



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

6. 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

### Proizvodnja

**Podjele i promjene proizvodnje**

**Proizvodnja podržana računalom – CAM**

**učinkovita primjena računala u proizvodnji.**

a) Izravna (direktna) primjena    b) Posredna (indirektna) primjena

**Povijest CAM-a**

Od 1950-tih -NC - relejno upravljanje i 1. jezik za programiranje NC strojeva (APT)  
do INDUSTRIJE 4.0

**Obradni sustav te stanje i trendovi razvoja njegovih komponenti**

**Razvoj NC strojeva i razine NC-a (NC, DNC, CNC, DNC, AC (ACC i ACO), FM  
(FMC, FMI, FMS), CIM, IMS, BMS, SM, AM, VM, DM, RMS, ...)**

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

**FSB**  
**100**

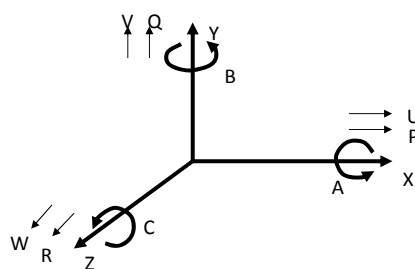
 100 godina Fakulteta  
 strojarstva i brodogradnje  
 Sveučilišta u Zagrebu  
 100 Years of Faculty of  
 Mechanical Engineering  
 and Naval Architecture  
 University of Zagreb

**PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM**
**Programiranje NC strojeva**

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

**Priprema za programiranje**

1. Koordinatni sustav i nul-točke
2. Vrste upravljanja
3. Gradnja i sintaksa programa

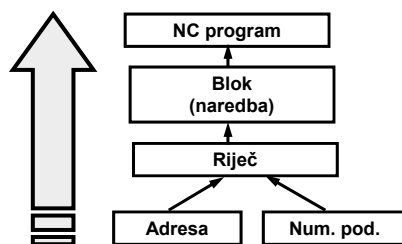
**Ad 1) Koordinatni sustav i nul-točke**


FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

- nul-točka stroja; i
- referentna točka stroja;
- nul-točka obratka
- nul-točka alata (teorijski vrh alata)

**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) Gradnja i sintaksa programa**

 %  
 N001  
 N5 T1 M3  
 ...

N75	G1	X100.	F0.3
1. r.	2. r.	3. r.	4. r.

**Znakovi (characters) od kojih se grade riječi i blokovi:**

- Adrese (tiskana slova A - Z)
- Znamenke 0 - 9
- Znakovi +, -, .
- Ostali znakovi
  - a) znak "%"; b) znak ":"; c) znakovi "[" i "]" ; d) znak "/"

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**
**Programiranje - kreiranje programa**
**Riječ s adresom G ili G-funkcije**

 Format zadavanja G funkcija: **G(0) . | .**

Podjela G funkcija:

1. modalne ili memorirane G-funkcije,
2. blok-aktivne (rečenično aktivne) G-funkcije i
3. slobodne G-funkcije.

**Modalne (memorirane) G-funkcije dijele se u sljedeće skupine:**

<b>Skupina a</b>	- vrste interpolacije
<b>Skupina c</b>	- izbor ravnine obrade
<b>Skupina d</b>	- kompenzacija polumjera vrha alata
<b>Skupina f</b>	- pomaci nul-točke
<b>Skupina e</b>	- radni ciklusi
<b>Skupina j</b>	- unošenje dimenzija apsolutno ili inkrementalno
<b>Skupina k</b>	- definiranje posmaka
<b>Skupina l</b>	- definiranje broja okretaja
<b>Skupina m</b>	- mjerni sustav

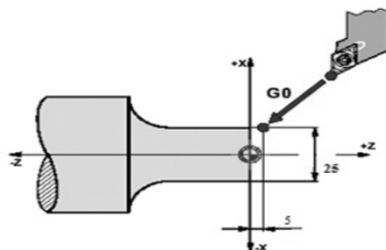
FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

**FSB**  
**100**

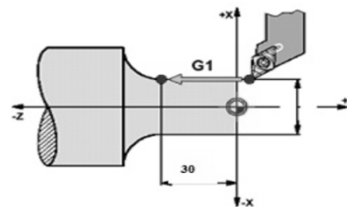
 100 godina Fakulteta  
 strojarstva i brodogradnje  
 Sveučilišta u Zagrebu  
 100 Years of Faculty of  
 Mechanical Engineering  
 and Naval Architecture  
 University of Zagreb

**PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM**
**Modalne G funkcije – skupina a**

<b>G0 ili G00</b>	pozicioniranje
<b>G1 ili G01</b>	pravocrtna (linearna) interpolacija
<b>G2 ili G02</b>	kružno gibanje u smjeru kazaljki na satu
<b>G3 ili G03</b>	kružno gibanje suprotno od smjera kazaljki sata
<b>G33</b>	obrada navoja



N50 G0 X25 Z5



N60 G1 X25 Z-30

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

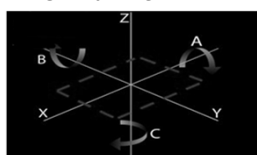


PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

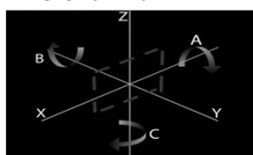
**Modalne G funkcije – skupina c – ravnina obrade**

- |            |                        |
|------------|------------------------|
| <b>G17</b> | izbor radne ravnine XY |
| <b>G18</b> | izbor radne ravnine XZ |
| <b>G19</b> | izbor radne ravnine YZ |

**G17 ravnine XY**



**G18 ravnina XZ**



**G19 ravnine YZ**



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

**Modalne G funkcije - skupina f - memorirani pomaci nul-točke**

**G53 – G59**

Modalne G funkcije - skupina m – mjerni sustav

**G70 – G71**

Modalne G funkcije - skupina j - zadavanje dimenzija (programiranje)

**G90 – G91**

Modalne G funkcije - skupina k - zadavanje posmaka (znač. adrese F)

**G94 – G95**

Modalne G funkcije - skupina l - zadavanje frek. vrtnje (broja okretaja)

**G96 – G97**

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

## Modalne G funkcije

### Skupina h - zadavanje frekvencije vrtnje (broja okretaja)

- G96** - stalna brzina rezanja;  $n \neq \text{konst.}$ ;  $n = v_c / (D\pi)$ ; tokarenje  
**G97** - stalan broj okretaja;  $n = \text{konst.}$ ; glodanje

Završetak modalnih funkcija !

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

## Programiranje - kreiranje programa

### Blok-aktivne funkcije

#### G4 ili G04

Mirovanje se definira u broju okretaja glavnoga vretena ili u vremenskim jedinicama (ovisno je li aktiva funkcija G94 ili G95).

Primjeri !

**Korištenje funkcija G4 i G91**

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

### Programiranje - kreiranje programa

#### Riječ s adresom M ili M-funkcije

M funkcijama se definiraju pomoćne funkcije. To su prekidačke funkcije, funkcije sa samo dva stanja (0 ili 1) te stoga ne opterećuju upravljačko računalo (kao G funkcije). Format zadavanja M-funkcija je slovo, adresa, M i dva dekadaska mjesta (što znači da na raspolaganju stoji 100 M-funkcija).

Format zadavanja M funkcija:

M(0) . | . - 2 dekadaska mjesta ; ako je na prvom mjestu 0 može se izostaviti  
(današnja upravljačka računala nude 3 dekadaska mjesta)

#### **M – funkcije - tablica**

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

### **M – funkcije - tablica**

- M0** – bezuvjetno zaustavljanje programa
- M1** – uvjetno zaustavljanje programa
- M2** - naredba završetak glavnog programa i “povratak” na početak
- M3** – rotacija gl. vretena u smjeru kazaljke na satu
- M4** – rotacija gl. vretena u smjeru obrnutom od kazaljke na satu
- M5** – zaustavljanje rotacije glavnog vretena
- M6** – naredba za izmjenu alata
- M8** – uključivanje SHIP-a (emulzije)
- M9** – isključivanje SHIP-a (emulzije)
- M19** - orijentirano (pod određenim kutom) zaustavljanje glavnoga vretena
- M30** - naredba završetak glavnog programa
- M66** – automatska izmjena obradaka

