



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

10. predavanje 2018/2019

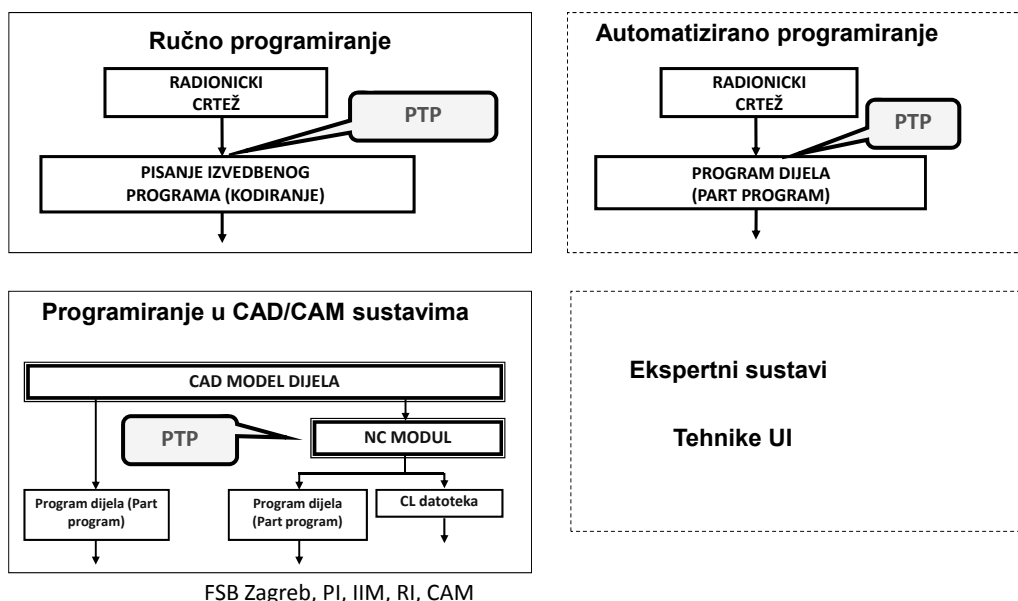
Zagreb, 10. travnja 2019.

