



UNIVERZITET U NOVOM SADU

FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA



Nastavni predmet:

PRIPREMA, PLANIRANJE I LOGISTIKA PROIZVODNJE

Predavanje br. 3:

Tehnološka priprema proizvodnje

Prof. dr Dejan Lukić

Tehnološka priprema proizvodnje

Tehnološka priprema ima zadatak da na bazi konstrukcije proizvoda (konstrukcione dokumentacije) i proizvodnih mogućnosti omogući postizanje tehnologičnih proizvoda, odredi najbolje proizvodne metode i tehnike za što racionalnije korišćenje proizvodnih resursa uz ostvarenje optimalnih procesa proizvodnje (obrade, montaže, kontrole...).

Osnovni zadaci koji se rešavaju u okviru tehnološke pripreme su:

- ◆ Tehnologičnost konstrukcije proizvoda
- ◆ Projektovanje tehnoloških procesa proizvodnje (obrade, montaže, kontrole).
- ◆ Projektovanje specijalnih alata, pribora, merila i uređaja
- ◆ Koladuacija (provera) tehnološkog procesa
- ◆ Procena i proračun vremena i troškova proizvodnje
- ◆ Studija rada (analiza i unapređenje tehnoloških procesa)
- ◆ Projektovanje tehnoloških osnova proizvodnog sistema
- ◆ Lansiranje i izmena tehnološke dokumentacije

Osnovni izlazni rezultat tehnološke pripreme je **tehnološka dokumentacija** (sadržaj tehnološkog procesa, karte operacija, upravljački programi....)

Osnovne aktivnosti tehnološke priprave proizvodnje

- Analiza tehnoločnosti konstrukcije proizvoda,
- Projektovanje tehnoloških procesa proizvodnje,
- Definisanje vrste, karakteristika i količine pojedinih sredstava za rad,
- Konstruisanje specijalnih alata, pribora i drugih uređaja,
- Generisanje uprav. informacija za obradu, montažu, itd.
- Određivanje vremena i troškova proizvodnje,
- Projektovanje tehnoloških osnova proizvodnog sistema,
- Projektovanje tehn. rešenja zaštite životne sredine od primenjenih tehnologija,
- Definisanje vrsta i količina pomoćnog i potrošnog materijala,
- Definisanje uputstava za rad,
- Tehnoekonomska optimizacija aktivnosti tehnološke priprave,
- Simulacija i vizuelizaciju tehnoloških procesa i drugih aktivnosti, itd.

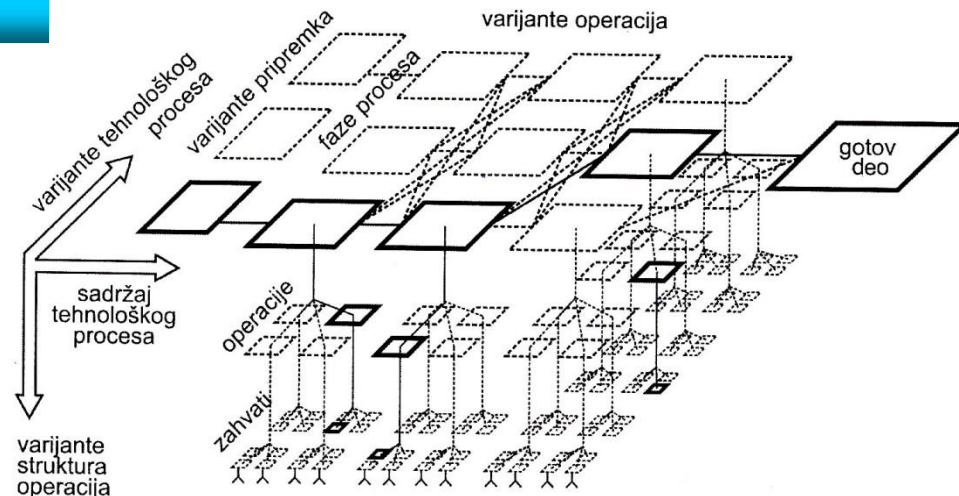
Neophodna znanja tehnologa:

- *Sposobnost analize tehnoločnosti proizvoda,*
- *Znanje o zavisnosti tačnosti i kvaliteta površina proizvoda,*
- *Znanje o različitim procesima proizvodnje,*
- *Znanje o materijalima, pripremcima, proizvodnim resursima,*
- *Znanje za određivanje operacija, zahvata, parametara obrade,*
- *Znanje za određivanje vremena i troškova proizvodnje,*
- *Znanje kako koristiti referentne knjige, priručnike, uputstva, i dr.*
- *Znanja iz informacionih tehnologija, itd.*

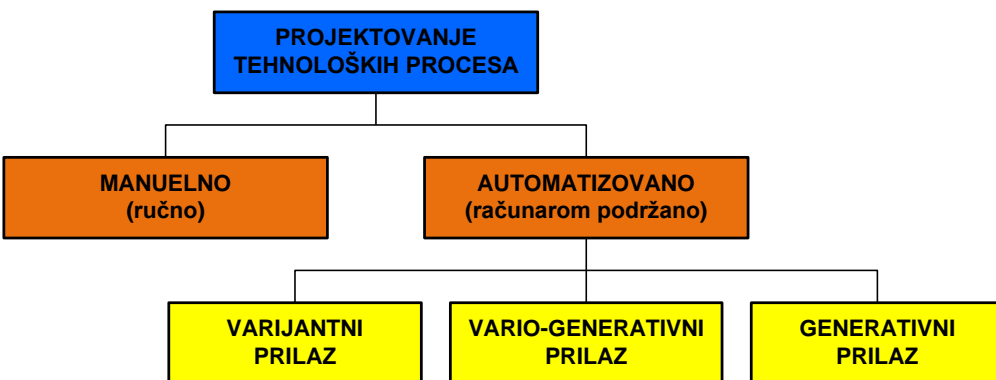
Osnove projektovanja tehnoloških procesa:

Projektovanje tehnološkog procesa podrazumeva:

- Određivanje vrste i oblika priprema,
- Određivanje vrste i redosleda operacija,
- Određivanje vrste i redosleda zahvata,
- Izbor potrebnih resursa,
- Izbor parametara obrade,
- Određivanje vremena i troškova,
- Izradu upravljačkih programa,
- Izradu tehnološke dokumentacije, itd.



Metode projektovanja tehnoloških procesa:



Sistemi projektovanja tehnoloških procesa:

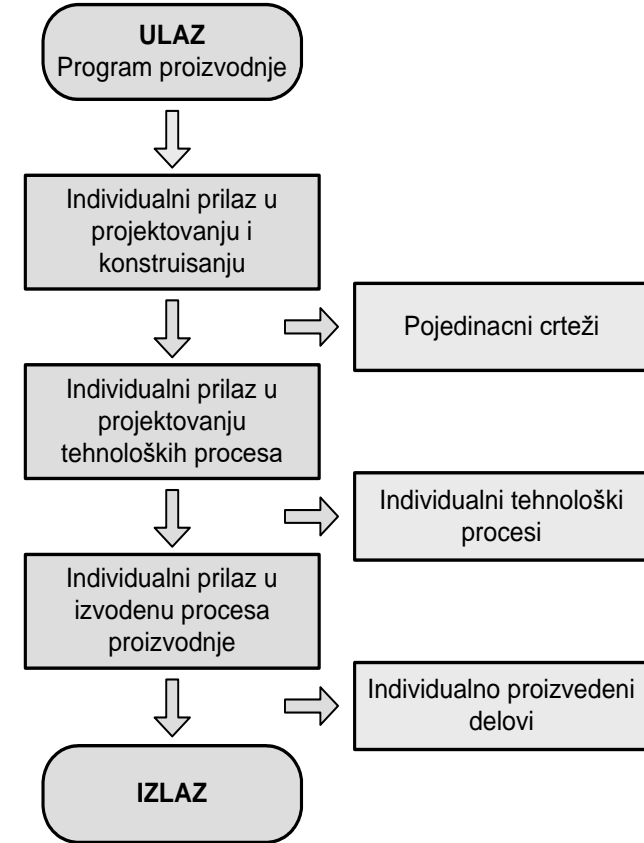
- Sistem individualnog projektovanja,
- Projektovanje na principima grupne tehnologije, i
- Projektovanje na principima tipske tehnologije.

Projektovanje individualnih tehnoloških procesa:

Individualni tehnološki proces se projektuje i primenjuje za izradu samo jednog određenog dela, prema njegovom crtežu, veličini serije, raspoloživim proizvodnim resursima i drugim tehničkim uslovima koji su na raspolaganju projektantima u proizvodnom sistemu. Pri ovom načinu projektovanja uzimaju se samo konstrukciono-tehnološke karakteristike dela, što utiče na to da se, bez obzira na klasifikaciju delova, primenjuje poseban tehnološki proces izrade za svaki deo iz tehnološke grupe.

Osnovne karakteristike individualnog načina projektovanja tehnoloških procesa su:

- Raznovrsnost proizvoda i delova,
- Različiti tehnološki procesi za slične delove,
- Duži rokovi pripreme proizvodnje,
- Razrađeni procesi, izabrani i/ili projektovani alati i pribori gube vrednost pri promeni programa proizvodnje,
- Nizak stepen iskorišćenja tehnološke opreme i sredstava u vremenu i radnim karakteristikama usled malih količina različitih delova,
- Teškoće u obezbeđenju dovoljnog kapaciteta za proizvodnju ovakvih proizvoda,
- Dugačka pripremno-završna vremena, s obzirom da su količine delova male,
- Dugi rokovi isporuke proizvoda, odnosno vremena trajanja ciklusa proizvodnje,
- Teškoće u ažuriranju baza podataka,
- Visoki troškovi zaliha materijala i delova,
- Složenost planiranja i upravljanja proizvodnjom, itd.

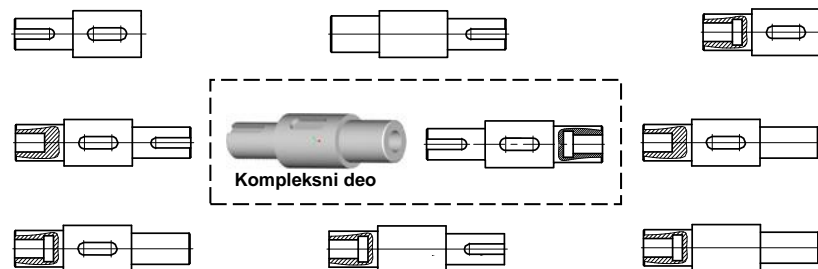
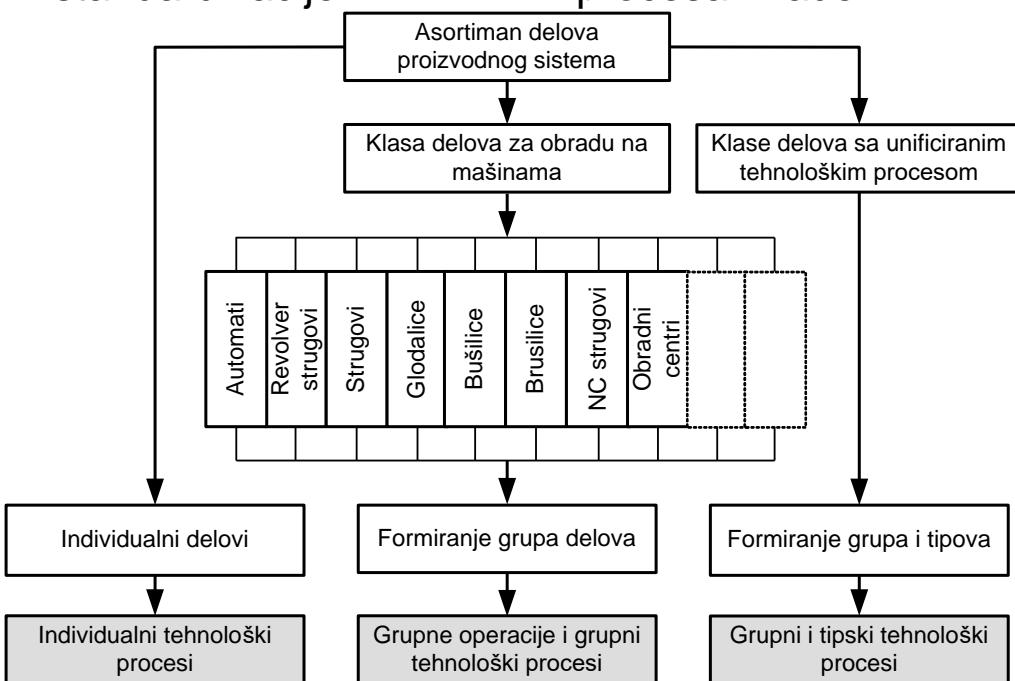


Projektovanje grupnih tehnoloških procesa

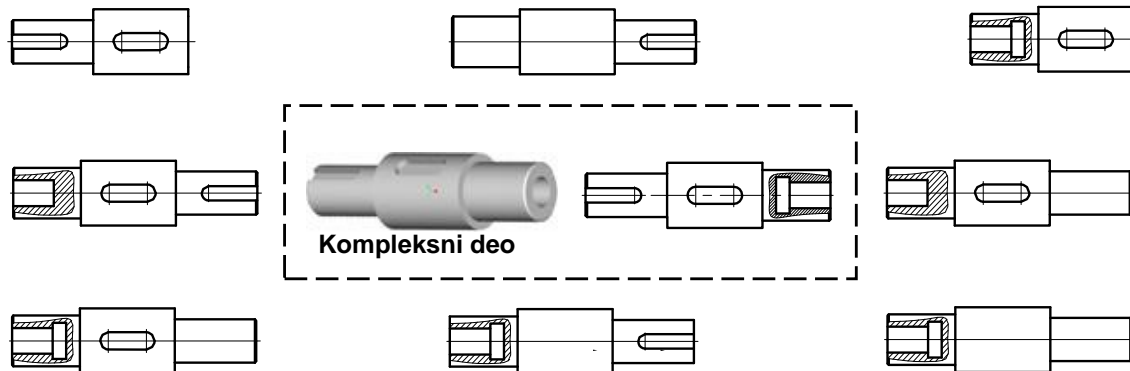
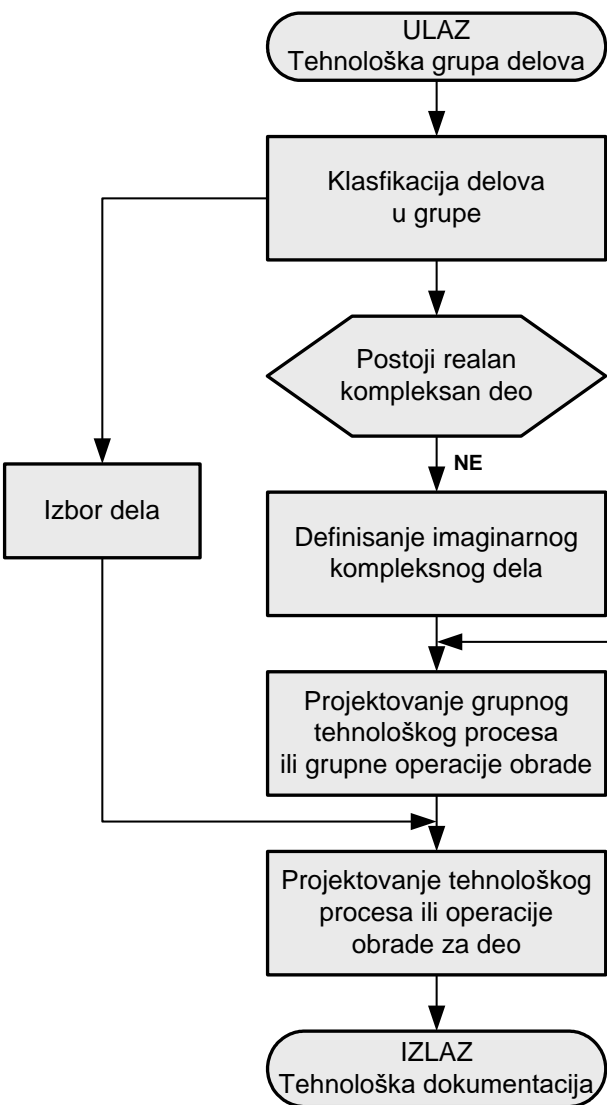
Tipska i grupna tehnologija razvijene su kao rezultat saznanja:

- Da proizvodnost procesa raste, za konstantne druge veličine porastom serijnosti u procesu proizvodnje, i
- Da sličnost predmeta rada smanjuje rasipanje relevantnih karakteristika i daje mogućnosti lakšeg iznalaženja optimalnih rešenja.

U uslovima navedenih saznanja, projektovanje tehnoloških procesa na osnovama tipske i grupne tehnologije ima za cilj povećanje količina proizvoda u okviru proizvodnog programa na principima sličnosti, čime se povećava serijnost delova i prelazi na više tipove proizvodnje, omogućujući primenu obradnih i tehnoloških sistema povišenog stepena efikasnosti. Prilaz na povećanju količina se zasniva na objedinjavanju proizvoda sličnih karakteristika, odnosno sistematizaciji proizvoda na osnovu njihove konstrukciono-tehnološke sličnosti, u cilju standardizacije tehnoloških procesa izrade.



Da bi se po grupnom konceptu mogli obrađivati svi delovi iz jedne grupe, grupni tehnološki proces ili grupna operacija mora obuhvatiti sve operacije i/ili zahvate, kojima će se obraditi sve površine delova iz grupe. Zbog toga se projektovanje grupnog tehnološkog procesa vrši za predstavnika grupe koji se naziva kompleksni deo.



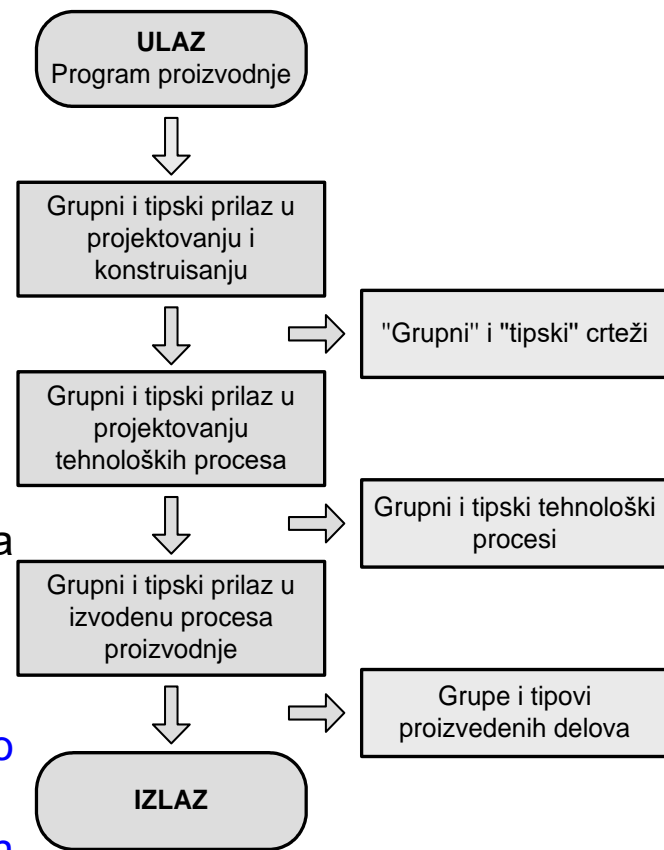
Projektovanje tehnološkog procesa obrade za kompleksni deo, vrši se do nivoa utvrđivanja redosleda i sadržaja operacija i zahvata, izbora standardnih i projektovanja grupnih pribora i alata.

Na osnovu definisanog grupnog tehnološkog procesa ili grupne operacije obrade vrši se preciziranje tehnološkog procesa za svaki pojedinačni deo iz grupe, izostavljanjem nepotrebnih operacija i zahvata kao i određenih resursa.

