendovi u obradama

Primjer mikro obrade u obradi lančanika

500 μm



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

SANDIA

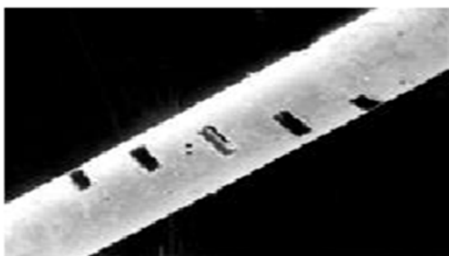
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb

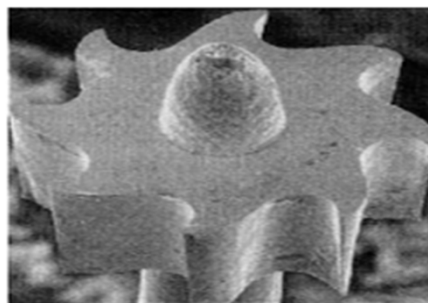


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Primjeri mikro obrade u medicinskom inženjerstvu



Spiralno raspoređeni utori pravokutnog presjeka $50 \times 20 \mu\text{m}$ u akrilnim optičkim vlaknima promjera $100 \mu\text{m}$, obrađeni primjenom ArF lasera (senzori za mjerenje parcijalnog tlaka kisika u krvi).



Rotor mikroturbine (za krvožilni sustav) promjera $470 \mu\text{m}$ i visine $130 \mu\text{m}$ izrađen od nikla, izrađen elektroplatiniranjem obratka od PMMA obrađenog ArF laserom.

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

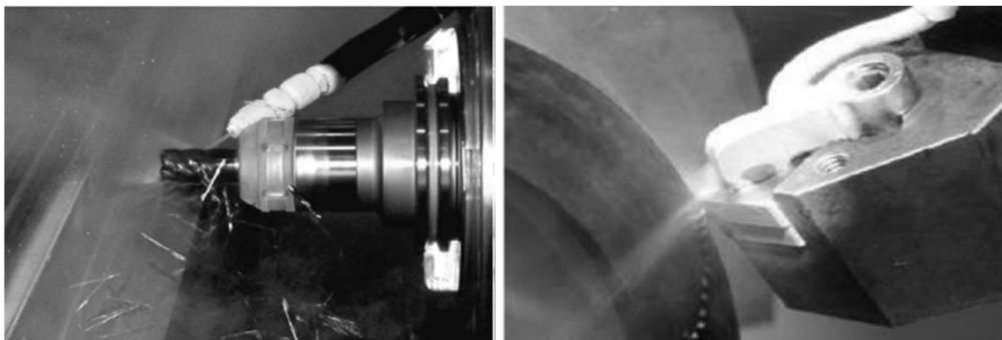
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Kriogena obrada



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

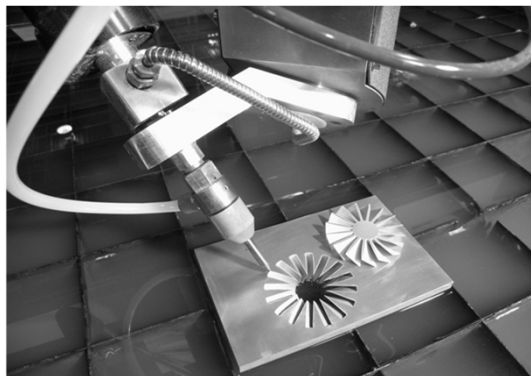
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Nekonvencionalne obrade



AWJM



LASER

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

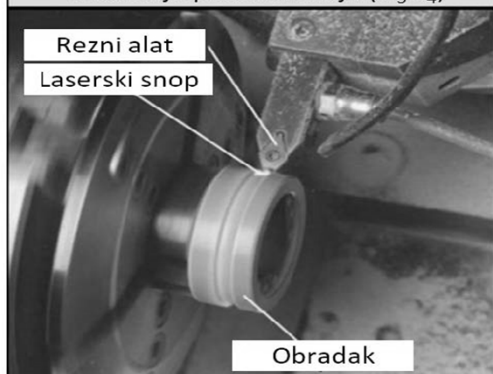
100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Hibridne obrade

Tokarenje prstena ležaja (Si_3N_4)



Aditivne tehnologije (Direct metal laser sintering)



Obrada odvajanjem Glodanje



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

Izvori: CIRP i 3D Printing Industry

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Trendovi kod reznih alata

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

2. Trendovi kod reznih alata

Karakteristike reznih alata

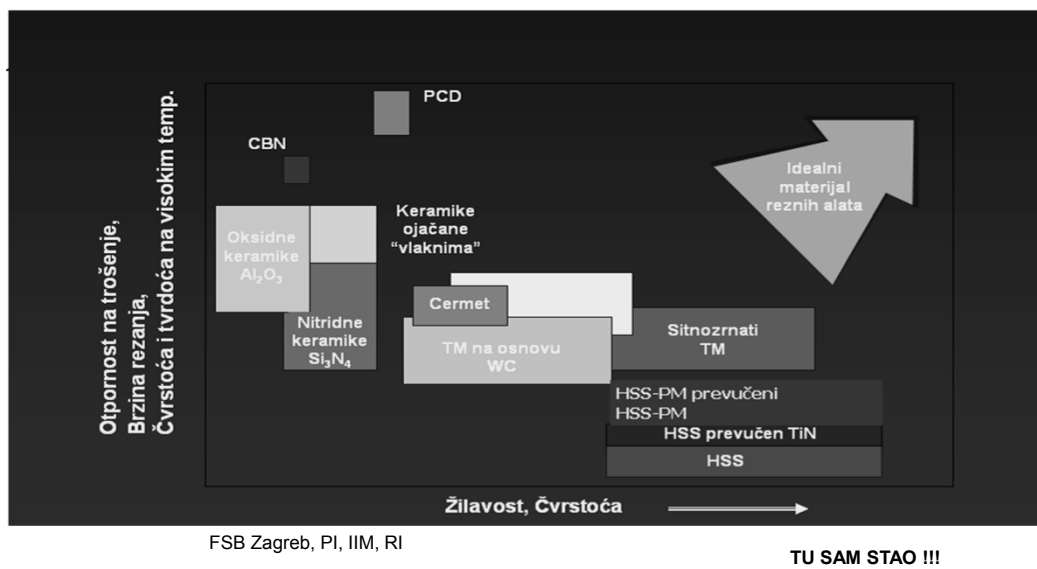
- A. Osnovni materijal
 - HSS, TM, CERMET, KERAMIKE, CBN, PCD, ...
- B. Makro i mikrogeometrija reznih alata
- C. Prevlake
 - TiN, Al₂O₃, CrN, TiCN, TiAlN, CBN, DLC, ...
 - Višeslojne prevlake
 - Nano prevlake
- D. Tehnologije prevlačenja
 - CVD – glavne značajke
 - PVD - glavne značajke
 - MT CVD, PA CVD – inačice CVD postupka