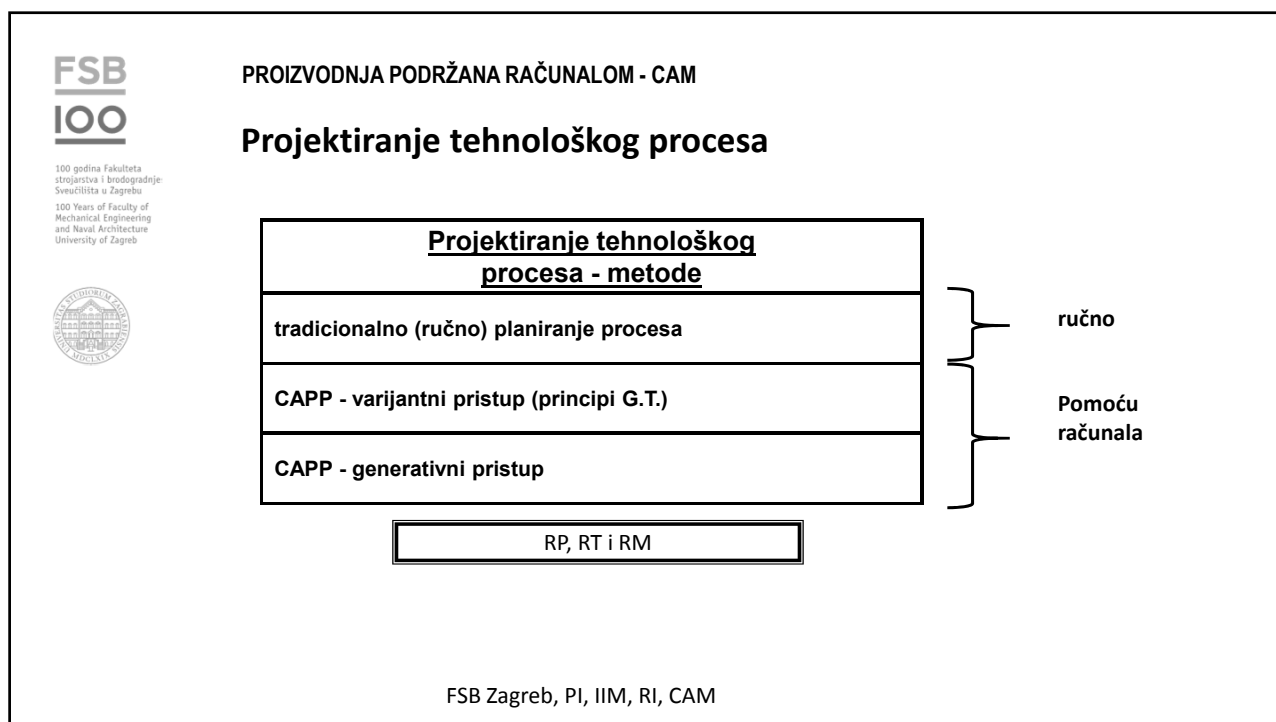
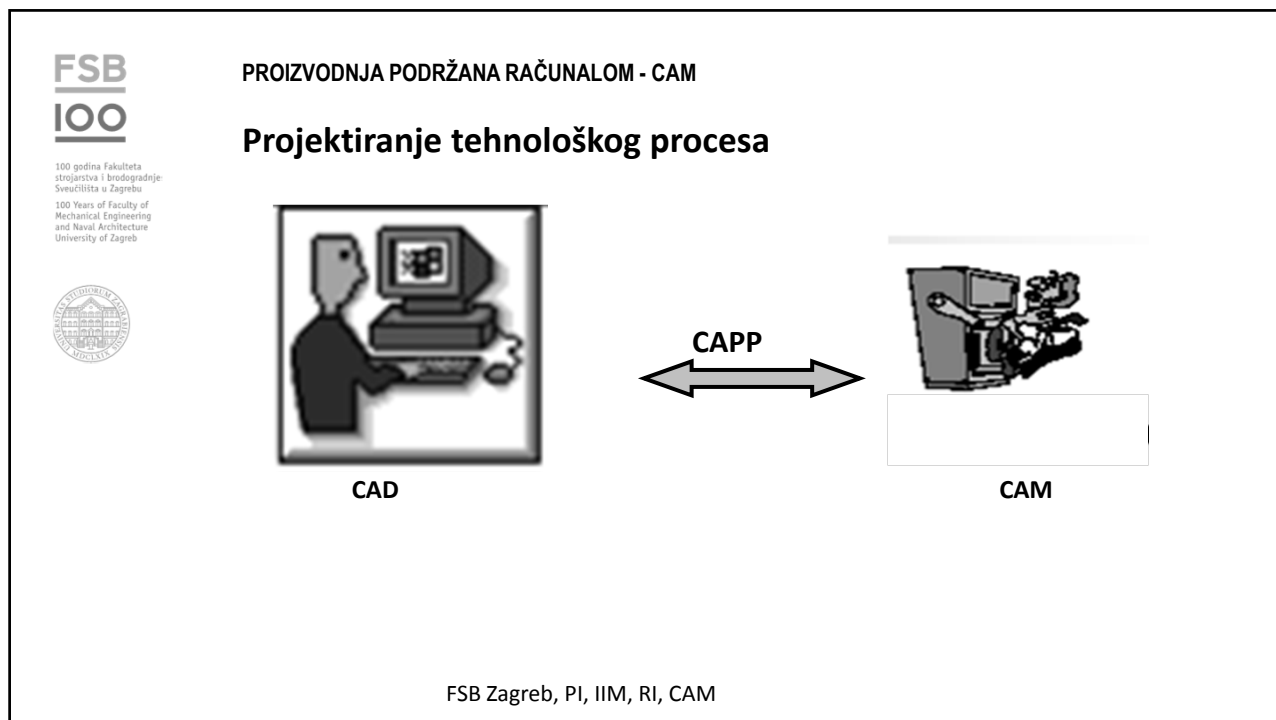