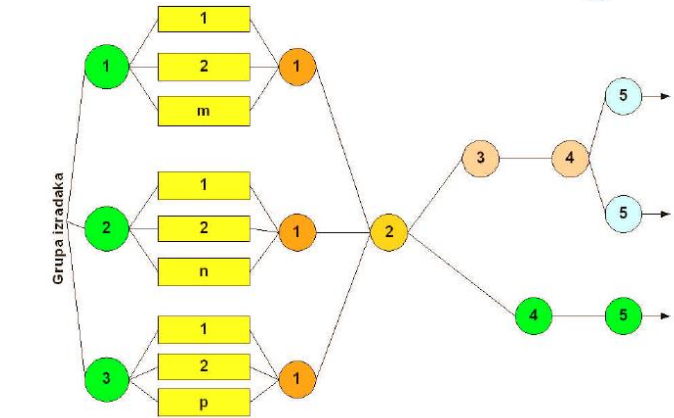
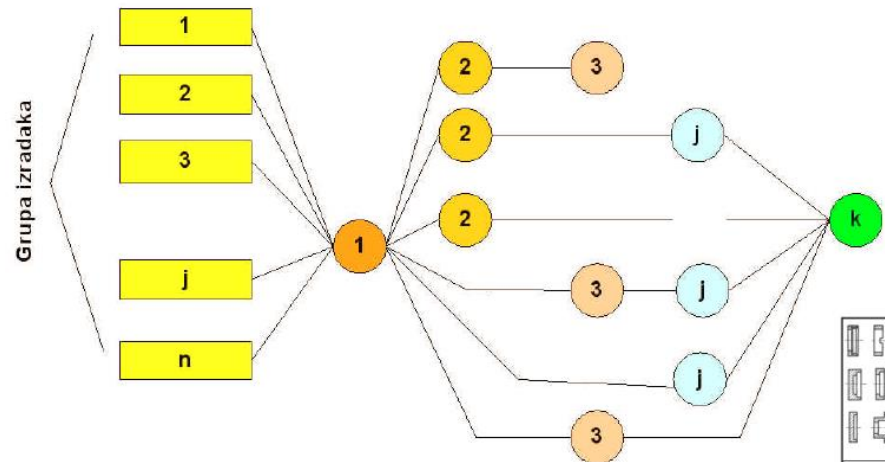
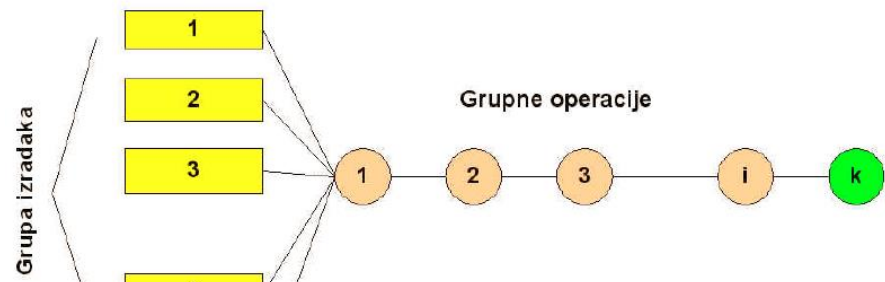
U cilju racionalizacije proizvodnje, grupni i tipski prilaz nalazi svoju primenu i u drugim aktivnostima proizvodnog sistema, kao to su projektovanje, konstruisanje i proizvodnja proizvoda, što je prikazano na slici. Osnovni cilj primene grupisanja u području projektovanja, konstruisanja i proizvodnje je izrada i ugradnja delova unificiranih oblika, standardizovanih veličina, sličnih kvaliteta i materijala, itd.

Značaj uvođenja grupne i tipske tehnologije najbolje se uočava kroz njihove osnovne karakteristike u primeni:

- Povišenje stepena serijnosti u proizvodnom sistemu,
- Izvođenje koncepcijski istih konstrukcionih rešenja ukoliko funkcija proizvoda to dozvoljava,
- Svođenje različitih operacija i zahvata u okviru tehnoloških procesa na neophodni minimum,
- Olakšano konstruisanje, projektovanje tehnoloških procesa izrade i proizvodnja sličnih proizvoda,
- Skraćenje vremena trajanja ciklusa proizvodnje,
- Značajno smanjenje neproaktivnih vremena u proizvodnom procesu,
- Smanjenje troškova izrade proizvoda,
- Povećanje ukupnih efekata proizvodnih sistema, i dr.



Metodologija grupisanja

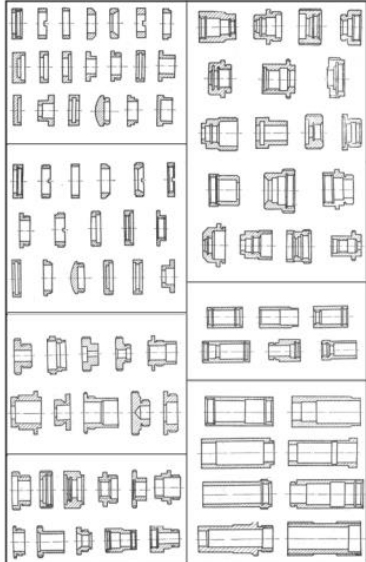


Grupisanje se vrši prema redosledu operacija
 Nepromenjenost strukture operacijske grupe duž
 proizvodnog toka

Klasifikacija i grupisanje samo jedanput na ulazu
**TIPSKI TEHNOLOŠKI PROCESI I GRUPNI
 TEHNOLOŠKI PROCESI** (jedan kompleksan
 deo za sve operacije -ceo tehnološki proces)

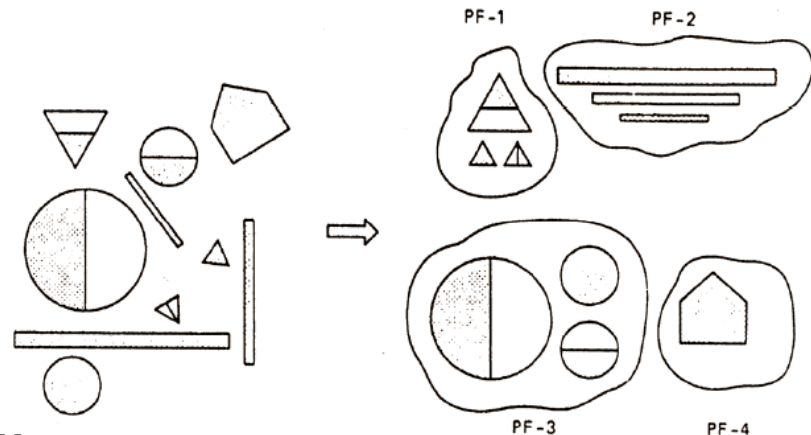
Grupisanje se vrši prema vrsti obrade
 Promenjenost strukture operacijske grupe duž
 proizvodnog toka

Klasifikacija i grupisanje za svaku operaciju i
 vrstu obrade
GRUPNI TEHNOLOŠKI PROCESI (za svaku
 operacijsku grupu na svakoj operaciji potreban
 kompleksan deo)



Osnovne metode klasifikacije i grupisanja su:

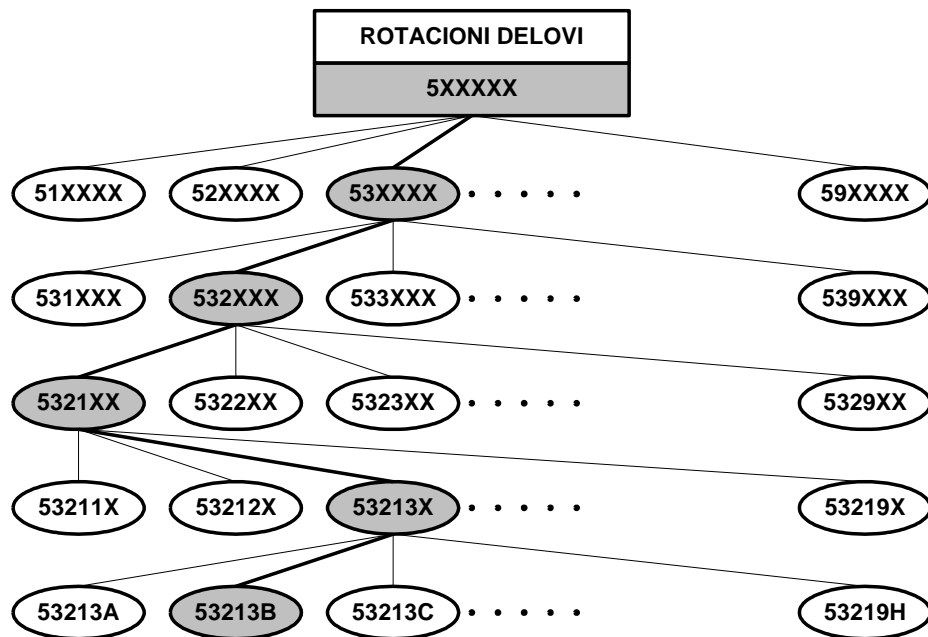
- Vizuelna klasifikacija
- Analiza tehnoloških procesa
- Konstrukciono-tehnološki klasifikatori



Vizuelna klasifikacija

Postoje tri osnovna tipa sistema za klasifikaciju:

- Klasifikacija sa hijerarhijskom strukturom (monokod)
- Klasifikacija sa lančanom strukturom (polikod)
- Klasifikacija sa hibridnom strukturom (multikod)



KLASIFIKACIONI BROJ



53213B

Klasifikacija sa hijerarhijskom strukturom

Hijerarhijski kod ili monokod ima strukturu drveta u kojoj svaki čvor pojačava informaciju prethodnog, tj svaka pozicija odnosno kodno mesto u strukturi zavisi od prethodno izabrane pozicije (slika). Orijentisan je za potrebe projektovanja i pogodan za grupisanje i kodiranje delova na bazi geometrijskog oblika, veličine, mera i sl.

Lančani kod ili polikod ima strukturu gde je pri formiranju koda svako kodno mesto nezavisna informacija i ne zavisi od prethodnog kodnog mesta. Pogodan je za aplikacije u proizvodnji, kao što je klasifikacija mašina, alata, operacija obrade. Klasifikacija i kodiranje sa hibridnom strukturom predstavlja kombinaciju prethodne dve metode i može da obezbedi najbolje rešenje primene klasifikacije i kodiranja kada se istovremeno zahteva pogodnost za projektovanje i proizvodnju.

		MESTO				
VREDNOST	Klasa delova	Spoljašnji oblik	Unutrašnji oblik	Specijalni oblici	Tačnost	Materijal
	1	1	1	1	1	A
	2	2	2	2	2	B
	3	3	3	3	3	C
	4	4	4	4	4	D
	5	5	5	5	5	E
	6	6	6	6	6	E
	7	7	7	7	7	F
	8	8	8	8	8	G
	9	9	9	9	9	H

Klasifikacija sa lančanom strukturom

U svetu su razvijeni brojni konstrukciono-tehnološki klasifikatori za klasifikaciju i kodiranje delova među kojima su najpoznatiji:

- OPITZ klasifikacioni sistem hibridne strukture, razvijen na Nemačkom Univerzitetu u Aachen-u,
- CODE klasifikacioni sistem hibridne strukture, razvijen od strane Manufacturing Data System u SAD,
- MICLASS/MULTICLASS sistem polikode strukture, razvijen u Holandiji,
- DCLASS sistem hibridne strukture, razvijen na Brigham Young University u SAD,
- KK-3 sistem za kodiranje hibridne strukture, razvijen od strane Japanskog udruženje za promociju mašinske industrije (JSPMI),
- IAMA sistem klasifikacije i kodiranja delova, razvijen na Institutu za alatne mašine i alate Mašinskog fakulteta u Beogradu, kao najpoznatiji domaći klasifikacioni sistem, itd.

Opšti model tehnološke pripreme proizvodnje

Pokazalo se da je metodologija modeliranja jedna od najefikasnijih tehnika za prikaz i opis rada poslovnih sistema. Objekti koje je potrebno modelirati u poslovnom sistemu su:

- *Proizvodi, koji se definišu pomoću modela proizvoda i modela projektovanja proizvoda,*
- *Poslovni procesi, koje definišu procesi tokova materijala, energije, informacija i znanja,*
- *Tehnički resursi,*
- *Informacioni resursi,*
- *Organizacioni resursi i odluke,*
- *Humani resursi,*
- *Nalozi nabavke, proizvodnje, projektovanja, itd.,*
- *Troškovi i vreme proizvodnje, i dr.*

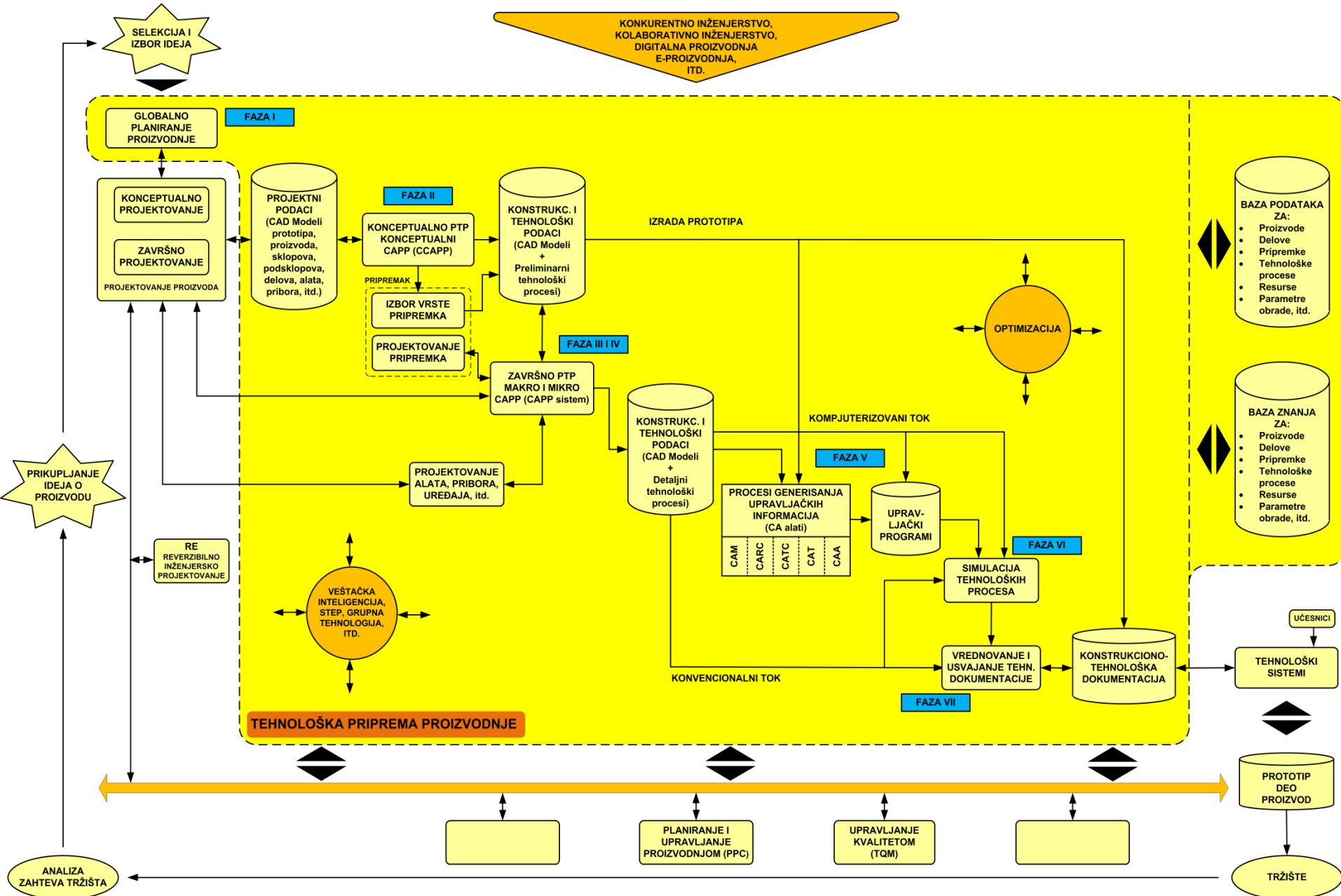
Modeliranje poslovnih sistema je trenutno najviše u upotrebi kao *tehnika za predstavljanje i razumevanje strukture i ponašanja aktivnosti u preduzeću, tehnika za analizu poslovnih procesa*, a u mnogim slučajevima i *tehnička podrška za reinženjering poslovnih procesa*.

U okviru poslovnih sistema dominantnu ulogu u ispunjavanju zahteva tržišta za novim i prilagođenim proizvodima imaju procesi projektovanja, planiranja, upravljanja i proizvodnje.

Tehnološka priprema proizvodnje, kao funkcija poslovnog sistema, predstavlja **osnovnu integracionu komponentu** ovih procesa.

Model tehnološke pripreme proizvodnje treba da obuhvati **odgovarajuće aktivnosti** tehnološke pripreme, da ima **zadovoljavajući nivo uopštenosti**, pri čemu je potrebno uzeti u obzir složenost zadataka koje obuhvata i rešava, kao i veliku dinamičnost proizvodnih i informacionih tehnologija. Osim toga, model bi trebalo da predstavlja osnovu za razvoj **funkcionalnog i informacionog modela tehnološke pripreme** i njenu integraciju sa drugim funkcijama, kako razvoja i proizvodnje proizvoda, tako i proizvodnog sistema u celini.

Opšti model tehnološke pripreme proizvodnje



Faza I – Globalno planiranje proizvodnje

U okviru životnog ciklusa proizvoda prvu etapu čine aktivnosti istraživanja tržišta i mogućnosti proizvodnog sistema, a potom donošenje odluka o razvoju i proizvodnji novih i usavršavanju postojećih proizvoda. U cilju ispunjenja savremenih tržišnih uslova, potrebno je još u ranoj fazi razvoja proizvoda obezbediti kvalitetne podatke o *mogućnostima njihove proizvodnje*, kao i osnovne, *orijentacione podatke o efektima proizvodnje*, najčešće u smislu *troškova i vremena proizvodnje*. Ova faza obuhvata globalnu identifikaciju tehnoloških i proizvodnih procesa za odgovarajući ograničeni skup tehničkih specifikacija proizvoda i predstavlja podršku u odlučivanju na samom početku procesa razvoja proizvoda.

Faza II – Konceptualno ili preliminarno projektovanje tehnoloških procesa

Na osnovu odgovarajućih ulaznih podataka iz faze *konceptualnog projektovanja proizvoda*, rešavaju se osnovni zadaci konceptualnog projektovanja tehnoloških procesa, kao što su *analiza tehnologičnosti konstrukcije proizvoda, definisanje vrste i osnovnog oblika priprema, postavljanje i izbor najpovoljnijih varijanti tehnologija izrade, montaže i dr., definisanje odgovarajućih proizvodnih resursa, kao i procena vremena i troškova proizvodnje*. Osnovni izlazni rezultat je *preliminarni ili idejni tehnološki proces proizvodnje proizvoda*, koji se dalje precizira u aktivnostima završnog projektovanja tehnoloških procesa.

Faze III i IV – Završno ili detaljno projektovanje tehnoloških procesa

U ovoj fazi se, na bazi detaljno projektovanog proizvoda i preliminarnog tehnološkog procesa vrši, projektovanje detaljnog, odnosno završnog rešenja tehnološkog procesa proizvodnje proizvoda. *Faza III* se odnosi na **makro**, a *faza IV* na **mikro** projektovanje tehnološkog procesa, čiji su osnovni zadaci preciziranje sadržaja tehnološkog i proizvodnog procesa, sadržaja operacija, potrebnih proizvodnih resursa, parametara i režima obrade, vremena i troškova proizvodnje. Kao izlazni rezultat ove faze dobija se neophodna tehnološka dokumentacija u vidu sadržaja tehnološkog procesa, karti operacija, karti toka procesa, uputstava za rad, a ponekad se već u ovoj fazi generišu upravljačke informacije za upravljanje obradnim i tehnološkim sistemima.

Faza V – Generisanje upravljačkih informacija

Ova faza tehnološke pripreme se odnosi na aktivnost detaljnog projektovanja tehnoloških procesa u okviru koje se vrši *generisanje upravljačkih informacija/programa za obradne, montažne, merne i kontrolne, transportne, skladišne i druge tehnološke sisteme*. U okviru ove faze koristi se veći broj programskih CAx sistema, najčešće su to odgovarajući CAM sistemi u užem smislu, kao programski sistemi za generisanje upravljačkih programa za numerički upravljane obradne i tehnološke sisteme, CARC za robote, CATC za transportne i skladišne sisteme, CAT za merno-kontrolne sisteme i CAA za montažne sisteme.

Faza VI – Simulacija tehnoloških i proizvodnih procesa

Faza simulacije obuhvata *modeliranje, simulaciju i optimizaciju tehnoloških i proizvodnih procesa* u cilju postizanja visokih efekata rada tehnoloških sistema, kao i proizvodnih sistema u celini. Osnovni podaci za realizaciju ove faze čine izlazni rezultati faza projektovanja tehnoloških procesa (II, III i IV faze), kao što su vrsta i redosled operacija, potrebni proizvodni resursi, odgovarajuća vremena i količine, itd. Na osnovu ovih i drugih potrebnih podataka razvijaju se simulacioni modeli, koji čine eksperimentalne modele realnog sistema na kojima se vrše računarski eksperimenti u cilju izbora najpovoljnije varijante procesa proizvodnje i razvoja optimalne strukture proizvodnih jedinica i sistema u celini.

Faza VII – Vrednovanje i usvajanje tehnoloških procesa i tehnološke dokumentacije

Ova faza obuhvata *završnu proveru, korekciju i vrednovanje* tehnoloških i proizvodnih procesa, upravljačkih informacija, uputstava za pripremu i podešavanje tehnoloških sistema i druge tehnološke dokumentacije. Tehnološka dokumentacija predstavlja praktično i izlazni rezultat tehnološke pripreme proizvodnje, koja se na kraju usvaja, overava i arhivira u informacionom obliku u odgovarajuće baze podataka.