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

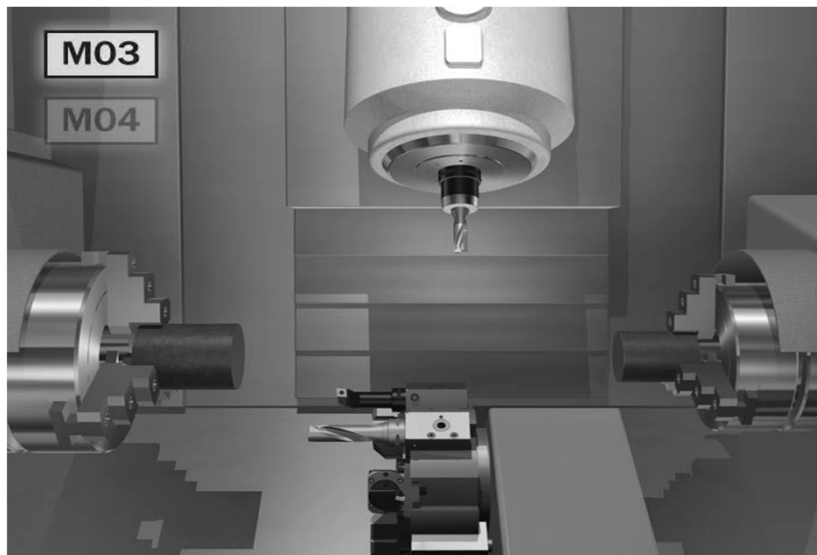
**FSB**  
**100**

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

### M03 i M04



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

### Riječ s adresom T ili T-funkcije

Primjer zadavanja riječi s adresom T (T-funkcije) kod tokarenja.

T . . . .

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

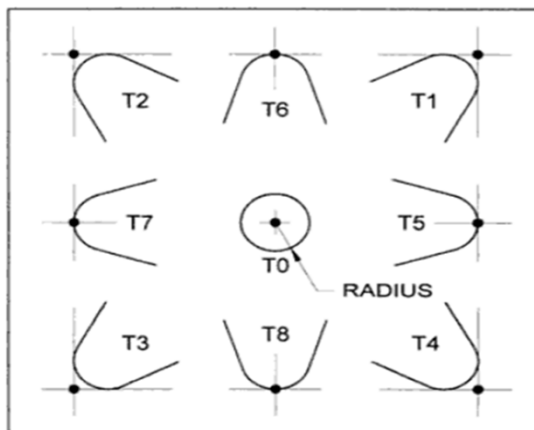
**FSB**  
**100**

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

## Riječ s adresom T ili T-funkcije – orijentacija oštrice



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

## Ostale riječi (Riječi s adresama X, Y, Z, F, ...)

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM





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

### ELEMENTI PROGRAMA

#### Početak programa

- Broj programa
- Poziv alata
- Potrebne G funkcije i nul-točka
- Pokretanje glavnog vretena

#### Početa gibanja

- Uključivanje korekcije alata
- Pozicioniranje alata (najčešće se izvodi u ravnini, a zatim u trećoj osi)
- Dovodjenje alata u startnu točku

#### Glavni dio programa

#### Završetak programa

- Povlačenje alata u siguran položaj (položaj koji omogućuje rukovanje alatom i obratkom, mjerenja na alatu i obratku, ili neku drugu predviđenu aktivnost)
- Završetak programa naredbom M30 ili M02

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM



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

### PROGRAMIRANJE – opis programiranja

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

#### RAZINE PROGRAMIRANJA

1. Ručno programiranje (može biti dijaloško, konverzacijsko)
2. Automatizirano programiranje
3. Programiranje u CAD/CAM sustavima
4. Ekspertni sustavi i tehnike AI

#### PROGRAMIRANJE - priprema

1. Koordinatni sustav i nul-točke
2. Vrste upravljanja
3. Gradnja i sintaksa programa

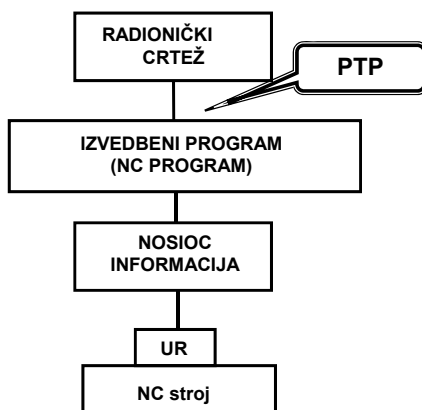
FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