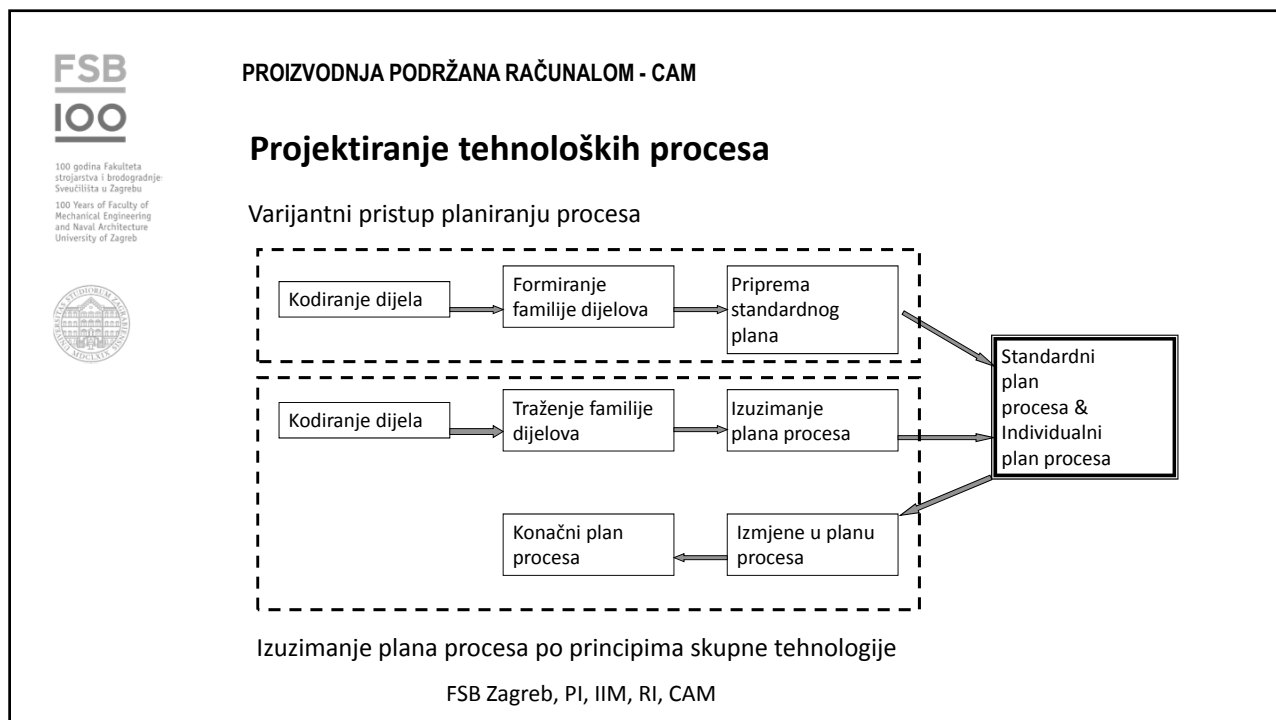
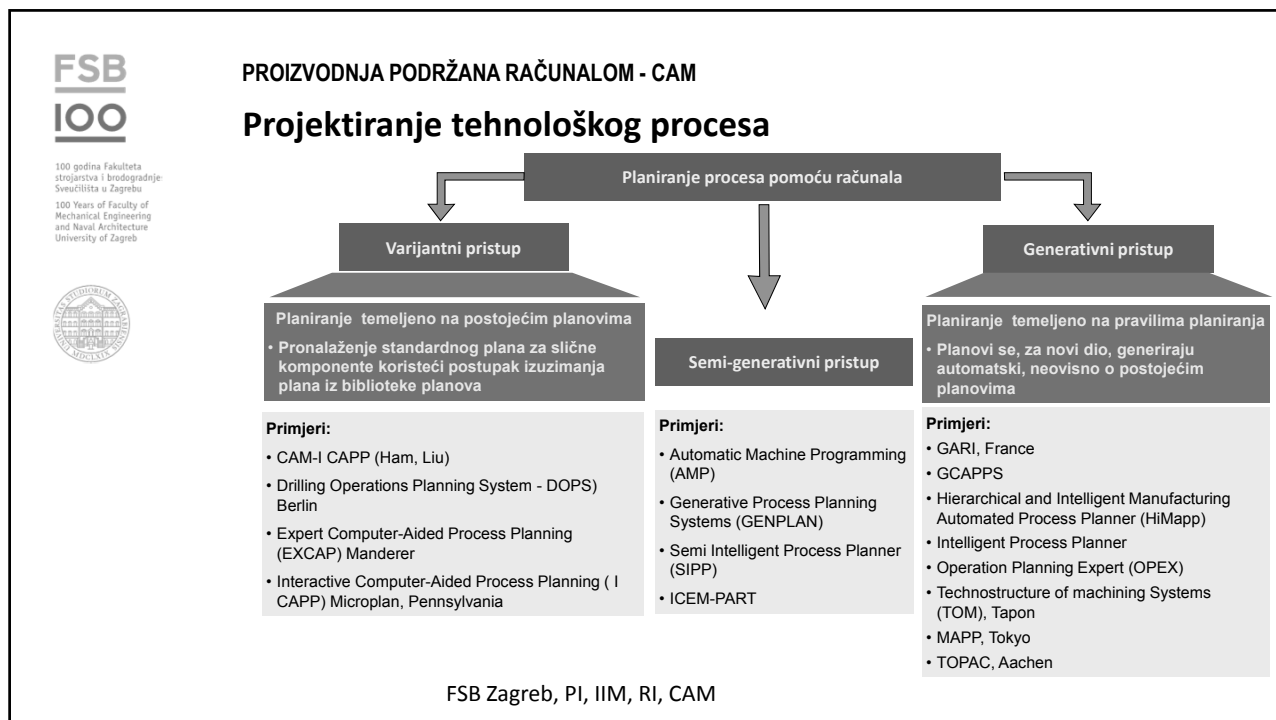
100 godina Fakulteta  
strojarstva i brodogradnje  
Sveučilišta u Zagrebu  
100 Years of Faculty of  
Mechanical Engineering  
and Naval Architecture  
University of Zagreb