Pokazalo se u primeni da za opis funkcionisanja poslovnog sistema nisu pogodni prirodni jezici zbog određenih jezičkih dvosmislenosti, kao ni formalni jezici koji nisu razumljivi korisnicima. Upravo iz ovih razloga u cilju realizacije CIM sistema razvijena je familija **IDEF** metoda, za različite oblasti primene.

Tehnološka priprema proizvodnje, kao bilo koji složeni sistem, može se dekomponovati na jednostavnije komponente primenom metodologije odozgo na dole (Top-Down), pri čemu se vrši **funkcionalno modeliranje** i razvija odgovarajući funkcionalni model i/ili metodologije odozdo na gore (Bottom-Up), pri čemu se vrši **informaciono modeliranje** i razvija odgovarajući informacioni model sistema.

Funkcionalni model je strukturna prezentacija funkcija, aktivnosti i procesa unutar modeliranog sistema.

Za realizaciju procesa funkcionalnog i informacionog modeliranja razvijeni su odgovarajući CASE alati, među kojima su najpoznatiji ORACLE Designer, All Fusion, koji se sastoji od AllFusion Process Modeler-a i AllFusion ERwin Data Modeler-a, DBDesigner, Entity Relationship Diagrammer (ERD), MagiCASE, EasyCASE System Designer, S-Designor, Application Development Workbench (ADW), i dr.

Za razvoj posmatranog funkcionalnog modela tehnološke pripreme proizvodnje upravo je primenjena **IDEFO** metoda, odnosno standard. Primenom ovog standarda omogućuje se tehnika modeliranja koja je nezavisna od CASE metoda i alata za projektovanje informacionih sistema koji se mogu naći na tržištu.

IDEF0 metodologija

Metodologija **funkcionalnog modeliranja IDEF0** je namenjena za **modeliranje** širokog spektra automatizovanih ili neautomatizovanih "**sistema**" ili subjekata, uključujući bilo koju kombinaciju **softvera, proizvodnih resursa, procesa ili ljudi**.

IDEF0, standard informacionog inženjeringa, omogućuje:

- *Izvršenje sistem analize i dizajna na svim nivoima, za sistem sastavljen od ljudi, tehnoloških sistema, materijala, računara i informacija,*
- *Stvaranje dokumentacije kao osnove za integraciju ISO standarda,*
- *Bolju komunikaciju između analitičara, projektanata, korisnika i menadžera,*
- *Diskusiju u radnom timu kako bi se postiglo međusobno razumevanje, i*
- *Upravljanje velikim i složenim projektima.*

Razlozi koji su motivisali nastanak IDEF0 modeliranja su:

- *Služi kao dokumentacija i uputstvo za opis kompleksnih poslovnih procesa sa što kraćim oblikom prikaza,*
- *Omogućuje brze organizacione promene, jer model procesa dokumentuje važne aktivnosti i omogućava uvid u kritične aktivnosti koje treba izvesti sa odgovarajućim resursima, i*
- *Kao **prototipski** pristup modeliranju, na brz i jednostavan način proverava alternativne ideje. Mnogo je jednostavnije i jeftinije nacrtati model i proveriti ga na "papiru", nego izvršiti reorganizaciju sektora.*

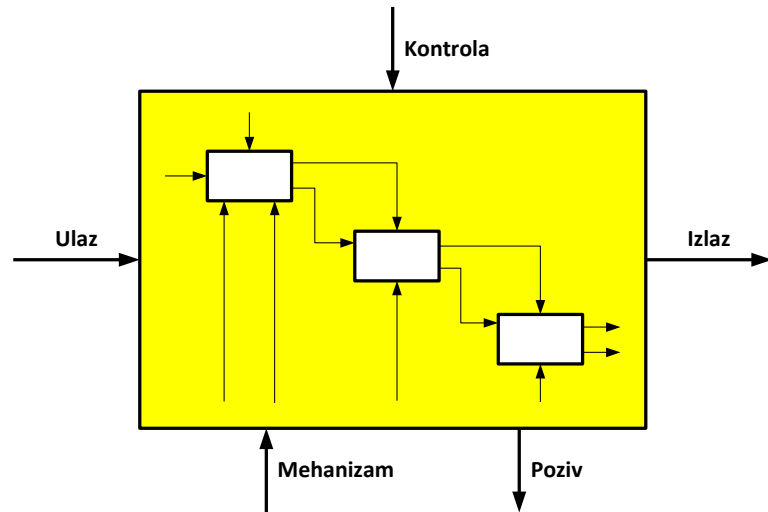
Tehnika modeliranja na bazi IDEF0 standarda ima sledeće karakteristike:

- Generičnost** za analizu sistema sa različitom namenom i složenošću,
- Rigoroznost i preciznost** za proizvodnju korektnog, upotrebljivog modela,
- Konciznost**, da omogući razumevanje, komunikaciju, usaglašavanje i vrednovanje,
- Konceptualnost** za predstavljanje funkc. zahteva a ne fizičku ili organizacionu implementaciju, i
- Fleksibilnost**, da istovremeno podrži više faza u životnom veku projekta.

IDEF0 metodologija

IDEF0 je tehnika modeliranja zasnovana na kombinaciji **grafike i teksta** prikazanih na jedan organizacioni i sistematski način. IDEF0 model se sastoji iz hijerarhijskog **niza dijagrama** koji stepenasto prikazuju nivoe detaljno opisanih funkcija i njihovih interfejsa unutar sistema. **Grafički prikaz** putem dijagrama, **tekstualni opis** i **rečnik podataka** predstavljaju tri osnovne vrste IDEF0 prikaza. Grafički dijagrami definišu funkcije i funkcionalne odnose između boksova ili pravougaonika i strelica, kao i odgovarajuće sintakse i semantike. Tekstualni opis i rečnik podataka obezbeđuju zbirne informacije kao podršku grafičkom dijagramu.

"Aktivnost pod Kontrolom, od Ulaza pravi Izlaze, koristeći Mehanizme"



Strelice na dijagramu se nazivaju ICOM, kao skraćenice za:

I – Input (ulaz), materijal ili informacija koja se koristi ili transformiše u cilju definisanja izlaza,

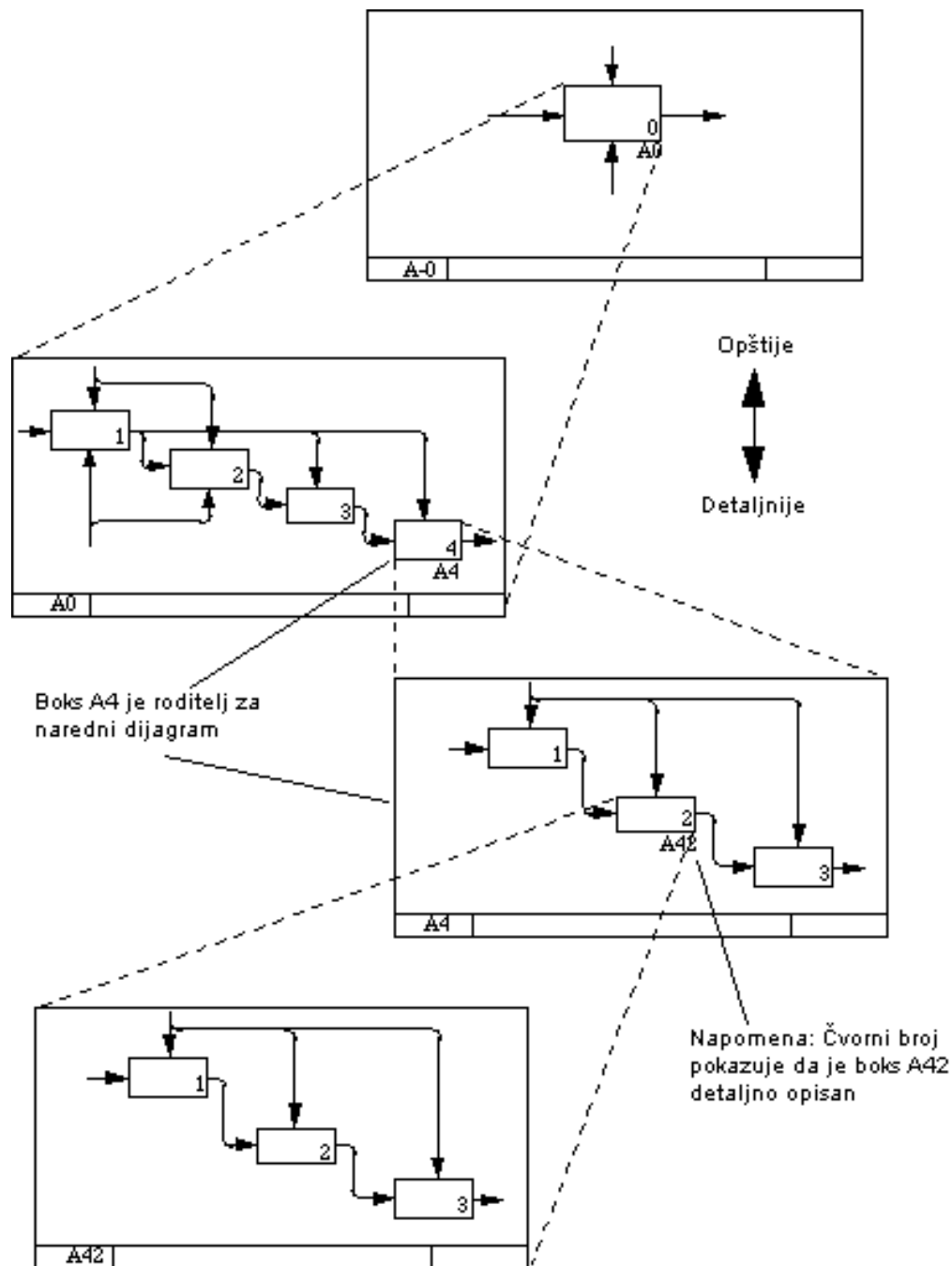
C – Control (kontrola ili upravljanje), kontrole ili uslovi odgovorni za to kako, kada i da li će se aktivnosti realizovati. Najčešće su to pravila, politike, procedure ili standardi,

O – Output (izlaz), materijal ili informacija nastali kao rezultat aktivnosti i

M – Mechanism (mehanizam), izvori koji izvode aktivnost ali se ne troše. Najčešće su to ljudi, mašine, oprema i objekti. Strelice mehanizma koje su okrenute na dole definišu se kao strelica poziva (Call Arrows).

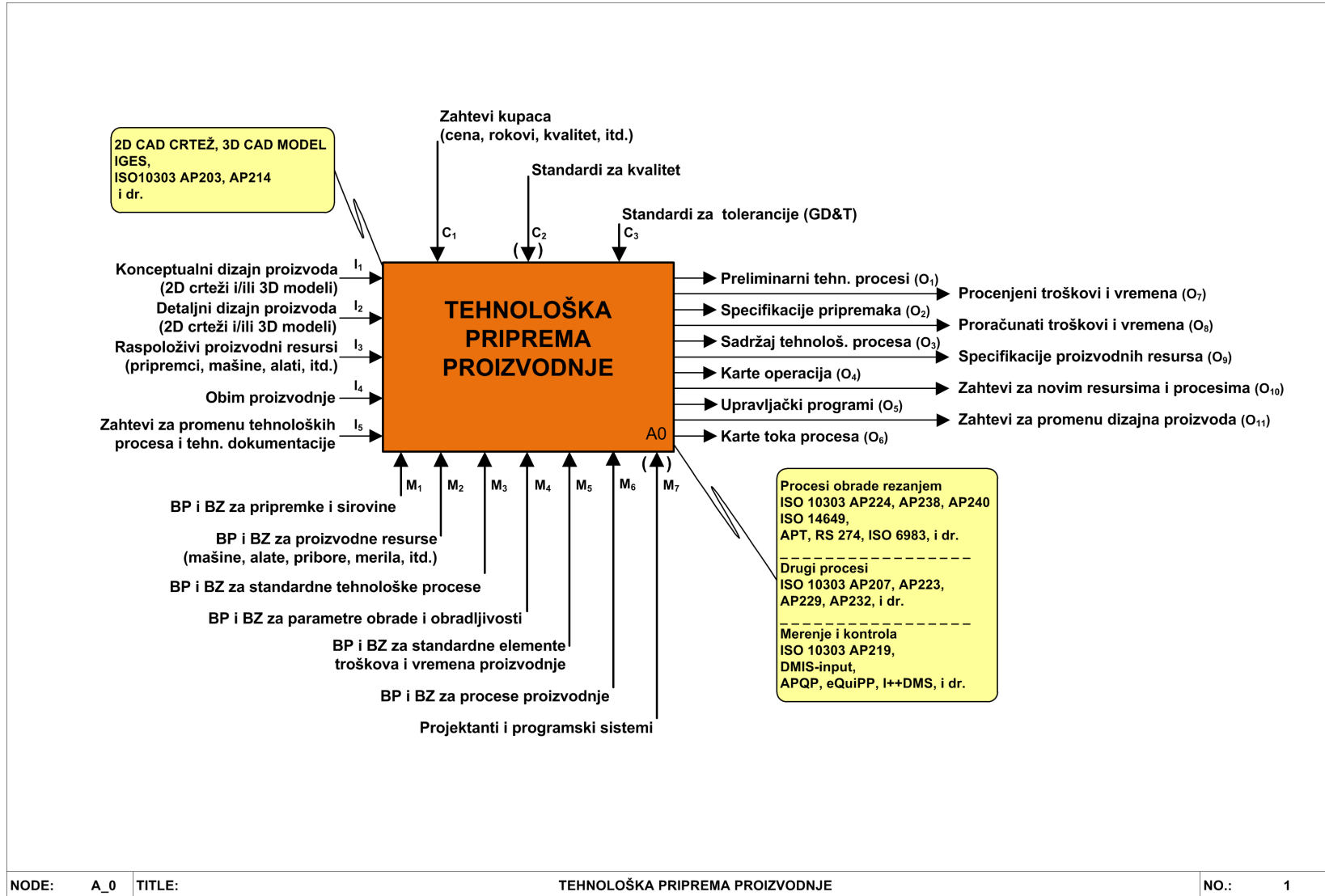
Dekompozicija poslovnih procesa realizuje se kroz definisanje sledećih dijagrama:

- **Kontekstni dijagram** - definisanje granice sistema,
- **Stablo aktivnosti** - uspostavljanje vertikalne veze između aktivnosti i
- **Dekompozicioni dijagrami** - uspostavljanje horizontalne veze između aktivnosti.

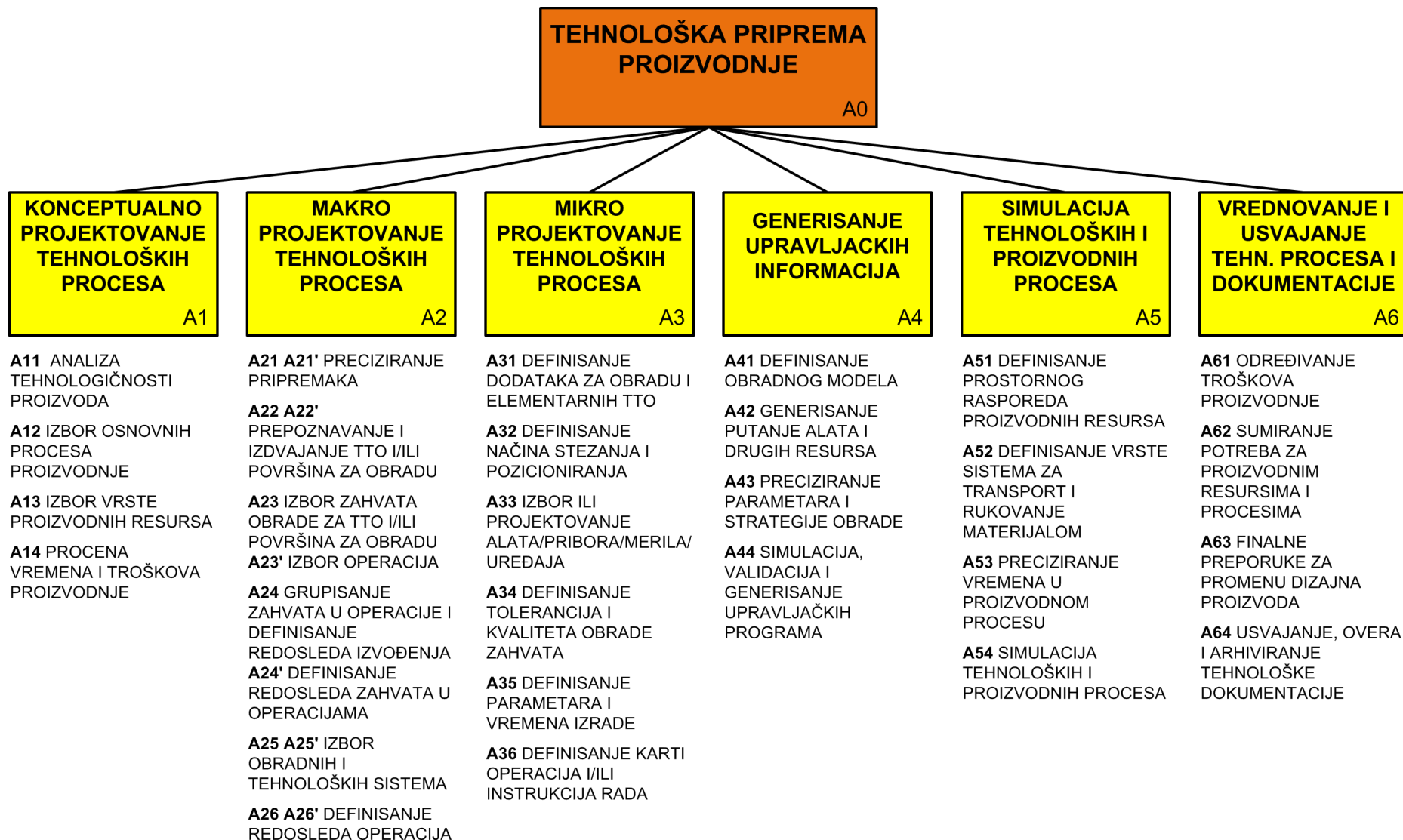


Funkcionalni model tehnološke priprave proizvodnje

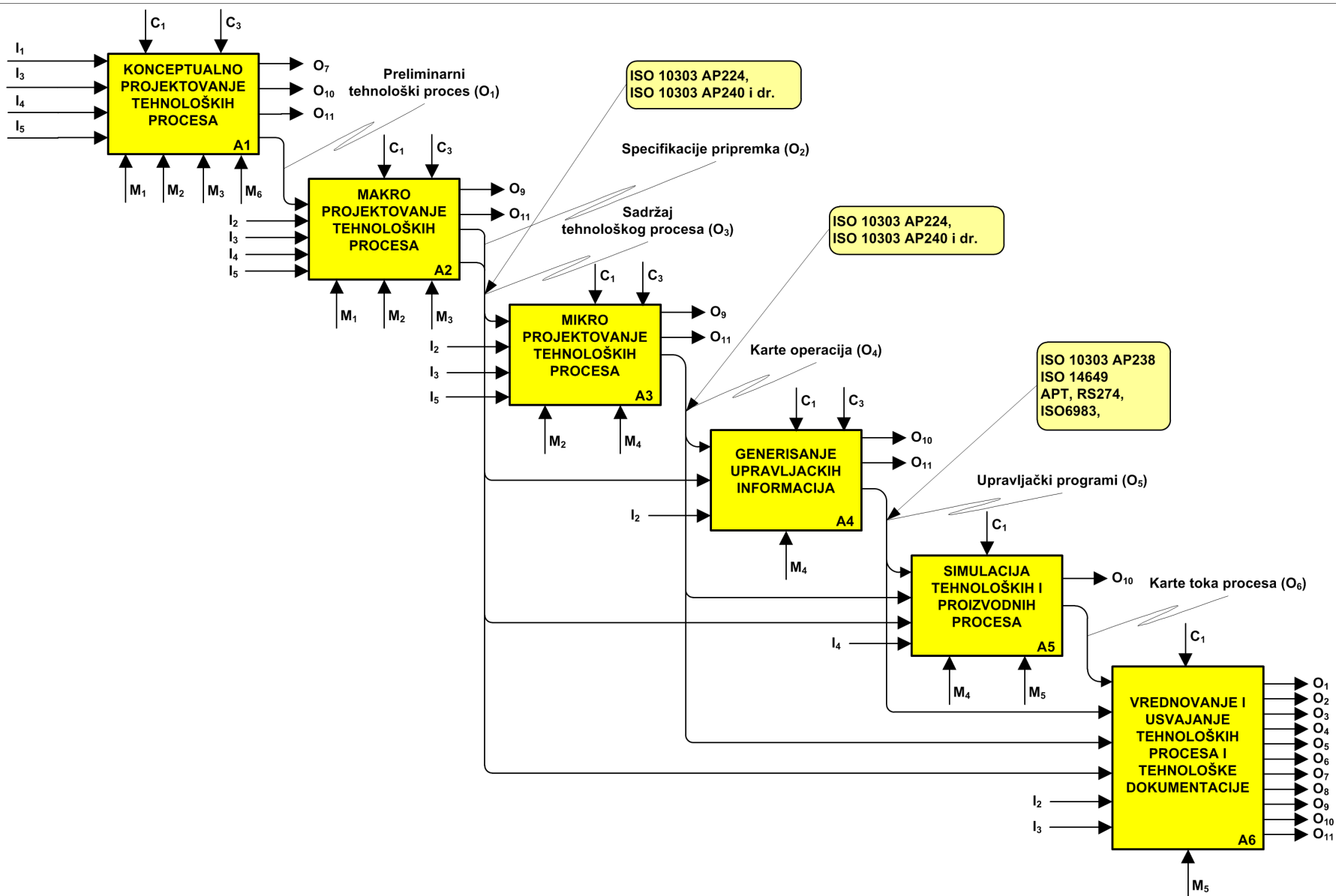
Razvijeni IDEF0 model tehnološke priprave proizvodnje se sastoji od 12 dijagrama aktivnosti koji pokazuju različite nivoe dekompozicije, A_0, A0, A1, A12, A13, A2, A2', A3, A33, A4, A5, i A6.