FSB Zagreb, PI, IIM, RI



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Utjecaj materijala reznih alata



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Karakteristike reznih alata

- A. Osnovni materijal
 - HSS, TM, CERMET, KERAMIKE, CBN, PCD, ...
- B. Makro i mikrogeometrija reznih alata
- C. Prevlake
 - TiN, Al₂O₃, CrN, TiCN, TiAlN, CBN, DLC, ...
 - Višeslojne prevlake
 - Nano prevlake
- D. Tehnologije prevlačenja
 - CVD – glavne značajke
 - PVD - glavne značajke
 - MT CVD, PA CVD – inačice CVD postupka

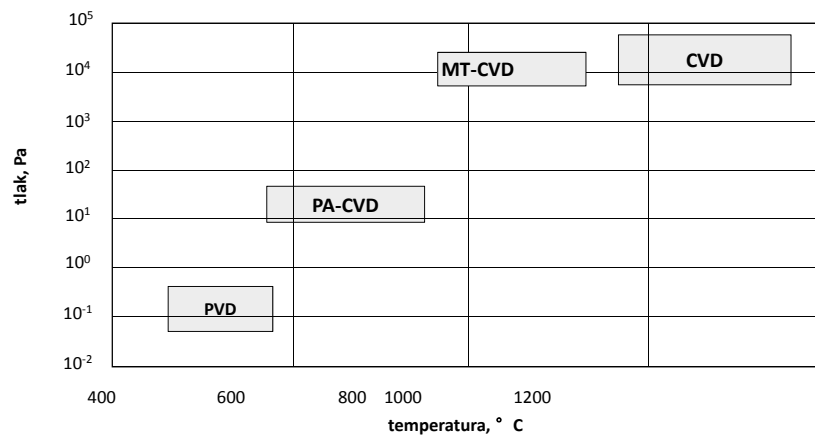
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Temperature i tlakovi kod postupaka prevlačenja



Izvor: KD. Bouzakis, CIRP

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

ad 3)

Trendovi kod materijala obradaka

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

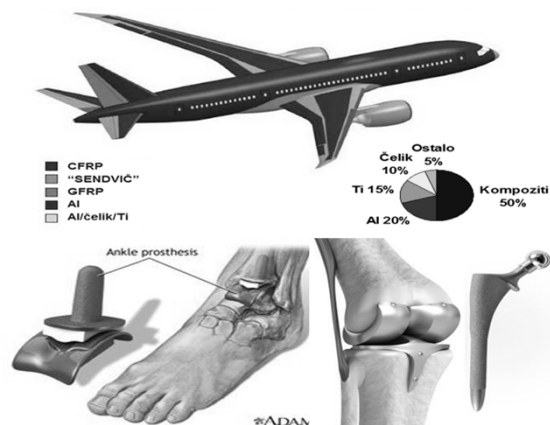


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Utjecaj materijala obratka

Primjena materijala kao što su:

- Magnezij i legure
- Keramike
- Titan i legure
- Kompoziti ojačani vlaknima
- Biološka tkiva

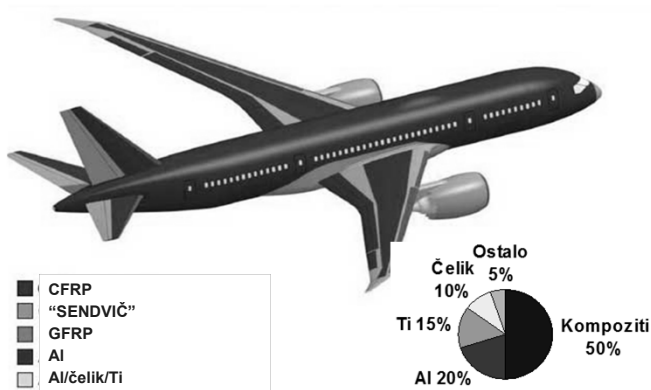


FSB Zagreb, PI, IIM, RI



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Novi materijali – primjer u zrakoplovstvu


 CFRP - Carbon-fiber-reinforced polymer,
 Carbon-fiber-reinforced plastic

Materijal	1986.	2013.
Titan	6%	14%
Aluminij	72%	19%
Čelik	9%	7%
CFRP	10%	53%

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

ad 4) Trendovi kod obradnih strojeva

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb

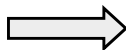


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Trendovi kod obradnih strojeva

- automatizacija
- prilagodljivost

- integracija
- "inteligencija"



rad bez čovjeka
(autonomnost)

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

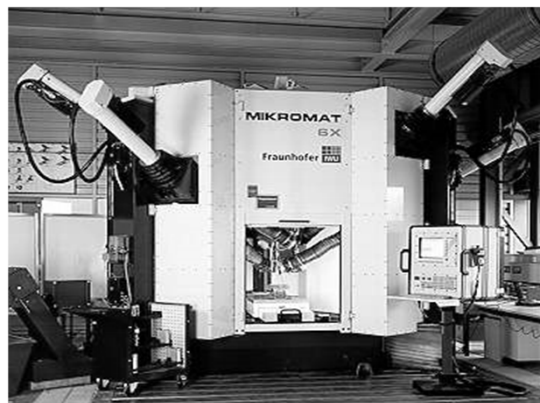
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Trendovi kod obradnih strojeva



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb

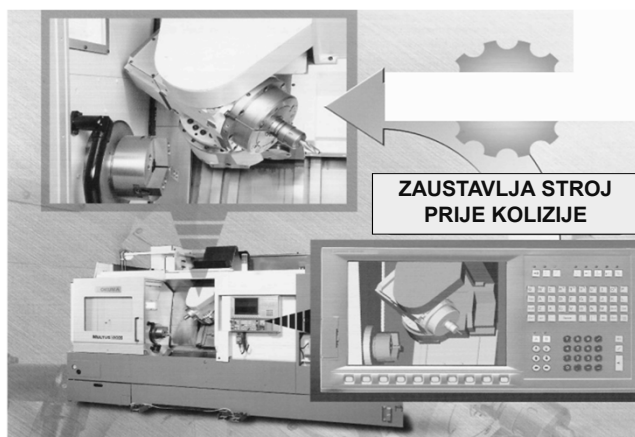


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Trendovi kod obradnih strojeva - autonomnost

**CAS –
Colision Avoidance
System (OKUMA)**

**TFC –
Thermo Friendly
Concept (OKUMA)**



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

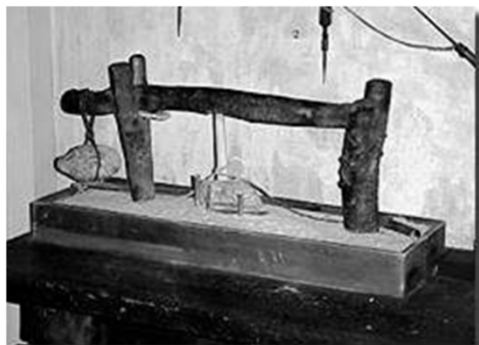
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Od ručnog pogona do CAM-a



Bušilica iz Egipta,
4. tisućljeće prije Krista (replika)



Vertikalna bušilica za topovske cijevi,
Berlin, 1774.

