

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

6. semestar
PI, IIM, RI

Uvodno predavanje

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

Predavanja 2018/2019

Uvodno predavanje

Zagreb, 6. ožujka 2019.

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

Cilj kolegija

Upoznavanje s mogućnostima primjene računala u proizvodnji s naglaskom na programiranje CNC alatnih strojeva.

1. Osnove ručnog programiranja.
2. CAPP i programiranje u CAD/CAM sustavima.
3. Pregledno upoznavanje primjene računala kod koordinatnih mjernih strojeva, robota te sustava transporta i skladištenja.
4. Integracija proizvodne opreme i programabilni kontroleri.

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

Sadržaj kolegija – teme predavanja I

- Uvod – razvitak NC strojeva i počeci CAM-a.
- Osnove i priprema za programiranje NC strojeva.
- Tehnike programiranja NC strojeva.
- Osnove ručnog programiranja (osnovne G i M funkcije, primjeri).
- CAD modeliranje i utjecaj na generiranje NC programa. CAPP- povezivanje CAD-a i CAM-a. NC moduli u CAD/CAM sustavima.
- Struktura programa dijela (Part Program). CL datoteka.
- Primjena CAD/CAM sustava kod projektiranja i izrade složenih dijelova (višeosni sustavi). Generiranje putanje alata. Specifičnosti putanje kod HSM (HSC), HM i mikro 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

Sadržaj kolegija – teme predavanja II

- CAPP. Skupna (grupna) tehnologija. Varijantni i generativni CAPP.
- Aditivna proizvodnja (RP tehnike). STL datoteka.
- AC, DNC i sustavi nadzora. Programabilni kontroleri – PLC. Autonomnost obradnih sustava. Industrija 4.0.
- Numerički strojevi za druge tehnologije. Automatska regalna skladišta (ASRS), roboti i manipulatori. Programiranje robota i manipulatora. CMM strojevi i njihovo programiranje.
- Metode i tehnike digitalizacije. CAD/CAM sustavi u medicinskom inženjerstvu. Vizijski sustavi.
- FMS, CIM, IMS, BMS, RMS, AMS. Daljnji razvitak CAD/CAM sustava i NC strojeva; “Smart 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

Sadržaj kolegija - vježbe

- Priprema za ručno programiranje CNC strojeva - koordinatni sustav i nul-točke; adrese i funkcije.
- Ručno programiranje CNC tokarilica, CNC glodalica i obradnih centara, 2½ D.
- Primjena podprograma i MACRO naredbi – 3D programiranje.
- Upoznavanje CAD-a: – “sketch”, “part design”, ...
- “Sketch” - vježba iz tutoriala

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

Sadržaj kolegija - vježbe

- CAD Sketch
- Assembly - priprema za CAM
- Obrada prizmatičnih dijelova (glodanje) – 7 termina (poravnavanje; gruba vanjska obrada; obrada vanjske konture; obrada provrta - 2; "drugo" stezanje; izrada utora)
- Glodanje – generiranje dokumentacije i NC programa, ...
- Assembly - priprema za tokarenje
- Tokarenje – 3 termina (gruba vanjska obrada, bušenje; gruba i fina unutarnja obrada; vanjska fina obrada, obrada navoja)
- Tokarenje - generiranje dokumentacije i NC programa, ...
- Seminarski rad

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

Način polaganja ispita

1. Kolokviji

- a) Kolokvij 1 – osnove kinematike CNC alatnih strojeva i postupaka obrade; razvoj i osnove NC strojeva; mjerni sustavi kod NC strojeva; razine NC tehnike; priprema za programiranje i ručno programiranje; zadaci
- b) Kolokvij 2 – CAPP tehnike; programiranje u CAD/CAM sustavima; RP i RM; DNC, AC i FMS; AGV, ASRS, CMM; digitalna proizvodnja, ...

2. Seminarski rad

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

Literatura

1. Predavanja i vježbe
2. Chang, TC., Whysk, R., Wang, HP. : Computer-Aided Manufacturing, Prentice Hall, 2005
3. Altintas, Y.: Manufacturing Automation, Cambridge University Press, Cambridge 2012.
4. Suh, SH., Kang, SK., Chung, DH., Stroud, I.: Theory and Design of CNC Systems, Springer 2008
5. H.B. Kief, ...: CNC – Handbuch 2007-2017, Hanser Verlag, 2017
6. K. Apro: Secrets of 5-Axis Machining, Industrial Press, 2009
7. P.RadhaKrishnan, S.Subramanyan, V.Raju, CAD/CAM/CIM, 2015
8. CIRP i drugi zbornici radova i publikacije
9. Internet

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 podržana računalom **CAM** **Computer Aided Manufacturing**

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

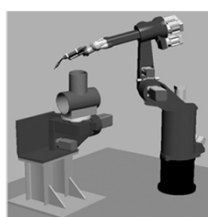
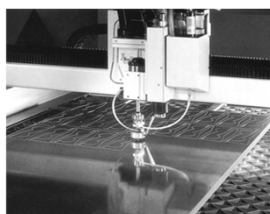
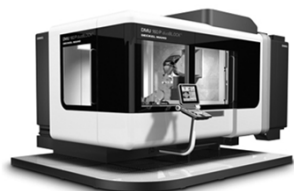
FSB
100

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

Proizvodnja podržana računalom CAM



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 podržana računalom CAM

ABB
Laser Cutting
Hot-Stamped Steel



RENISHAW
PH20
Use your head!

gom
Optical Measuring Techniques
www.gom.com

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 podržana računalom

Proizvodnja



**Manufacturing
Production**

Riječ "manufacturing" ima latinski korijen:

Manu – ruka (rukom)

Facere – izrađivati (proizvoditi)