Kontekstni dijagram modela tehnološke priprave proizvodnje A_0



Dekompozicioni dijagrami modela tehnološke pripreme



NODE: A0

TITLE:

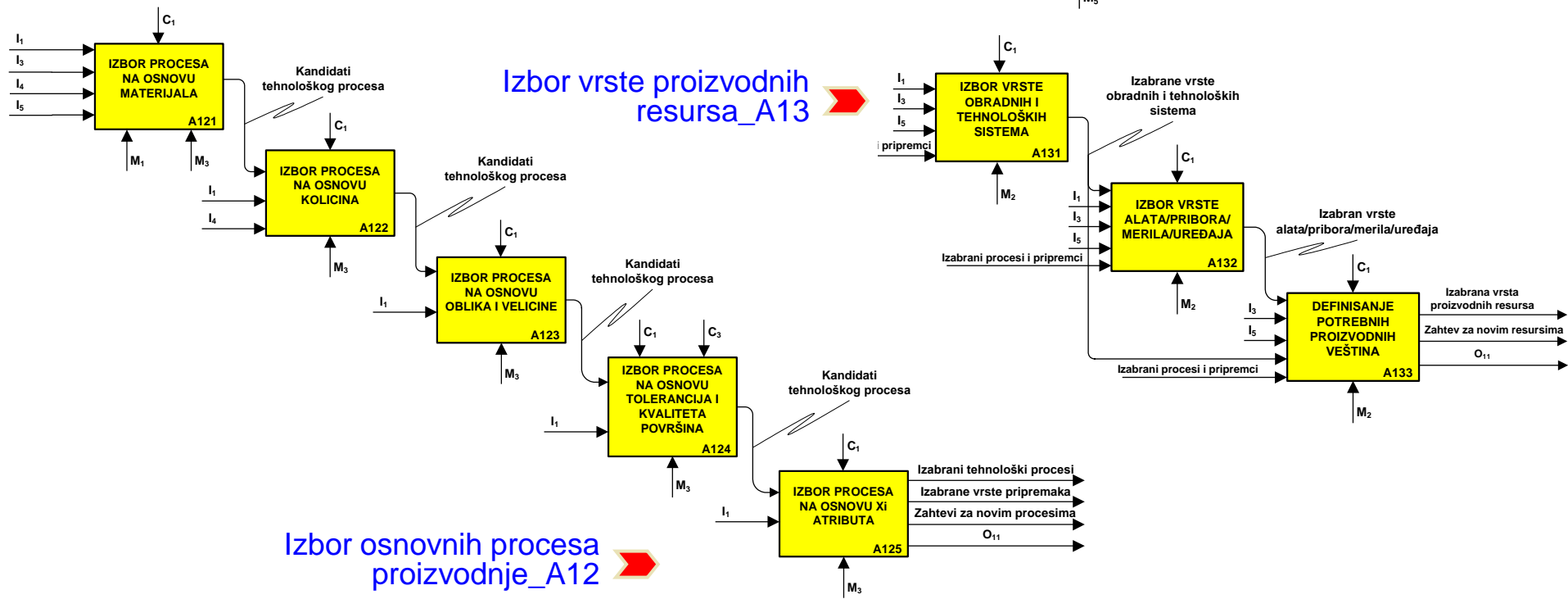
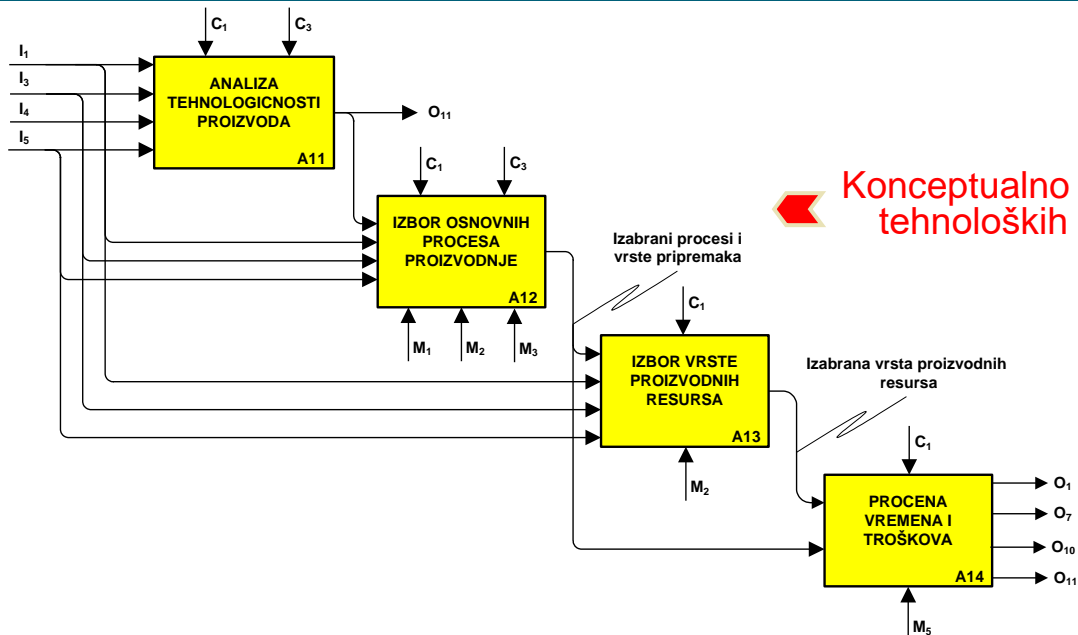
TEHNOLOŠKA PRIPREMA PROIZVODNJE

NO.:

2

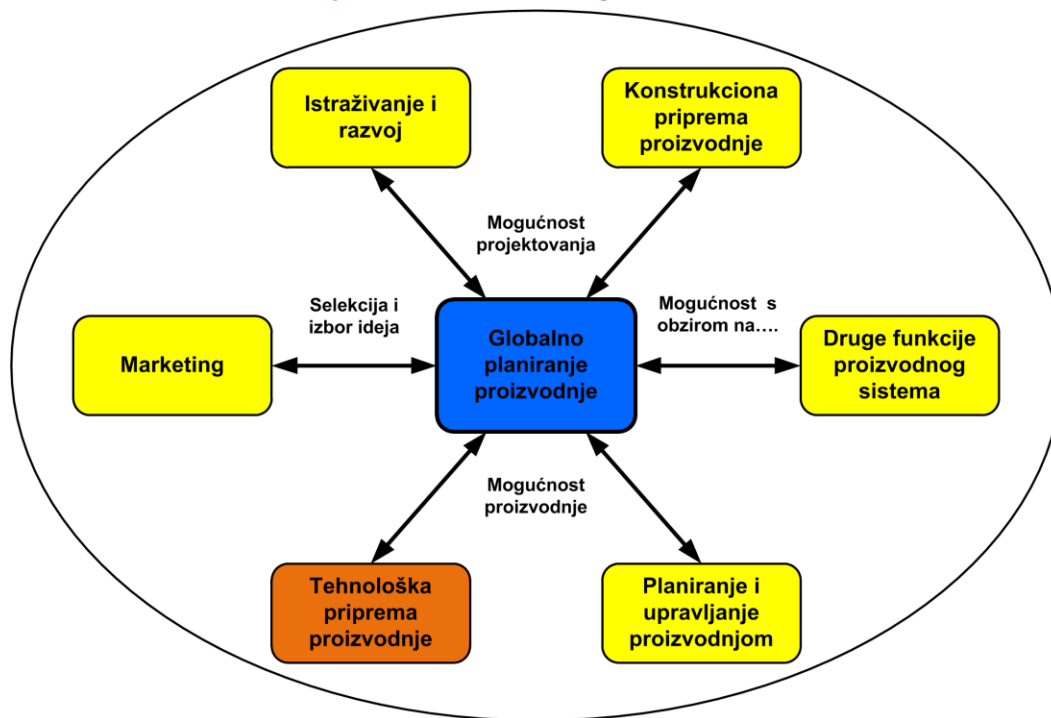
Dekompozicioni dijagram modela tehnološke pripreme proizvodnje_A0

Dekompozicioni dijagrami – Konceptualno projektovanje tehnoloških procesa



Globalno planiranje proizvodnje

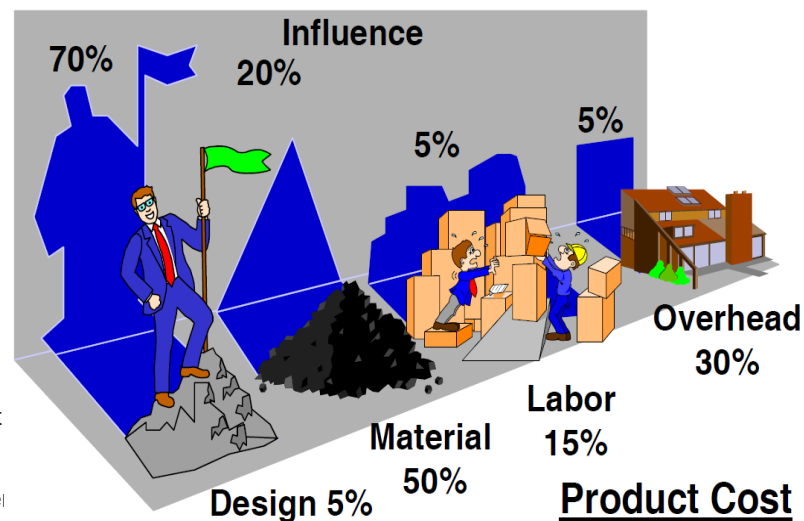
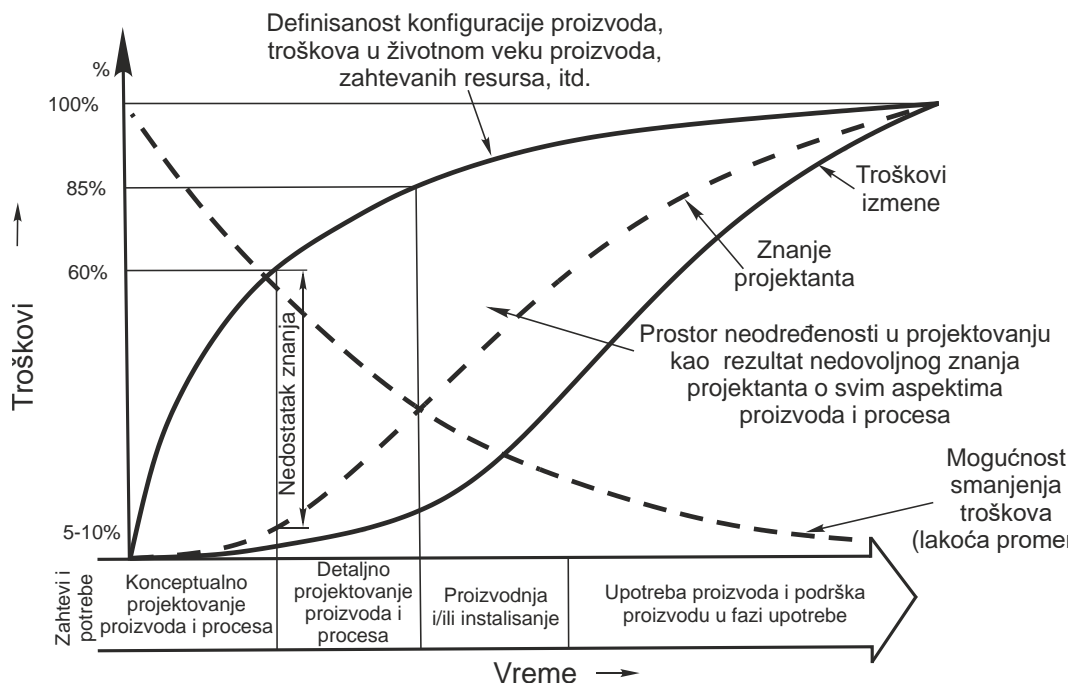
U okviru faze globalnog planiranja proizvodnje neophodno je **timskim radom** stručnjaka iz **različitih funkcija preduzeća** doći do rešenja o izboru **kvalitetnih proizvoda** sa aspekata mogućnosti razvoja, projektovanja, proizvodnje i plasmana. Ova faza predstavlja podršku u odlučivanju na početku procesa razvoja proizvoda i čini ulaz u proces projektovanja proizvoda. S obzirom da se u okviru ove faze rešavaju zadaci iz raznih funkcionalnih jedinica proizvodnog sistema ona se može smatrati kao zajednička i integraciona celina za sve funkcije.



Tehnološka priprema obuhvata globalnu identifikaciju mogućnosti izvođenja tehnoloških i proizvodnih procesa za odgovarajući ograničeni skup tehničkih specifikacija proizvoda i raspoloživih proizvodnih resursa. Na osnovu ovih razmatranja vrši se preliminarna procena i izbor proizvoda, odnosno delova, podsklopova i sklopova koji se mogu proizvoditi u posmatranom proizvodnom sistemu ili u kooperaciji, odnosno mogu se nabaviti na slobodnom tržištu.

Osnove konceptualnog projektovanja tehnoloških procesa

Uticaj razvoja i proizvodnje proizvoda na ukupne troškove, vreme i kvalitet proizvoda zavisi od vrste proizvoda, tipa proizvodnje, okruženja i mnogih drugih tehnoeekonomskih faktora. Generalno, konceptualno projektovanje u ukupnim troškovima proizvodnje učestvuje sa 5-10%, ali pogrešne odluke u ovoj fazi projektovanja mogu da utiču na povećanje troškova proizvodnje i preko 60-70%. Zbog toga je potrebno problem proizvodnje razmatrati što je moguće ranije, još u fazi projektovanja proizvoda, odnosno razvoja njegovog koncepta, jer su troškovi usled izmena na proizvodu veći ukoliko se te izmene izvrše u kasnijoj fazi razvoja proizvoda.

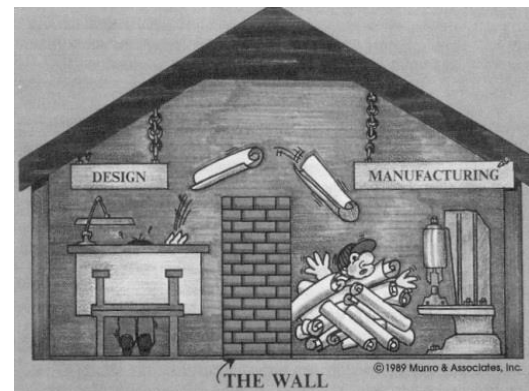
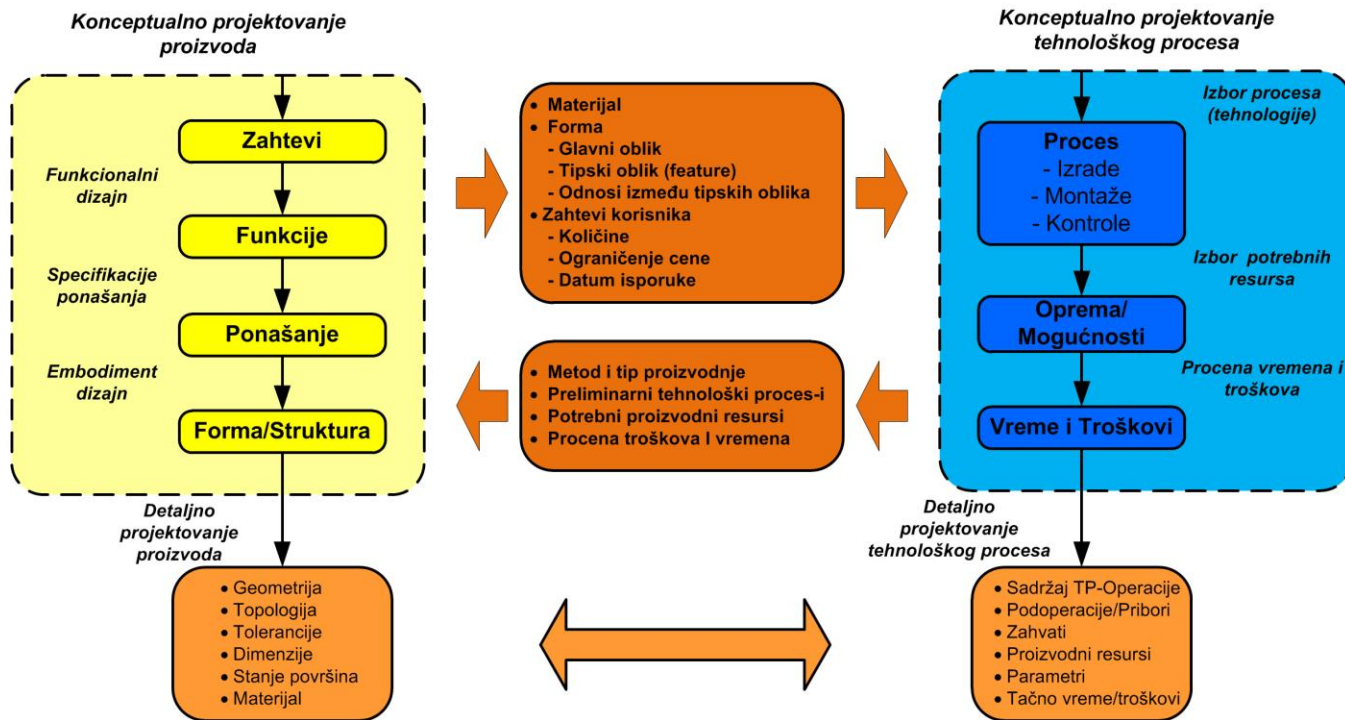
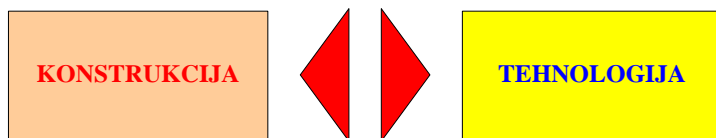


Prostor neodređenosti u projektovanju i proizvodnji proizvoda

PRAVILO DESETICA: Otkrivena greška i njena ispravka u **razvoju proizvoda iznosi 1** novčanu jedinicu, **u proizvodnji 10** novčanih jedinica, dok **nakon plasmana proizvoda na tržište** ona iznosi **100** novčanih jedinica.

Osnovni zadaci konceptualnog projektovanja tehnoloških procesa su:

- Analiza tehnoložnosti konstrukcije proizvoda,
- Izbor vrste priprema,
- Izbor osnovnih procesa proizvodnje i projektovanje idejnog tehnološkog procesa,
- Izbor vrste proizvodnih resursa i
- Procena troškova i vremena proizvodnje.