**FSB**  
**100**

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

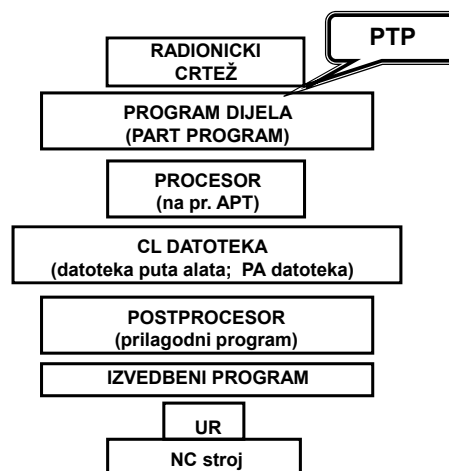

## PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

### Ručno programiranje



FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

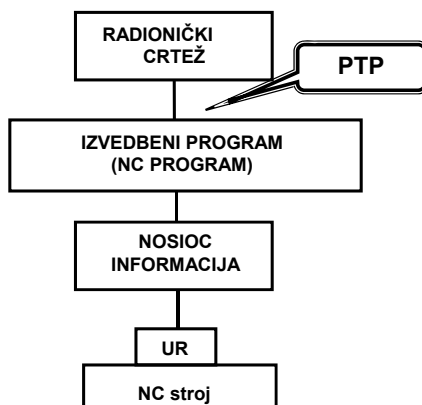
### Automatizirano programiranje


**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

### Osnovne napomene o ručnom programiranju



FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

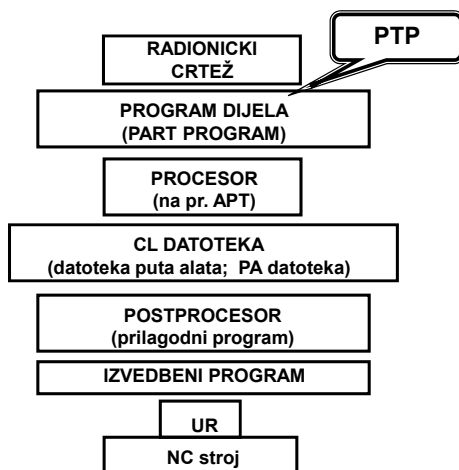
#### Značajke ručnog programiranja:

- nemoguće je programiranje vrlo složenih dijelova
- 1 tehnolog-programer ne može programirati više od 4-5 strojeva
- otežana provjera programa
- danas ima smisla u prototipnoj proizvodnji (tamo gdje je malo NC strojeva) i kad su u pitanju bolja UR, tj UR koja omogućuju „koverzacijsko“ programiranje.



## PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

### Osnovne napomene o automatiziranom programiranju



Kodiranje se provodi u jednom od viših programskih jezika problemski orijentiranih (APT, COMPACT, EXAPT, TC APT, ...)

tako kreiran program vrijedi za sve kombinacije NC stroj-UR za promatranu obradu (univerzalnost)

moguće je programiranje najsloženijih dijelova

1 tehnolog-programer može programirati niz istovrsnih strojeva

lagana provjera programa (simulacije putanje alata)

moгуćnost integracije u složenije oblike CA aplikacija

danase više ne koriste jezici već CAD/CAM sustavi

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM



## PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

### APT – struktura (segmenti) programa dijela (part program)

#### OPĆE (ORGANIZACIJSKE) NAREDBE

- Obradak
- Alatni stroj
- Stezna naprava
- Materijal obratka

#### GEOMETRIJSKE NAREDBE

- Elementi konture
- Pomoćni geometrijski elementi
- Kontura priprema
- Završna kontura