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



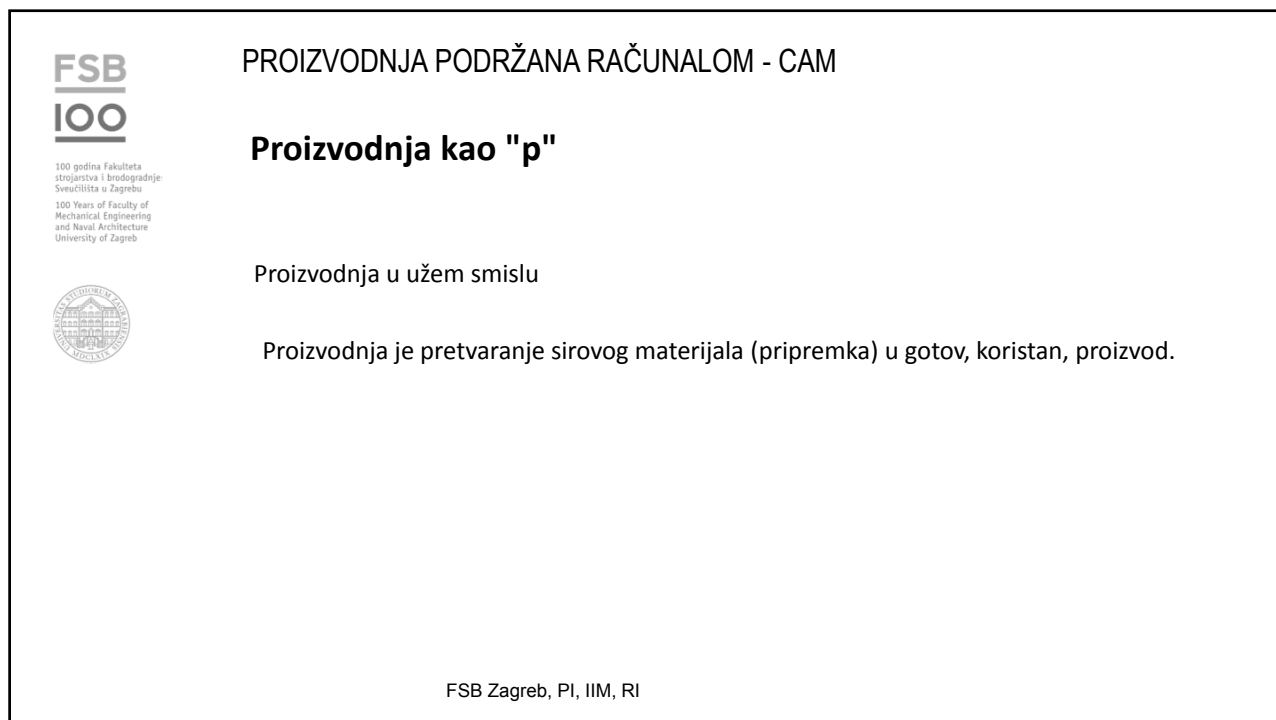
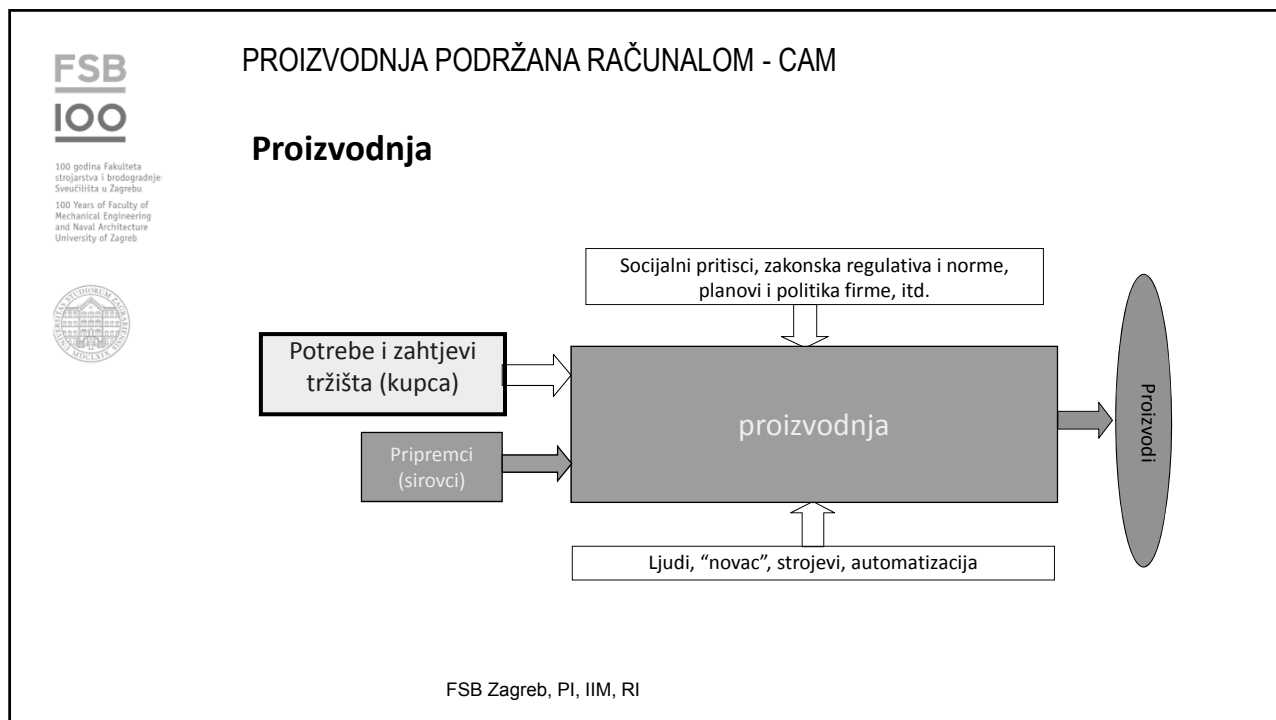
PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Proizvodnja kao "P"

Proizvodnja je proces pretvorbe ideje i potrebe tržišta ili kupca u proizvod, artefakt.