Analiza tehnološkičnosti konstrukcije proizvoda

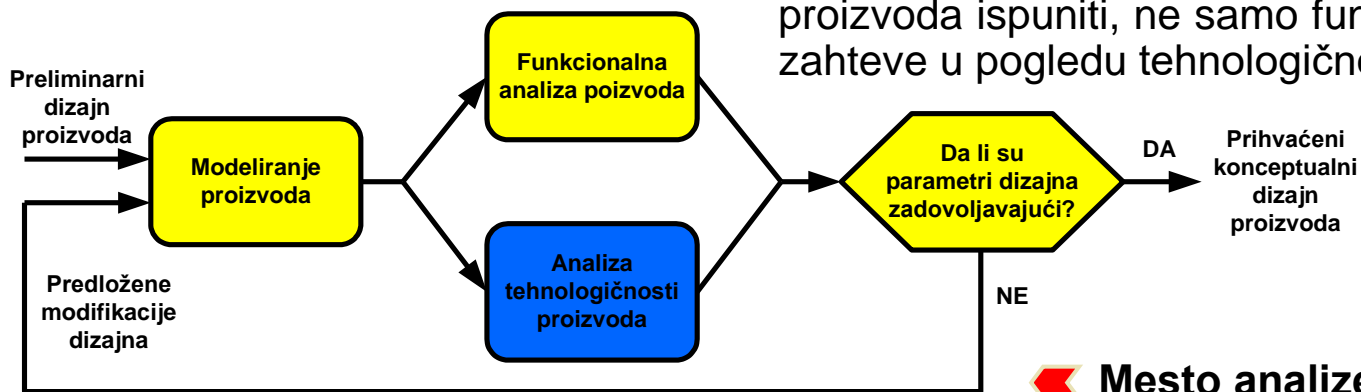
Tehnološkičnost konstrukcije proizvoda predstavlja meru pogodnosti proizvoda za izradu, montažu, eksploataciju, održavanje i druge aspekte iz životnog veka proizvoda.

Jedan od načina projektovanja proizvoda sa visokim stepenom tehnološkičnosti se odnosi na primenu principa neophodnog minimuma:

- Da je konstrukcija proizvoda, komponenata i delova **minimalne složenosti** sa stanovništva tehnologije izrade, montaže, kontrole, transporta, skladištenja, itd.
 - Da se maksimalno koriste **unificirani kvalitet i dimenzije** izabranih materijala,
 - Da se proizvodi sastoje od **minimalnog broja delova i komponenata**,
 - Da se maksimalno koriste **standarizovani, tipizirani i ponovljeni delovi**, odnosno varijantni delovi, ali uz zadovoljavanje prethodna tri zahteva i
 - Da se koristi samo **neophodni kvalitet i tačnost obrade** pri projektovanju proizvoda i izradi na postojećoj opremi.
- ❖ **Kvalitativna tehnološkičnost (opisna pravila netehnološkičnosti i tehnološkičnosti)**
 - ❖ **Kvantitativna tehnološkičnost (standardizacija, unifikacija, tipizacija, modularnost)**

Sistemi za analizu tehnološkičnosti:

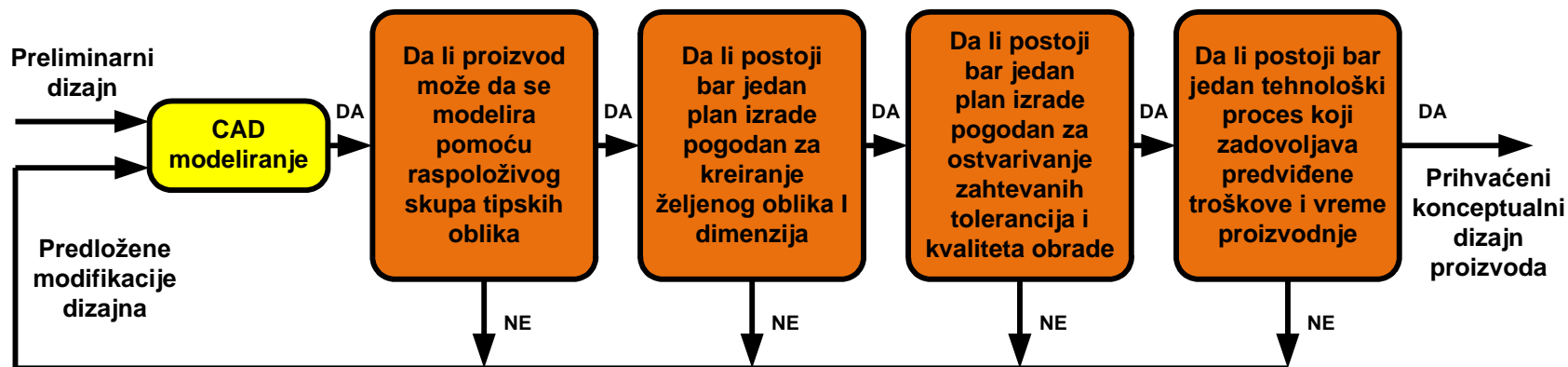
Ako se osnovni tok projektovanja proširi sistemom za analizu tehnološkičnosti, moguće je pri projektovanju proizvoda ispuniti, ne samo funkcionalne zahteve, već i zahteve u pogledu tehnološkičnosti izrade, montaže, itd.



◀ Mesto analize tehnološkičnosti

Proces analize tehnološkičnosti se ne može predstaviti jednim univerzalnim algoritmom, dijagramom toka ili šemom.

Osnovna ideja jednog od prilaza analizi tehnološkičnosti odnosi se na mogućnost modeliranja alternativnih interpretacija dela kao skupa tipskih oblika. Zatim se za ove interpretacije projektuju rešenja idejnog tehnološkog procesa, na osnovu čega se ocenjuje tehnološkičnost proizvoda. Predloženi redosled koraka za posmatrani prilaz analize tehnološkičnosti dat je na slici.



Prema ovom modelu postoje četiri slučaja kada proizvod nije tehnološkičan:

- *Ukoliko neki delovi konstrukcije ne odgovaraju ni jednom postojećem tipskom obliku, onda je ove delove potrebno modifikovati ili eliminisati,*
- *Ukoliko se ne može naći odgovarajući plan izrade kojim se može izraditi kreirani oblik konstrukcije proizvoda, onda su oblik i/ili dimenzije nezadovoljavajući i trebalo bi ih promeniti, tako da se može primeniti bar jedan plan izrade,*
- *Ukoliko ni jedan plan izrade ne može da zadovolji zahtevane tolerancije, onda bi konstruktor trebalo da razmotri mogućnost promene neodgovarajućih tolerancija ili promenu oblika i/ili dimenzija konstrukcije i*
- *Ukoliko postoji zadato vreme i/ili cena i ni jedan plan izrade ne može da ostvari te ciljeve, onda bi trebalo razmotriti promenu konstrukcije kako bi karakteristike proizvoda koje zahtevaju skupe i vremenski zahtevne operacije izrade bile eliminisane.*

Podela sistema za analizu tehnoložnosti (prema Gupti):

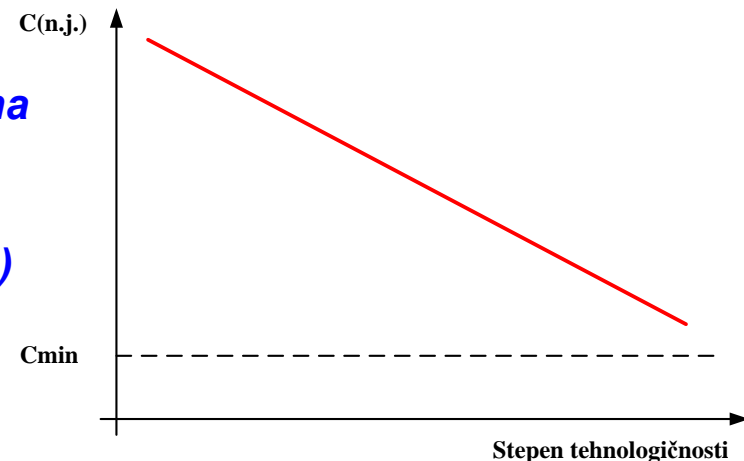
➤ 1) Prilaz

- Direktan prilaz–baziran na pravilima (rule-base)
- Indirektan prilaz–baziran na tehnološkim procesima (plan-base)

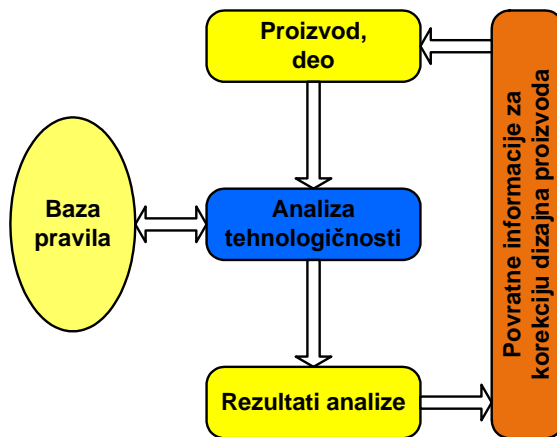
➤ 2) Ocena tehnoložnosti

- Binarna ocena (netehnoložičan=0, tehnoložičan=1)
- Kvalitativna ocena (loš, prosečan, odličan, ...)
- Kvantitativna ocena (0÷1 za attribute proizvoda)
- Brojčana vrednost vremena i troškova

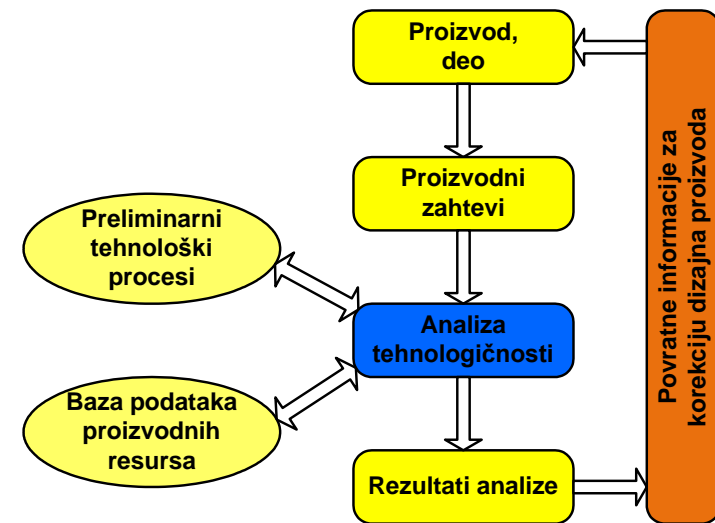
➤ 3) Nivo automatizacije



USLOVI KOJI OBEZBEĐUJU TEHNOLOŽIČNOST	SKICA KONSTRUKCIJE	
	Netehnoložično	Tehnoložično
Žljeb (B) omogućuje efikasnije postizanje mere ϕD		
Profilom žljeba, koji odgovara obliku zuba glodala, obezbeđuje se efikasnija obrada brušenjem		
Merom $\phi D^{0.2}$, na dužini L, smanjuje se vreme brušenja prečnika ϕD ko i obezbeđuje se lakša montaža i demontaža ležaja		
Površine koje se obrađuju treba odvojiti odgovarajućim prelazima		
U procesu obrade veća pogodnost se postiže pri izradi mere (h) nego (b)		
Površine za obradu treba da budu u istom nivou		



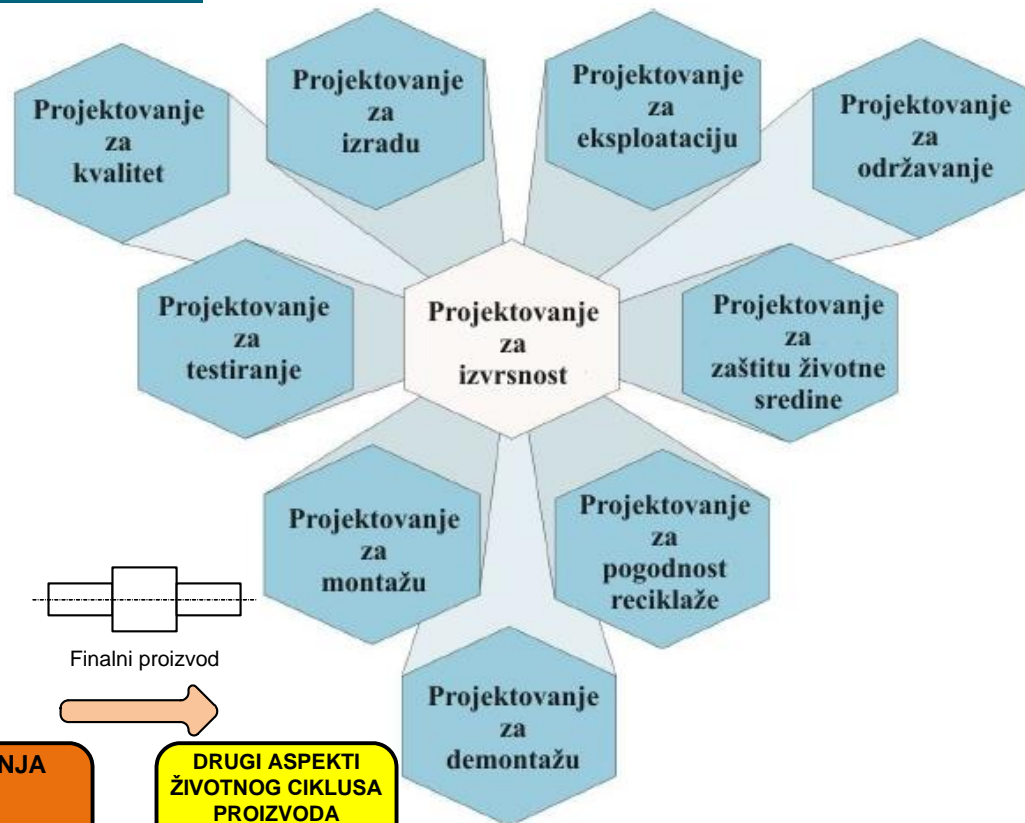
Direktan prilaz



Indirektan prilaz

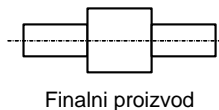
Projektovanje proizvoda za izvrsnost DFX

Uspešan razvoj novih proizvoda podrazumeva takva rešenja koja su pogodna za sve faze njihovog životnog ciklusa, od projektovanja pa do reciklaže i odlaganja. U tom cilju razvijeni su mnogi alati i tehnike za odlučivanje, koje figurišu pod nazivom Projektovanje za izvrsnost – DFX



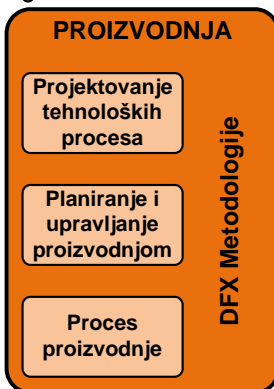
Informacije

- Zahtevi tržišta
- Marketing procene
- Specifikacije konstrukcije
- Mišljenja konstruktora
- Inovacije procesa



Finalni proizvod

Procesi



Povratne informacije

- Pitanja za kupce
- Sugestije za kupce

- Znanje o tehnološkim procesima
- Unapređenje konstrukcije
- Modifikacije procesa, inovacije
- "Naučene lekcije" iz proizvodnje

- Unapređenje projektovanja i proizvodnje
- Povratne informacije o ponašanju proizvoda u eksploataciji, održavanju, itd.

Projektovanje za izradu i montažu (DFMA)

Osnovni zadaci DFMA:

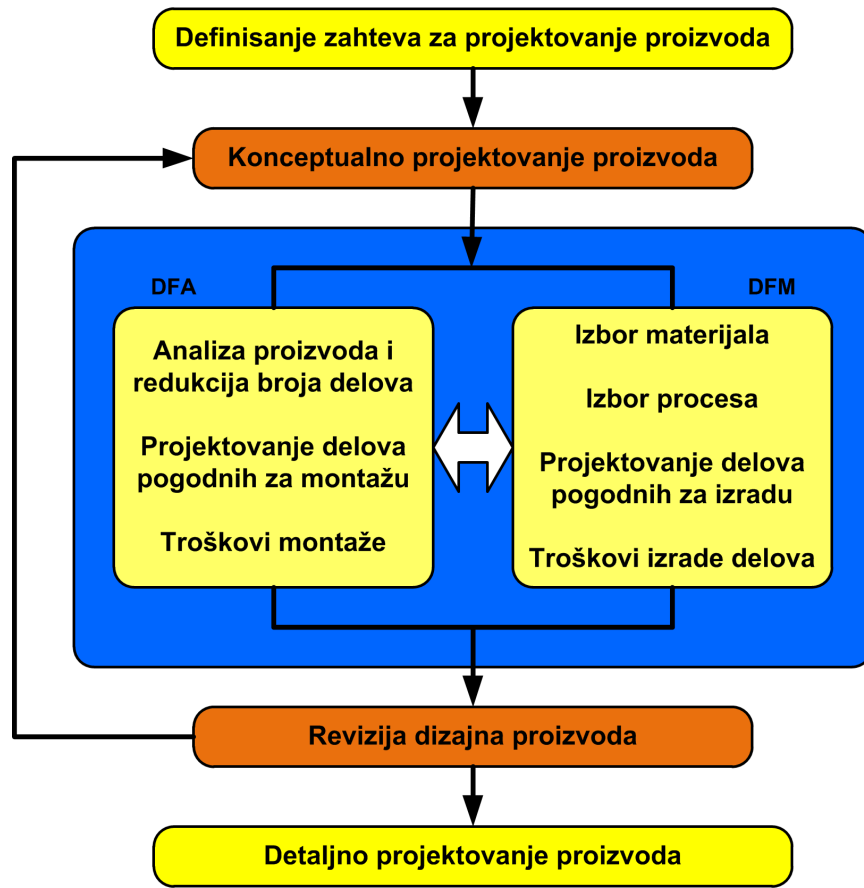
- Osnova studije simultanog inženjerstva, u smislu definisanja smernica projektanskom timu za poboljšanje konstrukcije proizvoda, smanjenje troškova i vremena proizvodnje i kvantifikaciju poboljšanja,
- Alat za proučavanje konkurentskih proizvoda i kvantifikovanje kvaliteta procesa izrade i montaže, i
- Alat za procenu vremena i troškova proizvodnje

Osnovni ciljevi DFMA metodologija:

- Pojednostavljenje konstrukcije proizvoda (npr. smanjenje broja delova....)
- Povećanje stepena standardizacije,
- Pojednostavljenje operacija izrade i montaže,
- Smanjenje vremena izrade i montaže i brži izlazak proizvoda na tržište i
- Smanjenje troškova izrade i montaže.

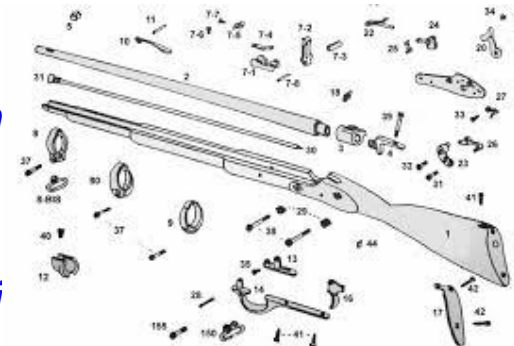
Pojava kontradiktornosti →

veći broj jednostavnijih delova (DFM)
manji broj složenijih delova (DFA)
(rešenje-određivanje troškova varijanti)

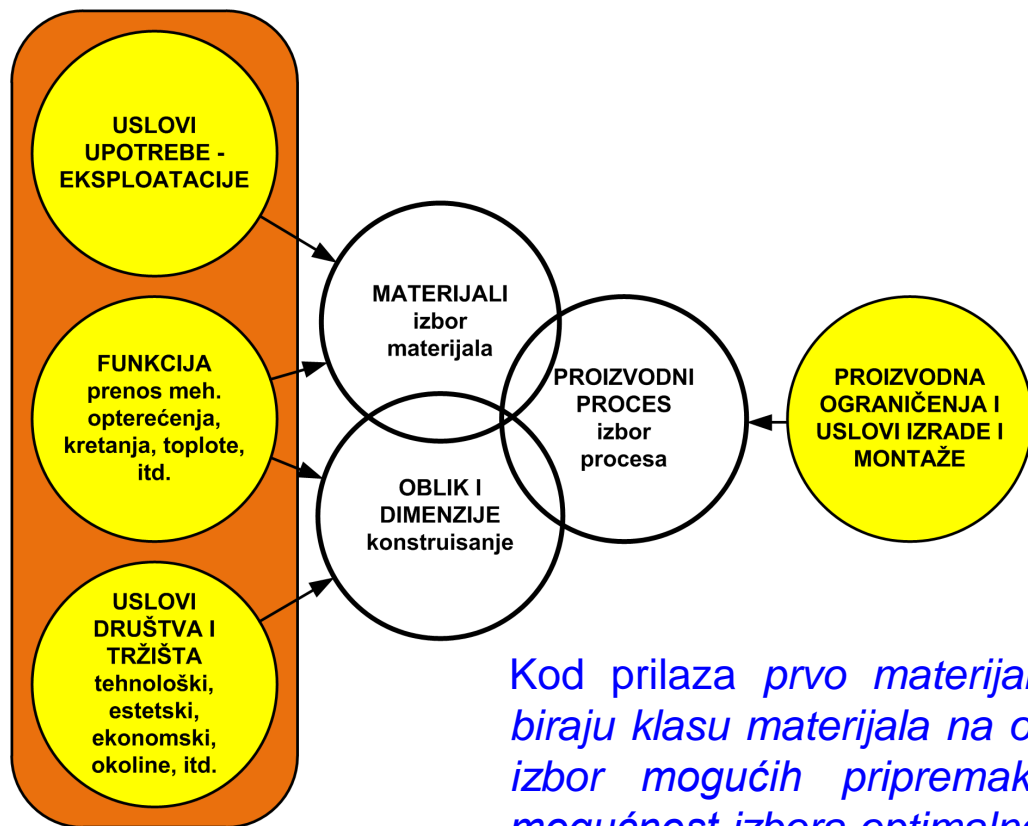


ISTORIJAT DFMa

- Prvo prepoznavanje značaja DFM-a pojavljuje se tokom Drugog svetskog rata – sa ciljem da se proizvede kvalitetno oružje u što kraćem vremenskom periodu – formiranje malih multifunkcionalnih timova
- ASME – serija priručnika od 1941.god, priručnik „Metals Engineering Processes“ iz 1958. god. - smernice za pomoć projektantima u poboljšanju tehnološkiosti metalnih komponenti koje izrađuju livenjem, kovanjem, obradom rezanjem, itd.
- Uputstva i smernice za projektovanje tehnoloških proizvoda u okviru kompanija npr. General Electric “Manufacturing Productibility Handbook” (1960. god.)
- 60 i 70-ih godina sekvencijalni način razvoja proizvoda se počinje zamenjivati konkurentnim (simultanim) – veća zainteresovanost za DFM
- 80-ih godina DFM i DFA (DFMA) koncepti prihvaćeni u kompanijama
- *Eli Whitney (kraj XVIII veka) – sistem proizvodnje mušketa na principu zamenljivosti delova (pre toga ručna izrada-jedan majstor jedna puška) – standardizacija delova i izrade – stvorene osnove masovne proizvodnje u USA*
- *LeBlanc – sličan sistem proizvodnji mušketa u Francuskoj (10-tak godina ranije)*
- *Henry Ford (početak XX veka) – “model T” automobil – osnovni ciljevi: jednostavnost u radu, apsolutna pouzdanost, visok kvalitet materijala i izrade, jednostavnost održavanja*
- *Mitrofanov, Sokolov (sredinom XX veka)-grupna tehnologija*



Zadatak razvoja i osvajanja proizvodnje novog proizvoda je višedimenzionalni problem koji određuju zahtevi uslova upotrebe i eksploatacije proizvoda, njegova funkcionalnost i uslovi koje određuju društvo i tržište, sa jedne strane, i proces proizvodnje u uslovima ograničenja izrade i montaže.