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Od ručnog pogona do CAM-a



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Paralelna kinematika



Roboti u obradi



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

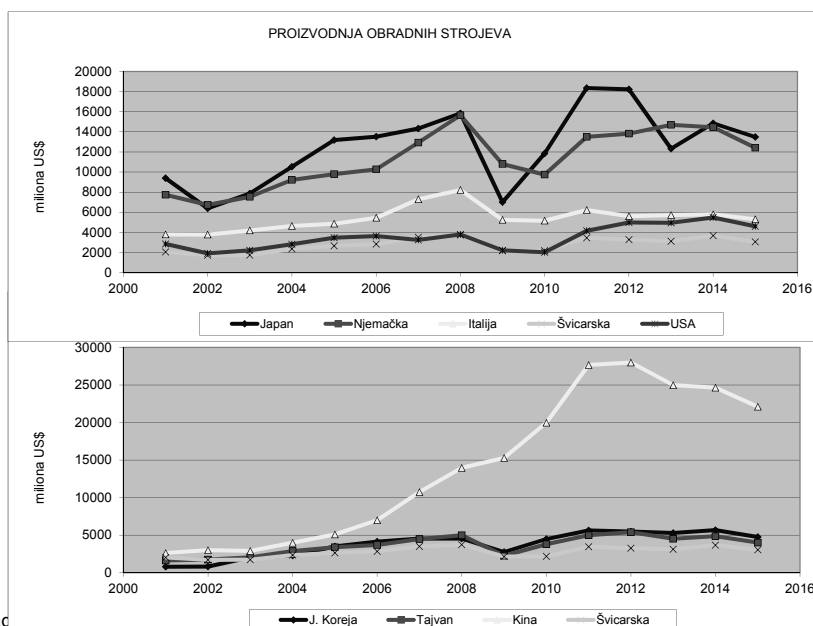
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

**Proizvodnja
obradnih strojeva
u svijetu u periodu
2001. – 2015.**



FSB Zagreb



100 godina Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb

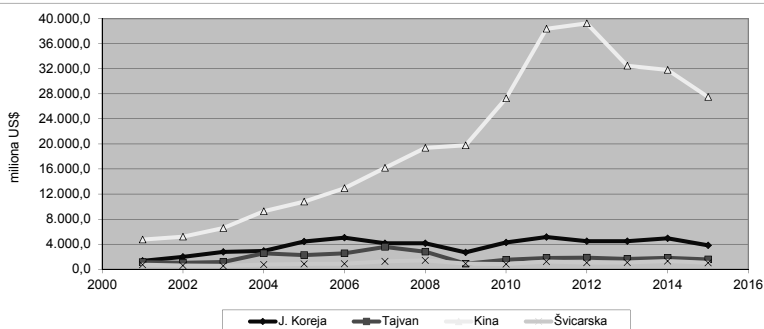
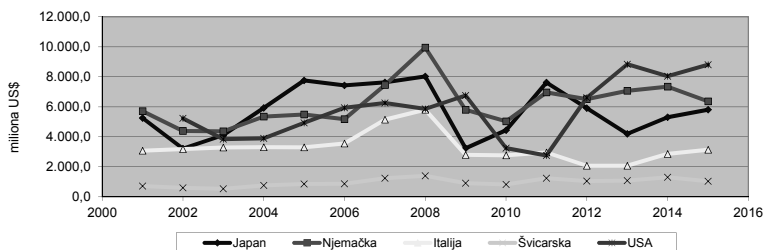


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Potrošnja obradnih strojeva u svijetu u periodu 2001. – 2015.

FSB Zagreb, F

POTROŠNJA OBRADNIH STROJEVA

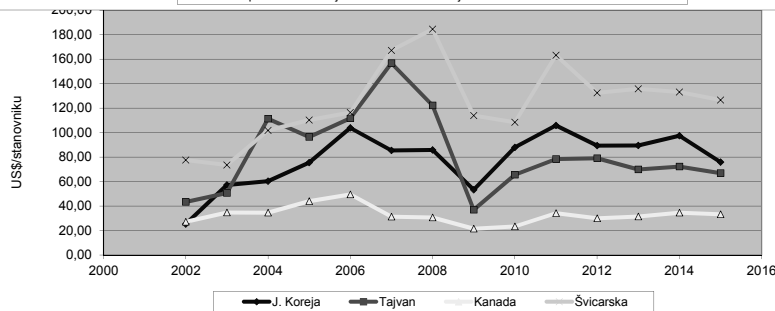
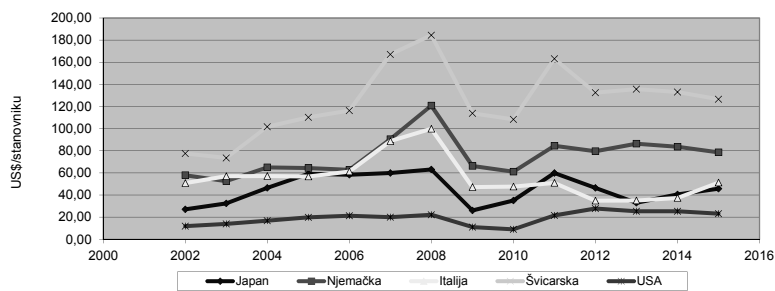


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Potrošnja obradnih strojeva "po glavi stanovnika" (PER CAPITA), u periodu 2001. – 2015.

FSB Zagreb

POTROŠNJA OBRADNIH STROJEVA PO GLAVI STANOVNIKA



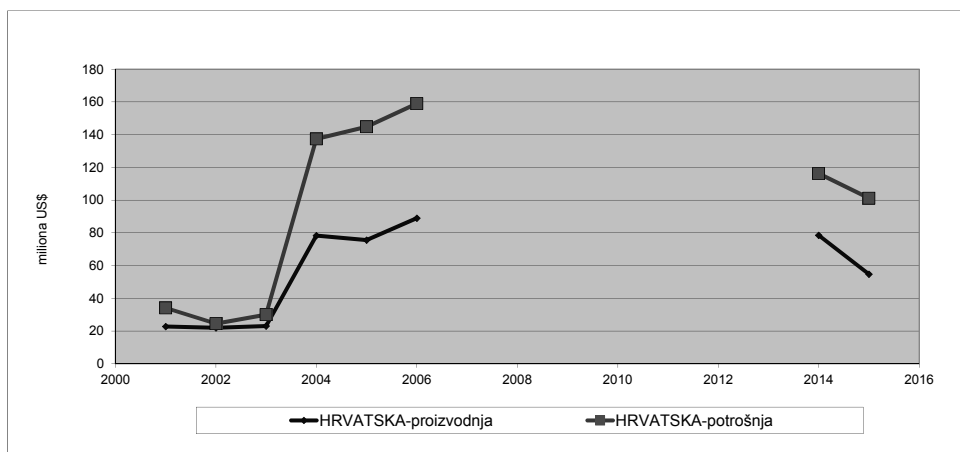
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Proizvodnja obradnih strojeva u Hrvatskoj, 2001. – 2015.