(Uključuje niz djelatnosti: od istraživanja tržišta, financiranja, projektiranja, proizvodnje u užem smislu, testiranja, održavanja, ljudskih potencijala, marketinga, itd., tj. sve djelatnosti u "životnom vijeku" proizvoda, PLM)

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

Proizvodne tehnologije

" proizvodnja " s malim p

Proizvodnja je pretvaranje priprema u koristan proizvod.



Odvajanje
(Oduzimanje)

“ - ”



Spajanje
(Sastavljanje)

“ + ”



Deformiranje
(Premještanje)

“ 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

Nove tehnologije izrade dijelova (artefakata)

Niz novih tehnologija pod nazivom aditivna proizvodnja (RP ili Layered manufacturing ili Generic manufacturing).

Koriste se za izradu prototipova, a sve više i za proizvodnju u manjim serijama.

Nedostaci: još uvijek visoka cijena opreme, ograničen broj materijala koji se mogu uspješno koristiti, mehanička svojstva, hrapavost, ...

Hibridna proizvodnja je niz tehnologija koje najčešće kombiniraju postupke aditivnih tehnologija i obrade odvajanjem.

Na jednom stroju primjena aditivnih tehnologija i obrade odvajanjem s ciljem postizanja učinka 1+1>2.

Nedostaci: vrlo visoka cijena opreme, ograničen broj materijala koji se mogu uspješno koristiti, ...



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

Što je proizvodnja ?

AIT – Asian Institute of Technology

Proizvodnja je djelatnost kojom se generira blagostanje naroda. Ako se želi postići visoka produktivnost proizvodnje, proizvodnja podržana računalom (CAM) nema alternative. Stoga su za gospodarski rast nacije neophodni kadrovi s dobrim temeljima u CAD/CAM tehnologijama.

Kako bi se udovoljilo takvim potrebama proizvodnih djelatnosti, neophodni su kolegiji u kojima su zastupljeni sadržaji koji obuhvaćaju CAD/CAM tehnologije.

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

Što je proizvodnja ?

Proizvodnja (izrad(b)a), u najširem smislu, obuhvaća sve aktivnosti uključene (potrebne) pri izradi nekog proizvoda.

Suvremeni pristup proizvodnji

Suvremeni pristup proizvodnji, u kombinaciji sa širokom, sveobuhvatnom, primjenom računala rezultirao je nizom proizvodnih koncepcija i pridruženih tehnologija.

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

Što je proizvodnja ? - CAx

CAD – odnosi se na sve aktivnosti u fazi projektiranja i konstrukcije podržane računalom. To obično podrazumijeva analizu, modeliranje, testiranje i izradu dokumentacije.

CAM – najčešće se opisuje kao primjena računala za upravljanje strojevima (prvenstveno CNC strojevima) i uređajima u proizvodnji, ili šire kao primjena računala u svim aktivnostima u proizvodnim pogonima (često se mijenja s CAPP-om)

CAPP – obuhvaća sve aktivnosti planiranja procesa podržane računalom.

CIM – podrazumijeva računalnu integraciju svih proizvodnih aktivnosti (CAD, CAM, CAPP, CAT, CAQ, itd.)

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

Što je proizvodnja ? - proizvodni principi

Group Technology - Skupna (grupna) tehnologija – koncepcija u kojoj se dijelovi svrstavaju i proizvode u odgovarajućim skupinama. Grupiranje se provodi klasifikacijom dijelova obzirom na sličnost oblika i tehnologije izradbe, tj. klasifikacijom obzirom na dizajn i tehnologiju.

Cellular Manufacturing – Stanična (ćelijska) proizvodnja – koncepcija skupne tehnologije dovela je do razvitka proizvodnih stanica (ćelija) unutar kojih se mogu proizvoditi dijelovi sličnih značajki.

Flexible Manufacturing Systems – Fleksibilni proizvodni sustavi – koncepcija u kojoj je ostvarena integracija proizvodnih stanica (ćelija), a po mogućnosti uključuje i robote, ASRS, AGV i sl.

Just-in-time production (JIT) – koncepcija koja uključuje dostavu materijala, proizvodnju dijelova i sl., upravo u trenutku kada je to potrebno. Time se smanjuju troškovi skladištenja i proizvodnje.

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

Što je proizvodnja ? - proizvodni principi

Agile Manufacturing - Agilna proizvodnja - podrazumijeva proizvodnju koja je dovoljno fleksibilna da odgovori promjenama u dizajnu i tehnologiji koje su nastale kao posljedica potreba kupca ili tehnoloških promjena.

Concurrent Engineering - Istodobno inženjerstvo – odnosi se na inženjersku praksu u kojoj se pojedine inženjerske aktivnosti (po mogućnosti sve, odnosno što više) razmatraju i odvijaju istodobno.

Lean Manufacturing

Smart Manufacturing;

Autonomous Manufacturing

Intelligent Manufacturing – optimizacija u cijelom lancu vrijednosti

Virtual and Digital Manufacturing

Industry 4.0

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

Što je proizvodnja ? - proizvodni principi

Lean Manufacturing
Green Manufacturing
Sustainable Manufacturing
Industry 4.0
Internet of Things

DFM- design for manufacturing – dizajn za izradu

DFM- design for maintenance – *dizajn za održavanje*

DFA- design for assembly – dizajn za sklapanje (montažu) $\Sigma \rightarrow$

DFE- design for environment – dizajn za okoliš

DFR- design for recycling – dizajn za recikliranje

doobar dizajn

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

CAM - značaj računala u proizvodnji

Značaj računala u svim fazama životnog vijeka proizvoda je sve veći.

CAD – Computer Aided Design, javlja se početkom 50-tih. Računala prodiru u sve aspekte razvoja i dizajna proizvoda. CAD sustavi su se razvili od jednostavnih alata za 2D crtanje (2D-drafting) do današnjih “solid modelera”.

CAM - Computer Aided Manufacturing javlja se približno u isto vrijeme kada i CAD, a motivirano prvim NC strojem (prvi NC stroj je proradio 1952., a prvi jezik za programiranje NC strojeva 1957.).