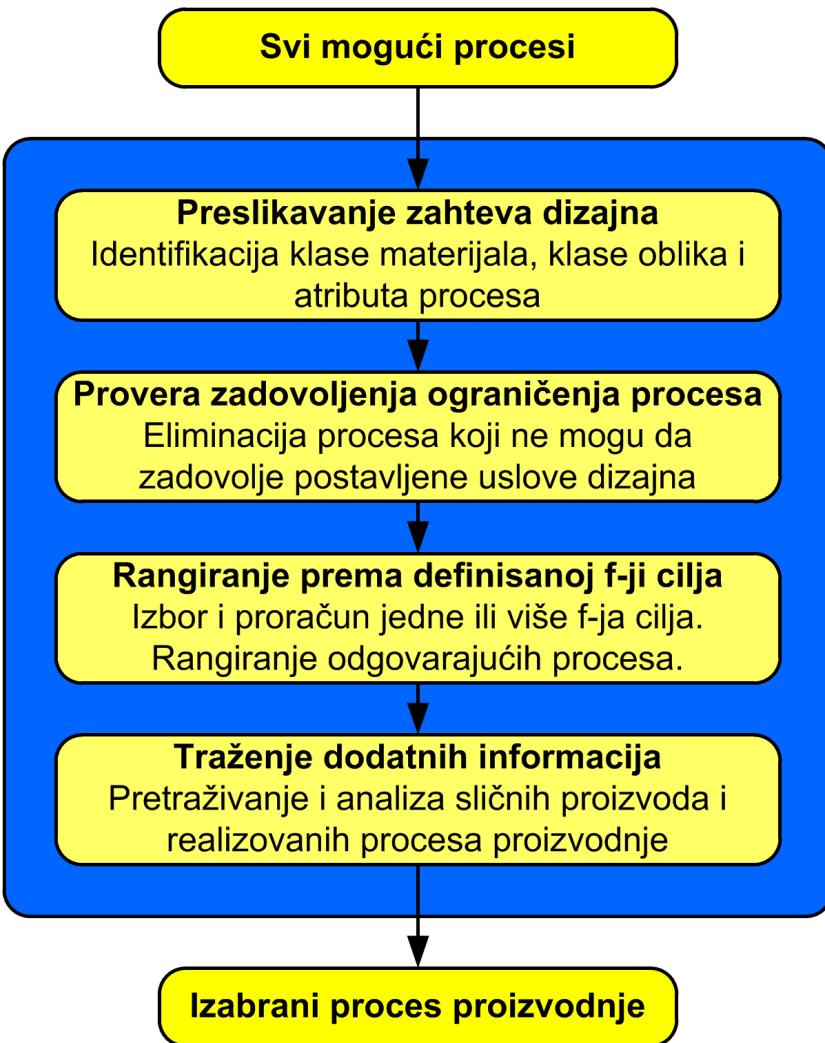
Dva osnovna prilaza za izbor kombinacije materijal/proces su:

- *Prvo materijal pa proces*
- *Prvo proces pa materijal*

Kod prilaza prvo materijal pa proces proizvodnje, projektanti prvo biraju klasu materijala na osnovu ulaznih zahteva, nakon toga se vrši izbor mogućih priprema i procesa proizvodnje, uključujući i mogućnost izbora optimalnog procesa proizvodnje.

Kod prilaza prvo proces proizvodnje pa materijal, projektanti prvo projektuju preliminarni tehnološki proces, a potom se vrši izbor i evaluacija odgovarajućih potencijalnih materijala na osnovu ulaznih proizvodnih zahteva.

Izbor procesa proizvodnje



Osnovni algoritam izbora procesa proizvodnje

Osnovnih pitanja koja se postavljaju su:

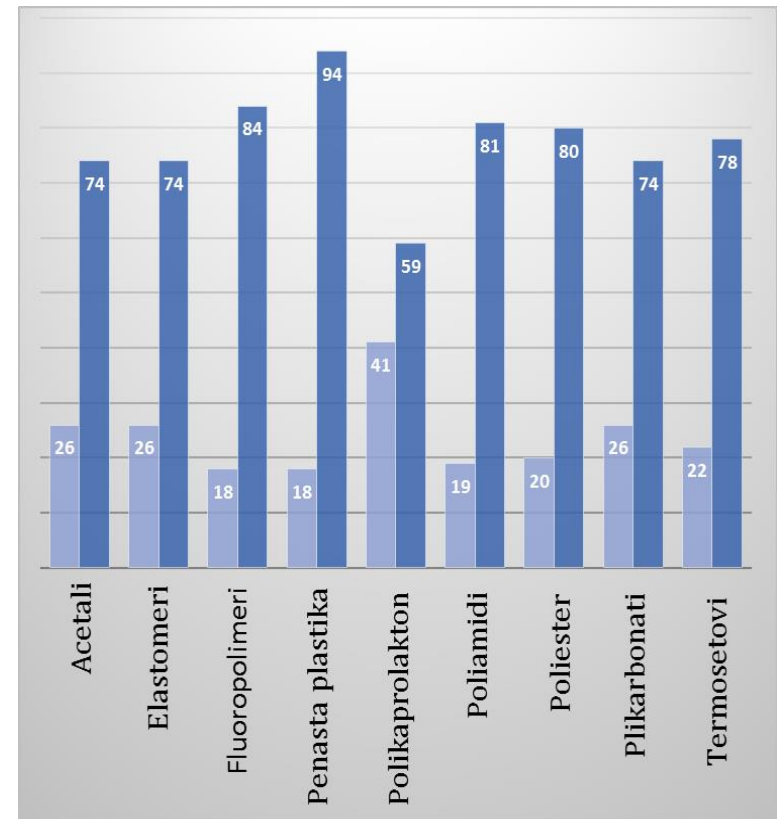
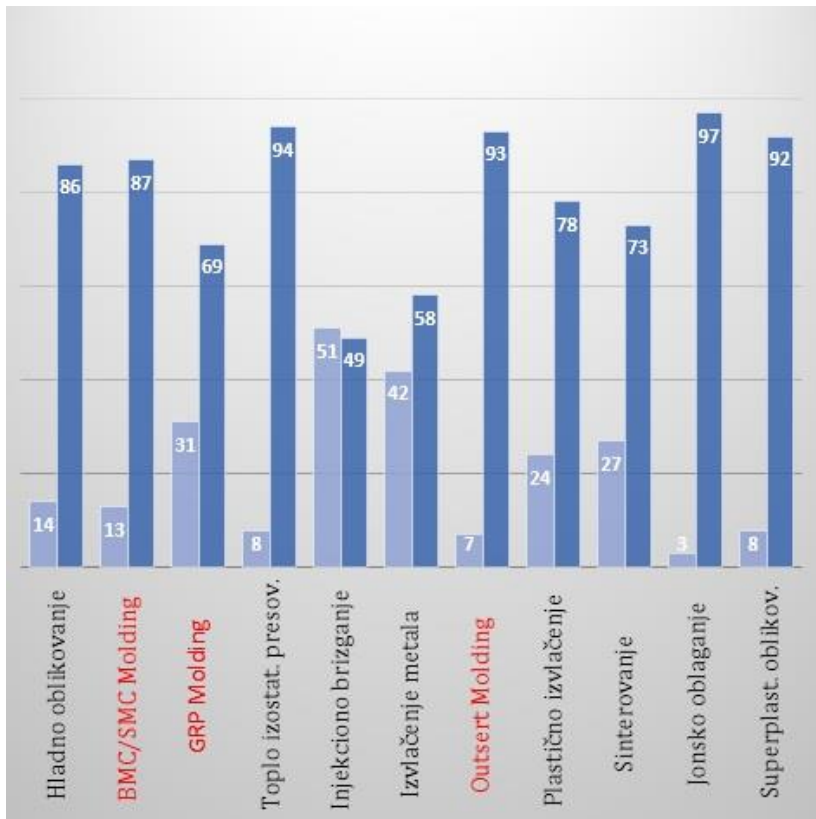
- *Kako bираmo proizvodne procese?*
- *Kako materijal utiče na izbor procesa?*
- *Da li funkcija proizvoda i potrebna svojstva eksploatacije utiču na izbor proizvodnog procesa?*
- *Koji kriterijumi se koriste pri izboru procesa?*
- *Koji kriterijumi su značajniji?*
- *Kako definišate težinske koeficijente za kriterijume?*
- *Kako doneti konačnu odluku?*

❖ *Prva faza – preslikavanje zahteva dizajna proizvoda*

- *Funkcije, odnosno zahtevi koji se očekuju od procesa, kao i vrsta procesa koje je potrebno primeniti,*
- *Ograničenja u okviru kojih se identifikuje željena klasa materijala, klasa oblika i atributi procesa i*
- *Kriterijumi za ocenu i izbor tehnoloških procesa.*

❖ **Druga faza – faza izvodljivosti**

U okviru ove faze se vrši provera postavljenih ograničenja i eliminacija neodgovarajućih procesa. Ova faza se analitički najčešće realizuje pretraživanjem tabela u kojima su matricno definisane mogućnosti ili ograničenja procesa s obzirom na attribute proizvoda, proizvodnje i procesa. Najčešći atributi, odnosno kriterijumi su vrsta materijala, oblik, količine, tačnost, i dr.



Usaglašeost materijala i procesa → eliminacija procesa za određeni materijal)

Procesi	Siv livi Nodularni liv	Ugljeni čelici	Legirani čelici	Nerdajući čelici	Aluminijum i Al legure	Bakar i Cu legure	Cink i Zn legure	Magnezijum i Mg legure	Titanium i Ti legure	Nikal i Ni legure	Vatrootporni metali	Termoplasti	Duromeri
Liveenje u pesku	O	O	O	O	O	O	-	O	-	O	-	X	X
Precizno liveenje	-	O	O	O	O	O	-	-	-	O	-	X	X
Liveenje pod pritiskom	X	X	X	X	O	-	O	O	X	X	X	X	X
Brizganje	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	-
Brizganje pene	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	X
Duvanje	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	X
Centrifugalno liveenje	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	X
Termoformiranje	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	O	X
Istiskivanje	X	O	O	-	O	O	O	-	X	X	X	X	X
Hladno sabijanje	X	O	O	O	O	O	-	-	X	-	X	X	X
Kovanje u zatvorenom kalupu	X	O	O	O	O	O	X	O	O	-	-	X	X
Toplo ekstrudiranje	X	O	-	-	O	O	X	O	-	-	-	X	X
Rotaciono kovanje	X	O	O	O	O	-	-	O	X	O	O	X	X
Obrada rezanjem	O	O	O	O	O	O	O	O	-	-	-	-	-
Elektrohemijska obrada EHM	O	O	O	O	-	-	-	-	O	O	-	X	X
Elektroerozivna obrada EDM	X	O	O	O	O	O	-	-	-	O	-	X	X
Elektroerozivna obrada žicom	X	O	O	O	O	O	-	-	-	O	-	O	X
Oblikovanje lima	X	O	O	O	O	O	-	-	-	-	X	X	X
Rotaciono izvlačenje	X	O	-	O	O	O	O	-	-	-	-	X	X

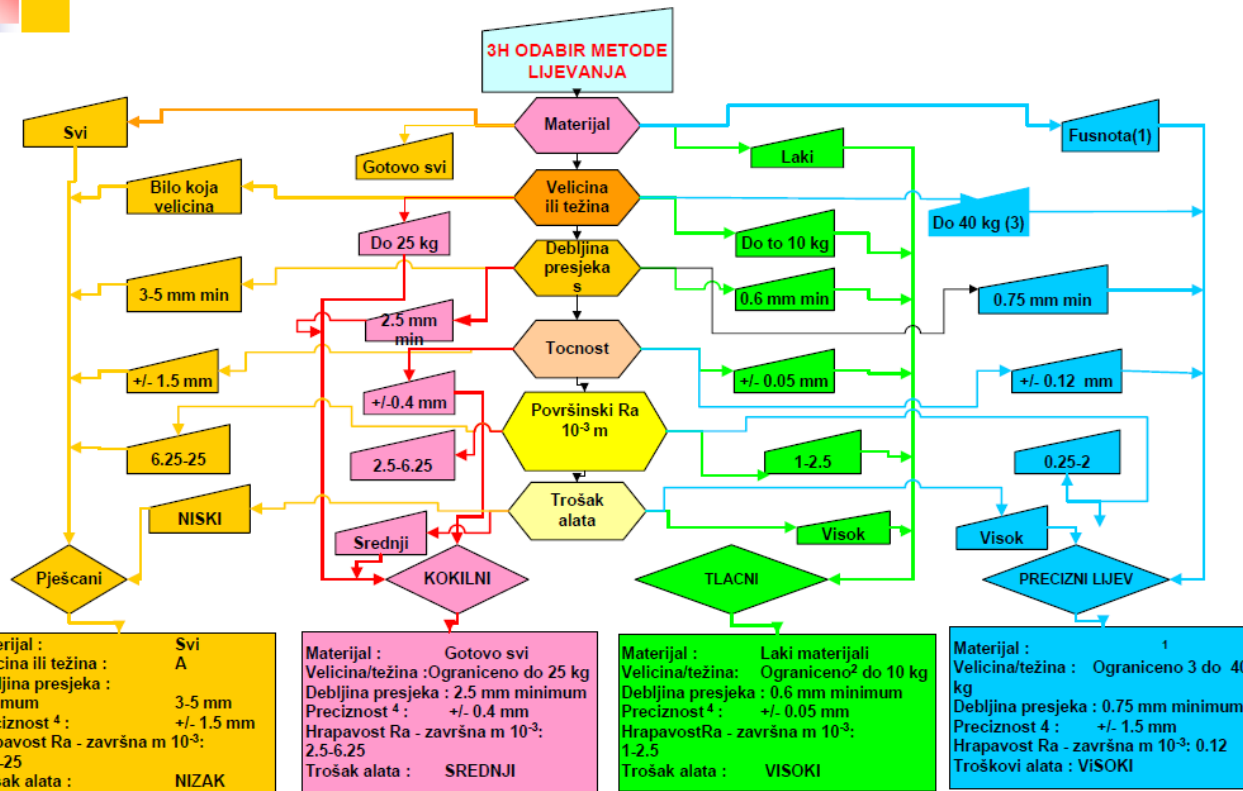
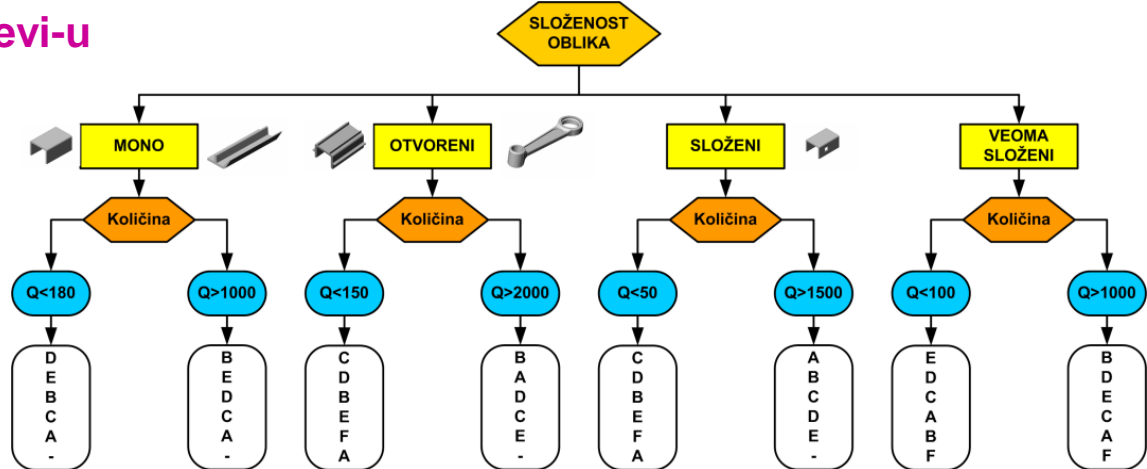
O - normalna praksa - manje primenljivo X - nije primenljivo

Karakteristike procesa za pojedine kriterijume/atribute (kvalitet obrade, tačnost obrade, kompleksnost oblika, proizvodnost, veličina, troškovi...) → eliminacija procesa na osnovu zahteva pojedinih kriterijuma

Procesi	Atributi ili kriterijumi procesa						
	Kvalitet površine	Tačnost dimenzija	Kompleksnost oblika	Proizvodnost	Obim proizvodnje	Površina projekcije	Relativni troškovi
Livenje pod pritiskom	N	V	V	V/S	V	S/N	V
Centrifugalno livenje	S	S	S	N	S/N	V/S/N	V/S
Presovanje	N	V	S	V/S	V/S	V/S/N	V/S
Brizganje	N	V	V	V/S	V/S	S/N	V/S/N
Livenje u pesku	V	S	S	N	V/S/N	V/S/N	V/S/N
Livenje u školjke	N	V	V	V/S	V/S	V/S	S/N
Precizno livenje	N	V	V	N	V/S/N	S/N	V/S
Rezanje jednim sečivom	N	V	S	V/S/N	V/S/N	V/S/N	V/S/N
Glodanje	N	V	V	S/N	V/S/N	V/S/N	V/S/N
Brušenje	N	V	S	N	S/N	S/N	V/S
Elektroerozivna obrada	N	V	V	N	N	S/N	V
Duvanje	S	S	S	V/S	V/S	S/N	V/S/N
Obrada lima	N	V	V	V/S	V/S	V/S/N	N
Kovanje	S	S	S	V/S	V/S	V/S/N	V/S
Valjanje	N	S	V	V	V	V/S	V/
Ekstrudiranje	N	V	V	V/S	V/S	S/N	V/S
Metalurgija praha	N	V	V	V/S	V	N	V/S
Ključ ocena							
V-Visoko	>6,3	<0,13	Visoka	>100	>5000	>0,5	
S-Srednje	1,6÷6,3	0,13÷1,3	Srednja	10÷100	100÷1000	0,02÷0,5	
N-Nisko	<1,6	>1,3	Niska	<10	<100	<0,02	
<i>Jedinice</i>	µm	mm		kom/sat	komada	m ²	

Primer izbora procesa prema Halevi-u

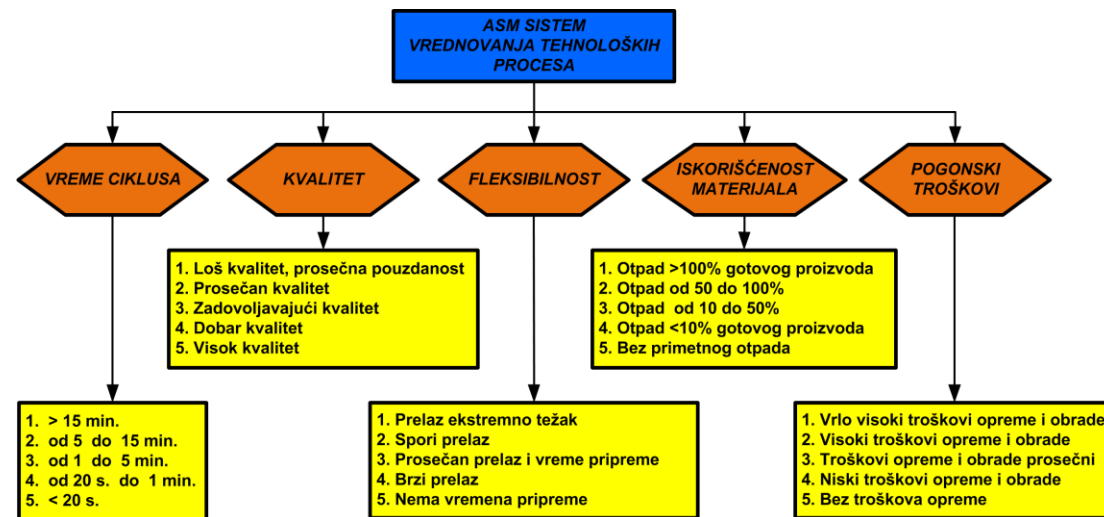
- **A-livenje**
- **B-obrada deformisanjem**
- **C-obrada skidanjem materijala**
- **D-spajanje**
- **E-montaža**
- **F-dodavanje materijala**



NAPOMENE:

1. Materijali koji se mogu proizvesti preciznim ljevanjem pripadaju slojedicim skupinama : Al legure, CU legure, Zn legure, Mg legure, Ti legure, Pb legure alloys,
2. Uobicajeno ispod 8 kg
- 3 Najbolji rezultati za oko 1 kg
- 4 The toleranca preciznosti zavisi o raspšenju faktora skupljanja i dimenzijama odljevka. To se može proračunati jednadžbom:
Toleranca > dimenzija ((S_{max} - S_{min})/2) where S is the faktor skupljanja i funkcija je materijala.