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

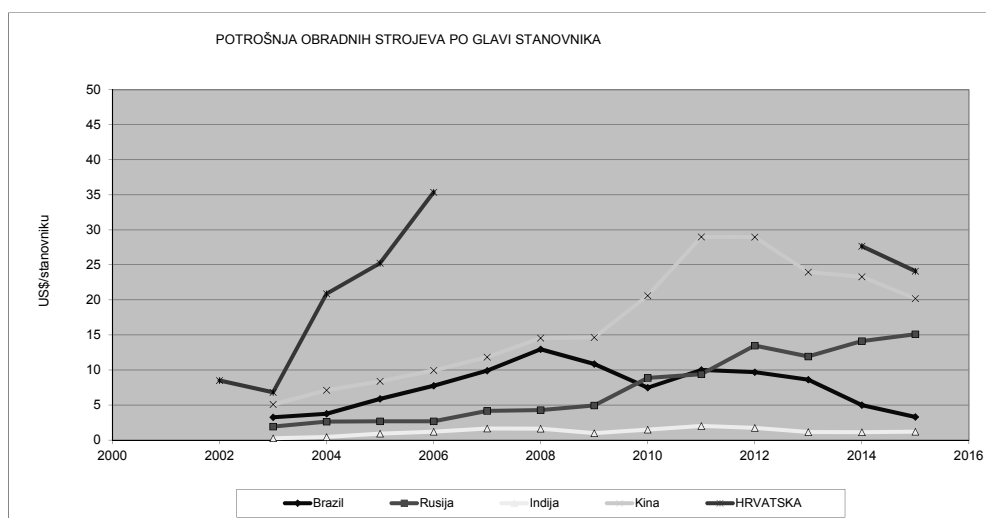
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

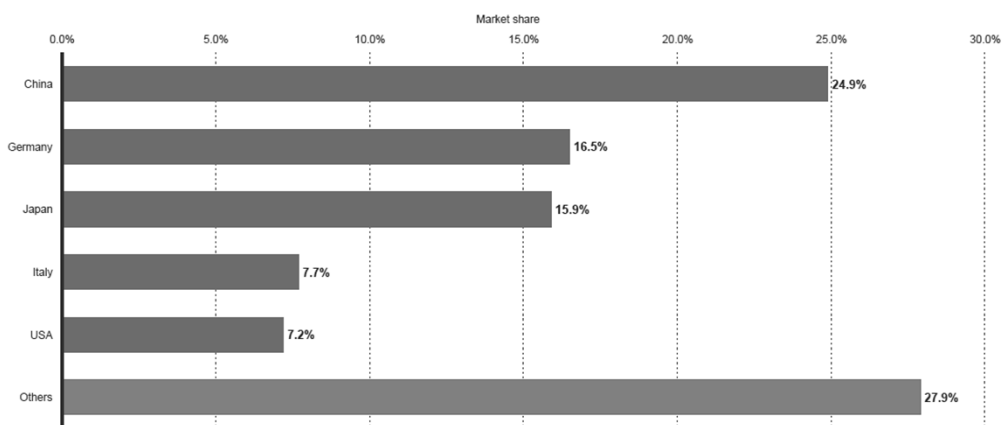
“Potrošnja” obradnih strojeva “per capita” u “BRIK” i Hrvatskoj u periodu 2001. – 2015.



FSB Zagreb, PI, IIM, RI


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM
Machine tool producers' market share in 2017, by country

Leading countries in machine tool production - market share 2017

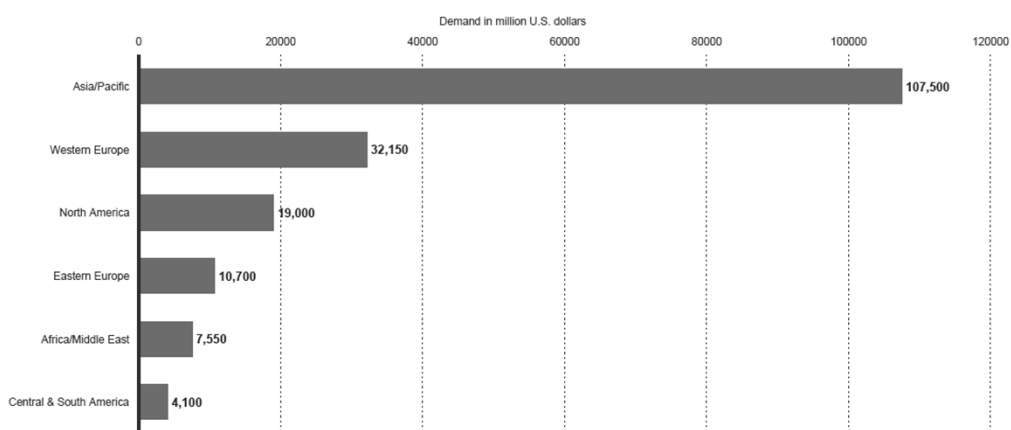


Note: Worldwide
 Further information regarding this statistic can be found on [page 48](#).
 Source(s): VDW, [ID 784713](#)

FSB Zagreb, PI, IIM, RI


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM
World machine tool demand in 2019, by region (in million U.S. dollars)

Machine tool demand - globally by region 2019



Note: Worldwide
 Further information regarding this statistic can be found on [page 46](#).
 Source(s): Various sources; Freedom House; [ID 726647](#)

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

 100 godina Fakulteta
 strojarstva i brodogradnje
 Sveučilišta u Zagrebu
 100 Years of Faculty of
 Mechanical Engineering
 and Naval Architecture
 University of Zagreb


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Potrošnja alatnih strojeva 2016. per capita, \$

Švicarska	126,6
Njemačka	78,6
Južna Koreja	75,9
Slovenija	75,3
Austrija	75
Slovačka	51,5
Češka	53,2
Hrvatska	24,1
Svijet	10,0

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

 100 godina Fakulteta
 strojarstva i brodogradnje
 Sveučilišta u Zagrebu
 100 Years of Faculty of
 Mechanical Engineering
 and Naval Architecture
 University of Zagreb


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Razvoj sustava i procesa

Razvoj obradnih strojeva i procesa uvjetovan je razvojem znanosti i tehnologije. Tijekom proteklih 100 godina razvoj materijala za alate, materijala obradaka i modula za obradne strojeve su omogućili povećanje brzina rezanja za 10 - 50 puta i povećanje presjeka odvojene čestice do 20 puta, što je povećalo učinkovitost obradnog procesa za 20 do 200 puta.

Nacionalni centar za proizvodne znanosti USA (NCMS - National Center for Manufacturing Sciences):

“U kompaniji budućnosti znanje će postati najvažnija imovina i to će biti najveća promjena u gospodarstvu koju mi poznamo.”