- CAD i CAM sustavi se razvijaju odvojeno
- CAD i CAM svaki za sebe ostvaruju značajna povećanja učinkovitosti
- nezavisan razvoj CAD-a i CAM-a ograničio je moguća poboljšanja kroz sve faze od dizajna, izrade, održavanja, uporabe (PLM)
- komunikacija između CAD-a i CAM-a postaje usko grlo na putu ka daljnjem povećanju učinkovitosti proizvodnje.

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

O proizvodnji

Diskretna i kontinuirana proizvodnja

Diskretna – konačan broj diskretnih koraka
dijelovi & proizvodi su odvojivi entiteti
TV, automobil, računalo,

Kontinuirana – kontinuirani procesi

U ovom kolegiju se bavimo isključivo diskretnom proizvodnjom.

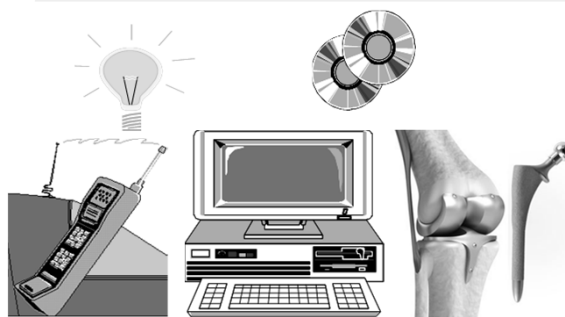
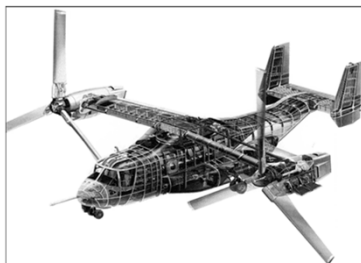
FSB Zagreb, PI, IIM, RI

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

Primjeri diskretnih proizvoda



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

CAM - Columbia Encyclopedia

CAM je oblik automatizacije u kojem se radne (operativne) informacije proizvodnoj opremi, strojevima, predaju izravno iz računala. Ta tehnologija se razvila iz numerički upravljanih strojeva s početka 50-tih, čijim radom se upravljalo pomoću niza kodiranih naredbi sadržanih na bušenim karticama ili bušenoj vrpci. Današnja računala mogu upravljati radom niza robota, glodalica, tokarilica, strojeva za zavarivanje i drugih strojeva i uređaja, transportirajući obradak od stroja do stroja, kada je operacija na prethodnom stroju završena. Takvi sustavi dozvoljavaju jednostavno i brzo reprogramiranje, što omogućuje brzu primjenu konstrukcijskih promjena. Napredniji sustavi, koji su obično integrirani s CAD sustavima, mogu upravljati i takvim zadaćama kao što su narudžbe dijelova, raspoređivanje i izmjena alata.

(CAM), a form of automation where computers communicate work instructions directly to the manufacturing machinery. The technology evolved from the numerically controlled machines of the 1950s, which were directed by a set of coded instructions contained in a punched paper tape. Today a single computer can control banks of robotic milling machines, lathes, welding machines, and other tools, moving the product from machine to machine as each step in the manufacturing process is completed. Such systems allow easy, fast reprogramming from the computer, permitting quick implementation of design changes. The most advanced systems, which are often integrated with computer-aided design systems, can also manage such tasks as parts ordering, scheduling, and tool replacement.

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

CAM - ENCYCLOPEDIA HUTCHINSON

Primjena računala za upravljanje proizvodnim procesima; posebno, upravljanje robotima i alatnim strojevima u proizvodnim pogonima. U nekim tvrtkama, povezivanjem CAD-a i CAM-a, ostvarena je automatizacija cjelokupnog sustava projektiranja, konstrukcije i izrade. Povezivanjem fleksibilne CAD/CAM proizvodnje s računalski podržanim metodama prodaje i distribucije kreira se sustav računalom integrirane proizvodnje koji omogućuje jeftinu i serijsku (u većim količinama) proizvodnju "semi-customized" proizvoda. Računala se često koriste za upravljanje procesima u čitavom nizu industrija, od petrokemijske i industrije čelika, pa do elektroničke industrije i prehrambene industrije.

Use of computers to control production processes; in particular, the control of machine tools and robots in factories. In some factories, the whole design and production system is automated by linking CAD (computer-aided design) to CAM. Linking flexible CAD/CAM manufacturing to computer-based sales and distribution methods, creating a computer integrated manufacturing system, makes it possible to produce semi-customized goods cheaply and in large numbers. Computers are commonly used to control industrial processes in many industries, from petrochemicals and steel, to electronic engineering and food processing.

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

CAM kao dio CIM-a

Wikipedia

Computer-integrated manufacturing (CIM) je proizvodnja (izrada) integrirana računalom. To je potpuna integracija CAD-a i CAM-a kao i drugih poslovnih operacija (funkcija) i baza podataka. Neke komponente CIM-a su CAD (Computer Aided Design), CAP (Computer Aided Planning), CAM (Computer Aided Manufacturing), CAQ (Computer Aided Quality Assurance).

Prema CASA/SME

Computer-integrated manufacturing (CIM) Cjelokupna integracija proizvodnog poduzeća korištenjem integriranih sustava i podatkovnih komunikacija u kombinaciji s novim filozofijama upravljanja koje unaprjeđuju organizacijsku i kadrovsku učinkovitost .

FSB Zagreb, PI, IIM, RI
CASA/SME (Computer and Automated Systems Association/Society of Manufacturing Engineers)



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

CAM

Što je CAM ?

Učinkovita primjena računala u proizvodnji.

- a) Izravna (direktna) primjena – upravljanje i nadzor (upravljanje i nadzor uređajima, NC, PLC, proizvodne stanice (ćelije))
- b) Posredna (indirektna) primjena – podrška izradi - planiranje, MRP, planiranje procesa, raspoređivanje (scheduling), zalihe (inventory), upravljanje pogonom, ...