#### NAREDBE GIBANJA I OBRADJE

#### KRAJ PROGRAMA

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

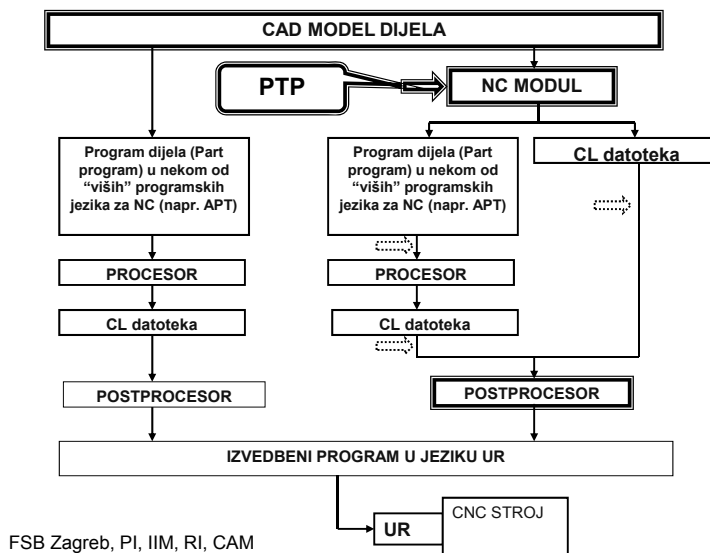
**FSB**  
**100**

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

### Programiranje u CAD/CAM sustavima



**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

### Neki CAD/CAM sustavi koji podržavaju programiranje NC strojeva



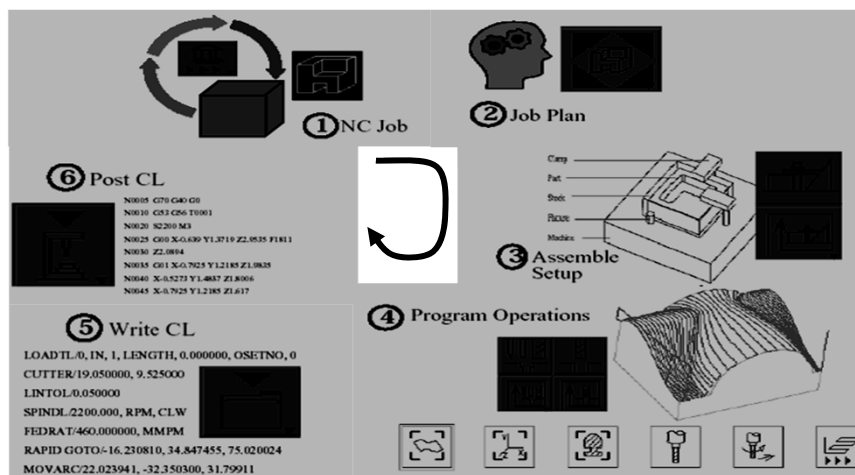
**FSB**  
**100**

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 Programiranje u CAD/CAM sustavima

IDEAS- slijed kod programiranja CNC strojeva



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

### Druge mogućnosti automatiziranog programiranja NC strojeva koje se susreću u literaturi

#### BCL- Basic Control Language

Po definiciji:

**BASIC CONTROL LANGUAGE (BCL) - AN ASCII DATA EXCHANGE SPECIFICATION  
FOR COMPUTER NUMERICAL CONTROL MANUFACTURING**

Prvotno značenje akronima "BCL" je "Binary Cutter Location".

Skrb o razvoju i promjeni BCL-a (norma EIA/ANSI 494) vodi udruga  
NCBSA-Numerical Control BCL Standards Association, formirana 1984.

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

### Druge mogućnosti automatiziranog programiranja NC strojeva koje se susreću u literaturi

BCL se može primijeniti na tri različita načina. Svako rješenje ima svojih prednosti i nedostataka. Mogući načini primjene BCL su:

- Osnovni sustav
- Front-End upravljanje
- “Prirodno” BCL upravljanje

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM

**FSB**  
**100**

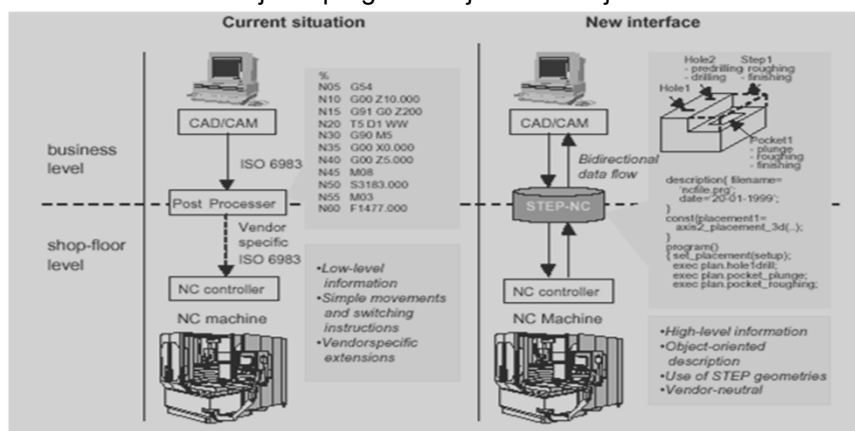
100 godina Fakulteta  
strojarstva i brodogradnje  
Sveučilišta u Zagrebu  
100 Years of Faculty of  
Mechanical Engineering  
and Naval Architecture  
University of Zagreb



## PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

### Druge mogućnosti automatiziranog programiranja NC strojeva koje se susreću u literaturi

STEP-NC novo sučelje za programiranje CNC strojeva



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

### Druge mogućnosti automatiziranog programiranja NC strojeva koje se susreću u literaturi

NCML: jezik za programiranje NC strojeva na bazi XML-a

**Numerical Control Markup Language**  
**Numerically Controlled Markup Language**

FACILE - A Fast Associative Clean Interface Language and Environment for Discrete Prototype Fabrication

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

### Druge mogućnosti automatiziranog programiranja NC strojeva koje se susreću u literaturi

Što je loše kod "G-koda"

- Velike datoteke s malim sadržajem informacija.
- Nije strukturiran
- Teško "editiranje"
- Nema podataka o tolerancijama

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

### Druge mogućnosti automatiziranog programiranja NC strojeva koje se susreću u literaturi

#### XML-a

#### Povijest XML-a

- *GML (Generalized Markup Language) - IBM 1960s*
- *SGML - Standard Generalized Markup Language – ISO standard 1986*
- *HTML - CERN - Switzerland - 1989 = web explosion*
- *XML - W3C - Feb 1998 - XML 1.0*

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

### Druge mogućnosti automatiziranog programiranja NC strojeva koje se susreću u literaturi

#### Zašto se NCML temelji na XML?

- **XML je norma za obradu dokumenata koju je predložio World Wide Web Consortium**
- **Format koji se lako provjerava normom Document Type Definition (DTD)**
- **XML omogućuje da dokumenti budu “machine readable” kao što HTML omogućuje da dokumenti budu “human readable”**
- **Postoj niz alata obradu XML**
- **Razvijene su brojne aplikacije, napr. MathML, SML (industrija čelika) itd. Microsoft Office now uses XML**

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM





## PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

### Druge mogućnosti automatiziranog programiranja NC strojeva koje se susreću u literaturi

- *NCML se može prevesti (prihvatiti) u VRML (Virtual Reality Modeling Language)*
- *Dijelovi su vidljivi standardnim "browser-ima" i "plugins-in"*

Koliko je opsežan i kompliciran NCML ?

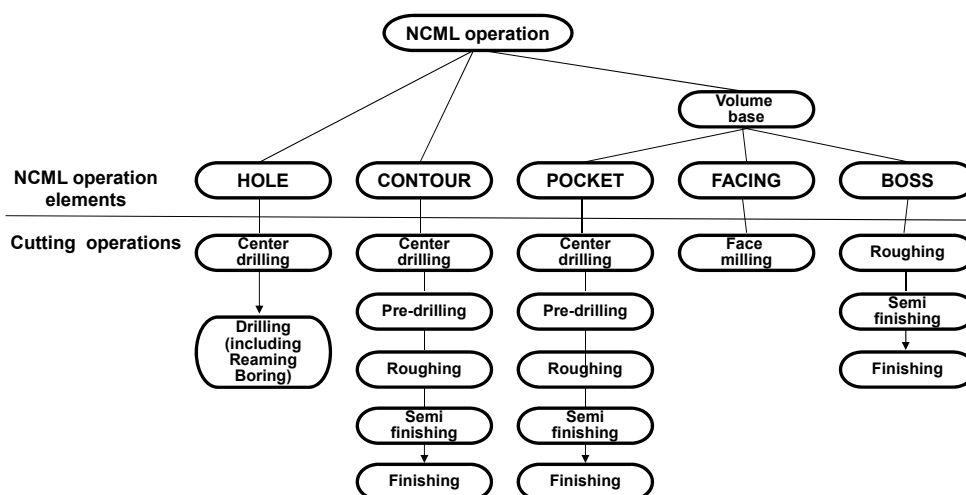
- Ima ukupno 57 elemenata.
- Cijeli DTD se sastoji od 117 redova i 520 riječi.

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM



## PROIZVODNJA PODRŽANA RAČUNALOM - CAM

### Postprocesor – prevodi NCML u izvedbeni kod (G i M)



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

### Programiranje u CAD/CAM sustavima

**CAD/CAM sustav CATIA V5R17**

FSB Zagreb, PI, IIM, RI, CAM