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Utjecaj ostalih uvjeta (slika op kao funkcije SUSTAVA)

- Zahtjevi očuvanja okoliša
- Sve veći stupanj interdisciplinarnosti (medicina, elektronika, ...)
- Novi, teže obradivi materijali
- Minijaturizacija dijelova i individualizacija proizvodnje
- Druge proizvodne tehnologije (NNS, RP, ...)
- Razvoj SW za projektiranje i upravljanje
- Digitalizacija proizvodnje
- **TRŽIŠTE I MEGATRENDOVI**

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

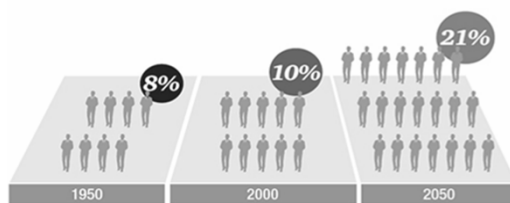
100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

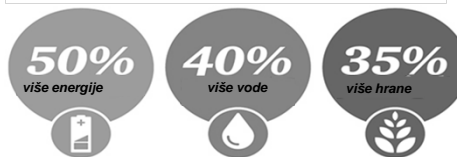
Megatrendovi

"Big Four" profesionalne uslužne tvrtke: Deloitte, PwC, EY, i KPMG.



1950:	8 %; 60+	2012:	8 %; 65+
2010:	10 %; 60+	2030:	13 %; 65+
2050:	21 %; 60+		

Starenje populacija u periodu 1950 - 2050
(Izvor: UN report World Population Ageing 1950 - 2050)



**Premda populacija i volumen proizvodnje kontinuirano rastu,
broj (apsolutni i relativni) zaposlenih u proizvodnji pada.**

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Promjena proizvodne paradigme ?

Paradigma osobne (personalizirane) proizvodnje
Baš proizvod koji je potreban ...
... u trenutku kada je potreban

Yoram Koren i Jun Ni (University of Michigan, Ann Arbor)

“Following megatrends it is necessary to realize factories of emotions inside of cities for design oriented products and let people work where they live (no noise, no scrap, etc.). Bringing volume production back by innovative solution or make factories lean, clean and green could be a way to European answers to the megatrends. Another option is driven by ICT-Solutions toward that what we call learning factories or ICT oriented networking in manufacturing.”

Engelbert Westkämper

Voditelj IFF instituta na Sveučilištu u Stuttgartu i direktor IPA-e u Stuttgartu

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Zašto kompanije usvajaju nove tehnologije ?

Radi postizanja sljedećih strateških ciljeva:

- Smanjenje troškova proizvoda, usluga ili procesa
- Brži razvoj proizvoda ili kraće vrijeme izlaska na tržište
- Poboljšanje kvalitete proizvoda ili usluga
- Povećana fleksibilnost te ubrzan i poboljšani odgovor na promjenjive zahtjeve tržišta

PROFIT

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

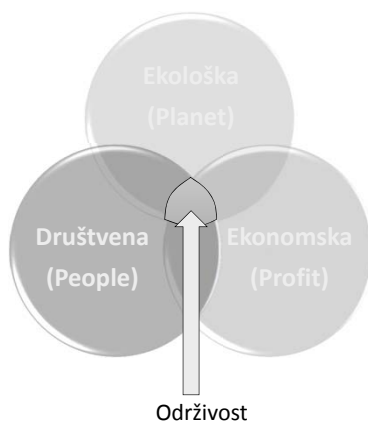
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Održivi razvoj



Prema Svjetskoj komisiji za okoliš i razvoj –WCED (Brundtland komisija) održivi razvitak se definira kao:

“Održivi razvoj je onaj razvoj koji zadovoljava potrebe današnjice, a pritom ne ugrožava potrebe budućih generacija.”¹

Često se spominje pojam **Triple Bottom Line (TBL)**² koji uvažava tri aspekta održivosti:

društveni, ekološki i ekonomski – izazov je mjerljivost efekata (osim ekonomskog koji se mjeri profitom).

Također. Često se spominje i 3P, što je zapravo isto kao TBL, samo rečeno na drugi način: “people, planet, profit”². Održivost je presjek te tri kategorije.

¹ Brundtland Commission of the United Nations

² John Elkington, Cannibals with Forks: the Triple Bottom Line of 21st Century business

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Održivi razvitak (NN)

Održivi razvitak je gospodarski i socijalni razvitak društva koji u zadovoljavanju potreba današnjeg naraštaja uvažava iste mogućnosti zadovoljavanja potreba idućih naraštaja, te omogućuje dugoročno očuvanje kakvoće okoliša, biološke raznolikosti i krajobraza.

Ovo je pojašnjenje pojma održivog razvoja (razvitka) prema Zakonu o zaštiti okoliša Republike Hrvatske (NN 110/07, članak 3. stavak 1).

Model trostruke bilance (Triple Bottom Line, TBL).

Model trostruke polazišne crte TBL (Triple Bottom Line, TBL)

„The trick isn't defining TBL. The trick is measuring it.”

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100


100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Triple bottom line

Biochar's Triple Bottom Line

PEOPLE	PLANET	PROFIT
<p>Human Rights & Health</p> <ul style="list-style-type: none"> • Food Security • More nutrient dense foods <p>Affordability/Social Equity</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reduced reliance on fertilizers & fossil fuels for farmers 	<p>Natural Systems</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eco-system restoration • Storm Water treatment • Remediation • Waste optimization <p>Climate Change</p> <ul style="list-style-type: none"> • Carbon sequestration • NOX reduction • Renewable Energy • Waste to Energy 	<p>Economic Development</p> <ul style="list-style-type: none"> • Green Jobs • Clean Technology • Sustainable Growth Industry 

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Razvoj NC strojeva

- **1947:** J. Parsons počeo eksperimente za realizaciju NC upravljanja
- **1949:** Početak rada na projektu prvog NC stroja (US Air Force)
- **1952:** na MIT prikazano 3-osno simultano gibanje upravljano računalom (Cincinnati HYDROTEL)
- **1957:** instalacija numerički upravljanog alatnog stroja U INDUSTRIJI
- **1959:** Razvoj automatskog programiranja i programskog jezika APT (APT - Automaticaly Programmed Tools).
- **1960:** Direktno numeričko upravljanje – DNU (Direct Numerical Control -DNC). Omogućeno je izravno slanje programa iz DNC računala u UR CNC stroja (bušena vrpca nije nužna).
- **1968:** u firmi Kearney & Trecker izrađen je prvi obradni centar
- **1970-te:** pojava CNC alatnih strojeva, a odmah nakon toga Distribuiranog numeričkog upravljanja – DNU (Distributed Numerical Control – DNC).
- **1980-te:** pojava CAM CAD/sustava. Javljuju se CAD/CAM sustavi za OS Unix, a kasnije i za OS-e za PC (WINDOWS).
- **2000-te:** UR otvorene arhitekture
- **2013.** INDUSTRY 4.0 (Virtualni alatni strojevi; Digitalni blizanci; ...)