FSB Zagreb, PI, IIM, RI



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

Povijest CAM-a

1950-te	NC - "ožičeno" relejno upravljanje; APT jezik za programiranje NC
1960-te	Industrijski robot Interaktivna računalska grafika
1970-te	CNC upravljačka računala DNC/FMS CAD/CAM PLC upravljanje uređajima i stanicama Računalski vid (Computer vision) 3-D CAD
1980-te	Solid modeling Tvorničke mreže (Factory networking) MAP/TOP CIM Istodobno inženjerstvo (Concurrent engineering)
1990-te	Inteligentni proizvodni sustav
... -te	Održiva proizvodnja, ...

INDUSTRY 4.0

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

Prednosti CAM-a

- manje zalihe
- učinkovitije korištenje tvorničkog i skladišnog prostora
- kraće vrijeme pripreme stroja i obratka
- uštede u izravnom (direktnom) i posrednom (indirektnom) radu
- kraće vrijeme protoka pozicije

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

Trenutni problemi za primjenu CAM-a

1. Značaj proizvodnje još uvijek nije dovoljno naglašen.
2. Dizajner dizajnira proizvod imajući na umu funkciju. (Još uvijek nedovoljna interakcija konstrukcije i tehnologije)
3. Proizvodnim inženjerima nedostaje pregled ukupnog proizvodnog koncepta.
4. Sustavi nisu integrirani.

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

Dodatni zahtjevi kod primjene CAM-a

- Programiranje
- Potreba dizajna i izrade specijalnih alata
- Provjera programa - želja da već 1.-vi obradak bude dobar
- Održavanje - sofisticiraniji sustavi.

Projektiranje (dizajniranje) proizvoda i proizvodnih procesa odvija se istodobno.

" U procesu realizacije proizvoda treba izbjeći fokusiranje na samo jedan aspekt."

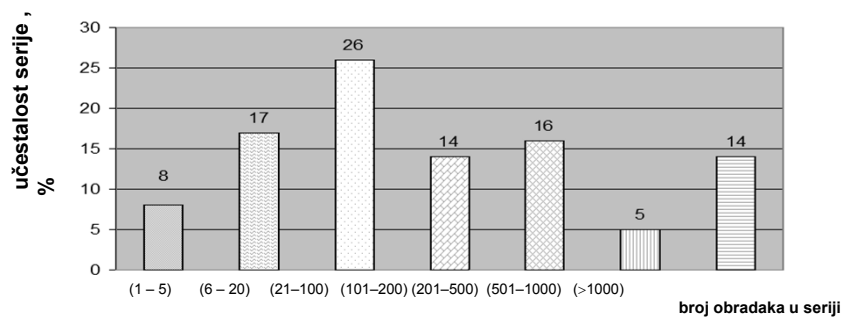
FSB Zagreb, PI, IIM, RI

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

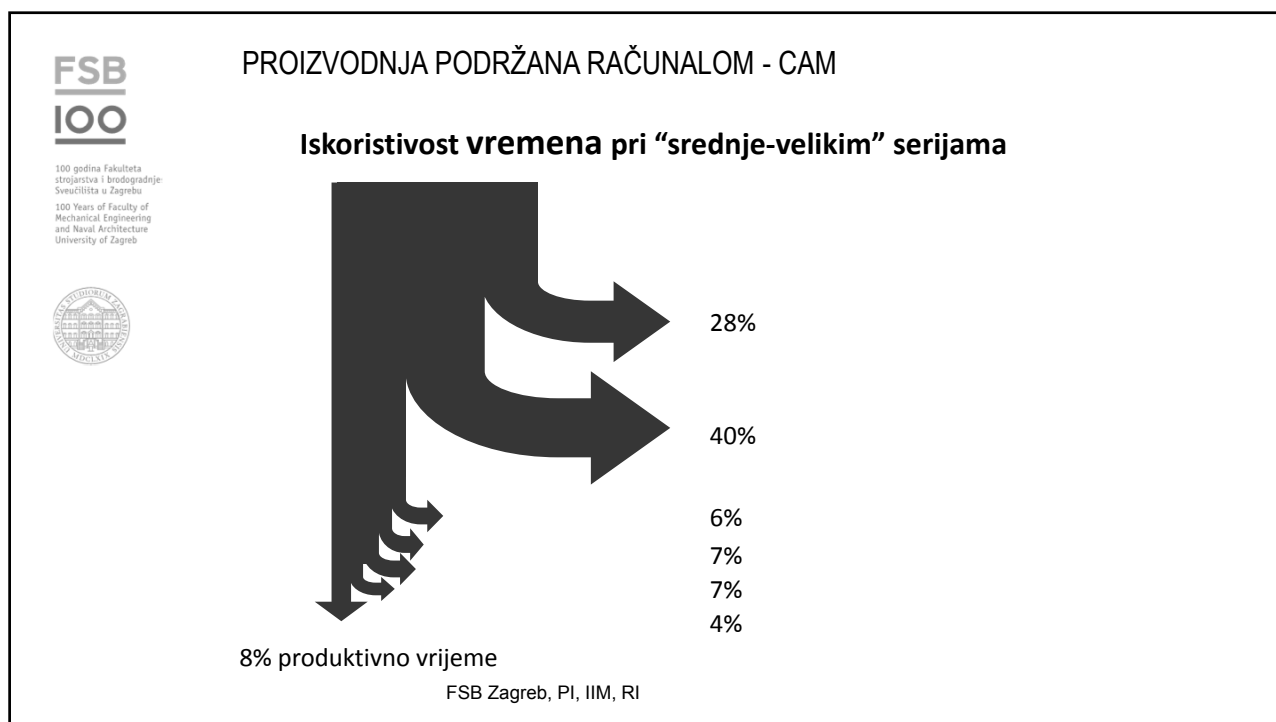
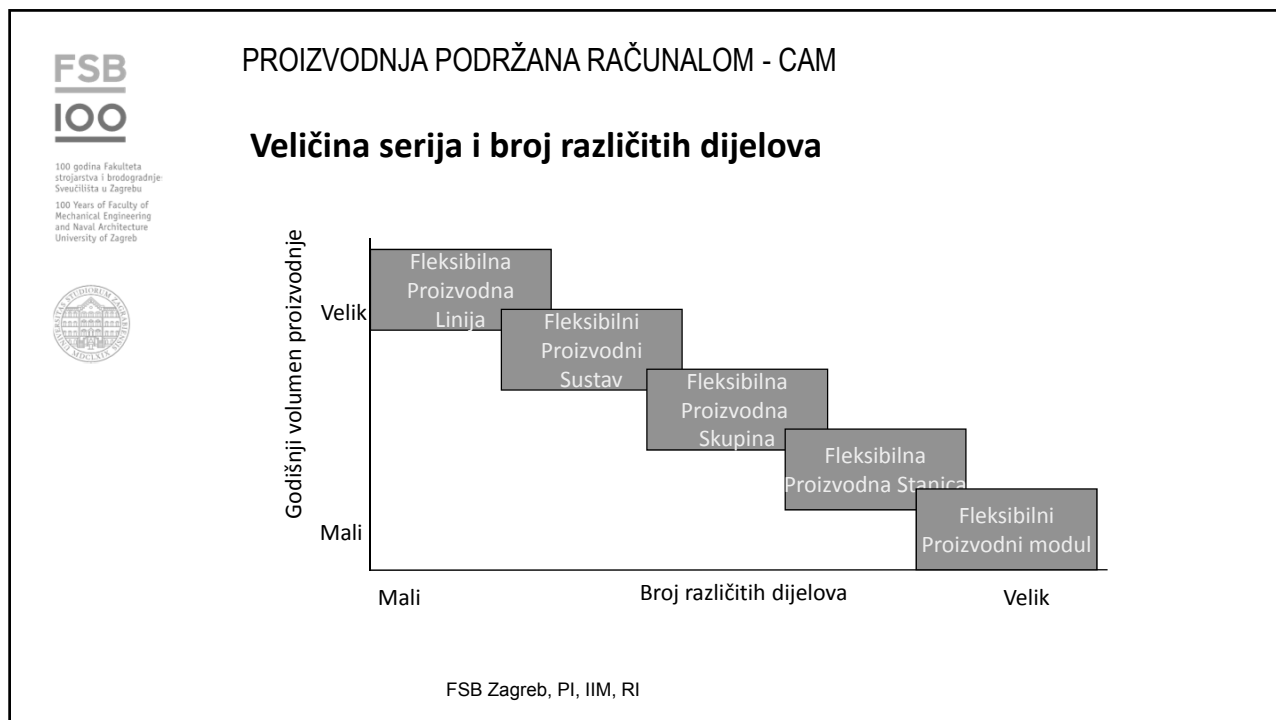
Zastupljenost serija u diskretnoj proizvodnji