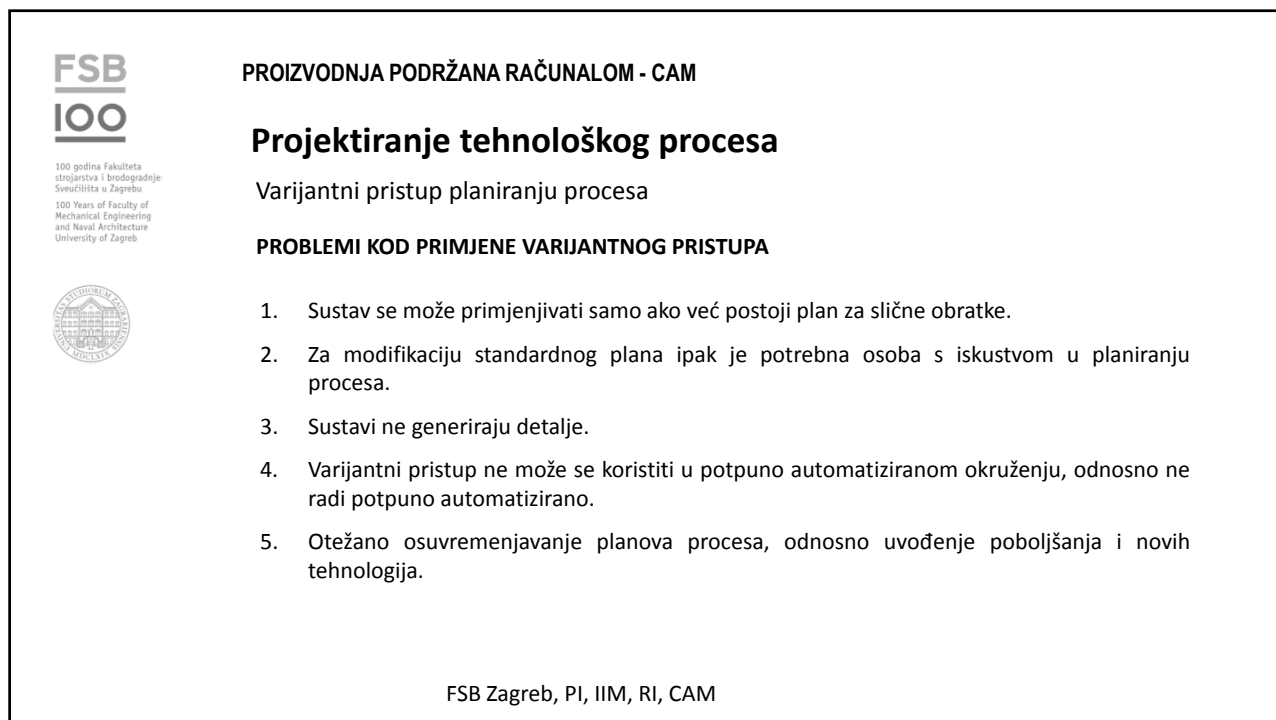
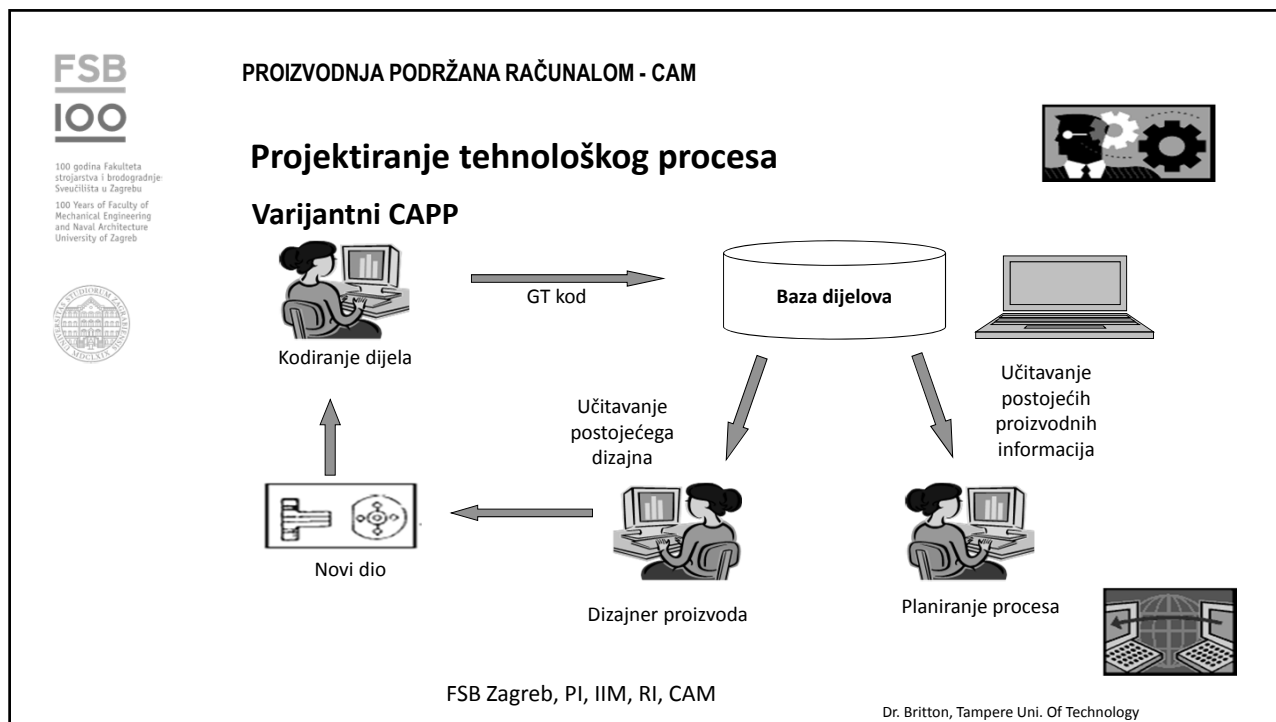


### PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM









**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

## Projektiranje tehnološkog procesa

### Varijantni pristup planiranju procesa

#### Prednosti varijantnog pristupa

1. Kada se jednom uspostavi standardni plan procesa moguće ga je koristiti za planiranje procesa cijelog niza dijelova.
2. U suporedbi s generativnim pristupom, zahtjeva jednostavnije programiranje i instalaciju.
3. Sustav je lako razumljiv i planer procesa ima nadzor nad konačnim planom procesa.
4. Jednostavno ga je savladati i primjenjivati !? ( **oprez !!!** )

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

**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

## Projektiranje tehnološkog procesa

### Generativni pristup planiranju procesa

**Sustav koji automatski sintetizira, generira, plan procesa za novi dio.**

**Glavne komponente sustava:**

- (i) Opis dijela**
- (ii) Baza podataka o izradi**
- (iii) Logika odlučivanja (decision making logic) i algoritmi**

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

**FSB**  
**100**

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

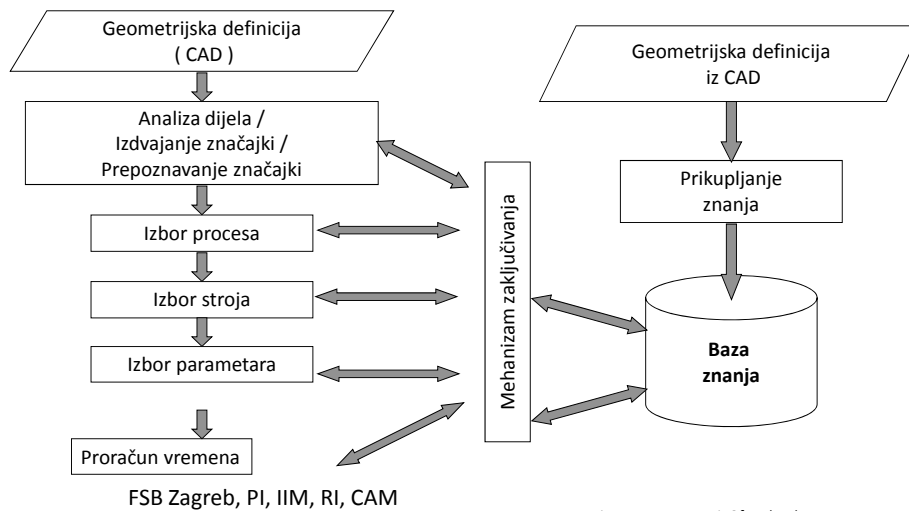


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

Drugačije podjele CAPP sustava

## Projektiranje tehnološkog procesa

### Generativni pristup



**FSB**  
**100**

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

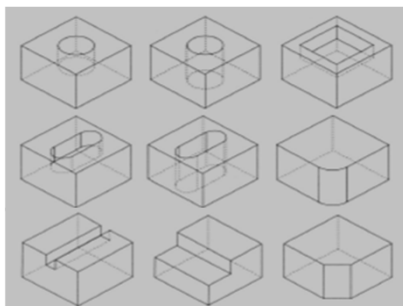


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

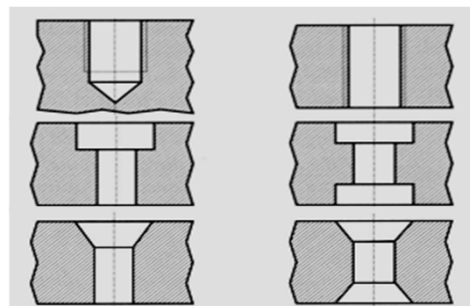
## Projektiranje tehnološkog procesa

### Generativni pristup planiranju procesa

Značajke



Neki oblici provrta



FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

**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

## Projektiranje tehnološkog procesa

### Generativni pristup planiranju procesa

Prednosti generativnog pristupa

1. Brzo generira konzistentne planove procesa;
2. Plan procesa za nove komponente izrađuje se jednako jednostavno kao i za postojeće komponente;
3. Jednostavnije uvođenje poboljšanih i novih tehnologija

Sustav ima potencijal integracije u automatizirane proizvodne (izradbene) sustave i generiranja detaljnih informacija potrebnih za upravljanje.