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Razvoj NC strojeva – 1. NC stroj



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Razvoj NC strojeva

Primjer obratka koji je obrađivan na prvom NC stroju



Pripremak

**Bušena vrpca
(program)**

Krivulja

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

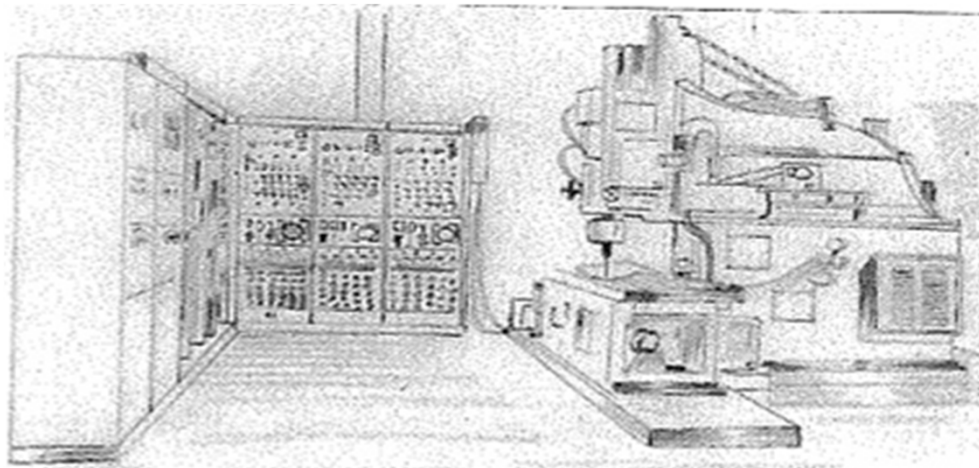
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Razvoj NC strojeva



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

Izvor: nepoznat

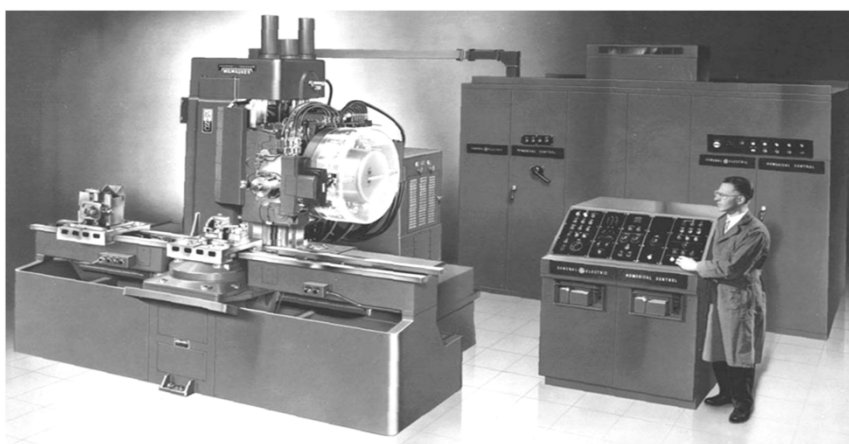
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Jedan od prvih industrijskih NC strojeva (1958)



AIA

Bez obzira na prednosti (točnost, ponovljivost, ekonomičnost), ulazak NC strojeva u industriju nije išao prema očekivanjima. Kako bi ubrzali proces primjene NC strojeva, MO USA je kupilo 120 NC strojeva i rasporedilo ih po raznim tvrtkama. Krajem 50-tih (još se radi s bušenom vrpcom, nema "G-koda", ...)

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

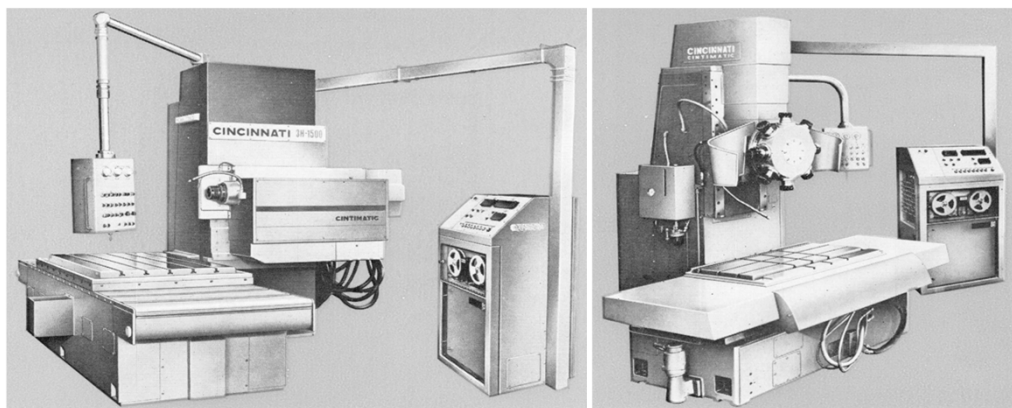
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Razvoj NC tehnike



CNC glodalica i obradni centar iz 1979.

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Razvoj NC tehnike

Razine NC-a

NC		Numerical Control
DNC		Direct Numerical Control
CNC		Computer Numeric Control
DNC		Distributed Numerical Control
AC	ACC	Adaptive Control Constraint
	ACO	Adaptive Control with Optimization
FM	FMC	Flexible Manufacturing Cell
	FMI	Flexible Manufacturing Island
	FMS	Flexible Manufacturing System
CIM		Computer Integrated Manufacturing
IMS		Intelligent Manufacturin System
BMS		Biological Manufacturing System

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

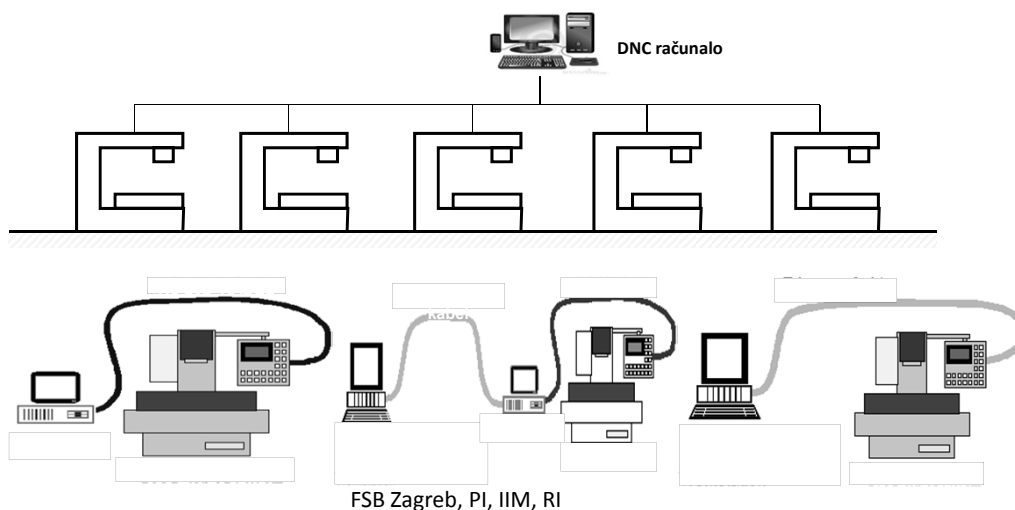
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