Raspodjela veličina serija u strojogradnji Velike Britanije

P.S. U SAD-u oko 75% proizvoda izrađuje se u konvencionalnim proizvodnim radionicama u serijama manjim od 50 komada. (~80% proizvodnih tvrtki u USA su male tvrtke)

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

Raspodjela zauzetosti stroja kod klasičnih alatnih strojeva



Zauzetost klasičnih strojeva

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

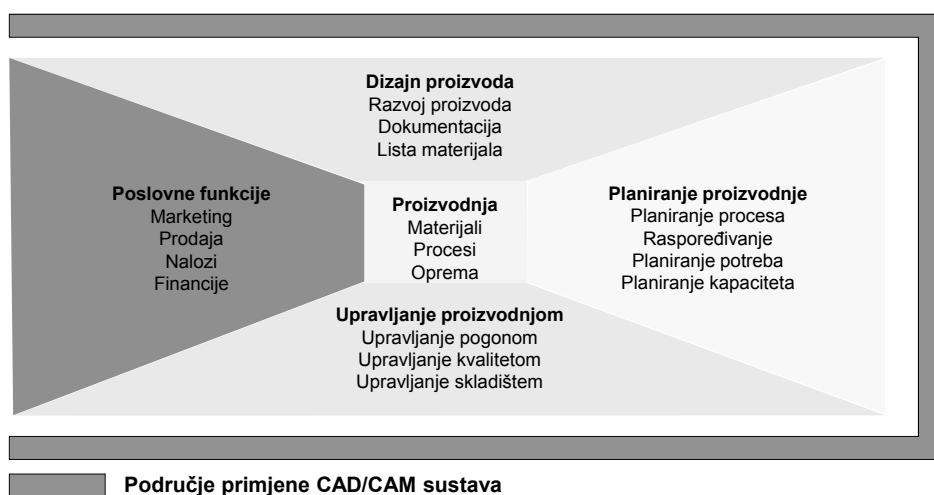
FSB
100

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

Tradicionalni pristup organizaciji



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

Suvremena proizvodnja- obilježja suvremenog tržišta

- skraćenje vijeka trajanja proizvoda na tržištu
- smanjenje veličine serije proizvoda
- povećanje broja varijanti proizvoda
- povećanje utjecaja i želja kupaca na oblik i karakteristike proizvoda
- utjecaj konkurencije
- jeftiniji i kvalitetniji proizvodi

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

Suvremena proizvodnja – zahtjevi

- zahtjevi za većom produktivnošću i kraćim vremenima obrade
- zahtjevi za većim iskorištenjem alatnih strojeva
- smanjenje potrebnog proizvodnog prostora
- zahtjevi za stalnim povećanjem kvalitete obrade
- pouzdanije planiranje proizvodnje - JIT
- minijaturizacija dijelova
- individualizacija proizvodnje
- veća kompleksnost obradaka
- zahtjevi očuvanja okoliša i poboljšanje uvjeta rada radnika
- novi, teže obradivi materijali obradaka