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

**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

## Projektiranje tehnološkog procesa

### Nedostaci generativnog pristupa

- generativni pristup je kompleksan, a razvoj softver vrlo zahtjevan (razvoj tehnika AI i rezultati na drugim poljima ohrabivali su njenu primjenu i ovdje, ali postignuti rezultati su ispod očekivanja).
- CAD model najčešće nema sve informacije potrebne za projektiranje tehnologije (napr. tolerancije)
- potrebne su vrlo velike baze znanja kako bi se pokrilo širok spektar geometrije obradaka
- broj mogućih pravila i kombinacija je vrlo velik

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

**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

### Projektiranje tehnološkog procesa

#### Drugačije podjele CAPP sustava

Poboljšanja i kompjuterizacija planiranja procesa mogu se pratiti u pet sljedećih evolucijskih faza:

- Faza I. – ručna klasifikacija; standardizirani planovi procesa
- Faza II. – računalno održavanje planova procesa
- Faza III. – varijantno planiranje procesa, CAP
- Faza IV. – generativno planiranje procesa, CAP
- Faza V. – dinamičko, generativno planiranje procesa, CAPP

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>

**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

### Projektiranje tehnološkog procesa

- 1965. - Neibel predstavlja ideju o korištenju računala u planiranju procesa i uvodi pojam CAPP-a. Do 70-tih nije bilo nikakvog napretka zbog ograničenih hardverskih i softverskih mogućnosti tog vremena, te izoliranosti inženjera od "computer aided" tehnologija.
- 1976. je razvijen i prezentiran prvi varijantni sustav. Pod sponzorstvom tvrtke CAM-I, tvrtka OIR je razvila sustav MIPLAN.
- 1977. je razvijen prvi generativni sustav.

Tim događajima počela je primjena CAPP sustava. Predviđanja u vezi primjene CAPP sustava bila su velika, no ispostavilo se da su bila precijenjena, jer još nije postignut očekivani stupanj napretka.

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM



**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

## Projektiranje tehnološkog procesa

### Grupna (skupna) tehnologija

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>

**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

## Grupna (skupna) tehnologija

**Grupna (skupna)** tehnologija je proizvodna filozofija koja koristi sličnosti u atributima kojima se karakterizira dizajn, izrada i montaža (sklapanje) proizvoda. Kod skupne tehnologije GT kod je alfanumerički niz znakova (string) koji, na sažeti način, predstavlja ključne informacije o proizvodu. Usporedba GT kodova dvaju proizvoda je brza i učinkovita metoda za utvrđivanje sličnosti među proizvodima u odabranim atributima. GT kodovi se mogu koristiti za pretraživanje baze proizvoda i za izuzimanje dizajna i plana procesa za proizvode koji su slični danom dizajnu [16], za automatsko generiranje novih planova procesa korištenjem „knowledge-based” sustava i za određivanje obradivosti proizvoda.

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>

**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

### Grupna (skupna) tehnologija

#### Sličnosti u konstrukciji i izradi

- **Konstrukcijski (dizajnerski) atributi:**
  - Osnovni vanjski oblik (rotacijski, prizmatičan)
  - Osnovne dimenzije
  - Osnovni unutarnji oblik
  - Omjer duljina/promjer
  - Materijal
  - Stanje priprema
- **Proizvodni atributi (značajke):**
  - Operacije
  - Veličine serija
  - Alatni strojevi i rezni alati
  - Vremena obrade

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>

**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

### Grupna (skupna) tehnologija

#### Familije dijelova

Familija dijelova je skup dijelova koji su slični bilo da posjeduju sličnosti geometrijskog oblika i dimenzija ili sličnosti u procesu izrade.

- **Familije dijelova su okosnica grupne tehnologije**
- **Uvijek postoje razlike u dijelovima koji pripadaju istoj familiji**
- **Međutim, sličnosti među dijelovima su dovoljne da se dijelovi mogu svrstati u istu familiju**

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>

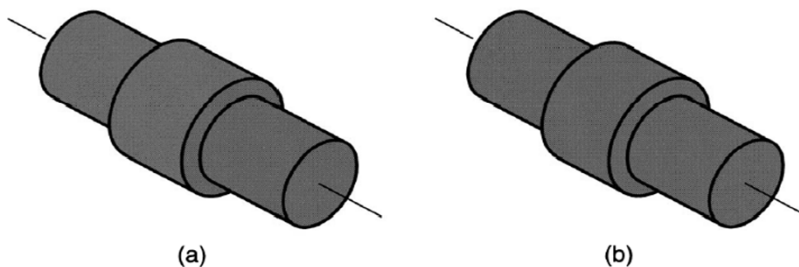
**FSB**  
**100**

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

### Grupna (skupna) tehnologija



Dva dijela istovjetnog oblika i veličine, ali s bitno različitim proizvodnim procesom.