❖ Treća faza – vrednovanje i rangiranje procesa prema izabranim kriterijumima/f-jama cilja



ASM sistem vrednovanja procesa

$$WRV = \sum_{i=1}^n (P_i) \times (W_i)$$

- *WRV – ponderisani rang vrednosti procesa*
- *n – ukupan broj kriterijuma*
- *P_i – ponderisana ocena procesa za određeni kriterijum*
- *W_i – težinski koeficijent kriterijuma*

W_i - težinski koeficijenti kriterijuma se mogu dodeliti slobodno prema mišljenju donosioca odluke ili se proračunavaju primenom neke od metoda višekriterijumskog odlučivanja/optimizacije (npr. AHP)

Procesi	Oblik	Kriterijumi za vrednovanje procesa				
		Vreme ciklusa	Fleksibilnost	Iskorišćenost materijala	Kvalitet	Pogonski troškovi
Livenje u pesku	3D	2	5	2	2	1
Precizno livenje	3D	2	4	4	4	3
Livenje u kokile	3D	4	2	2	3	2
Livenje pod pritiskom	3D puni	5	1	4	2	1
Centrifugalno livenje	3D šuplji	2	3	5	3	3
Brizganje	3D	4	1	4	3	1
Obrada rezanjem 1 oštricom	3D	2	5	1	5	5
Obrada rezanjem s više oštrica	3D	3	5	1	5	4
Brušenje	3D	2	5	1	5	4
Elektroerozivna obrada	3D	1	4	1	5	1

Primer vrednovanja pojedinih procesa-vrednosti P_i

❖ Četvrta faza – analiza rezultata vrednovanja

U ovoj fazi najbolje rangirani procesi se detaljno analiziraju i ispituju u cilju dobijanja dodatnih i potvrđnih informacija o kvalitetu izbora, razmatraju se eventualne moguće štetne posledice za neke kriterijume koji nisu uzeti u razmatranje. Ako se utvrdi da ima nekih bitnih nedostataka usvaja se sledeći proces po rangju vrednosti.

Procena troškova i vremena proizvodnje

Određivanje troškova i vremena proizvodnje predstavlja u velikom broju slučajeva osnovu za donošenje kvalitetnih odluka u proizvodnoj praksi. U zavisnosti od faze razvoja proizvoda postoje različiti načini određivanja troškova i vremena, ***u početnim fazama se uglavnom vrši procena, a u kasnijim fazama detaljan proračun troškova i vremena.***

Jedan od osnovnih zadataka konceptualnog projektovanja tehnoloških procesa je procena i smanjenje proizvodnih troškova, koje se uopšteno može realizovati:

- ***Primenom i nabavkom jeftinijih materijala,***
- ***Proizvodnjom sa malo proizvodnog otpada,***
- ***Proizvodima sa što manjom masom,***
- ***Proizvodnjom u većim serijama,***
- ***Izborom proizvodnih procesa koji imaju kratko vreme i niske troškove izrade po jedinici vremena,***
- ***Projektovanjem tehnološkog proizvoda primenom DFMA i drugih DFX metoda, itd.***

Nemogućnost preduzeća da brzo i uspešno proceni troškove i cenu proizvoda može značajno da ugrozi njegov ekonomski opstanak na konkurentnom tržištu.

Procena troškova je veoma značajna s obzirom na održivost projekta i smanjenje troškova razvoja i proizvodnje proizvoda.

Jedan od bitnih zadataka procene troškova izrade proizvoda predstavlja ***obezbeđivanje dovoljno pouzdanih informacija o elementima troškova u ranoj fazi razvoja proizvoda,*** na osnovu kojih se mogu doneti odluke o izboru kvalitetnih varijanti proizvoda i ekonomičnosti njihove proizvodnje.

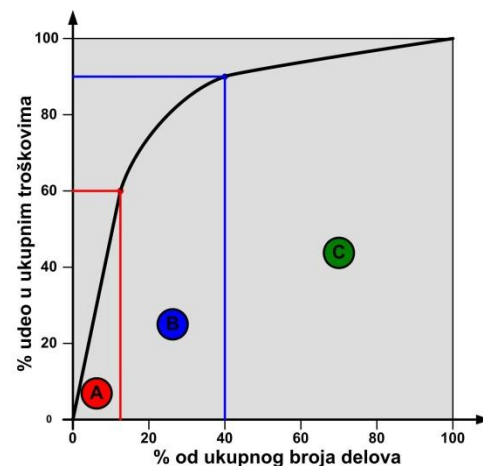
Posledice loše procene troškova i vremena:

- *Previsoka procena troškova proizvodnje utiče na formiranje visoke cene proizvoda, što ima za posledicu nekonkurentnost na tržištu,*
- *Premala procena troškova proizvoda utiče na formiranje niske cene proizvoda, što ima za posledicu ostvarivanje gubitaka u poslovanju,*
- *Prevelika procena vremena proizvodnje povlači posledice previsoke procene troškova, kao i nemogućnosti zadovoljenja zahtevanih rokova isporuke i*
- *Premala procena vremena proizvodnje povlači posledice premale procene troškova, kao i nemogućnosti poštovanja definisanih rokova proizvodnje.*

Podela metoda za proračun i procenu troškova

Metoda	Opis	Najbolja primena za	Preciznost (nivo greške)
Intuitivna	Procena troškova na bazi ličnog znanja, iskustva i intuicije.	Globalno planiranje proizvodnje	30-50 %
Komparativna (Metoda poređenja)	Procena na osnovu postojećih troškova sličnih delova.	Globalno planiranje proizvodnje	30-50 %
Analogna	Procena na bazi troškova sličnih delova, definišu se osnovni parametri za poređenje sa prethodnim slučajevima.	Konceptualno projektovanje	14-30 %
Parametarska	Vrši se izbor jednog ili više parametara koji će se posmatrati. Oni se koriste zajedno sa težinskim koeficijentima za procenu troškova.	Konceptualno projektovanje	14-30 %
Analička	U obzir se uzimaju direktni i indirektni troškovi. Vrši se proračun svih elementarnih troškova i njihovim sabiranjem se dobijaju ukupni troškovi proizvodnje.	Detaljno projektovanje	5-15 %

Redukcija troškova proizvodnje primenom ABC analize



Prikaz analogne metode (prema Swift-u)




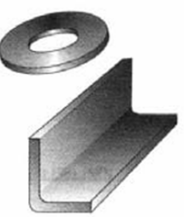

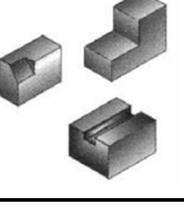


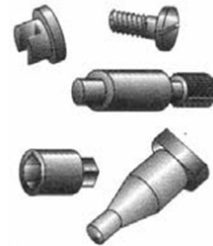

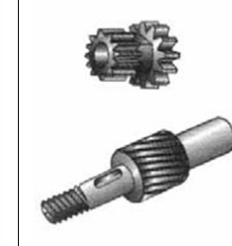
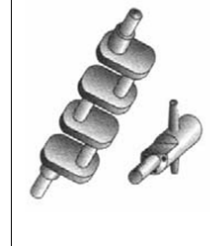
Ova metoda bazira na inženjerskom iskustvu i znanju, kao i odgovarajućim podacima iz proizvodne prakse koji su sistematizovani u obliku pogodnom za proračun i procenu troškova proizvodnje pojedinih delova.

Troškovi proizvodnje T određenog dela sastoje se od troškova materijala T_m , troškova izrade T_i i troškovi termičke obrade i/ili površinske zaštite T_t , gde n predstavlja broj različitih operacija izrade:

$$T = T_m + \sum_{i=1}^n T_i + T_t$$

Za određivanje pojedinih koeficijenata koji figurišu u izrazima za proračun, potrebno je prethodno izvršiti klasifikaciju proizvoda prema geometrijskom obliku. Svi proizvodi su podeljeni u tri osnovne klase, koje se potom dele na pet različitih podklasa po složenosti. Osnovne klase su:

- *A – rotaciono-simetrični i rotaciono-nesimetrični delovi*
- *B – prizmatični i kutijasti puni delovi*
- *C – prizmatični i kutijasti tankozidni delovi*

C 		PLJOC	B 		A 				
sa jednom osom		sekundarna osa	sa jednom osom/u jednoj osi		jedna/primarna osa		sekundarne ose: otvori, ravne i druge površine paralelne i/ili normalne na osnovnu osu		složeni oblici
samo osnovni oblici	ravnomeran presekač deblijina zida		samo osnovni oblici	sekundarna osa	samo osnovni rotacioni oblici	sekundarni oblici	unutrašnji oblici	unutrašnji i/ili spoljašnji oblici	nepravilni i/ili složeni oblici
C1	C2		B1	B2	A1	A2	A3	A4	A5
									
pripremi, otpresci, podloške, savijeni i drugi oblici na ili paralelni sa osnovnom osom	pljosnati zupčani, višestruko ili kontinualno savijeni oblici		stepenasti predmeti, žljebovi, kanali, useci i otvori/navojski duž jedne ose	stepenasti žljebovi, otvori, na jednoj osi	rotaciono simetrični žljebovi, useci, konusi, oborene ivice, zaobljenja, upusti i rupe duž ose/centralne linije	unutrašnji i spoljni navojski, nareckani, jednostavni oblici žljebova na i oko osnovne ose/centralne linije	rupe/navojski upusti i ostali unutrašnji oblici koji se ne nalaze na osnovnoj osi	projekcije, složeni oblici, slepi profili, žljebovi na sekundarnim osama	površine složenog oblika, i/ili serije oblika koji nisu obuhvaćeni prethodnim kategorijama

Troškovi materijala T_m

Troškovi materijala se određuju kao proizvod zapremine priprema V_P i jedinične cene materijala C_{mt} (cena materijala po jedinici zapremine):

$$T_m = V_P \cdot C_{mt}$$

Zapremina priprema se određuje lako kada je u pitanju jednostavan oblik, kao što je na primer šipka. Međutim, kada je zapremina priprema složena ili nije poznat oblik priprema, onda se ona može odrediti kao proizvod zapremine gotovog dela V i koeficijenta W_C koji uzima u obzir količinu skinutog materijala. Koeficijent W_C zavisi od vrste proizvodnog procesa i složenosti oblika proizvoda prema prethodno izvršenoj klasifikaciji.

$$V_P = V \cdot W_C$$

Složenost geom. oblika	PROCES												
	CF	CH	SC	PDC	CDF	SMW	AM MM CNC	PM	IM	SM	CPM	VF	GDC
A1	1	1	1.1	1	1.1	-	1.6	1	1	1	1	1	1
A2	1	1	1.1	1.1	1.1	-	2	1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
A3	1	1	1.2	1.1	1.2	-	2.5	1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
A4	-	-	1.3	1.2	1.2	-	3	1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2
A5	-	-	1.4	1.3	1.3	-	4	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3

Koeficijent skinutog materijala W_C

Troškovi izrade T_i

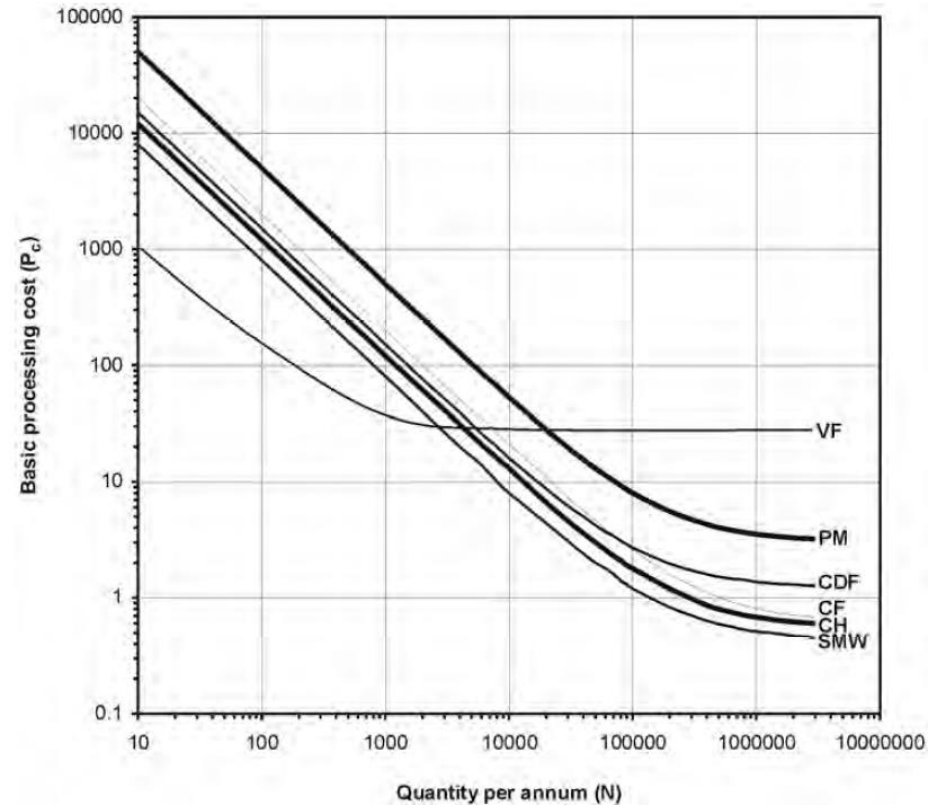
Kao osnova za određivanje troškova izrade proizvoda uzimaju se troškovi "idealnog proizvoda", uz korekciju sa relativnim koeficijentom troškova koji iskazuje razliku posmatranog proizvoda i idealnog proizvoda, s obzirom na vrstu materijala, složenost oblika, određene dimenzije, tolerancije i kvalitete površina, odnosno:

$$T_i = P_c \cdot R_c$$

- P_c – Troškovi izrade idealnog proizvoda
- R_c – Relativni koeficijent troškova

Idealan proizvod je proizvod iz određene klase proizvoda koji ima najjednostavniji oblik, najniže zahteve u pogledu tačnosti, odnosno tolerancija i kvaliteta obrade površina. Na slici je prikazan jedan od grafika funkcija za određivanje troškova idealnog proizvoda od primenjene tehnologije izrade, odnosno proizvodnog procesa i obima proizvodnje.

VF-termoformiranje
PM-metalurgija praha
CDF-kovanje
CF-hladno istiskivanje
CH-hladno oblikovanje
SMW-obrađa lima



Troškovi idealnog proizvoda P_c

Relativni koeficijent troškova se računa na osnovu sledećeg izraza:

$$R_C = C_c \cdot C_{mp} \cdot C_s \cdot C_{ft} \quad (C_t \text{ ili } C_f)$$

R_C – Relativni koeficijent troškova

C_c – Koeficijent složenosti oblika proizvoda

C_{mp} – Koeficijent pogodnosti materijala za određeni proces

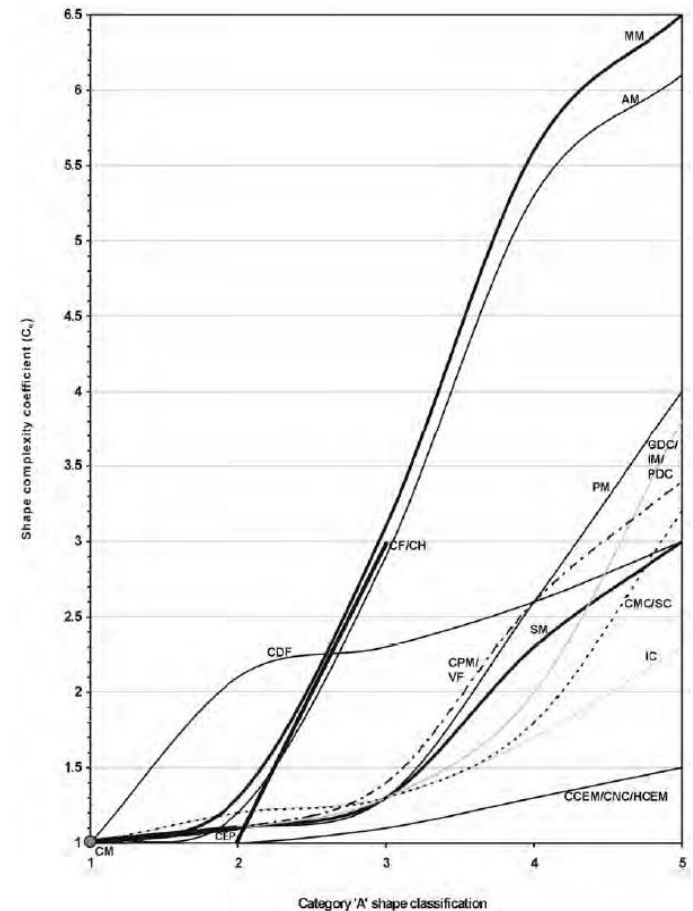
C_s – Koeficijent koji uzima u obzir debljinu zida proizvoda

C_t – Koeficijent tolerancija

C_f – Koeficijent kvaliteta obrade površina

Za idealan proizvod svi ovi koeficijenti su jednaki jedinici, dok se za konkretne proizvode koeficijenti očitavaju sa odgovarajućih grafika funkcija ili iz tabela, u zavisnosti od određenih karakteristika proizvoda vezanih za odgovarajući koeficijent redukcije. Nakon određivanja koeficijenata tolerancija C_t i kvaliteta obrade površina C_f , uzima se u obzir koeficijent sa većom vrednošću, koji dobija oznaku C_{ft} .