FSB Zagreb, PI, IIM, RI

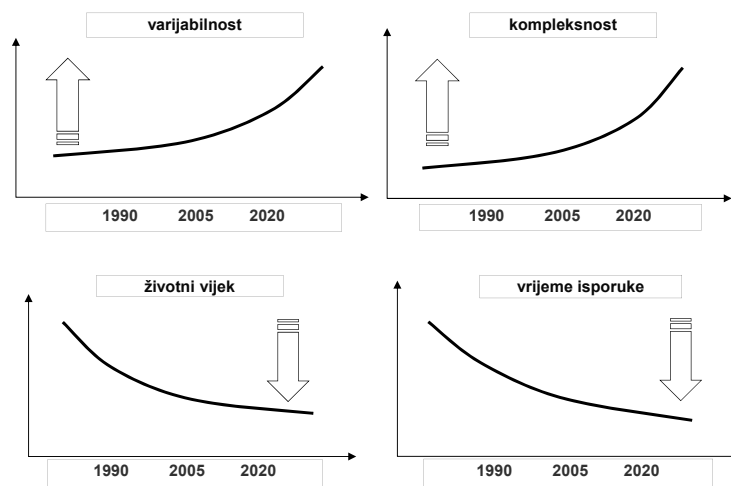
FSB
100

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

Suvremena proizvodnja – obilježja proizvoda



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

Suvremena proizvodnja - razvoj proizvoda

- intenzivan razvoj proizvoda (kratki vremenski ciklus razvoja i usvajanja, RPD i RM)
- konstrukcije proizvoda prilagodljive brzim izmjenama, dopunama i inovacijama
- konstrukcija familije sličnih proizvoda
- konstrukcija proizvoda prilagodljiva manipulaciji s robotima
- proizvod dopadljiviji kupcu, jeftiniji i kvalitetniji

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

Suvremena proizvodnja- obilježja proizvodnih sustava

- velika fleksibilnost i mogućnost brze reakcije na zahtjeve tržišta
- visoki stupanj iskorištenja radnog vremena
- smanjenje proizvodnih troškova (rentabilnost)
- održavanje kvalitete proizvoda uz minimalni otpad
- autonoman rad

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

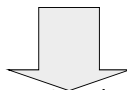


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Suvremena proizvodnja

Uspješna diskretna proizvodnja doživjela je značajne promjene.

- Velike serije – jedan proizvod – duga vremena razvoja



- Male serije – više različitih proizvoda – kratka vremena razvoja – česte promjene

FSB Zagreb, PI, IIM, RI



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Suvremena proizvodnja

Prema dosadašnjim rezultatima NGM (Next Generation Manufacturing) ključni faktori koji oblikuju uvjete tržišne utakmice 21. stoljeća i postoje neovisno o djelovanju bilo koje pojedinačne tvrtke ili nacije su:

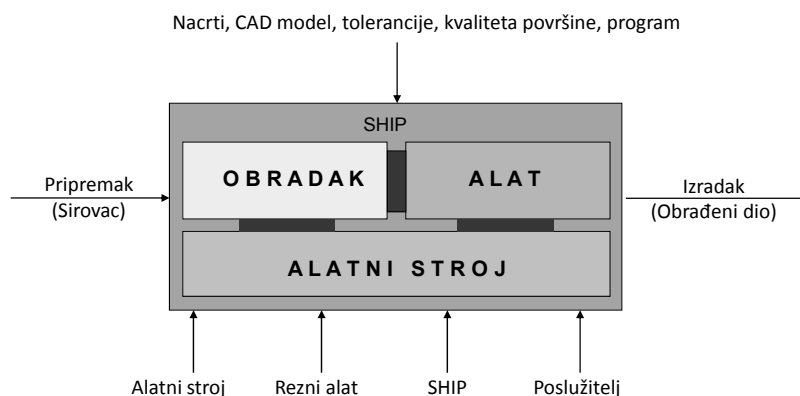
- Svekolika dostupnost i distribucija informacija
- Ubrzani ritam promjena u tehnologijama
- Brzo širenje dostupnosti tehnologija
- Globalizacija promjena u plaćama i stručnosti
- Odgovornost za okoliš i ograničeni prirodni resursi
- Veća očekivanja i zahtjevi potrošača.

FSB Zagreb, PI, IIM, RI



PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Obrada 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

Suvremena proizvodnja

POSTUPCI OBRADE

VBO (HSM)
"TVRDE" OBRADNE (HARD MACHINING)
SUHE OBRADNE (DRY MACHINING)
OBRADNE S MIN. PRIMJENOM SHIP-a (MQL, MQC, MQL/C)
LASERSKE OBRADNE
MICRO OBRADNE
VISOKOUČINSKE OBRADNE
NEKONVENCIONALNE OBRADNE
KRIOGENE OBRADNE
HIBRIDNE OBRADNE

REZNI ALATI

MATERIJALI
GEOMETRIJE
PREVLAKE
PRIHVATI

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

Suvremena proizvodnja

MATERIJALI OBRADAKA

Ti i Ti-legure
KOMPOZITNI MATERIJALI
KERAMIKE
BIOLOŠKA TKIVA, ...

ALATNI STROJEVI

AUTOMATIZACIJA
INTEGRACIJA
PRILAGODLJIVOST (FLEKSIBILNOST)
"INTELIGENCIJA"

UPRAVLJANJE

MONITORING
AC
AI
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

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

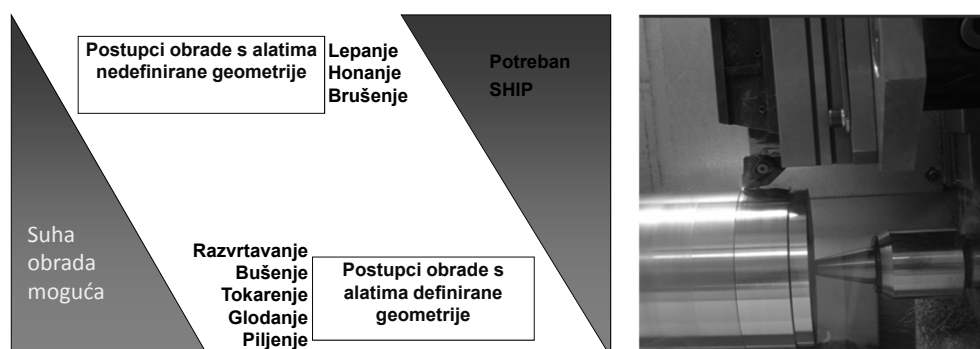
FSB
100

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.