- a) 1,000,000 kom/god, tolerancije =  $\pm 0.25$  mm, 1015 CR čelik, nickel plate
- b) 100 kom/god, tolerancije =  $\pm 0.025$  mm, 18-8 nehrđajući čelik

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>

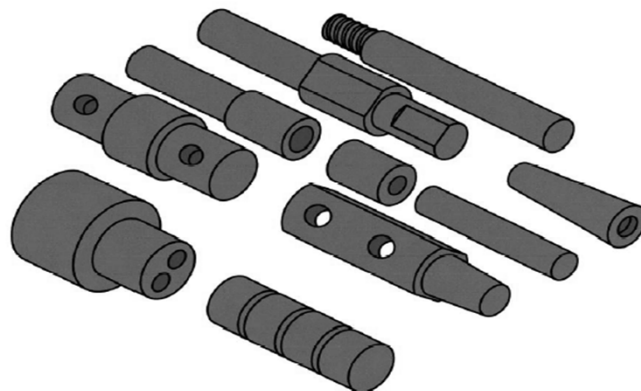
**FSB**  
**100**

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

### Grupna (skupna) tehnologija



10 dijelova različitih po obliku i veličini, ali sličnih po proizvodnom procesu. Svi dijelovi se rade od šipkastog materijala tokarenjem, a nakon toga se neki trebaju bušiti i/ili glodati.

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>

**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

### Grupna (skupna) tehnologija

Principi grupne tehnologije koriste se odavno, ali se službeni počeci GT vezuju se uz Mitrofanova, a kasnije su svoje doprinose dali brojni autori (Opitz, Wiendhal, Eversheim, ...).

Prva knjiga koja formalizira ideju i koncepte grupne tehnologije izdana je 1958., od autora Mitrofanova:

Mitrofanov, S.P. (1958)  
"The Scientific Principles of Group Technology"

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>

**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

### Grupna (skupna) tehnologija

#### KODIRANJE I KLASIFIKACIJA

**Kodiranje:** dodjeljivanje (pridruživanje) simbola ili niza simbola koji predstavljaju određene informacije

**Klasifikacija:** protokol koji se koristi pri raspoređivanju velike skupine objekata u pod-skupine

Najprije se utvrđuju svi različiti oblici s kojima se susrećemo, a nakon toga se prepoznaju neke značajke koje definiraju razlike u obliku dijela.

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>

**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

### Grupna (skupna) tehnologija

Klasifikacija podrazumijeva postupak objedinjavanja (ili raspoređivanja) obradaka u grupe ili klase s jednom ili više zajedničkih geometrijskih, funkcionalnih ili tehnoloških obilježja, kao i formiranje kriterija grupe.

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>

**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

### Grupna (skupna) tehnologija

#### Glavne prednosti klasifikacije i kodiranja dijelova

- Potiče i ubrza formiranje familija dijelova i grupiranje strojeva
- Omogućuje brzo izuzimanje konstrukcijskih i tehnoloških podataka o dijelu
- Smanjuje bespotrebna dupliciranja dizajna
- Omogućuje pouzdanu statistiku
- Racionalizira broj stezanja i smanjuje vremena izrade
- Racionalizira naprave i alate
- Podržava CAPP
- Povećava poudanost izračuna troškova
- Omogućuje bolju iskoristivost alata
- Olakšava i unaprijeđuje programiranje CNC strojeva

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>

**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

### Grupna (skupna) tehnologija

- **Dizajn novoga dijela izaziva trošak**
  - Neke procjene govore o \$1.300-\$12.000 po dijelu
  - 20%-80% novih dijelova su bespotrebni
  - Mnoge tvrtke dizajniraju 100-tine i 1000-e dijelova godišnje
- **Korištenjem postojećeg dijela eliminiraju se bespotrebni koraci i troškovi**
- **Kako pronaći postojeći dizajn, odnosno kako među postojećim dizajnima pronaći "pravi" ?**
  - Po broju crteža ?
  - Po imenu ?
  - Po opisu ?
  - PDM

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>

**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

### Grupna (skupna) tehnologija

Skupna tehnologija počinje grupiranjem (svrstavanjem) dijelova u familije, a na temelju njihovih atributa. To je ujedno najveći problem pri prelasku na GT. Za formiranje familija dijelova koriste se tri metode:

- manualno, vizualni pregled (uvid)
- klasifikacija i kodiranje (part coding and classification analysis - PCA)
- analiza proizvodnog toka (Production Flow Analysis –PFA)

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>

**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

## Grupna (skupna) tehnologija

### Manualno, vizualni pregled (uvid)

podrazumijeva raspoređivanje niza dijelova u skupine poznate kao familije dijelova, a na temelju vizualnog pregleda (uvida) "fizičkih" karakteristika dijelova.