DNC – Direct Numerical Control
DNC – Distributed Numerical Control



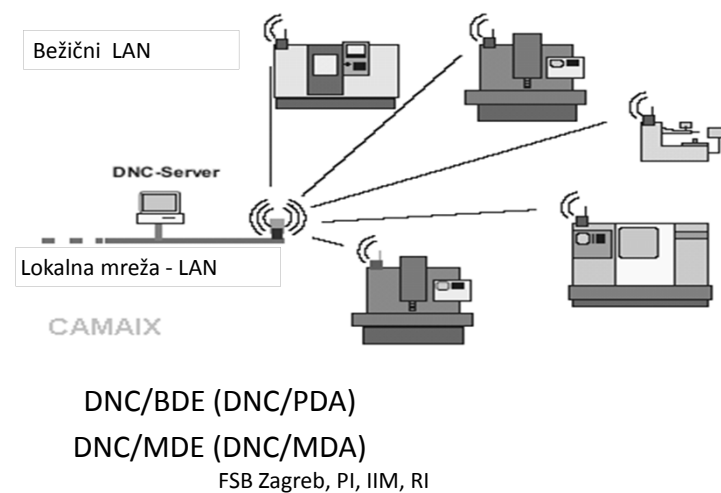
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

DNC – Direct Numerical Control
DNC – Distributed Numerical Control



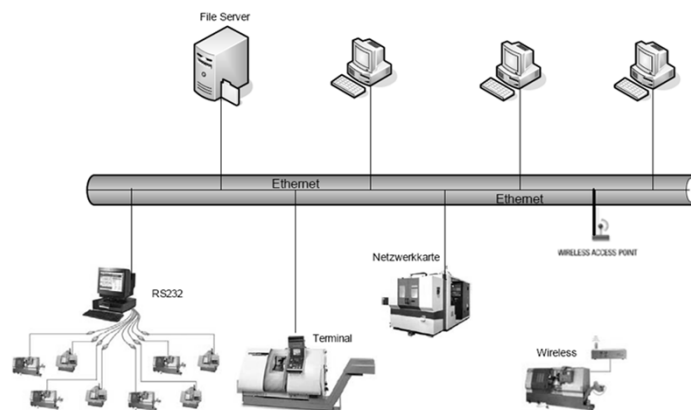
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

DNC – Direct Numerical Control DNC – Distributed Numerical Control



Kombinirani DNC sustav (objedinjuje više heterogenih pristupa)

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb

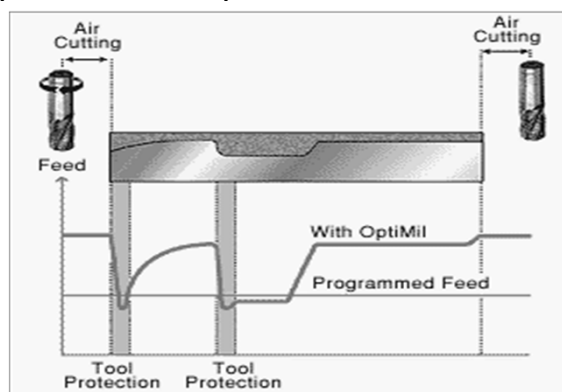


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Prilagodno upravljanje (AC - Adaptive Control)

ACC - Adaptive Control Constraint

ACO - Adaptive Control with Optimization



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Prilagodljivost obradnih sustava (proizvodnje) (Flexible Manufacturing)

FMC - Flexible Manufacturing Cell
FMI - Flexible Manufacturing Island
FMS - Flexible Manufacturing System

Integracija obradnih sustava (proizvodnje)

CIM - Computer Integrated Manufacturing

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

"Inteligencija" obradnih sustava (proizvodnje)

"Inteligencija" kod tehničkih sustava ?

Inteligentni alatni strojevi (Moriwaki) su u stanju samostalno donositi odluke ("self decision making"), a konvencionalni rade prema unaprijed definiranim naredbama ("predetermined commands").

Pored povratne sprege osjetila (dio adaptivno upravljanih strojeva koji rade s unaprijed zadanim naredbama), inteligentni strojevi su sposobni:

- koristiti iskustva i "konw how" akumuliran kroz prošle operacije,
- stjecati znanje učenjem i
- prevladati dvosmislene ulaze.

IMS - Intelligent Manufacturing System
BMS - Biological Manufacturing System
SMS - Smart Manufacturing Systems

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb

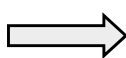


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Suvremeni obradni sustavi

Značajke današnjih proizvodnih sustava su:

- automatizacija
 - prilagodljivost
-
- integracija
 - "inteligencija"



rad bez čovjeka
(autonomnost)

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



The app-based CELOS system is a key building block in the customer-oriented digitalisation strategy of DMG MORI

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



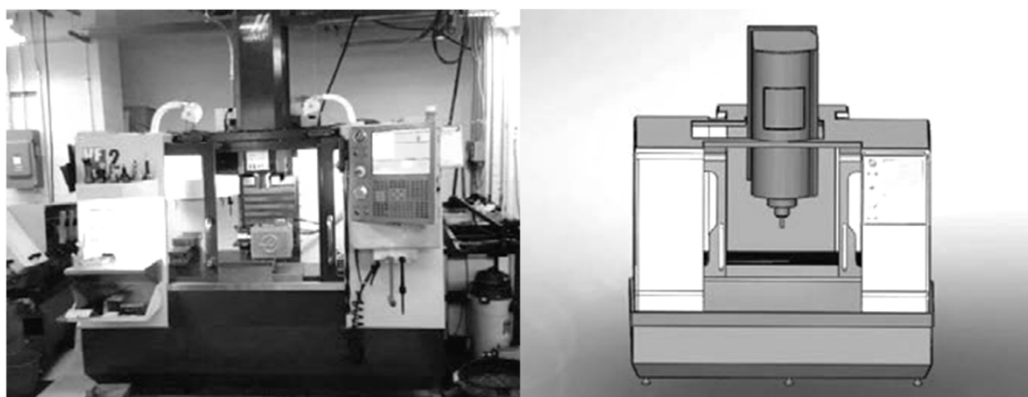
The app-based CELOS system is a key building block in the customer-oriented digitalisation strategy of DMG MORI
FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM



Haas VF-2 i digitalni bliznac (model i simulacija su samo (vanjska manifestacija))

