



ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
Департман за производно машинство
Пројектовање технолошких процеса



Тема:

АУТОМАТИЗАЦИЈА ПРОЈЕКТОВАЊА ТЕХНОЛОШКИХ ПРОЦЕСА

Др Дејан Лукић

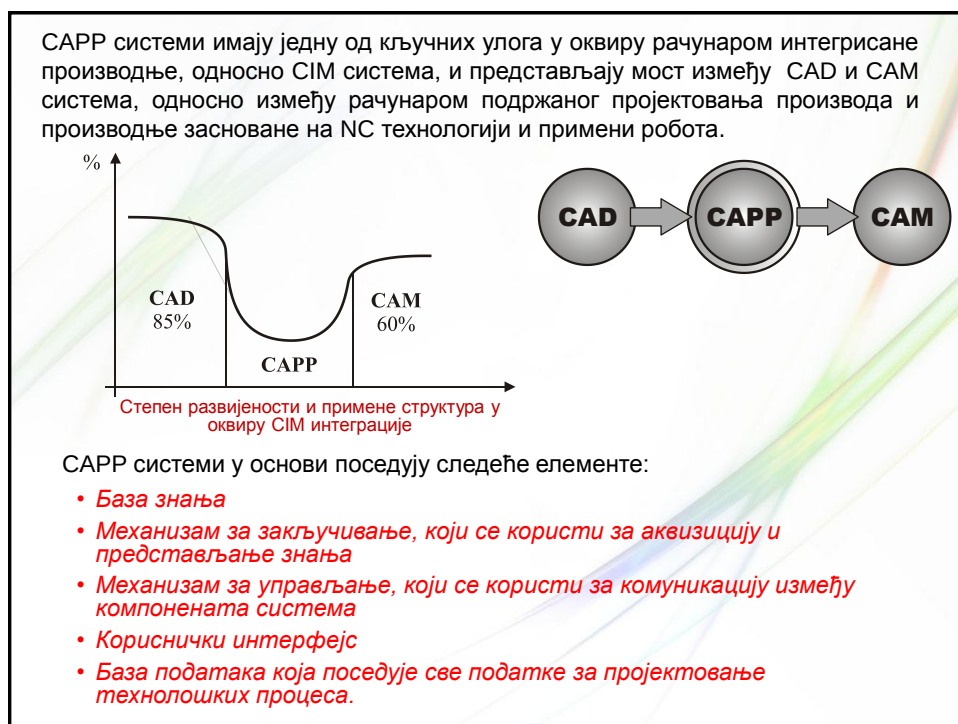
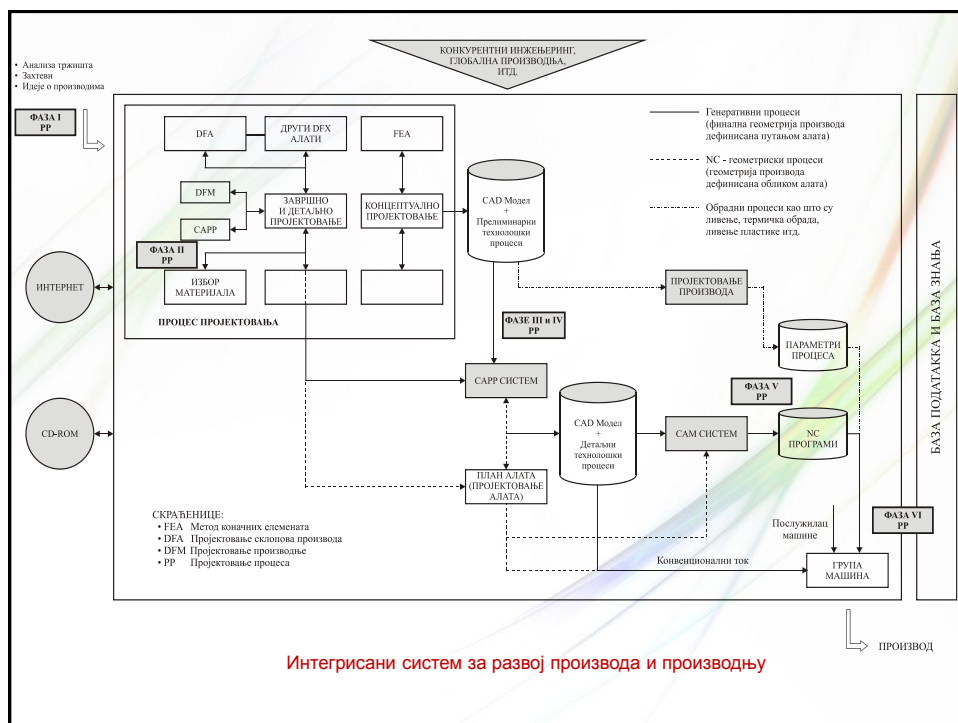
Место и значај CAPP система