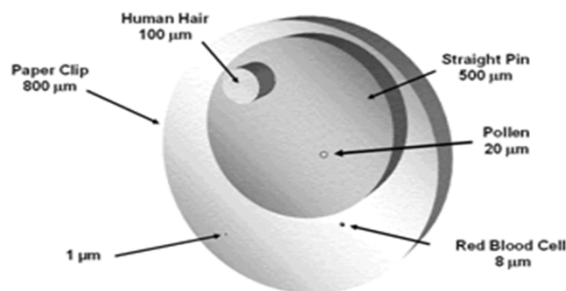


Figure 1
What is a micron?

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

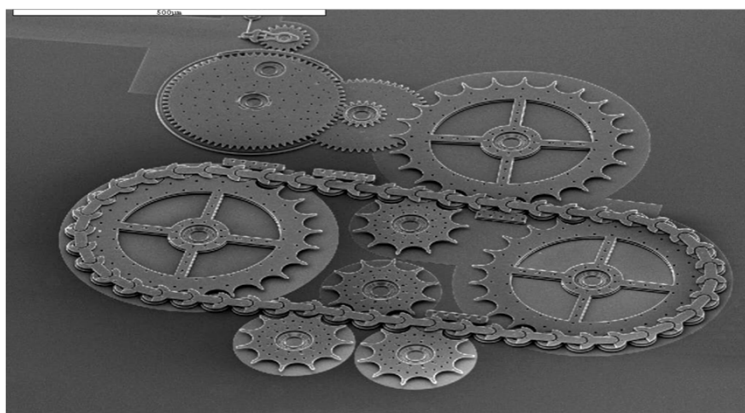


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Trendovi u obradama

Primjer mikro obrade u obradi lančanika

500 μm



FSB Zagreb, PI, IIM, RI

SANDIA

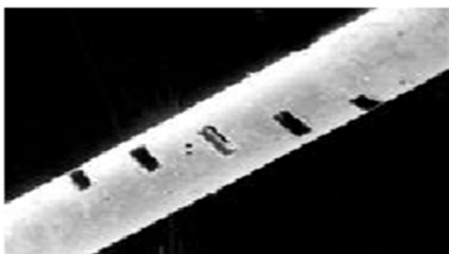
FSB
100

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

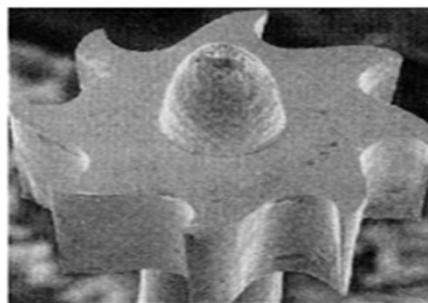


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

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

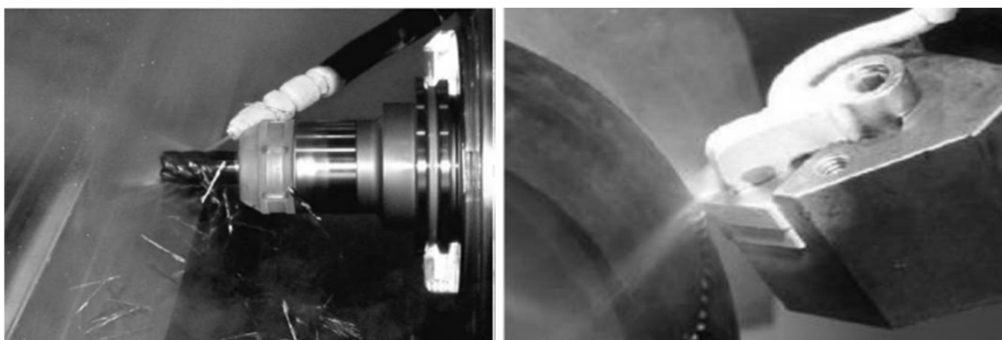
FSB
100

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

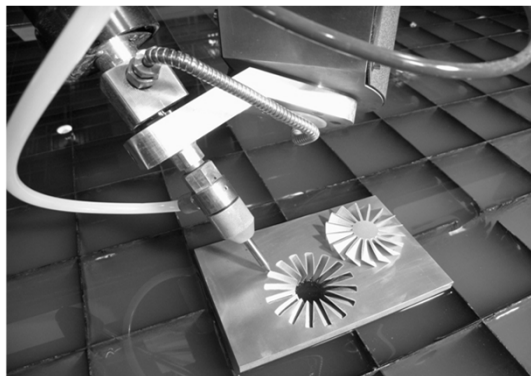
FSB
100

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

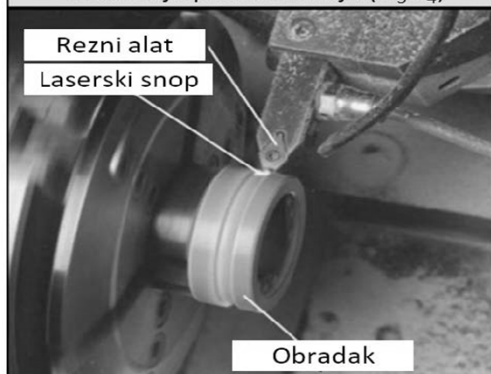
100 godina Fakulteta
strojarstva i brodogradnje
Sveučilišta u Zagrebu
100 Years of Faculty of
Mechanical Engineering
and Naval Architecture
University of Zagreb



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