Izvor: Yi Caia, Binil Starlya, Paul Cohena and Yuan-Shin Lee

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100

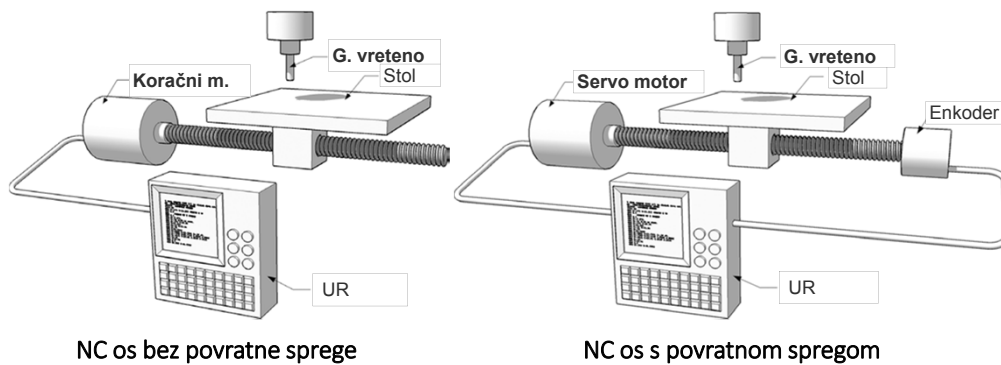
100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Osnovni principi NC-a

NC os – izvedbe



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

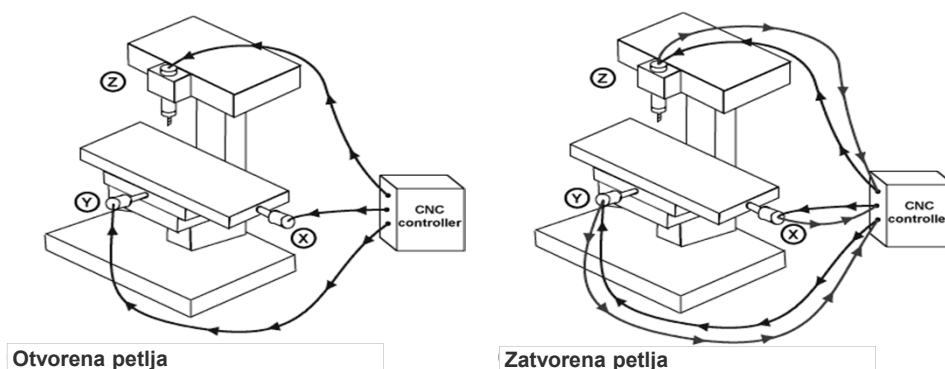
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Upravljanje gibanjem s i bez povratne sprege



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

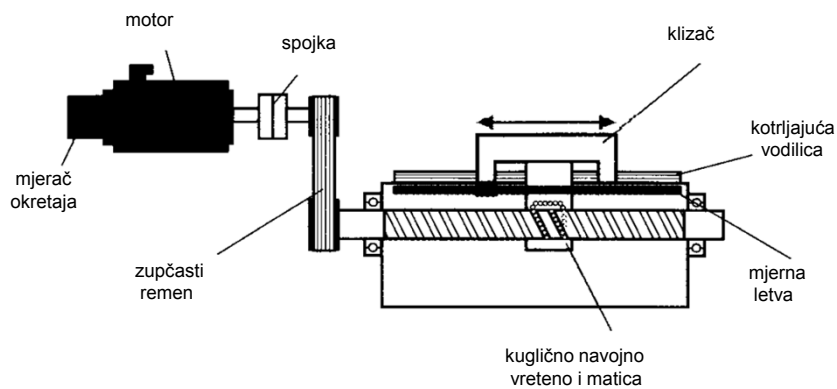
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

NC os



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

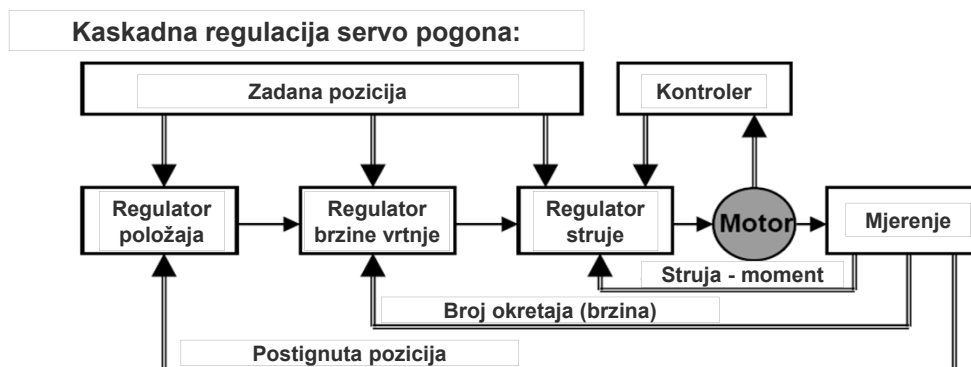
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

NC servo os



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

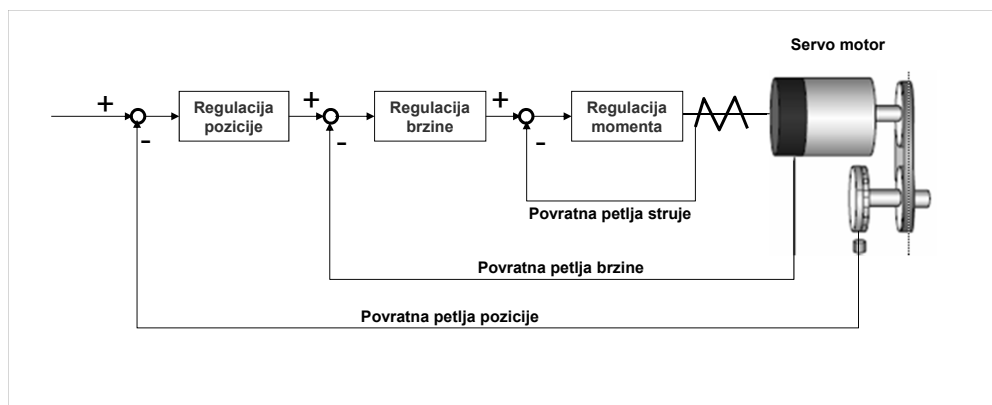
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

NC servo os – kaskadna regulacija



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

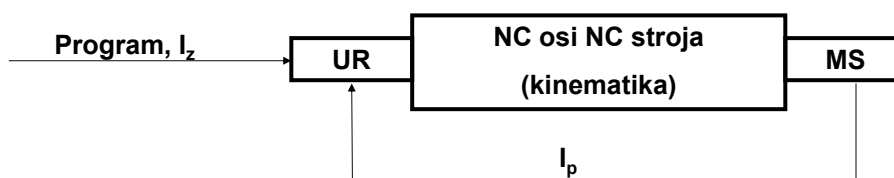
FSB
100

100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Pojednostavljena shema NC upravljanja



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

FSB
100100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb

PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

PROGRAMIRANJE – opis programiranja

Programiranje CNC strojeva je kodiranje geometrijskih i tehnoloških informacija potrebnih za izradu nekog dijela na CNC stroju.

1. Ručno programiranje
2. Automatizirano programiranje (korištenje problemski orijentiranih jezika, procesora, kao što su APT, EXAPT, COMPACT, ELAN, GTL, TC-APT, itd., za programiranje NC strojeva. (Razvoj ovakvih sustava je prestao i danas više nisu u uporabi)
3. Programiranje u CAD/CAM sustavima
4. Ekspertni sustavi i tehnike AI

FSB Zagreb, PI, IIM, RI