Примена рачунара омогућила је аутоматизацију пројектовања технолошких процеса израде, односно развој CAPP система. То су системи помоћу којих се врши аутоматизација активности које је технолог обављао мануелно и уз употребу разних помоћних средстава, и они имају за циљ да отклоне све недостатке класичног или мануелног пројектовања технолошких процеса.

Структура и садржај задатака пројектовања технолошких процеса и ниво аутоматизације у одговарајућим CAPP системима може значајно варирати од једне до друге производне средине.

У основи, структура и садржај задатака који се решавају применом развијених CAPP система обухвата следеће, најважније задатке аутоматизованог пројектовања технолошких процеса као што су:

- *Избор припремака*
- *Избор најповољније врсте технолошког процеса-врсте технологија*
- *Избор, односно генерисање садржаја технолошког процеса израде, одређеног редоследом, врстом и садржајем операција*
- *Избор машина, односно обрадних модула*
- *Избор прибора и мерила*
- *Избор резног алата, односно флексибилног система алата (ФСА)*
- *Израда управљачких програма за поједине операције обраде*
- *Прорачун производно-технолошких ресурса и др.*



Подела и карактеристике CAPP система

Основне врсте CAPP система су:

- Варијантни и
- Генеративни

Поједини аутори генеративне CAPP системе деле на класичне **генеративне** и **нове генеративне**, док по неким постоји и комбинација наведене две врсте под називом **варио-генеративни** CAPP системи.

ВРСТА CAPP СИСТЕМА	ПРЕДСТАВЉАЊЕ ПРОИЗВОДА	НАЧИН УНОШЕЊА УЛАЗНИХ ПОДАТАКА	НАЧИН ГЕНЕРИСАЊА ТЕХНОЛОШКОГ ПРОЦЕСА	РАЗВИЈЕНА БАЗА ПОДАТАКА
Варијантни	На принципима групне технологије	Мануелни улаз	Мануелни, модификацијом стандардних ТП	База стандардних технолошких процеса
Генеративни	На бази језика за опис делова	Мануелни улаз	Стабло одлуке, Табличне одлуке, Експертни систем	База знања и технолошка база података
Нови генеративни	CAD модел	Аутоматски CAD интерфејс	Стабло одлуке, Табличне одлуке, Експертни систем, Неуронске мреже, Fuzzy логика и др.	База знања и технолошка база података

Варијантни CAPP системи

Варијантни CAPP системи су базирани на идеји да се слични производи или делови производе на сличан начин, одакле следи да имају и сличне технолошке процесе, при чему су производи или делови класификовани и груписани у поједине групе према заједничким карактеристикама. Свака формирана група добија јединствен код који служи за идентификацију (матрица класификационих бројева). Поред тога, за сваку групу се пројектује технолошки процес за комплексни производ или део, дакле групни или типски технолошки процес, који се на адекватан начин меморише у рачунару.

Основни ограничавајући фактор у примени принципа групне и типске технологије била је превелика количина података која је условљена варијантним решењима. Управо овај проблем је успешно решен применом рачунара и настанком варијантних CAPP система који у суштини представљају аутоматизовани начин пројектовања технолошких процеса применом правила групне и типске технологије.

У развоју и примени варијантних CAPP система уочавају се две основне фазе:

- Фаза припреме и
- Фаза примене

Фаза припреме обухвата следеће активности:

- *Анализа производног програма,*
- *Формирање система класификације, односно избор класификатора,*
- *Класификација делова и формирање група сличних производа или делова,*
- *Пројектовање комплексних делова и одговарајућих стандардних технолошких процеса за групе сличних делова,*
- *Архивирање стандардних технолошких процеса, односно формирање одговарајуће базе података.*



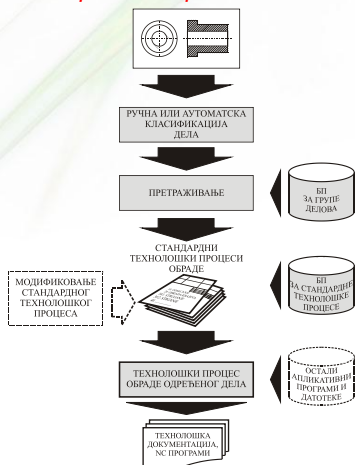
	1	2	3	4	5	6	7	8
0		0		0			0	
1			1			1		1
2	2		2	2	2			
3		3			3		3	3
4								
5								
6								
7								
8								
9								

Матрица класификационих бројева једне технолошке групе делова

Фаза припреме варијантних САРР система

Фаза примене обухвата следеће активности:

- *Класификација одређеног дела.*
- *Претраживање базе података за стандардне технолошке процесе.*
- *Избор одговарајућег стандардног технолошког процеса.*
- *Евентуално модификовање стандардног технолошког процеса.*
- *Израда потребне технолошке документације.*



Класификациони број дела: 20123101
припада групи делова коју презентује
матрица класификационих бројева

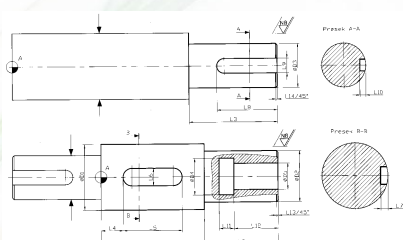
	1	2	3	4	5	6	7	8
0		0		0			0	
1			1			1		1
2	2		2	2	2			
3		3			3		3	3
4								
5								
6								
7								
8								
9								

Матрица класификационих бројева технолошке групе делова

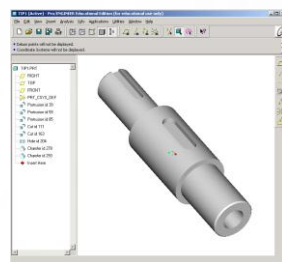
Фаза примене варијантних САРР система

Примена Pro/E у развоју варијантног CAPP система:

- Моделирање група делова
- Моделирање обрадних модела у САМ модулу и аутоматизација генерисања управљачких програма група и типова делова (параметарско програмирање)



Група операция обраде једне операцијске групе



3Д модел дела који припада групи делова

	Цилиндар $\varnothing D_p L_1$	Цилиндар $\varnothing D_p L_2$	Цилиндар $\varnothing D_p L_3$	Жлеб $L_4 L_5 L_6 L_7$	Жлеб $L_8 L_9 L_{10}$	Рупа $\varnothing D_p L_{12}$	Рупа $\varnothing D_p L_{11}$	Об. ивица $L_{13}/45^\circ$	Об. ивица $L_{14}/45^\circ$
Део 1	Y	Y	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y
Део 2	Y	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y
Део 3	Y	Y	N	Y	Y	Y	Y	Y	N
Део 4	Y	N	Y	Y	Y	N	N	N	Y
Део 5	Y	Y	Y	N	Y	N	N	Y	Y
Део 6	Y	Y	Y	Y	N	Y	N	Y	Y
Део 7	Y	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	Y
Део 8	Y	Y	Y	N	Y	Y	Y	N	N

Припадност типских облика (feature) појединим деловима групе

Неке предности и недостаци варијантних CAPP система

У односу на мануелно пројектовање технолошких процеса, примена варијантних CAPP система доноси бројна побољшања, као што су:

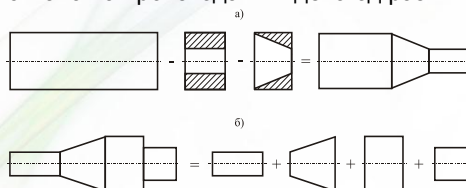
- Евидентна уштеда времена у пројектовању технолошких процеса,
- Позитиван утицај система на стандардизацију, унификацију и типизацију технолошких процеса,
- Време развоја оваквих система је релативно кратко, а инсталација система је прилично краће у поређењу са осталим CAPP системима,
- Улагање за развој једног варијантног CAPP система су релативно мала.

Код варијантних CAPP система рачунар служи као алат за класификацију, кодирање, претраживање и модификовање. Према томе, искуство и знање технолога још увек у великој мери утиче на излазне резултате. Поступак модификовања добијеног стандардног технолошког процеса за одређени део је најчешће обиман задатак, посебно када се ради у NC окружењу.

Основни недостаци варијантних CAPP система су:

- База за стандардне технолошке процесе обично временом постаје обимна, што отежава рад са класификационим бројевима,
- Евентуално проширење класификационих бројева захтева поновно сређивање базе података за стандардне технолошке процесе,
- Недовољна флексибилност у погледу различите геометрије, димензија и тачности делова, што је нарочито изражено код технолошких процеса обраде на обрадним системима са NC управљањем.

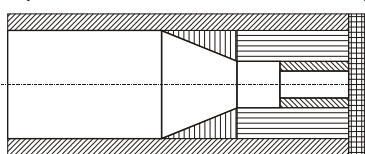
Код генеративних CAPP система процес израде делова може да се представи као процес разлагања, односно уклањања одређених елементарних облика или примитива од изабраног припрема до потпуно обрађеног дела као на слици а, што је супротно процесу пројектовања производа, који може да се схвати као процес склапања производа или дела од разних појединачних облика, слика б.



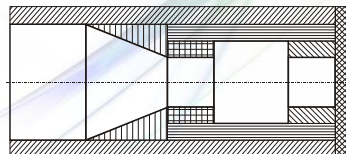
Представљање процеса обраде:
а) разлагањем елементарних облика,
б) слагањем елементарних облика

Иако се може закључити да логика за одређивање технолошког процеса обраде у суштини базира на правилима трансформације почетног у завршно стање, где се свака појединачна трансформација може представити или као операција процеса или као захват операције.

У зависности од облика трансформације почетног у завршно стање у генеративним CAPP системима користе се две логике:



Пројектовање ТП уклањањем материјала



Пројектовање ТП додавањем материјала

уградња правила → логика доношења одлука → алати вештачке интелиг.

Примена вештачке интелигенције у развоју савремених CAPP система

Примена метода и алата вештачке интелигенције одвија се кроз концепт инжењерства знања који обухвата следеће задатке:

- Представљање знања
- Извођење закључака
- Аквиизиција знања

Представљање знања се врши преко чињеница, правила и хипотеза. Знање, односно чињенице, правила и хипотезе могу се односити на објекте, догађаје, релације и процедуре, односно поступке.

Закључци се изводе на основу правила која садрже истиниту вредност и одговарајућу логичку зависност са закључком.

Аквиизиција знања је једна од форми машинског учења и представља способност система вештачке интелигенције за развој новог знања или унапређење постојећег знања преко улазних података које уноси човек.

Основни алати вештачке интелигенције који се примењују у развоју CAPP система су

- Експертни системи
- Неуронске мреже
- Fuzzy логика
- Генетички алгоритми

Експертни системи

Експертни систем представља интелигентан рачунарски програм који се користи знањима и процедурама закључивања ради решавања проблема који су довољно тешки да њихово решавање захтева човекову експертизу.

КОНВЕНЦИОНАЛНИ ПРОГРАМИ	ЕКСПЕРТНИ СИСТЕМИ
ОБРАДА ПОДАТАКА	ИНЖЕЊЕРИНГ ЗНАЊА
Презентовање и коришћење података	Презентовање и коришћење знања
Алгоритми	Хеуристика
Понављање процеса	Механизам закључивања
Ефективно манипулисање са базама података	Ефективно манипулисање са базама знања

Разлике између конвенционалних програма и експертних система

Најважнија разлика између експертног система и конвенционалног програма, односно софтвер је у томе што су конвенционални програми базирани на **подацима и алгоритмима**, а експертни системи на **знању и закључивању**.

Предност експертног система у односу на конвенционалне програме је у томе што у случају појаве надоградње знања није потребно репрограмирање комплетног софтвера, већ само **проширење базе знања**, која најчешће није саставни део програма.

Експертни системи имају три основне компоненте:

- **Базу знања**
- **Механизам закључивања**
- **Кориснички интерфејс**

База знања (knowledge base) има две основне целине које се односе на процедурално и декларативно знање.

Декларативно знање садржи **чињенично знање** из одређене области, које се најчешће називају **фактима**. Чињенице представљају знање декларативног типа, на пример, глодало је резни алат.

Треба рећи да ова група знања у бази знања није константна за време примене система, јер се могу уносити нове чињенице или брисати постојеће.

Процедурално знање о одређеном проблему представља **скуп одређених правила и процедура** које се користе при **решавању одређеног задатка**. У суштини, то је знање експерта које је преведено у одговарајућа правила и процедуре, позната под именом база правила. Ово знање може бити хеуристичко или, пак, теоријско знање за решавање одређеног задатка.

Процедурално знање је највежњије за рад експертног система, а за његово представљање најчешће се користе **продукциона правила**.

Основна структура експертних система



Машина за закључивање у себи **садржи поступак за решавање одређених задатака**. Претраживањем процедуралног знања и истовременим претраживањем базе чињеница, налази она правила чији је условни део испуњен и тиме обезбеђује њихово извршавање.

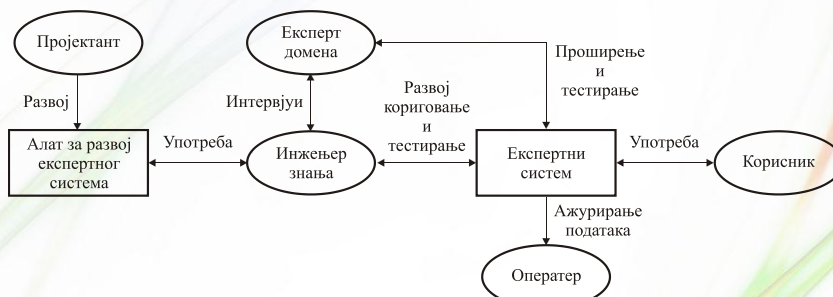
Систем аквизиције, односно **стицања и сређивања знања**, је **процес трансфера и трансформације знања** из одређене области, од неког извора знања до програма. Извор тог знања може бити експерт за одређену област, а поступак стицања и припреме овог знања назива се **инжењерство знања**, који реализује инжењер знања. Модул за аквизицију треба да омогући унос нових знања, али да омогући и промену постојећих знања.

Основне методе за аквизицију знања су:

- **Опште важећа правила која су прихваћена у литератури,**
- **Аналогија са неким сличним проблемом,**
- **Интервјуисање експерата,**
- **Анализа и модификација постојећих правила,**
- **Посматрање рада експерта,**
- **Лично искуство инжењера знања,**
- **Методe машинског учења за стицање новог знања.**

Кориснички интерфејс омогућава рад са експертним системом, као и увид корисника у правила која су активирани. При томе, корисник не мора да познаје рад експертног система

Главни учесници у пројектовању и развоју експертних система, као и неопходне активности које постоје између њих приказани су на следећој слици.



Главни учесници у развоју експертних система и неопходне активности између њих

Најчешће коришћени програмски језици за развој експертних система су:

- **Језици вештачке интелигенције**
- **Алати за инжењерство знања**
- **Експертне љуске**
- **Програмски језици**

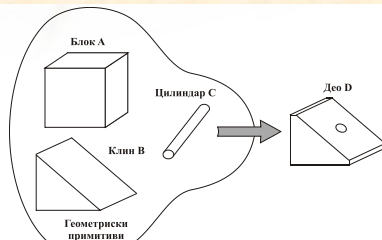
Представљање знања

До сада су развијене бројне технике за представљање знања. Овде ће бити поменуте само оне које су од посебног интереса за представљање базе знања при развоју САРР система, међу којима су:

- Математичка логика, односно рачун исказа и рачун предиката
- Продукциони системи
- Семантичке мреже
- Фрејмови
- Објектни начини представљања знања

Математичка логика

Примена Булове алгебре за дефинисање различитих технологија израде дела компоновањем геометријских примитива



Пример трансформације геометријских примитива у производ применом Булових трансформација

БРОЈ	БУЛОВА ЈЕДНАЧИНА	НАЧИН КОМПОНОВАЊА ГЕОМЕТРИЈСКИХ ПРИМИТИВА
1.	$D = (A \cdot B) \cdot \bar{C}$	На засеченом блоку бушити отвор
2.	$D = A \cdot (B \cdot \bar{C})$	На квадратном блоку одсећи нагиб и бушити отвор
3.	$D = (A \cdot \bar{C}) \cdot B$	На квадратном блоку бушити отвор, па одсећи нагиб
4.	$D = (\bar{C} + B) \cdot A$	Израдити калуп и напунити материјалом

Продукциони системи

У продукционим системима знање се представља у виду правила, облика:

АКО (услови) **ОНДА** (акције)

Очигледно да продукциони системи базирају на успостављању **условно-последичних веза**, које су, уствари, **продукциона правила**. То значи да се на левој страни наводе елементи које треба посматрати, а на десној страни је листа активности које треба реализовати. Као пример, наводи се представљање знања за обраду типског технолошког облика отвора фdH7.

НАЗИВ ТИПСКОГ ТЕХНОЛОШКОГ ОБЛИКА	ОЗНАКА	ЗАХВАТИ ОБРАДЕ	
		Појединачна производња	Серијска производња
Отвор, фdH7	ТО1	• Забушивање • Бушење • Проширивање • Развртање	• Забушивање • Бушење • Проширивање • Фино бушење

База знања за обраду отвора фdH7 (ТО1)

На основу табеле могу се формирати следећа продукциона правила

АКО је (ТО1, производња појединачна)

ОНДА су захвати (забушивање, бушење, проширивање, развртање)

АКО је (ТО1, производња серијска)

ОНДА су захвати (забушивање, бушење, проширивање, фино бушење)

Представљање знања применом продукционих правила, обухвата три елемента, односно базу података, базу знања и машину за закључивање.



За изградњу, односно дефинисање структуре продукционих правила, користе се: **Стабла одлуке** и **Мреже правила**

Стабла одлуке су доста прегледна и разумљива за корисника. Њихова је карактеристика да захтевају хијерархију знања за одређену област.

Код приказивања **правила у виду мреже** не захтева се њихова строга хијерархија, али су доста непрегледна.

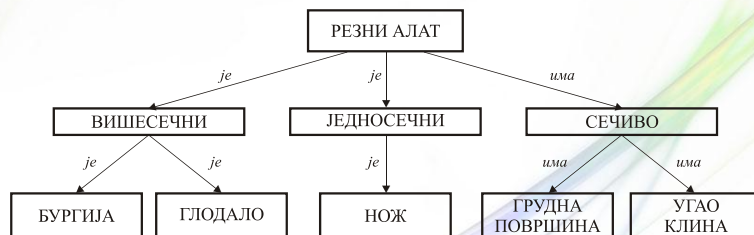
Ако се **ка циљу** иде од почетне базе података, онда је поступак **повезивања правила унапред**. Ако се полази **од циља** и иде ка добијању услова који обезбеђују тај циљ, онда је то поступак **повезивања правила уназад**



Семантичке мреже

Представљање знања у облику **семантичких мрежа** обезбеђује стандардан начин значења неке реченице и помоћу њих се може јасно изразити декларативно знање о неким објектима, као и да се успостави хијерархијска веза између објеката.

Семантичке мреже представљају објекте и ситуације преко чворова и веза између њих. Чворови на нижем нивоу могу да наследе својства чворова вишег нивоа мреже. На слици је приказана семантичка мрежа резних алата, где су поједине особине алата дате у чворовима, а не све особине у сваком чвору. Везе међу чворовима су означене релацијама **је** и **има**.



Део семантичке мреже резних алата

Објектно оријентисано представљање знања

Објектно оријентисано представљање знања, познато и као објектно програмирање, не манипулише са симболима и бројевима, већ са објектима. **Објекти** могу бити било шта што има неке **особине или атрибуте**, а поседују две карактеристике: **Атрибуте (податке)** и **Понашање (особине)**.

Код објектно оријентисаног програмирања постоје најмање бар два типа објекта: **Класе** и **Инстанце (случајеви)**.



Класа је скуп објеката који имају исте особине и понашање, а **инстанце** су објекти који су створени од класа.

На пример, класи бургија са коничном дршком придружује се величина конуса и дужина дршке као њена особина. Може се рећи да се за дефинисање класа и инстанци користи начин записивања као код фрејмова, тј. свака класа има своје слотове дефинисане именом, као, на пример: **БУРГИЈА СА КОНИЧНОМ ДРШКОМ** (конус МК 2) (дужина дршке 60) (пречник 15)

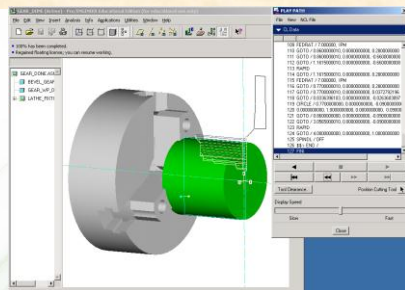
Објектно оријентисано представљање знања ослања се на три основне особине објекта:

- **Наслеђивање**
- **Учаурење**
- **Полиморфизам**



Хијерархијски редослед класа и линија наслеђивања

Интегрисани CAD/CAPP/CAM системи



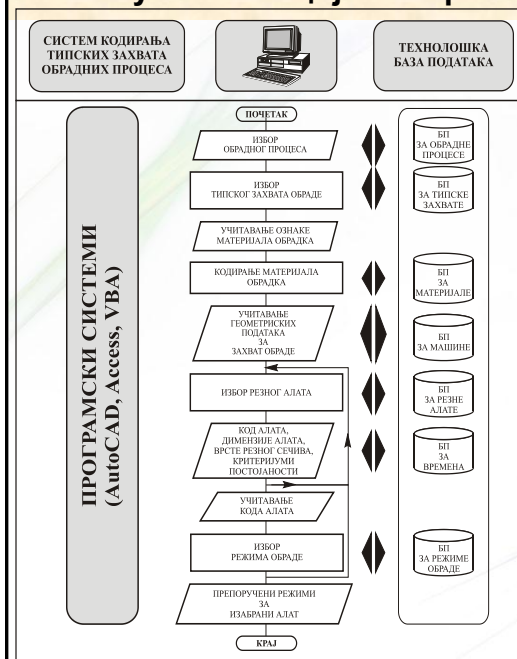
Основна интеграциона компонента интеграције CAD/CAPP/CAM система

Припрема података за пројектовање операције обраде стругања у Pro/Manufacturing модулу

ОЗНАКА ТЕХНОЛОШКОГ ПРОЦЕСА	БРОЈ ОПЕРАЦИЈЕ	НАЗИВ ОПЕРАЦИЈЕ	МАШИНА/УРЕЂАЈ
ТПО1	10	Аутогено исечање	Апарат за ел. сечење
	20	Побољшање	Пећ, када
	30	Дотеривање	Радни сто
	40	Глодање	Вертикална глодалница NC
	50	Равно брушење	Брусилница за равно брушење NC
	60	Бушење Т01, Т02	МАНО 1000-С
	70	Дотеривање	Радни сто
	80	Одмашњивање	Када
	90	Брунирање	Пећ, када
	100	Завршна контрола	Контролни сто

Садржај технолошког процеса израде типског дела алата за бризгање пластике

Аутоматизација избора алата и режима обраде



Имајући у виду карактеристике савремених CAD/CAM система, као и интегрисаних CAD/CAPP/CAM система, с једне стране, и значаја типских захвата обраде у дефинисању базе знања за обраду типских технолошких облика при развоју једних или других система, с друге стране, постављен је модел за развој програмског решења за аутоматизацију избора алата и режима обраде применом савремених програмских система.

Програмско решење, које је развијено применом програмских система AutoCAD, MS Access и VBA, постављено је тако да се алат бира на основу уčitаног **кода типског захвата обраде, адекватне ознаке материјала обрадка и уграђеног критеријума на бази минималног времена захвата обраде.**

ЧЕОНО ГЛОДАНЈЕ

ГЛОДАНЈЕ РАВНЕ ПОВРШИНЕ ЧЕОНИМ ГЛОДАЛОМ GC10

ГЛОДАНЈЕ ВРЕТЕНАСТИМ ГЛОДАЛОМ

ГЛОДАНЈЕ ЗЛЈЕБА ОБЛИКА LASTING REPA ВРЕТЕНАСТИМ ГЛОДАЛОМ

ГЛОДАНЈЕ Т ЗЛЈЕБА ВРЕТЕНАСТИМ ГЛОДАЛОМ

ГЛОДАНЈЕ ОЗУБЉЕЊА ВРЕТЕНАСТИМ ГЛОДАЛОМ

Учитавање података за материјал обрадка

УЧИТАВАЊЕ ОЗНАКЕ МАТЕРИЈАЛА

ОЗНАКА МАТЕРИЈАЛА C.1530

ЗАТЕЗНА ЦВРСТОЋА σ_m [N/m² × 10⁷] 65

ТВРДОЋА У BRINELIMA HB

ТВРДОЋА У ROKVELIMA HRC

ОДРЕЂИВАЊЕ КОДА МАТЕРИЈАЛА

Избор обрадног процеса, односно одговарајућег типског захвата обраде

Материјал	Затезна цврстоћа (N/m ² × 10 ⁷)	Тврдоћа (HB)	Код захвата				
			GC10	GC20	GC30	GC40	GC50
Č. 1530	60 - 65	168 - 182	CG 30	CG 30	CG 20	CG 20	CG 20
Č. 1530	66 - 75	183 - 210	CG 30	CG 30	CG 20	CG 20	CG 20
Č. 1531	60 - 65	168 - 182	CG 30	CG 30	CG 20	CG 20	CG 20
Č. 1531	66 - 75	183 - 210	CG 31	CG 31	CG 21	CG 21	CG 21
Č. 1580	60 - 75	168 - 210	CG 31	CG 31	CG 21	CG 21	CG 21

Део подлога за аутоматско одређивање кода материјала обрадка за чеоно глодање

UCITAVANJE PODATAKA O ZAHVATU GLODANJA

SIRINA GLODANJA B [m]

0.02

DUZINA OBRADE L [m]

0.1

DODATAK ZA OBRADU Δ [m]

0.002

rezivni alat: Čeono nasadno glodalo

proizvođač: FIMAT CACAF

skica alata:

oznaka drvenca: d d1H7 j11 e1 z oznaka sečiva: vrste pločice: kod alata

G833 50 22 40 21 14 3 TPAN163308 63 22 40 21 20 3 H 80 32 50 25 20 4 H

režim geometrija alata:

foraže 2 700
glavni ledni ugao α 12 500
pomoćni ledni ugao α₁ 6 800

Učitavanje podataka za posmatrani
захват обраде глодањем

Изабрани алат за посматрани захват
обраде глодањем за Ф-ју циља
минимално време захвата

$$t_1 = \frac{L\pi D\Delta}{vs\delta} \left(1 + \frac{t_1}{T}\right) + \frac{\Delta}{\delta} t_{p1}$$

kriterijum postojanosti:

sirina pojasa habanja VB 0.6
dubina kretanja KT 0.3
udaljenost kretanja KM 0.3

ekonomski podaci:

vreme rezanja alata 0.3
vreme ostranja 2

kod završetka: G10
kod materijala: C1310

REZIMI OBRADE

Materijal obrade:

C.1530

Završna crvenost:

P5

Tendica H6

Kod materijala:

C630

Sredstvo za hlađenje:

MBA 2

Alat:

ČEONO GLODALO

Oznaka sečiva:

P135

Sirina pojasa habanja [mm]

0.6

Postojanost [min]

40

Kod alata:

G001

posmak

[m/z]

dubina [m]

0.0005

0.001

0.002

0.003

0.0001

0.0002

0.0003

0.0004

brzina

[m/min]

0.60

0.70

0.70

0.80

0.77

0.70

0.68

0.63

0.70

0.67

0.62

0.60

0.70

0.63

0.58

0.55

KRAJ PROGRAMA

Препоручени режими обраде за посматрани
захват обраде чеоног глодања