Ponekad se isti postupak provodi nad nacrtima dijelova.

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>

**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

## Grupna (skupna) tehnologija

### Manualo vizualni pregled (uvid)

- netočni rezultati
- ljudska pogreška
- različite osobe daju različita rješenja
- jeftina metoda
- najmanje sofisticirana metoda
- dobra za male tvrtke s malim brojem dijelova

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>

**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

## Grupna (skupna) tehnologija

### Metoda klasifikacije i kodiranja dijelova (Part coding and classification analysis - PCA)

**Metoda klasifikacije i kodiranja** se primjenjuje za klasifikaciju dijelova u familije dijelova.

**Kodiranje** označava postupak kojim se dijelovima dodjeljuju simboli.

**Simboli** predstavljaju **konstrukcijske atribute ili atribute dizajna** (design attributes) ili **proizvodne značajke** (manufacturing features) familija dijelova.

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>

**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

## Grupna (skupna) tehnologija

### Metoda klasifikacije i kodiranja

Većina sustava za klasifikaciju i kodiranje mogu se, obzirom na atribute, svrstati na sljedeći način:

- Sustavi bazirani na konstrukcijskim atributima dijela
- Sustavi bazirani na proizvodnim atributima dijela
- Sustavi bazirani i na konstrukcijskim i na proizvodnim atributima

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>



**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

### Grupna (skupna) tehnologija

#### Konstruktivski atributi dijela (design attributes)

- Osnovne dimenzije
- Osnovni vanjski oblik
- Osnovni unutarnji oblik
- Omjer duljina/promjer
- Materijal
- Funkcija dijela
- Tolerancije
- Kvaliteta obrađene površine

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>

**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

### Grupna (skupna) tehnologija

#### Proizvodni atributi dijela (manufacturing attributes)

- Glavni proces
- Redosljed operacija
- Veličina serije
- Godišnja proizvodnja
- Alatni strojevi
- Rezni alati
- Materijal

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>

**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**
**Grupna (skupna) tehnologija**

Razlike u kodovima, nastale kao posljedica načina dodjele simbola, mogu se svrstati u tri različita tipa koda:

- **monokod ili hijerarhijski kod**
- **polikod ili atributni kod ili ulančani kod**
- **hibridni ili miješani kod**

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>
**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**
**Grupna (skupna) tehnologija**

Opitz-ov kodni sustav se sastoji od tri skupine znamenaka

<b>Kod Oblika</b> 1 2 3 4 5	<b>Dopunski Kod</b> 6 7 8 9	<b>Sekundarni Kod</b> A B C D
<b>Geometrija dijela i značajke bitne za dizajn</b>	<b>Informacije važne za proizvodnju (polikod)</b>	<b>Proizvodni procesi i proizvodni slijed</b>

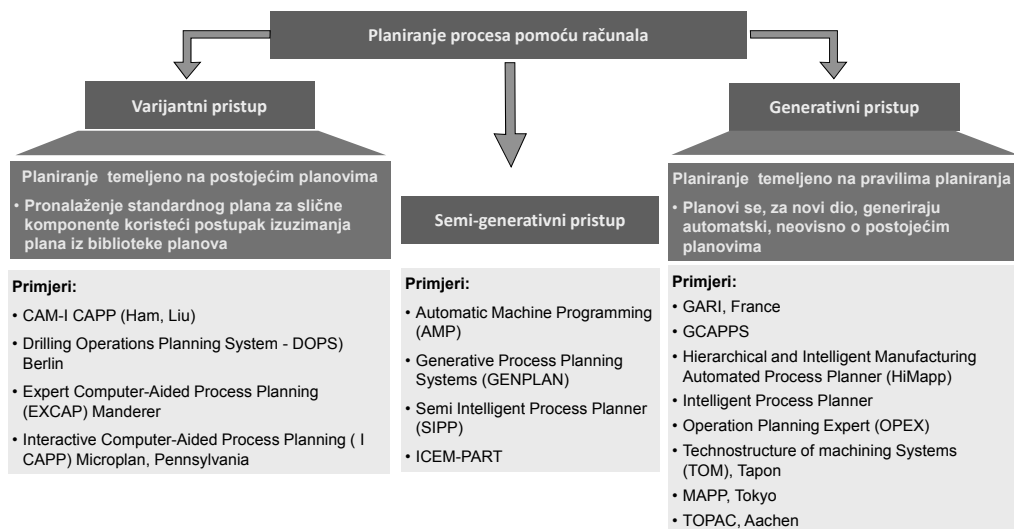
FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

<http://www.npd-solutions.com/capp.html>



## PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

### Primjeri CAPP sustava



FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM