



**UNIVERZITET U NOVOM SADU**

FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA



**Nastavni predmet:**

# **INTEGRISANI CAPP SISTEMI I PDM**

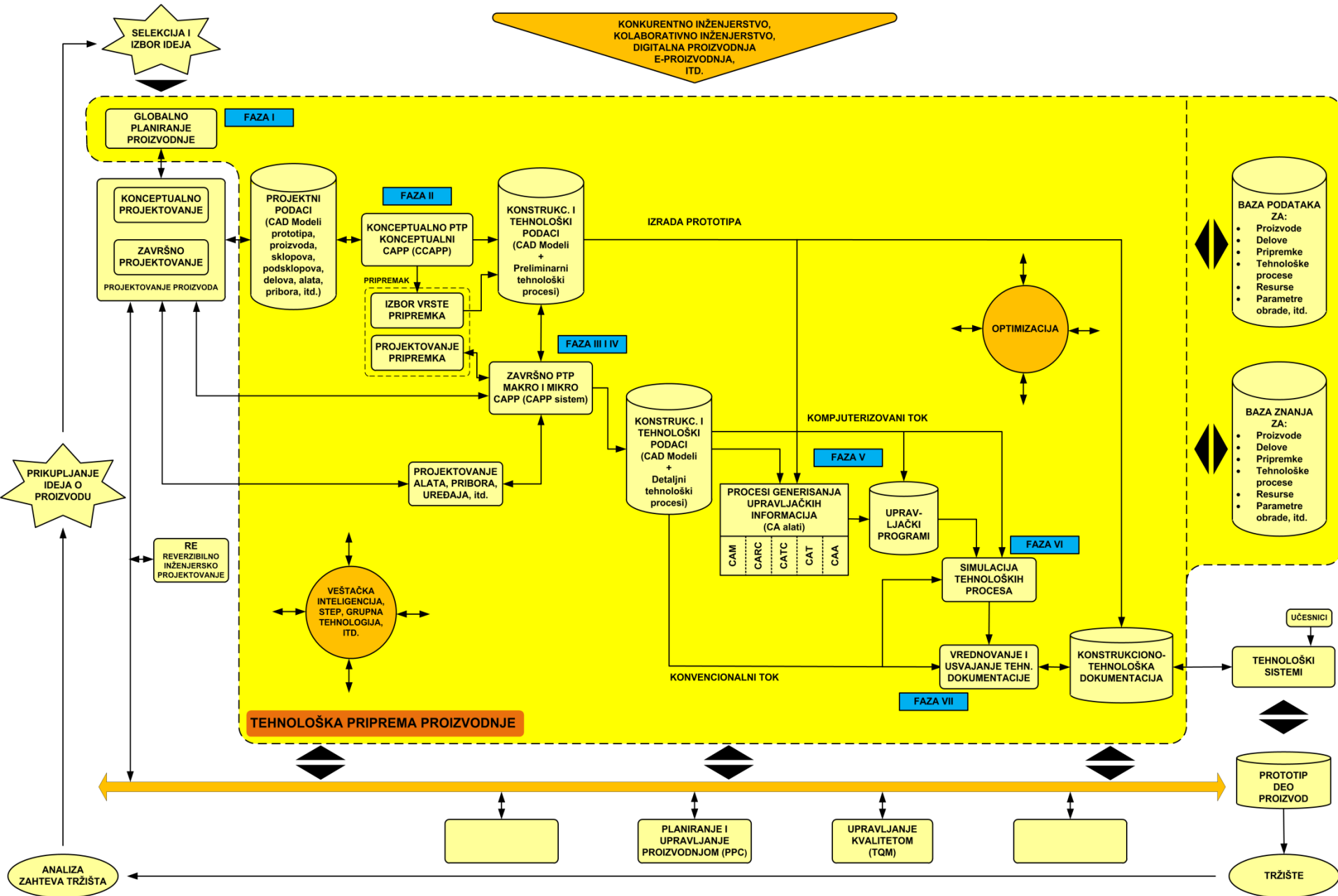
**Predavanja br. 10:**

***Savremene metode i tehnike razvoja i integracije CAPP sistema***

***Tema: Metode zasnovane na tipskim oblicima-feature tehnologije***

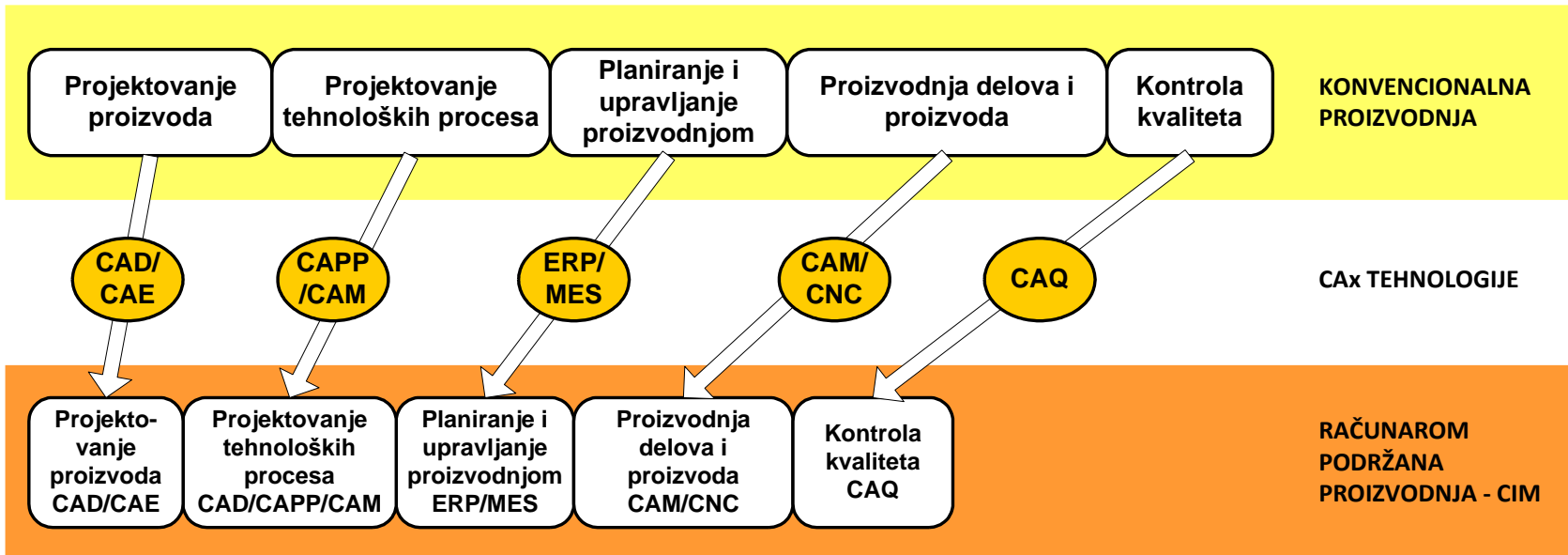
**Prof. dr Dejan Lukić**

# Opšti model tehnološke pripreme proizvodnje-faze III i IV i V



# Integracija u proizvodnom sistemu

Pod pojmom integracije u proizvodnom sistemu podrazumeva se integracija inženjerskih i drugih poslovnih aktivnosti, počevši od ideje o proizvodu pa sve do kraja životnog ciklusa proizvoda. Ostvarenje ovog cilja je od strateškog značaja za konkurentnost proizvodnih sistema. Osnovni uslov integracije je automatizacija pojedinih aktivnosti razvojem odgovarajućih CAx sistema.

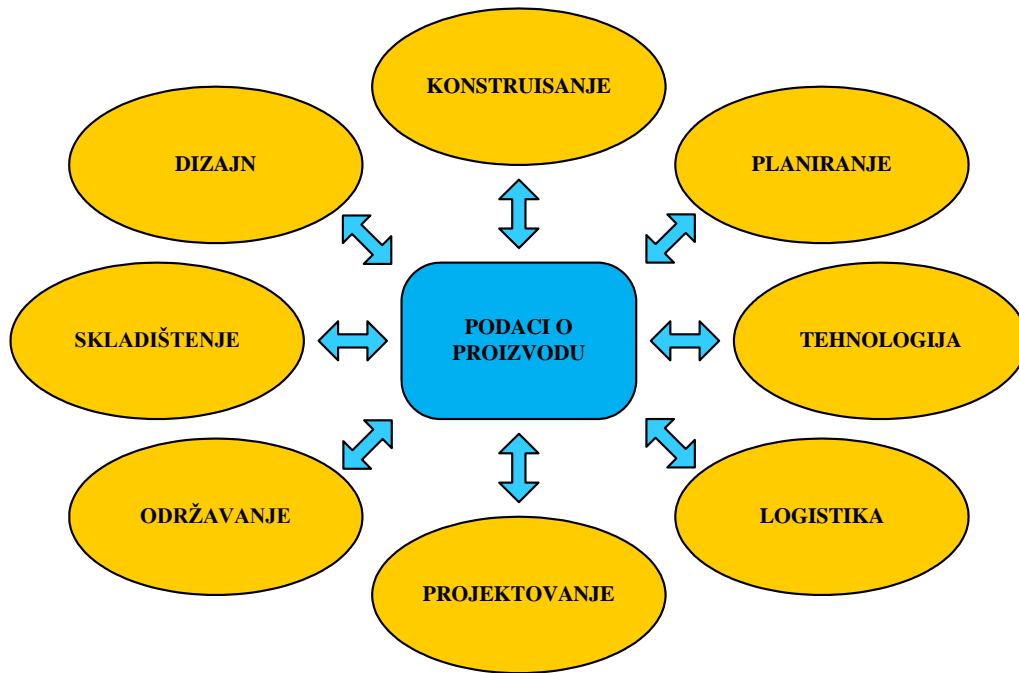


Primena Cax tehnologija u proizvodnji

Osnovne integracije aktivnosti u savremenoj proizvodnji:

- CAD/CAM sistemi,
- CAD/CAPP sistemi,
- CAD/CAE sistemi,
- CAM/CNC sistemi,
- CAD/CAPP/CAM sistemi,
- CAPP/PPC sistemi, itd.

## Model proizvoda predstavlja osnovu integracije u proizvodnom sistemu.



Model podataka sadrži sledeće vrste podatka:

- Geometrijske podatke,
- Tehnološke podatke,
- Topološke podatke,
- Opšte podatke.

**Geometrijski podaci** definišu osnovu geometrije proizvoda, pri čemu su nosioci geometrijskih informacija: tačke, linije, površine, tela.

**Tehnološki podaci** koje treba da sadrži model proizvoda, odnose se na tolerancije mera, tolerancije oblika i položaja, kvalitete obrade itd.

**Topološke informacije** se odnose na morfologiju proizvoda (npr. kod B-rep predstavljanja proizvoda opisuju vezu između površina, ivica i temena).

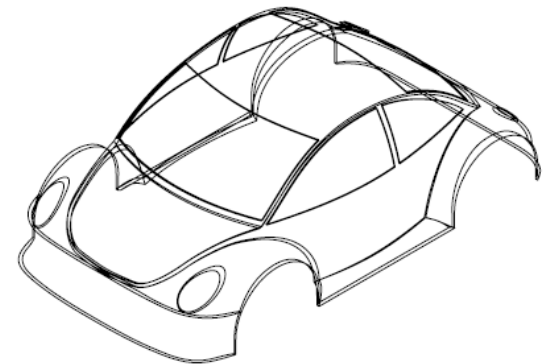
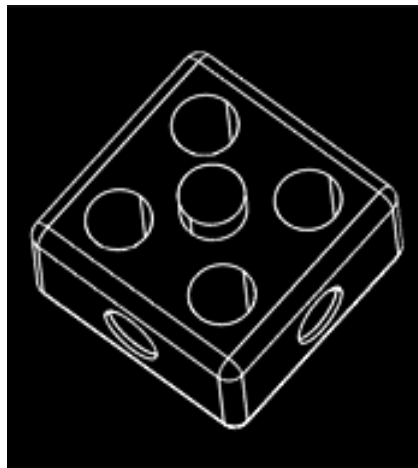
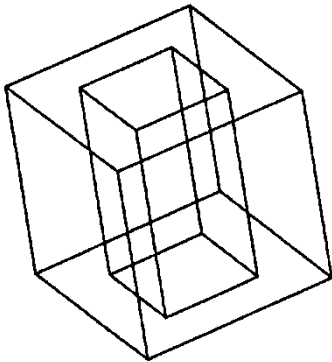
**Opšti podaci** sadržani u modelu proizvoda odnose se na ime, oznaku, pripadnost proizvoda itd.

Geometrijski model proizvoda može da se predstavi pomoću 2D crteža i/ili 3D modela. 3D geometrijski model proizvoda može da se predstavi kao:

- **Žičani model (wireframe model),**
- **Površinski model (surface model) i**
- **Zapreminski model (solid model).**

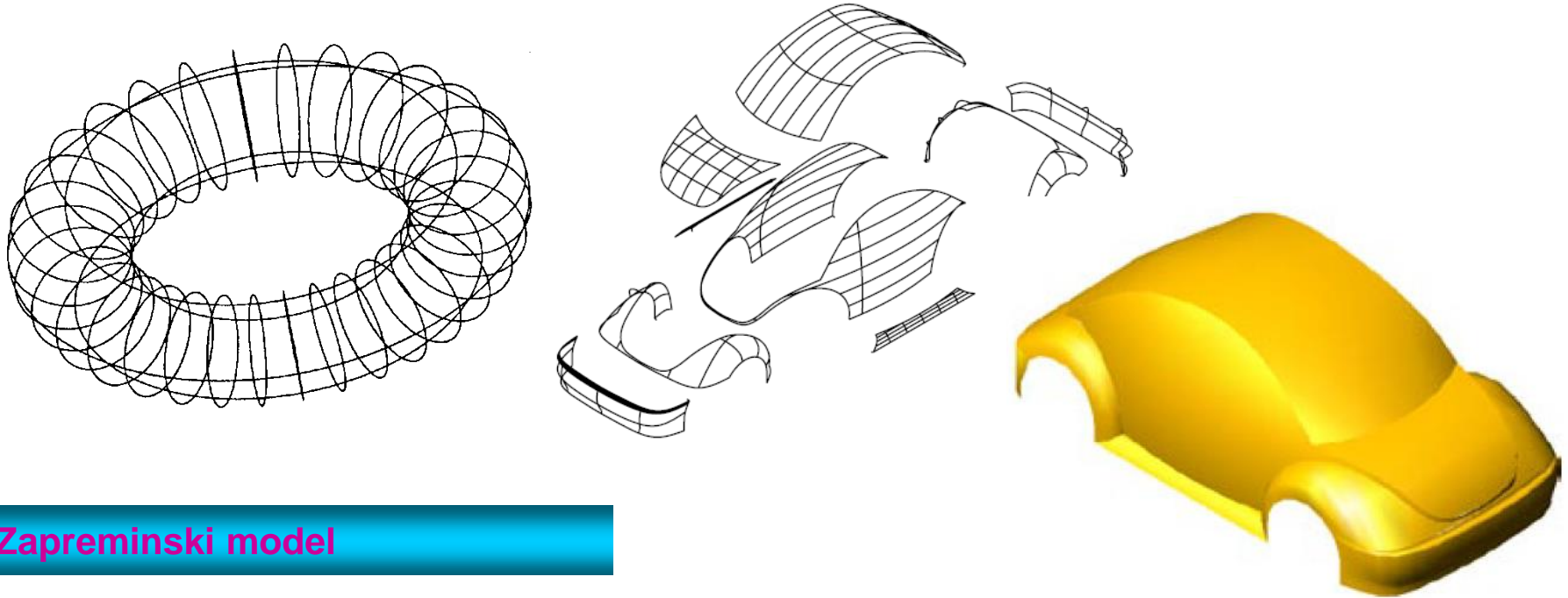
### Žičani model

U najranijoj eri razvoja računarskih modela oni su zapravo predstavljali tehničke crteže, gde je korisnik crtao koristeći prave linije, lukove, elipse i dr. 70-ih godina prošlog veka pojavili su se prvi računarski sistemi za 3D projektovanja gde su modeli prikazivani pomoću **temena i linija (žica)** koje ih spajaju. Njihova primena bila je ograničena na grubu vizuelizaciju 2,5D objekata i nije sadržala mnogo informacija korisnih za tehnologe, osim za 2D obradu na bušilicama-glodalicama, erozimatima sa žicom, mašinama za sečenje vodom, laserom i sl. Žičani model kocke sa prizmatičnim otvorom, potom jednog prizmatičnog dela i koncepta automobila prikazan je na slici.



## Površinski model

U cilju modeliranja složenih površi, pojavili su se površinski modeleri, što je bilo posebno od značaja za automobilsku i vazduhoplovnu industriju. Kao sredstvo za približno prikazivanje površi korišćene su tzv. *B-splajn* parametrizovane matematičke krive, koje su se mogle modifikovati pomeranjem kontrolnih tačaka. Na slici je prikazan površinski model torusa i automobila.



## Zapreminski model

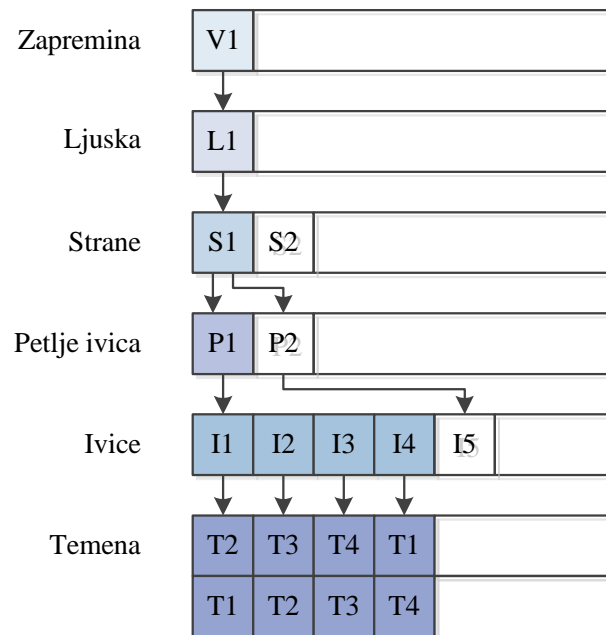
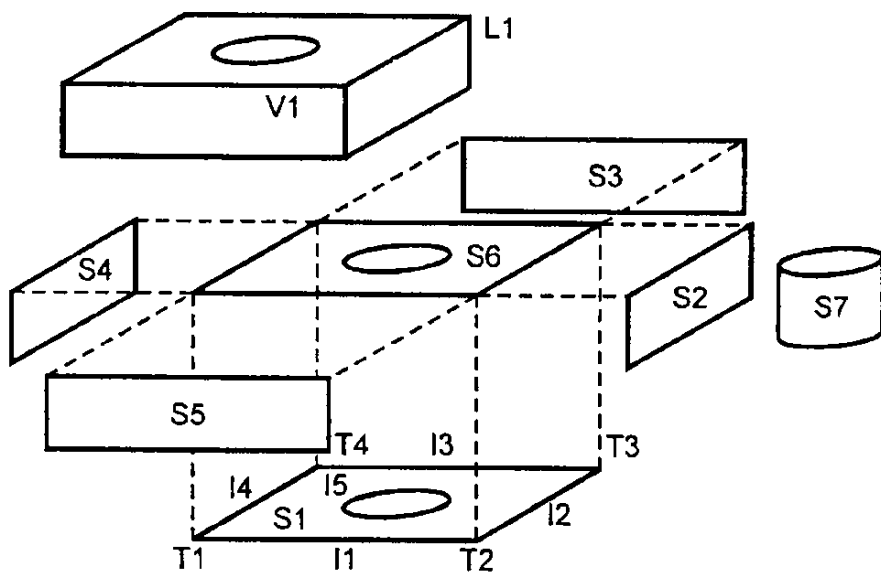
Pošto ni žičani ni površinski modeli nisu mogli proizvesti nedvosmislen model proizvoda, razvijeni su zapreminski (solid) modeleri, u kojima se koriste dva tipa prezentacije:

- Granična reprezentacija / B-rep (Boundary representation) i
- Konstruktivna geometrija tela / CSG (Constructive Solid Geometry).

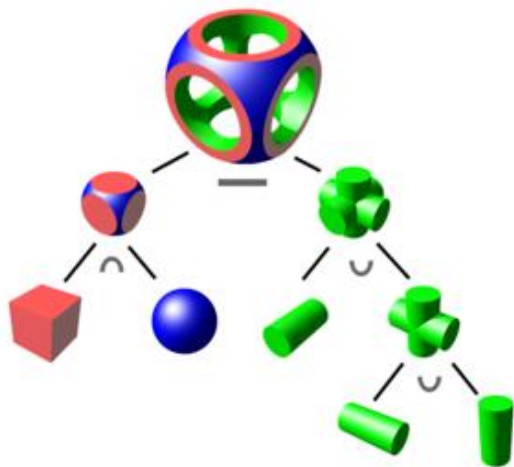
B-rep (**B**oundary **r**epresentation) je topološka struktura koja se sastoji od jednostavnih geometrijskih formi (primitiva): **tačke**, **ivice** i **strane**, koje ograničavaju zapreminu. Vidljivost strana se određuje pomoću sledećih konvencija:

- **Vektor normale strane uvek ima smer ka spoljašnjosti dela,**
- **Ivicama se dodeljuju smerovi tako da se za svaku stranu koju ograničavaju, ivice nadovezuju u smeru suprotnom od kazaljke na satu, ukoliko je strana vidljiva iz spoljašnjeg prostora**

Slika ilustruje primer B-rep strukture podataka.



CSG (**C**onstructive **S**olid **G**eometry) je metod za kreiranje zapremina korišćenjem **primitiva objekata (feature)** koji se **povezuju operacija Bulovalgebre (unija, presek i razlika)**, koji se uključuju direktno u reprezentaciji, slika. Objekti se memorišu u obliku strukture razgranatog stabla sa operatorima kao unutrašnjim čvorovima i primitivima i intermedijalnim složenim objektima kao listovima. Pozitivna karakteristika CSG modela je u tome što se “istorija” procesa modeliranja dela čuva zajedno sa modelom, kao što je prikazano na slici.

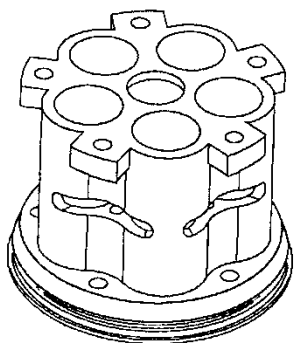


Istorija modeliranja ne mora biti jedinstvena, odnosno CSG model nije jednoznačan, tj. postoji mnogo različitih načina na koje se primitivi, transformacije i operatori mogu iskoristiti tako da se dobije jedan te isti model, prema slici.

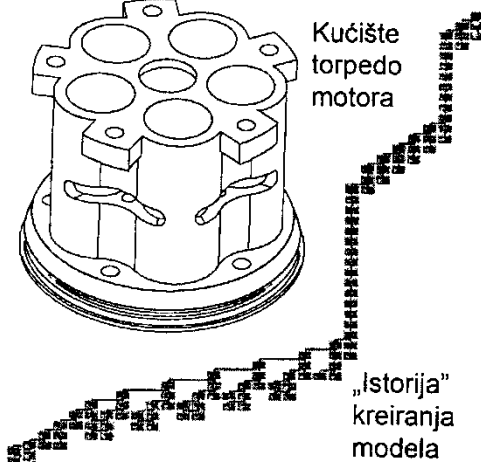
$$\text{[Notch Block]} = \text{[Rectangular Block]} - \left( \text{[Vertical Bar]} \cup \text{[Horizontal Bar]} \right)$$

$$\text{[Notch Block]} = \text{[Rectangular Block]} - \left( \text{[Small Vertical Bar]} \cup \text{[Small Horizontal Bar]} \cup \text{[Horizontal Bar]} \right)$$

$$\text{[Notch Block]} = \text{[Rectangular Block]} - \left( \text{[Vertical Bar]} \cup \text{[Small Vertical Bar]} \cup \text{[Small Horizontal Bar]} \right)$$



Kučšte torpeda motora



„istorija”  
kreiranja  
modela



## Prednosti zapreminskog modela(modeliranja):

- *Nedvosmislen prikaz geometrije,*
- *Prirodnije kreiranje modela proizvoda primenom osnovnih zapreminskih objekata i logičkih operacija,*
- *Generisanje površinskih i volumetrijskih osobina: zapremina, masa, težišta, moment inercije itd.,*
- *Identifikacija kolizija pri modeliranju sklopova,*
- *Mogućnost korišćenja podataka o modelu za generisanje putanje alata kod obrade na NC mašinama,*
- *Izvođenje velikog broja analiza i simulacija iz različitih inženjerskih oblasti (mehanike čvrstih tela, mehanike fluida, termodinamike)*
- *Automatsko generisanje mreže za analize MKE, itd.*

## Poređenje karakteristika B-rep i CSG modela

Oba tipa zapremenske reprezentacije imaju svoje prednosti i mane.

B-rep je memorijski dosta zahtevnija od CSG i teško je napraviti izmene u modelu jer se ne čuva istorija procesa modeliranja. Sa druge strane, B-rep omogućuje pristup svakoj strani, ivici i temenu pojedinačno jer ih čuva u eksplicitnoj formi, zbog čega se kaže da B-rep predstavlja “evaluirani” model, što može biti od velike koristi za prepoznavanje TO, tehnološke merne lance, definisanje putanje alata, i dr.

Zato se može reći da sa stanovišta projektovanja tehnoloških procesa, posebno prepoznavanja feature (TO) B-rep ima značajnije prednosti u odnosu na CSG. Projektovanje pomoću većine komercijalnih 3D modelera se zasniva na hibridnom pristupu: modeliranje se vrši korišćenjem CSG reprezentacije, a evaluacija korišćenjem B-rep. To je omogućeno činjenicom da se CSG reprezentacija može konvertovati u B-rep, dok obrnuta konverzija ne važi.

U razvoju CAPP sistema i njihovoj integraciji sa drugim funkcijama i aktivnostima proizvodnog sistema i globalnog poslovnog okruženja primenjuju se brojne metode i tehnike, koje se mogu koristiti zasebno ili integralno. Na osnovu analize brojnih literaturnih informacija, izdvojen je set osnovnih savremenih metoda i tehnika koje se koriste za razvoj CAPP sistema:

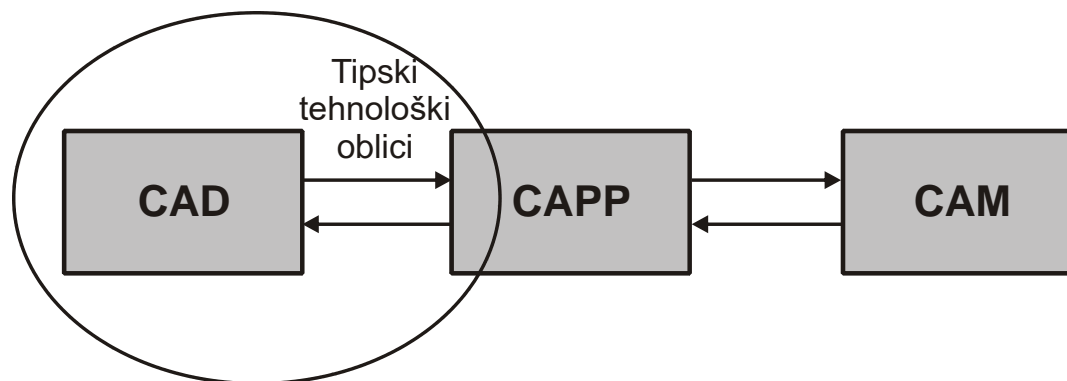
- ***Metode zasnovane na tipskim oblicima,***
- ***Metode veštačke inteligencije***
  - ***Ekspertni sistemi,***
  - ***Neuronske mreže,***
  - ***Genetski algoritmi,***
  - ***Fuzzy teorija i fuzzy logika,***
- ***Agent-bazirane metode,***
- ***Internet-bazirane metode,***
- ***Metode bazirane na STEP standardu, i dr.***

## Tipski oblici – feature u razvoju CAPP sistema

Pojam "feature" se kod nas može sresti pod različitim terminima, kao *karakteristika, osobina, svojstvo, obeležje, oblik, forma, značajka*, itd., dok su ovde usvojeni termini **tipski oblik** i **tipski tehnološki oblik**. **Tipski oblik (feature)** se koristi sa aspekta domena **funkcionalnosti, geometrije, metrologije** i dr., dok se **tipski tehnološki oblik**, često zvana i **tehnološka forma (manufacturing feature, machining feature)** koristiti sa aspekta domena **tehnologije izrade**.

Prema jednoj definiciji "feature" predstavlja semantičku grupa ili atom modeliranja, određen skupom parametara, koji se koristi za opis objekta koji se ne može dodatno razložiti, sa aspekta jedne ili više aktivnosti u vezi sa projektovanjem i primenom proizvoda. Metodologije zasnovane na tipskim oblicima su prvo bile centralna tema integracije CAD/CAM sistema, da bi intenzivnijim razvojem CAPP sistema postale osnova za integraciju CAD/CAPP/CAM sistema.

CAPP sistemi bazirani na tipskim tehnološkim oblicima, koriste modele tipskih oblika iz CAD sistema za donošenje odluka u procesu projektovanja tehnoloških procesa, zbog čega predstavljaju osnovna sredstva, odnosno elemente integracije CAD i CAPP sistema (slika). Model tipskih tehnoloških oblika treba da obuhvati dovoljan broj informacija za potrebe projektovanja tehnoloških procesa.



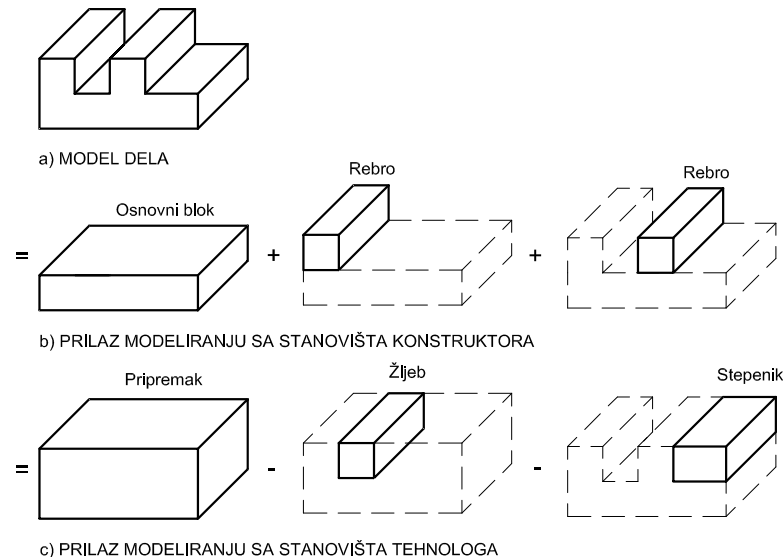
Transfer podataka između CAD i CAPP sistema je jedna od najznačajnijih aktivnosti u razvoju i primeni CIM sistema. Mogu se izdvojiti tri osnovna pristupa povezivanja CAD i CAPP sistema:

- **Ulogu interfejsa preuzima projektant koji tumači crtež i pomoću posebno razvijenog jezika (simbolički jezik) ili kroz određeni dijalog, daje opis tipskih tehnoloških oblika (manufacturing feature) sa svim relevantnim tehnološkim parametrima. Kod ovih sistema veliki udeo u odlučivanju ima projektant, tako da tehnološki proces koji se dobija kao izlaz, u velikoj meri zavisi od iskustva tehnologa,**
- **Vrši se razvoj sistema za izdvajanje i prepoznavanje tipskih tehnoloških oblika iz CAD modela, odnosno vrši se nadoknađivanje izgubljenih podataka na CAD modelu, i**
- **Razvija se CAD sistem koji je zasnovan na tipskim oblicima, gde se pri projektovanju koriste ovi oblici iz postojeće biblioteke oblika. Za svaki tipski oblik postoji određeni tehnološki proces na mikro nivou tako da projektovanje tehnoloških procesa predstavlja kombinovanje obrade tipskih tehnoloških oblika primenom tipskih tehnoloških sekvenci, odnosno grupa zahvata.**

Kao što je navedeno, postoje dve osnovne vrste tipskih oblika koji se koriste u projektovanju proizvoda i tehnoloških procesa njihove proizvodnje:

- **Tipski geometrijski oblik (design feature) ili samo tipski oblik (feature), i**
- **Tipski tehnološki oblik (manufacturing feature).**

Tipski oblici koji se koriste pri projektovanju proizvoda (funkcionalni domen), često se značajno razlikuju od tipskih tehnoloških oblika koji se koriste za projektovanje tehnoloških procesa (tehnološki domen). Jedna od posledica ove razlike je i različit prilaz pri projektovanju proizvoda i tehnoloških procesa, što je prikazano na slici. U posmatranom primeru projektant proizvoda pri konstruisanju koristi rebra kao tipске oblike jer su oni za njega funkcionalni elementi, dok projektant tehnološkog procesa posmatra materijal koji se obrađuje, tako da su za njega bitni žljeb i stepenik kao obradni elementi, koji su predstavljeni preko odgovarajućih tipskih tehnoloških oblika. Upravo zbog toga je neophodan proces preslikavanja iz geometrijskog, odnosno funkcionalnog domena u tehnološki domen, što se naziva prepoznavanje tipskih tehnoloških oblika ili samo tehnološko prepoznavanje.



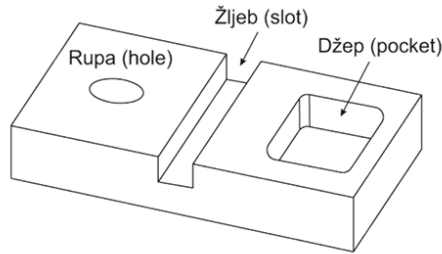
Tipski tehnološki oblici su u bliskoj vezi sa procesom obrade i pružaju informacije o vrstama obradnog procesa koje treba primeniti, odnosno zahvatima obrade, alatima, strategiji obrade, itd. Tipski tehnološki oblici se karakterišu preko sledećih skupova informacija:

- *Inherentne karakteristike (dimenzije, kvalitet obrade površina, tolerancije),*
- *Geometrijski odnosi sa drugim tipskim tehnološkim oblicima (dimenzije, tolerancije položaja i odnosa površina), i*
- *Topološke relacije sa drugim tipskim tehnološkim oblicima (udaljenost ili rang susednosti i preklapanje ili interakcija)*

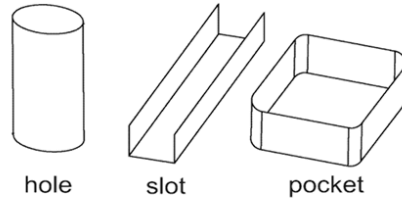
Podela tipskih tehnoloških oblika može se izvršiti na više načina, prva podela je prema načinu predstavljanja proizvoda:

- *Površinski tipski tehnološki oblici (surface manufacturing feature), za granično predstavljanje proizvoda (B-rep), i*
- *Zapreminski tipski tehnološki oblici (volumetric manufacturing feature), za predstavljanje proizvoda solid modelom (CSG).*

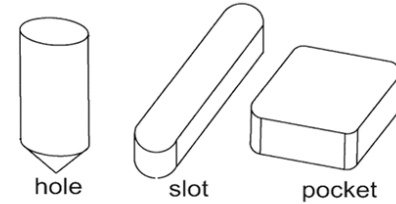
Na slici prikazan je jedan proizvod koji je projektovan pomoću tipskih oblika i za koji su potom definisani površinski i zapreminski tipski tehnološki oblici za njegovu obradu.



a) proizvod sa tipskim oblicima

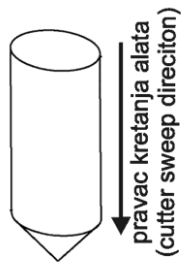


b) površinski tipski tehnološki oblici

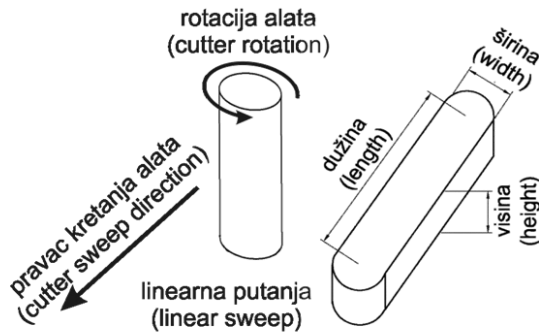


c) zapreminski tipski tehnološki oblici

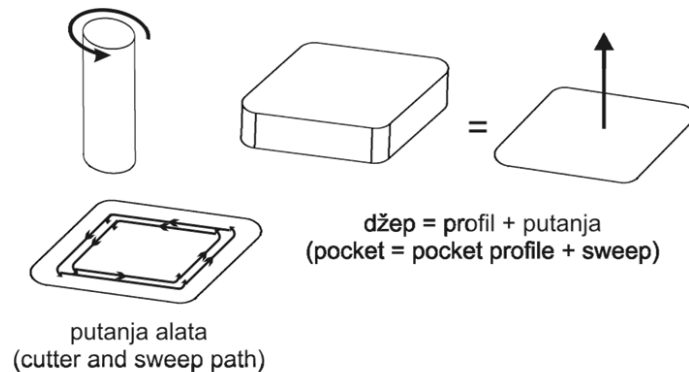
Tipski tehnološki oblici se najčešće definišu kao elementi profila putanje alata pri obradi. Tako je na slici prikazan način definisanja tri zapreminska tipska tehnološka oblika za prethodno prikazani proizvod.



a) rupa (hole)



b) žljeb (slot)



c) džep (pocket)

Druga podela je prema vrsti tipskih tehnoloških oblika na izolovane i preklapajuće TTO.

*Izolovani* TTO predstavljaju skup međusobno povezanih geometrijskih obeležja koji odgovaraju nekom pojedinačnom procesu obrade. Podklase izolovanih tipskih tehnoloških oblika su prelazni tipski tehnološki oblici (zaobljenja, oborene ivice) i ponavljajući tipski tehnološki oblici (niz umnoženih tipskih oblika koji se ponavljaju na delu).

*Preklapajući* TTO (interacting feature) predstavljaju složene oblike nastale interakcijom dva ili više izolovana tipska tehnološka oblika.

U literaturi se može naći mnogo različitih klasifikacija tipskih tehnoloških oblika, koji su najčešće internog karaktera. Najsveobuhvatnija klasifikacija tipskih tehnoloških oblika je data u okviru aplikacionog protokola AP224 standarda STEP ISO 10303 standarda, prema kome se oni dele na:

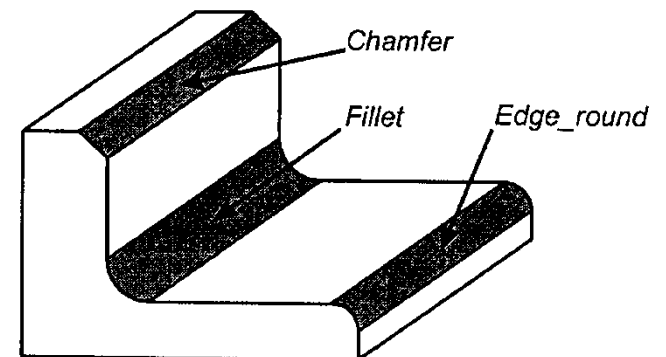
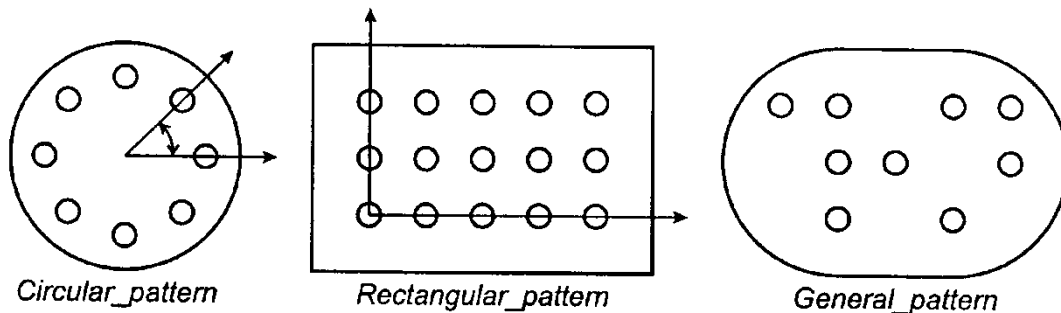
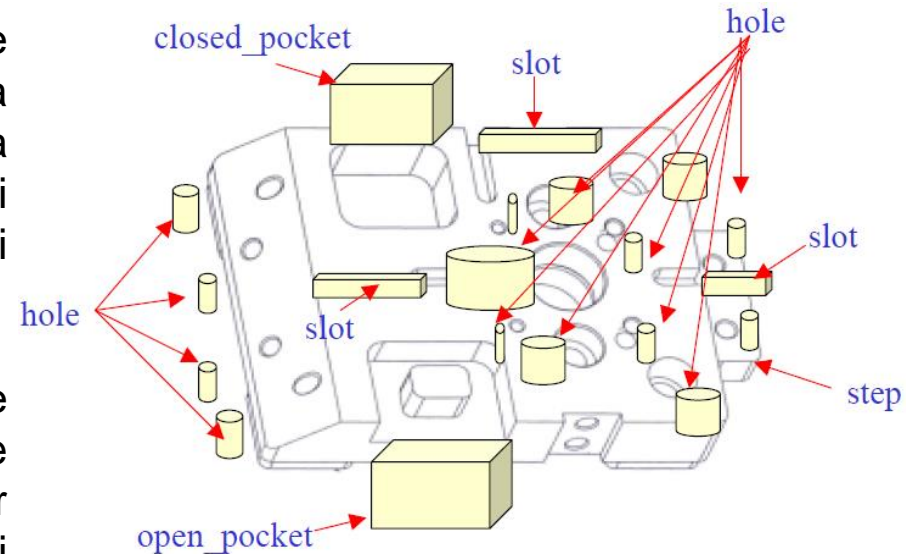
- *Machining\_feature* (tipski tehnološki oblici za mašinsku obradu),
- *Replicate\_feature* (umnoženi tipski tehnološki oblici), i
- *Transition\_feature* (prelazni tipski tehnološki oblici).



*Machining\_feature* karakteriše zapremina materijala koja će se u procesu obrade ukloniti sa obradka i u vezi je sa karakterističnim zahvatom/ima obrade. Obuhvataju sledeće osnovne tipove oblika, od kojih neki imaju svoje podtipove: Knurl, General\_removal\_volume, Outer\_round, Multi\_axis\_feature (Boss, Hole, Rounded\_end, Planar\_face, Pocket, Profile\_feature, Protrusion, Rib\_top, Slot, Step), Compaund\_feature, Thread, Making, Revolved\_feature, Spherical\_cap.

*Replicate\_feature* predstavlja tipske tehnološke oblike koji se sastoje od niza umnoženih entiteta tipa *Machining\_feature* koji se ponavljaju na proizvodu, pri čemu postoje podtipovi *Circular\_pattern*, *Rectangular\_pattern* i *General\_pattern*.

*Transition\_feature* predstavlja tipske tehnološke oblike koji se javljaju na prelazu dve susedne površine i obuhvataju podtipove *Chamfer* (oborena ivica), *Fillet* (konkavna zaobljena ivica) i *Edge\_round* (konveksna zaobljena ivica).

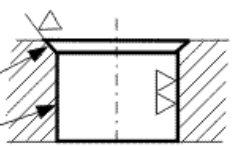


# Primer definisanja tehnologije obrade složenog TTO

## Tipski tehnološki oblik

**Tip TTO**

**Složeni tipski tehnološki oblik (Compound feature)**  
 Unutrašnji konus (Round hole - Tapered)  
 Otvor (Round hole - Straight)



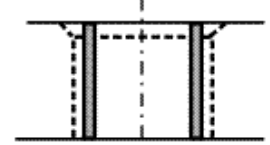


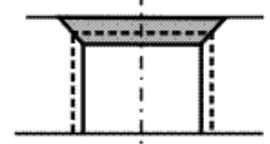
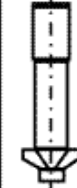
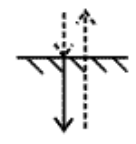
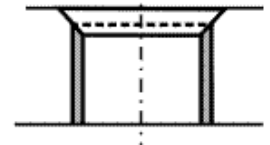
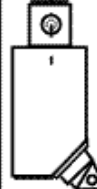
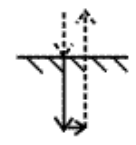
**Atributi TTO**

[Materijal] Liveno gvožđe [Prečnik] 30 mm  
 [Ugao u odnosu na osnovnu ravan] 90°  
 [Prethodno odstranjena zapremina] Otvor

## Definisanje zahvata i redosled zahvata

Br.	Zahvat	Tipski tehnološki oblik	Oznaka
1.	Gruba obrada otvora	Složeni TTO (Compound feature)	SR_01
2.	Obaranje ivice	Unutrašnji konus (Round hole - Tapered)	CS_10
3.	Završna obrada otvora	Otvor (Round hole - Straight)	BR_05

## Definisanje tehnološkog procesa

Oznaka zahvata	Tip obrade	Alat	Strategija obrade	Režimi obrade	Dopunski uslovi
SR_01	Grubo glodanje otvora 	Vretenasto glodalo 	Konturno glodanje 	Brzina rezanja = 62,8 m/min Pomak = 0,3 mm/o	Dodatak za završnu obr. = 0,5 mm Dubina rezanja = 3,0 mm
CS_10	Upuštanje konusa 	Konični upuštač 	Upuštanje 	Brzina rezanja = 40,0 m/min Pomak = 0,65 mm/o	Vreme zadržavanja alata = 0,5 sec.
BR_05	Fino bušenje 	Alat za fino bušenje 	Bušenje 	Brzina rezanja = 100,0 m/min Pomak = 0,1 mm/o	Orientacija vretena na dole

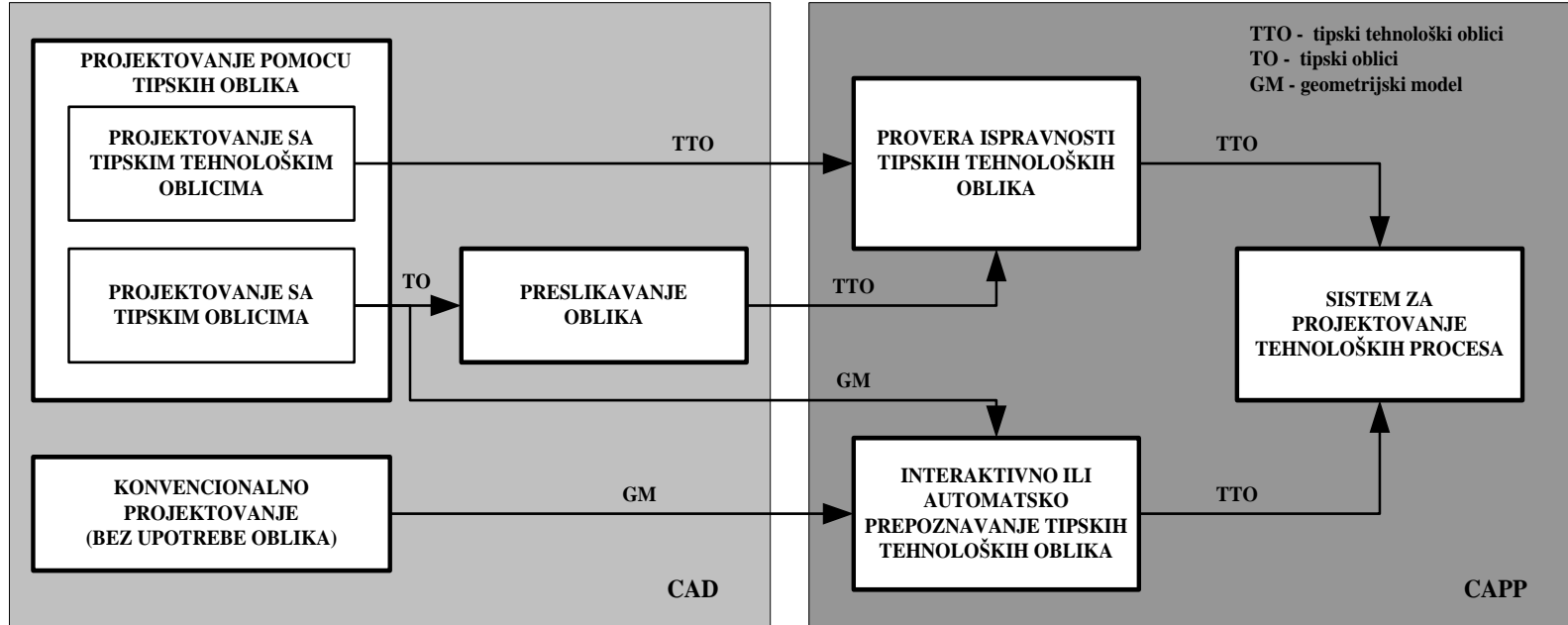
## Prepoznavanje TTO

Jedan od osnovnih problema koji se javlja pri razvoju i primeni CAPP sistema odnosi se na prepoznavanje tipskih oblika, za koje treba definisati tehnološke procese obrade, a da se informacije dobiju direktno iz CAD sistema. Veliki broj CAD sistema u svojim modelima proizvoda nemaju sistematizovane neophodne podatke za prepoznavanje, ili su oni nedostupni i nerazumljivi. Kod ovakvih CAD sistema model proizvoda se prevodi u novi, interni model podataka pogodan za CAPP sisteme ili, se pak, deo ponovo opisuje, što često dovodi do gubitaka pojedinih informacija.

Prepoznavanje TTO predstavlja prevođenje modela koji sadrži entitete nižeg nivoa u model koji sadrži entitete višeg nivoa, tj. prevođenje geometrijskog modela koji sadrži entitete kao što su linije, tačke itd., u model baziran na tipskim tehnološkim oblicima, definisan entitetima višeg nivoa kao što su otvori, žljebovi itd. Osnovni razlog za prevođenje modela iz jednog u drugi oblik je mogućnost da se tipskim oblicima pridruži znanje o procesu njihove izrade i dobiju tipski tehnološki oblici.

Model TTO kao osnovni ulazni podatak za projektovanje tehnoloških procesa može da se dobije na više načina, u zavisnosti od načina projektovanja proizvoda

- *Projektovanjem pomoću tipskih tehnoloških oblika,*
- *Projektovanjem pomoću tipskih oblika a zatim preslikavanjem ili prepoznavanjem tipskih tehnoloških oblika,*
- *Konvencionalnim projektovanjem, bez upotrebe tipskih oblika, a zatim prepoznavanjem tipskih tehnoloških oblika.*



Funkcija preslikavanja oblika se smatra delom CAD sistema, dok se prepoznavanje oblika smatra delom CAPP sistema, ali ih veoma često u literaturi nazivaju jednim imenom “prepoznavanje oblika-feature recognition”. Prepoznavanje TO može biti manuelno ili interaktivno (engl. Interactiv form feature definition) i automatsko (engl. Automated feature recognition).

Projektovanje pomoću TTO podrazumeva postojanje biblioteke TTO, prilagođene potrebama izrade proizvoda, odnosno dela. Ovakvi sistemi su se intenzivno razvijali 90-ih godina prošlog veka, ali se zbog određenih nedostataka sve više primenjuju sistemi za automatizovano prepoznavanje tipskih tehnoloških oblika.

Automatsko prepoznavanja se bazira na direktnom preuzimanju modela proizvoda na kome se automatski prepoznaju TO koji se prevode u TTO. Svi pristupi u ovoj oblasti imaju cilj formiranja algoritama sposobnih da prepoznaju svaki TTO bez ikakvog učešća projektanta tehnološkog procesa.

S obzirom na način prepoznavanja tipskih oblika, metode prepoznavanja se mogu podeliti na: *Manuelno ili interaktivno prepoznavanje TTO* (Interactiv form feature definition) i *Automatsko prepoznavanje TTO* (Automated feature recognition – AFR).

Pod manuelnim prepoznavanjem TTO podrazumeva se da korisnik identifikuje TTO na modelu proizvoda i to najčešće pomoću određenog interfejsa. Ova vrsta prepoznavanja je primenljiva za jednostavnije proizvode sa manjim brojem TTO. U slučaju složenijih proizvoda pogodniji oblik prepoznavanja je automatsko prepoznavanje, koji se danas mnogo više primenjuje.

Automatsko prepoznavanja bazira se na direktnom preuzimanju modela proizvoda na kome se automatski prepoznaju TO koji se prevode u TTO. Svi pristupi u ovoj oblasti imaju cilj formiranja algoritama sposobnih da prepoznaju svaki mogući TTO bez ikakvog učešća projektanta tehnološkog procesa.

Sistemi za automatsko prepoznavanje tipskih tehnoloških oblika treba da obezbede rešenje sledećih međusobno povezanih zadataka

- *Izdvajanje geometrijskih obeležja dela iz CAD modela potrebnih za formiranje prikaza dela pogodnog za prepoznavanje tipskih tehnoloških oblika. (Kod B-rep modela to su temena, ivice i strane dela, kod žičanih modela to su temena i ivice, a kod CSG modela to su geometrijski primitivi)*
- *Formiranje prikaza dela pogodnog za identifikaciju tipskih tehnoloških oblika (Kod sistema zasnovanih na B-rep i žičanom modelu vrše se topološko povezivanje geometrijskih obeležja, a kod CSG povezivanje operacijama bulove algebre)*
- *Uparivanje prepoznatih tipskih tehnoloških oblika sa obrascima u biblioteci tipskih tehnoloških oblika, a kod naprednih sistema zasnovanih na veštačkim neuronskim mrežama i akvizicija znanja u vidu formiranja novih obrazaca sačinjenih od neprepoznatih tipskih tehnoloških oblika.*

Metode za izdvajanje geometrijskih obeležja iz CAD modela dela mogu da se podele na *eksterne* i *interne*.

Interni pristupi podrazumevaju korišćenje API (Application Protocol Interface) softvera, u kome je deo modeliran, za pristup toplološkim i geometrijskim informacijama o tom delu.

Eksterni pristupi podrazumevaju izvoženje CAD modela iz softvera u kome je deo u neki neutralni format podataka (**STEP**, IGES, ACIS,...) u vidu ASCII datoteke, koja se pomoću nekog interfejsa (programa napisanog u nekom prog. jeziku) prevodi u odgovarajući prikaz dela koji je pogodan za izdvajanje TTO.

Najpoznatije metode za identifikaciju i prepoznavanje tipskih tehnoloških oblika su sintatičko prepoznavanje oblika, dijagrami stanja i automati, logička pravila i ekspertni sistemi, metode grafova, metode nagoveštaja, metode dekompozicije zapremine, ćelijska dekompozicija, hibridne metode, itd.

izdvajanje tehnoloških formi		prepoznavanje tehnoloških obrazaca
izdvajanje geometrijskih obeležja	identifikacija tehnoloških formi	
1. eksterno 2. interno	1. sintaktičko prepoznavanje oblika 2. dijagrami stanja i automati 3. logička pravila i ekspertni sistemi 4. pristupi zasnovani na grafovima 5. pristupi zasnovani na nagoveštajima 6. dekompozicija zapremine konveksne ljuske 7. ćelijska dekompozicija zapremine 8. hibridni pristupi	logička pravila
	1. pristupi zasnovani na grafovima 2. pristupi zasnovani na kodiranju strana 3. konturno-sintaktički pristupi 4. pristupi zasnovani na dekompoziciji zapremine	veštačke neuronske mreže

## Logička pravila za prepoznavanje oblika

Kod ovih metoda vrši se uparivanje identifikovane strukture dela sa obrascima TO (tipskih oblika) iz baze znanja pomoću pravila IF-THEN.

Kod ovih metoda od esencijalnog značaja je da pravila obezbede jednoznačnost definisanja oblika (formi) – svaka forma mora imati jedinstvenu definiciju, odnosno nesmu postojati dve forme sa istom definicijom ili jedna forma sa više definicija u bazi znanja.

Mana ovih sistema je odsustvo mehanizama za akviziciju znanja – problem kada se izdvoje forme za koje ne postoje obrasci u bazi znanja

## Veštačke neuronske mreže (VNM) za prepoznavanje oblika

Funkcionalnost VNM u prepoznavanju oblika zavisi od:

1. Karakteristika ulaza (metode za formiranje serija ulaznih podataka-metode iz tabele)
2. Primenjene arhitekture i tipa obučavanja VNM
3. Karakteristike izlaza iz VNM

Prednosti automatskog prepoznavanja TTO primenom VNM u odnosu na logička pravila:

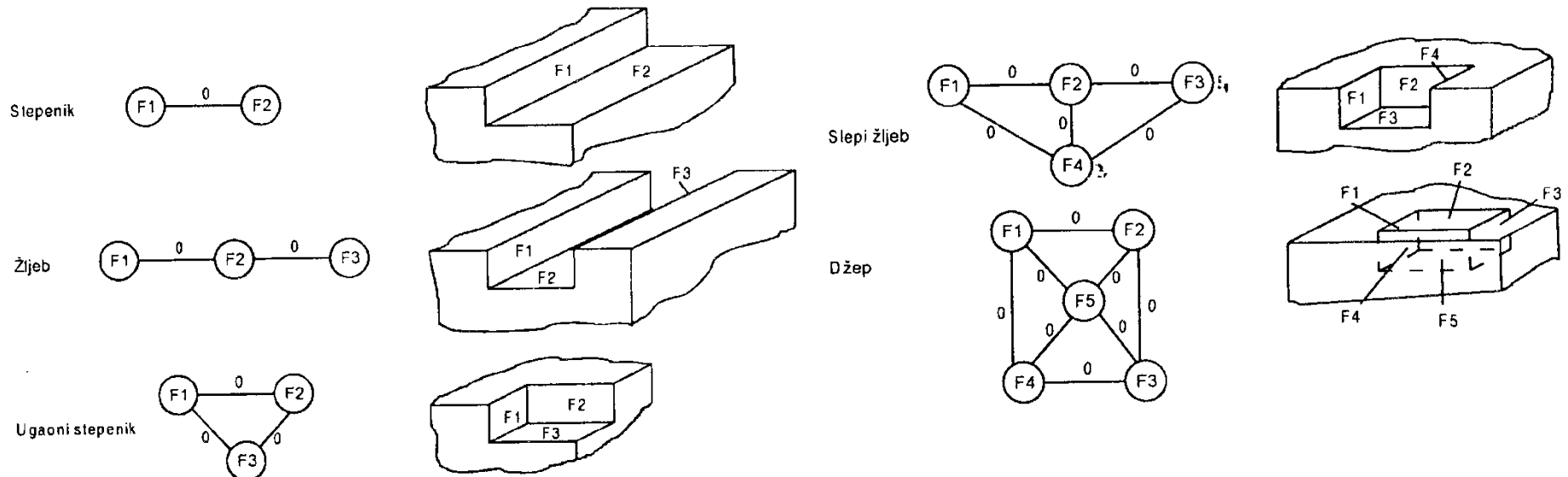
1. VNM tolerišu manje greške u ulaznim podacima tokom obučavanja i rešavanja problema
2. Proces prepoznavanja je brži (ne zahteva detaljno pretraživanje strukture prikaza dela ili kompleksne logičke operacije za dobijanje potrebnih informacija, već egzaktne matematičke proračune)
3. Imaju sposobnost akvizicije znanja kroz proces učenja na primerima, što omogućuje tretiranje identifikovanih formi za koje prethodno ne postoje definisani obrasci u bazi znanja.

## Metodologija zasnovana na grafovima susednosti (Metoda grafova)

Kod ove metodologije B-rep prikaz dela se transformiše u atributivni graf susednosti-AAG, koji se može prikazati u računarskom obliku primenom trodimenzionalne matrice  $G=(N,A,T)$ .

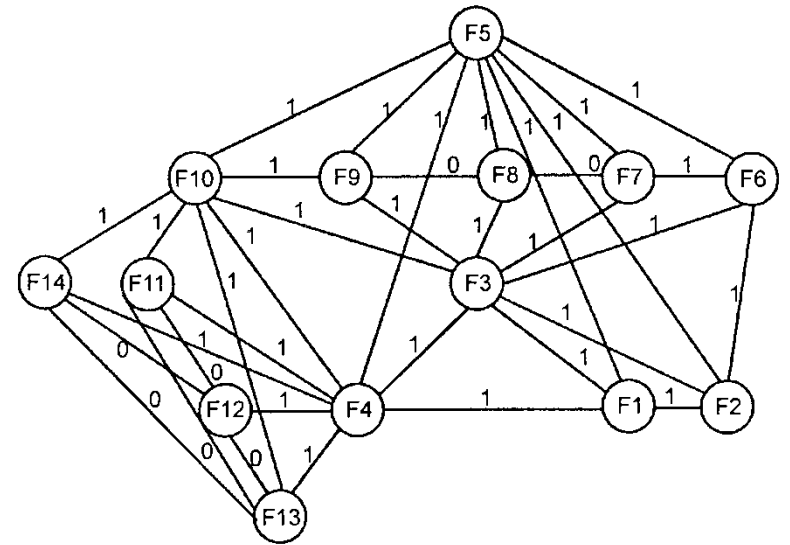
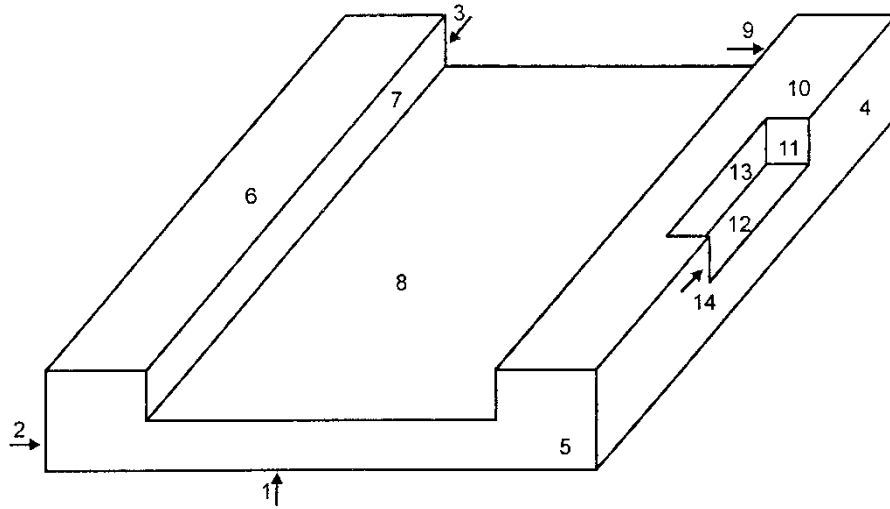
- N-skup čvorova (čvor je svaka površina na delu)
- A-skup veza-grana (povezanost dve površine)
- T-skup atributa dodeljenih vezama A
  - dve susedne površine prave konkavan ugao-atribut veze dobija oznaku 0
  - dve susedne površine prave konveksan ugao-atribut veze dobija oznaku 1

Prikaz grafova susednosti za različite geometrijske oblike:

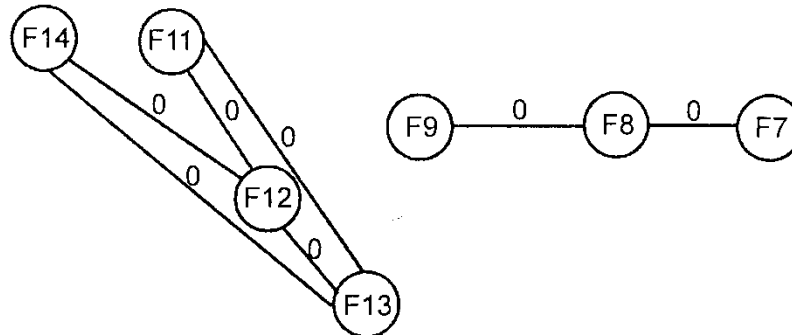




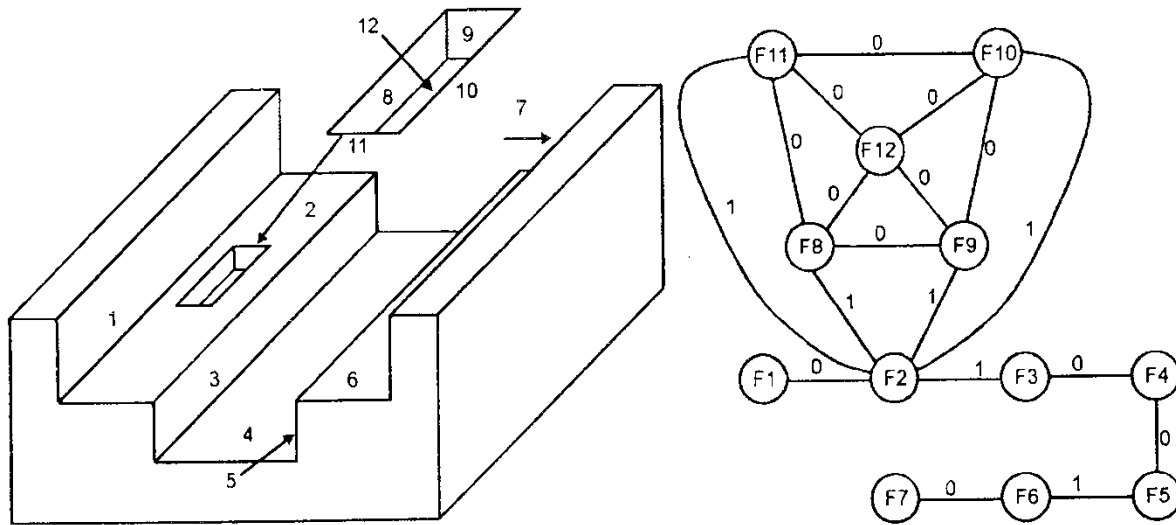
## Prikaz grafa susednosti za deo (X):



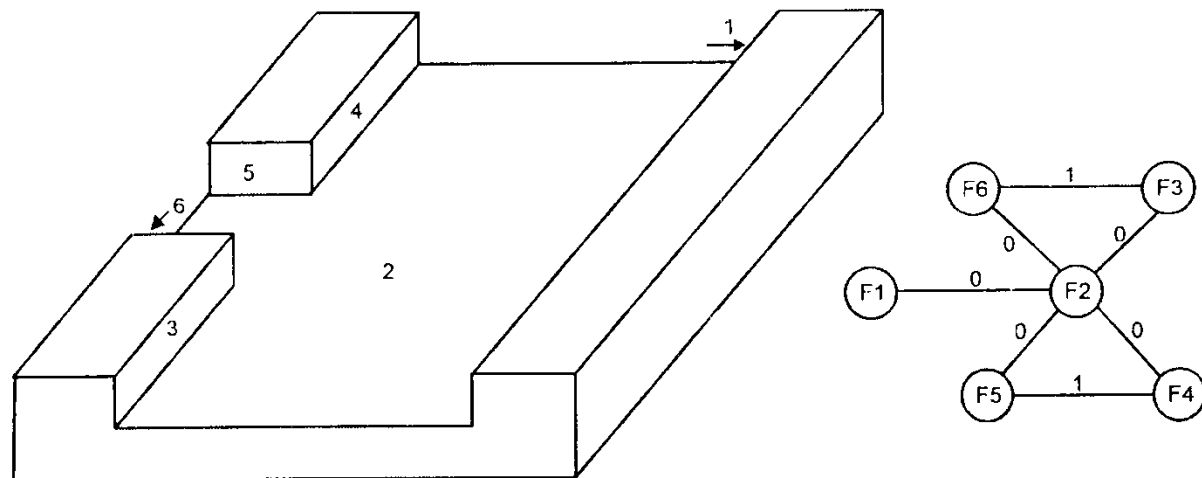
- 1. Izomorfizam podgrafova** – forme (TO) predstavljaju podgrafove AAG dela i prepoznavanje formi se svodi na pronalaženje podgrafova koji se mogu upariti sa obrascima iz baze. (Dugotrajan proces pretraživanja strukture AAG koji je procesorski veoma zahtevan)
- 2. Izomorfizam grafova/Deljenje grafova** – Izdvajanje formi se vrši rasturanjem AAG u čvorovima koji imaju sve susedne strane konveksne (sve grane imaju atribut 1). Na ovaj način se graf redukuje na nekoliko razdvojenih podgrafova, koji odgovaraju jednoj formi-TO ili skupu formi-TO (slika-podgrafovi grafa za deo sa prethodne slike)



Primer interakcije formi sa zajedničkim ivicama:



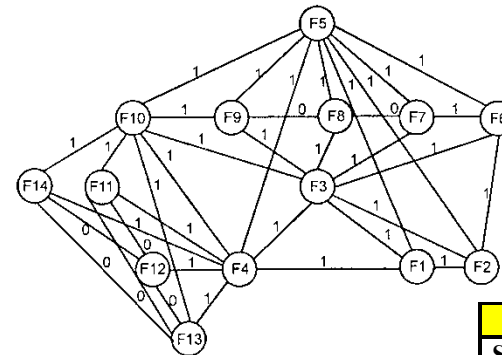
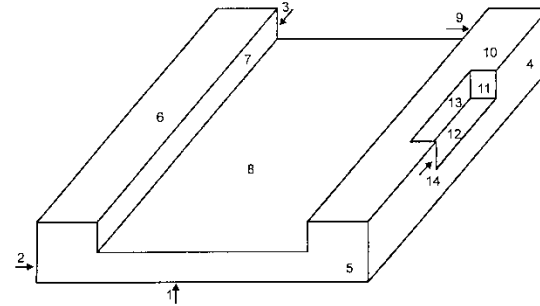
Primer formi sa zajedničkim površinama:



## Metodologija zasnovana na matičnoj interpretaciji grafova susednosti

3D objekti se mogu matematički predstaviti preko 2D matrica. Odnosno, matrična forma AAG se naziva AAM. Na slici levo je prikazana matrica susednosti AAM za deo (X) sa prethodnog slajda, za koji je desno prokazan graf susednosti AAG.

F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0	7	7	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	7	0	7	0	7	7	0	0	0	0	0	0	0	0
3	7	7	0	7	0	7	7	7	7	7	0	0	0	0
4	7	0	7	0	7	0	0	0	0	7	7	7	0	7
5	7	7	0	7	0	7	7	7	7	7	0	0	0	0
6	0	7	7	0	7	0	7	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	7	0	7	7	0	4	0	0	0	0	0	0
8	0	0	7	0	7	0	4	0	4	0	0	0	0	0
9	0	0	7	0	7	0	0	4	0	7	0	0	0	0
10	0	0	7	7	7	0	0	0	7	0	7	0	7	7
11	0	0	0	7	0	0	0	0	0	7	0	4	4	0
12	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	4	0	4	4
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	4	4	0	4
14	0	0	0	7	0	0	0	0	0	7	0	4	4	0



Relacije se definišu sledećim atributima:

- 0 - ne postoji relacija susednosti između površi
- 7 – dve ravne površi čine konveksan ugao ( $270^\circ$ )
- 4 – dve površine čine konkavan ugao ( $90^\circ$ )
- 1 – ravna i kriva površ čine konkavan ugao ( $90^\circ$ )
- 2 – ravna i kriva površ čine konveksan ugao ( $270^\circ$ )
- 6 – dve ravne površi čine konveksan ugao (ugao različit od  $270^\circ$ )

Na slici su prikazani primeri matrica susednosti za razne forme-oblike.

TTO	AAM
Stepenik	04 40
Žljeb	040 404 040
Ugaoni stepenik	044 404 440
Slepi žljeb	0440 4044 4404 0440
Džep	04044 40404 04044 40404 44440

Algoritam za prepoznavanje TO-formi iz matrice susednosti ima sledeće korake:

- Izdvajanje geometrijskih entiteta iz solid modela (čvorova-strana)
- Predstavljanje geometrijskih i topoloških svojstava pomoću AAM (dodeljivanje relacija)
- Brisanje svih zajedničkih površi, odnosno vrsta i kolona koje sadrže samo “7” i “2”
- Reorganizacija matrice kroz grupisanje elemenata “4” i “1” oko dijagonale matrice, **slika**
- Prepoznavanje prostih TO-formi, koje sadrže samo “4” i “1”, kao i kombinovanih formi koje pored “4” i “1” sadrže i “7” i “2”. (prepoznavanje može da se izvrši primenom VNM)
- Ako su ulazni oblici pravilno prepoznati daje se izlaz i interpretacija rezultata, a ako ima neprepoznatih formi uvode se nove definicije formi.
- Posle prepoznavanja formi neophodno je dodeliti relevantne karakteristike kao što su mere, tolerancije, površinske hrapavosti, i dr. (može i interaktivni interfejs)

<b>F</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	0	4	0	0	0	0	0
<b>8</b>	4	0	4	0	0	0	0
<b>9</b>	0	4	0	0	0	0	0
<b>11</b>	0	0	0	0	4	4	0
<b>12</b>	0	0	0	4	0	4	4
<b>13</b>	0	0	0	4	4	0	4
<b>14</b>	0	0	0	0	4	4	0

Reorganizovana matrica susednosti

# Model opisa strukture dela pomoću frejmova.