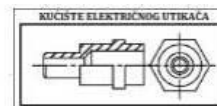
Za određivanje koeficijenta složenosti proizvoda potrebno je prethodno izvršiti klasifikaciju proizvoda prema klasi oblika (A, B ili C) i podklasi složenosti (1,2,3,4,5), nakon čega se koeficijent složenosti očitava sa grafika funkcija



Koeficijent složenosti C_c za klasu oblika A

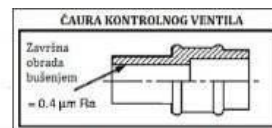
Primeri primene analogne metode za procenu troškova

Naziv proizvoda	Kućište elektr. utikača
Kod proizvoda/ID	-
Obim proizvodnje	1.000.000 komada



DETALJI O KOMPONENTI		$Mc = V \times Cmt \times [Wc]$							$Rc = Cc \times Cmp \times Cs \times [Cft]$										B	A + B		
Deo br.	ID	Opis dela	Materijal	Primarni proces	Oblik komponente	Zapremina (mm ³)	Cmt	Wc	Mc	Pc	Cc	Cmp	Presek (mm)	Cs	Tolerancija (mm)	Ct	Kvalitet obrađene površine (μm)	Cf	Cft	Rc	(Pc x Rc)	Ti (troškovi u penijima)
za 1.000.000 kom.																						
1		Kućište elektr. utikača	Niskougljenični čelik	Automatizovana obrada rezanjem	A2	22100	0,00041	N/A	9,06	1,2	1,2	1,4	1,5	1	0,2	1	1,6	1	1	1,68	2,02	11,08
1		Kućište elektr. utikača	Niskougljenični čelik	Hladno oblikovanje	A2	3860	0,00041	1	1,58	0,8	1	1,3	1,5	1,2	0,2	1	1,6	1	1	1,56	1,25	2,83
za 30.000 kom.																						
1		Kućište elektr. utikača	Niskougljenični čelik	Automatizovana obrada rezanjem	A2	22100	0,00041	N/A	9,06	3	1,2	1,4	1,5	1	0,2	1	1,6	1	1	1,68	5,04	14,1
1		Kućište elektr. utikača	Niskougljenični čelik	Hladno oblikovanje	A2	3860	0,00041	1	1,58	7	1	1,3	1,5	1,2	0,2	1	1,6	1	1	1,56	10,92	12,5

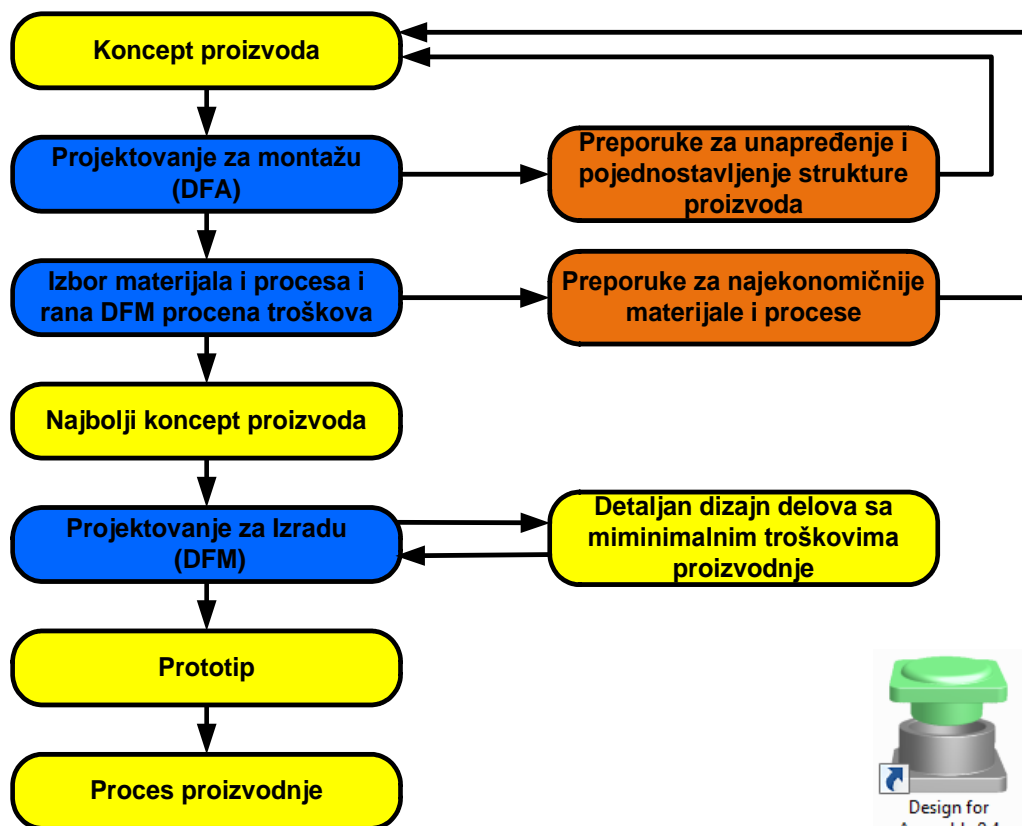
Naziv proizvoda	Čaura kontrolnog ventila
Kod proizvoda/ID	-
Obim proizvodnje	80.000 komada



DETALJI O KOMPONENTI		$Mc = V \times Cmt \times [Wc]$							$Rc = Cc \times Cmp \times Cs \times [Cft]$										B	A + B		
Deo br.	ID	Opis dela	Materijal	Primarni proces	Oblik komponente	Zapremina (mm ³)	Cmt	Wc*	Mc	Pc	Cc	Cmp	Presek (mm)	Cs	Tolerancija (mm)	Ct	Kvalitet obrađene površine (mm Ra)	Cf	Cft	Rc	(Pc x Rc)	Ti (troškovi u penijima)
1		Čaura	Legura aluminijuma	Livenje pod pritiskom	A1	5600	0,00083	1	4,65	2,1	1	1,5	2	1	0,06	1,5	0,4	1,5	1,5	2,25	4,73	9,38
1		Čaura	Termoplastika	Injekciono brizganje	A1	5600	0,00018	1,1	1,11	2,1	1	1	2	1	0,06	1	0,4	1,05	1,05	1,05	2,21	3,32

Najzastupljeniji DFMA sistemi:

- *DFMA*, Boothroyd Dewhurst Inc., USA, prema metodologiji Boothroyd-Dewhursta
- *TeamSET*, CSC Computer Sciences Ltd, UK, prema metodologiji Lucas-Hull
- *AEM*, Assembly Evaluation Method, Hitachi Corp., Japan, Miyakawa i Ohashi
- *Druge* (AREM, FBME, DAC, AOD, itd.)



Dve osnovne aplikacije u okviru „DFMA“ softvera su:

- *DFM Concurrent Costing 2.3* i
- *DFA 9.4*



Design for Assembly 9.4



Dfa 9.4 Item Library



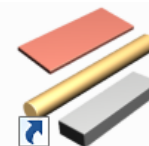
Dfa 9.4 Operation Library



Dfe 9.4 Material Library



Dfm Concurrent Costing 2.3



DfmCost 2.3 Material Library

DFM Concurrent Costing 2.3:

<<Select process and material>>

1.

2.

Cost results, \$	Previous	Current
material	35.77	35.77
setup	0.80	0.80
process	8.81	8.81
rejects	0.22	0.22
piece part	45.59	45.59
tooling	0.00	0.00
total	45.59	45.59
Tooling investment	0	0

3.

Practical Limits Warning

The process and material selections may not be suitable due to the following limitations:
Section thicknesses less than 0.19 in. may be impractical.

Do you wish to ignore the limitations and proceed anyway?

Yes No

Podaci o delu

Oblik priprema

Približne dimenzije priprema

Izbor procesa i materijala

Slika

Beleške

Cost results, \$	Previous	Current
material	0.00	0.00
setup	0.00	0.00
process	0.00	0.00
rejects	0.00	0.00
piece part	0.00	0.00
tooling	0.00	0.00
total	0.00	0.00
Tooling investment	0	0

Proces i materijal su kompatibilni
Ograničenje procesa
Nepotpuni podaci o materijalu-analiza nije moguća
Proces i materijal su inkompatibilni-analiza nije moguća

Library Operations

- Drilling
- Bending
- Deburring on-line
- Hardening

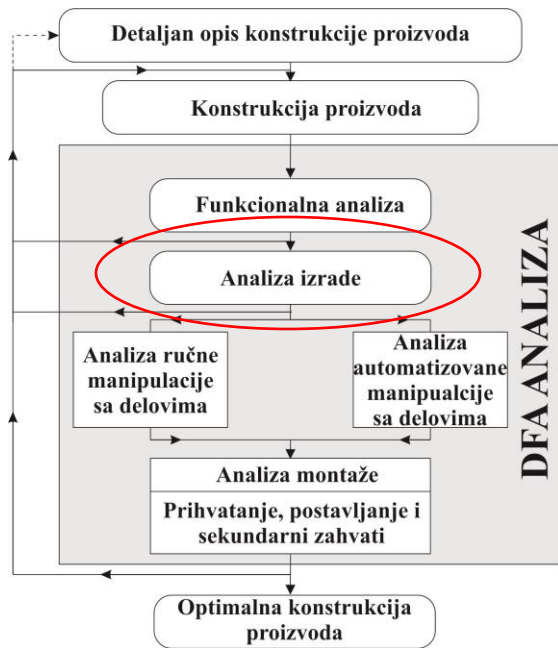
Notes

Calculates the machining time and cost for drilling a number of identical holes consecutively or simultaneously where appropriate. Allowance is automatically made for pecking deep holes.

If you specify inconsistent cut dimensions, appropriate warnings are given. Recommended cutting speeds and feeds are taken from the library and corrected for the hardness of material and for the drill diameter. The cutting speed is further limited by the maximum power available on the machine and by the maximum spindle speed available.

Adjustments are made to the machining time to allow for the approach and over-travel of the drill. The machining time is further adjusted by the time required to change the drill, if necessary, and to reposition them. You also have the option of including the tool wear or tool replacement costs in the cost for each operation. Enter these costs, as indicated.

TeamSET softver za DFMA



Kućište	1	Vratilo	11
Izolator	2	Prsten Ø oblika (2 kom.)	12
Gornja glava	3	Ručica	13
Zaptivka	4	Klin	14
Donja glava	5	Provodnik	15
Ravna podloška	6	Konektor	16
Telo svećice	7	Cevčica	17
Ležaj (2 kom.)	8	Creva za vazduh	18
Kugla	9	Osigurač	19
Muški konektor	10		

Lucas-Hull procedura-algoritam TeamSET

Manufacturing Analysis : Housing

Process: Primary Process [Investment Casting] Production Qty: 100000 Cost Per Part: 0.634078

Material: Initial Vol. 13.34 cm³ Vol. Calc [] Pre-processing Vol. [] Material [Cast Iron] Grade [Cast iron]

Geometry: Definition: Parts require to be processed in more than a single axis or set-up. Examples: [] Type [A - Cylindrical] Complexity [3 - Medium]

Section: Minimum > 5.0mm No additional processing required

Tolerance: [] > 0.15-0.3mm on 1 plane No additional processing required

Surface: [] Medium Ground on 3+ planes No additional processing required

Summary: Carry Forward [Nothing] Analysis: Investment Cast Cost: 0.634078

Cost breakdown: Process (32%), Material (42%), Waste, Geometry (11%), Section, Tolerance, Surface (15%)

Buttons: OK, Cancel, Help

	Materijal	Zapremina materijala (cm ³)	Troškovi materijala (funte)	Troškovi procesa (funte)	Ukupni troškovi (funte)
Kućište					
Livenje u pesku	Liveno gvožđe	15200	0,30	0,47	0,77
CNC obrada rezanjem	Niskougljenični čelik	43200	2,12	0,14	2,26
Precizno livenje	Liveno gvožđe	13340	0,26	0,37	0,63
Vratilo					
Kovanje	Legura bakra	1200	0,21	0,17	0,38
CNC obrada rezanjem	Legura bakra	1080	0,56	0,13	0,69
Precizno livenje	Legura bakra	650	0,11	0,27	0,38
Telo svećice					
Livenje u pesku	Legura bakra	9000	1,56	2,32	3,88
CNC obrada rezanjem	Legura bakra	20900	14,45	0,15	14,60
Precizno livenje	Legura bakra	9000	1,56	0,47	2,03
Ležaj					
Precizno brizganje	Plastika	280	0,00	0,02	0,02
Kompresiono presovanje	Plastika	280	0,00	0,03	0,03
CNC obrada rezanjem	Plastika	280	0,01	0,17	0,18
Kugla					
Kovanje	Legura bakra	1100	0,19	0,29	0,48
Livenje u pesku	Legura bakra	710	0,19	0,94	1,13
Precizno livenje	Legura bakra	710	0,12	0,94	1,06
Ručica					
Gravitaciono livenje	Legura aluminijuma	5800	0,17	0,10	0,28
Livenje u pesku	Legura aluminijuma	5800	0,17	2,13	2,30
Precizno livenje	Legura aluminijuma	5800	0,17	0,47	0,62

U poslednjih nekoliko godina, velike kompanije u CAx oblasti su svoje proizvode proširile u pravcu razvoja PLM sistema. Tako, na primer,

- PTC koji je razvio Pro/Engineer (Creo) je razvio Windchill
- Siemens koji je razvio UniGraphics (NX) ima svoj PLM sistem
- Dassault Systemes koji je razvio CATIA-u i komercijalizovao SolidWorks ima svoj PLM Solutions

Svi ovi sistemi nude procenu troškova tokom životnog ciklusa proizvoda uključujući i procenu troškova proizvodnje. CAD bazirani softveri za procenu troškova i/ili analizu tehnološkičnosti konstrukcije proizvoda i delova integrisani su kao posebni moduli u odgovarajuće CAD sisteme ili mogu biti zasebne aplikacije koje se uglavnom mogu ugraditi u CAD sisteme.

Neki od ovih softvera su:

- *DFMPro* (dfmpro.geometricglobal.com).
- *SolidWorks Costing* (www.solidworks.com)
- *Autodesk Simulation DFM* (www.autodesk.com)
- *SEER-DFM* (www.galarath.com)
- *MicroEstimating* (www.microest.com)
- *Costimator®* (www.mtisystems.com)
- *aPriori Production Cost Management* (www.apriori.com)
- *CustomPartNet* (www.custompartnet.com),
- *DISCUS* (www.discussoftware.com)

DFMPro

DFMPro (dfmpro.geometricglobal.com) se uspešno integriše u okviru raznih CAD platformi. Namenjen je za **analizu tehnološkičnosti konstrukcije** u CAD okruženju (**DFMPro-Rule Manager**) gde se na bazi pravila i smernica može izvršiti korekcija konstrukcije, kao i za **procenu troškova izrade delova mašinskom obradom, obradom lima, brizganjem plastike, livenjem i procenu troškova montaže**.

The screenshot displays the SolidWorks CAD environment with the DFM Pro Rule Manager tool active. The tool window is titled "DFM Pro Rule Manager - [AllRules.dfm*]" and contains a list of 35 rules. The "Partial Holes" rule is selected and its details are shown in a separate window. The details window includes a "Description" section with a diagram illustrating the rule's application: a hole intersecting the side of a feature. A red 'X' marks a failure case where the hole is too large, and a green checkmark marks a pass case where the hole is smaller. The "Configuration" section shows the rule is set to "High" criticality and "75.0" for the "Area Cut From The Part (% of 360 degree hole)" operator. A table at the bottom right of the tool window lists the rule's criticality for different manufacturing processes:

Process	Criticality
Mill Rules	Low
Sheet metal rules	Critical
Sheet metal rules	Critical
Sheet metal rules	Critical

SolidWorks Costing

SolidWorks Costing se koristi sa standardnim proizvodnim modelima koji se mogu prilagoditi specifičnim zahtevima kompanije u poglednu proizvodnje. Modeli su namenjeni proceni troškova izrade **delova od lima**, kao i proceni troškova **mašinske obrade**. Mogu se vršiti podešavanja sledećih parametara:

Estimated Cost Per Part

53.44 USD/Part

Comparison **40%**

Current: **53.44 USD**
Previous: 38.09 USD

Breakdown

Material:	[41.90 USD]	78%
Manufacturing:	[11.54 USD]	22%

Machining Costing

Machining Template: default template (metric units)

Material: Steel

Material Name: Plain Carbon Steel

Material cost: 3.35 USD/kg

Stock Body: Block

Dimensions: X: 212.00 mm, Y: 62.00 mm, Z: 122.00 mm

Additional stock on: X: 12.00 mm, Y: 0.00 mm, Z: 22.00 mm

Quantity: 1

Estimated Cost Per Part: **53.44 USD/Part**

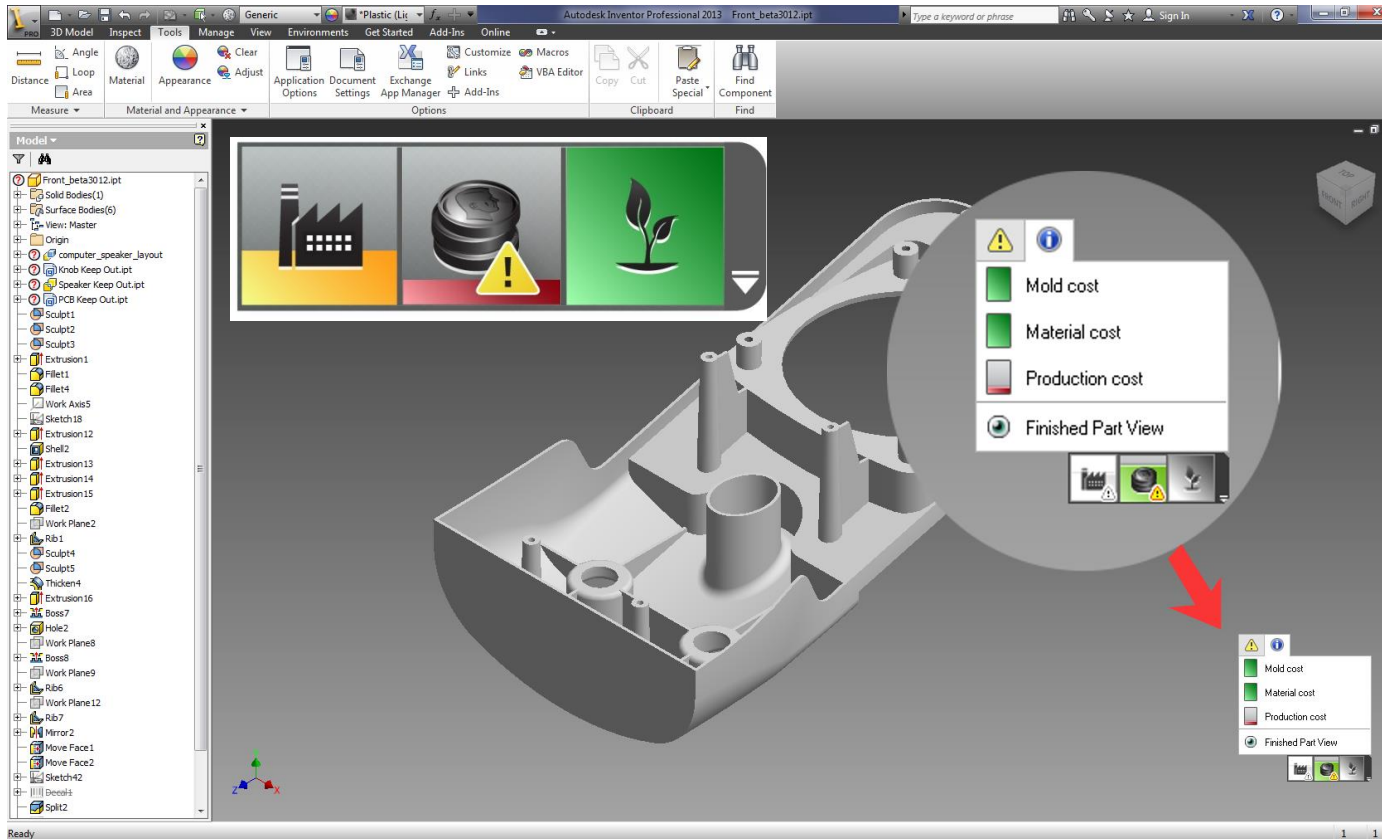
Comparison **40%**

Current: **53.44 USD**
Previous: 38.09 USD

Breakdown: Material [41.90 USD] 78%, Manufacturing [11.54 USD] 22%

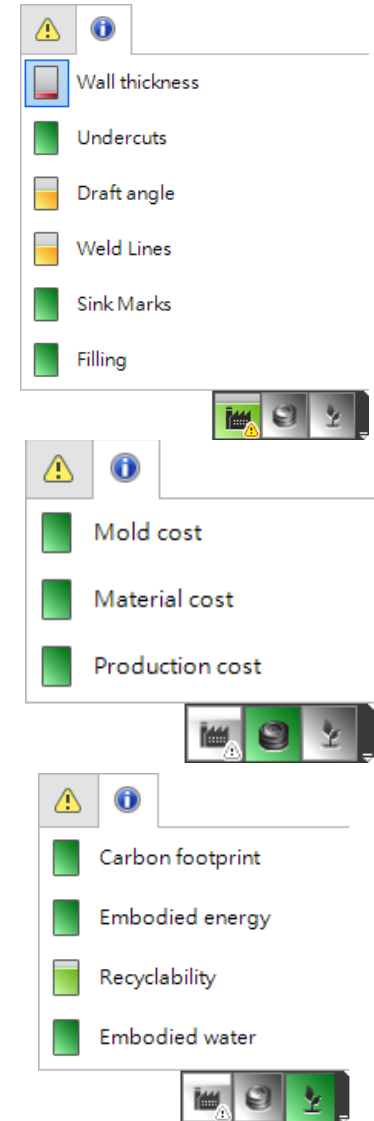
Autodesk Simulation DFM

Autodesk Simulation DFM program analize **delova od plastike** koji daje povratne informacije o mogućnosti i troškovima proizvodnje, te uticaj na životnu sredinu u realnom vremenu i u ranoj fazi razvoja proizvoda.



Integriše se u:

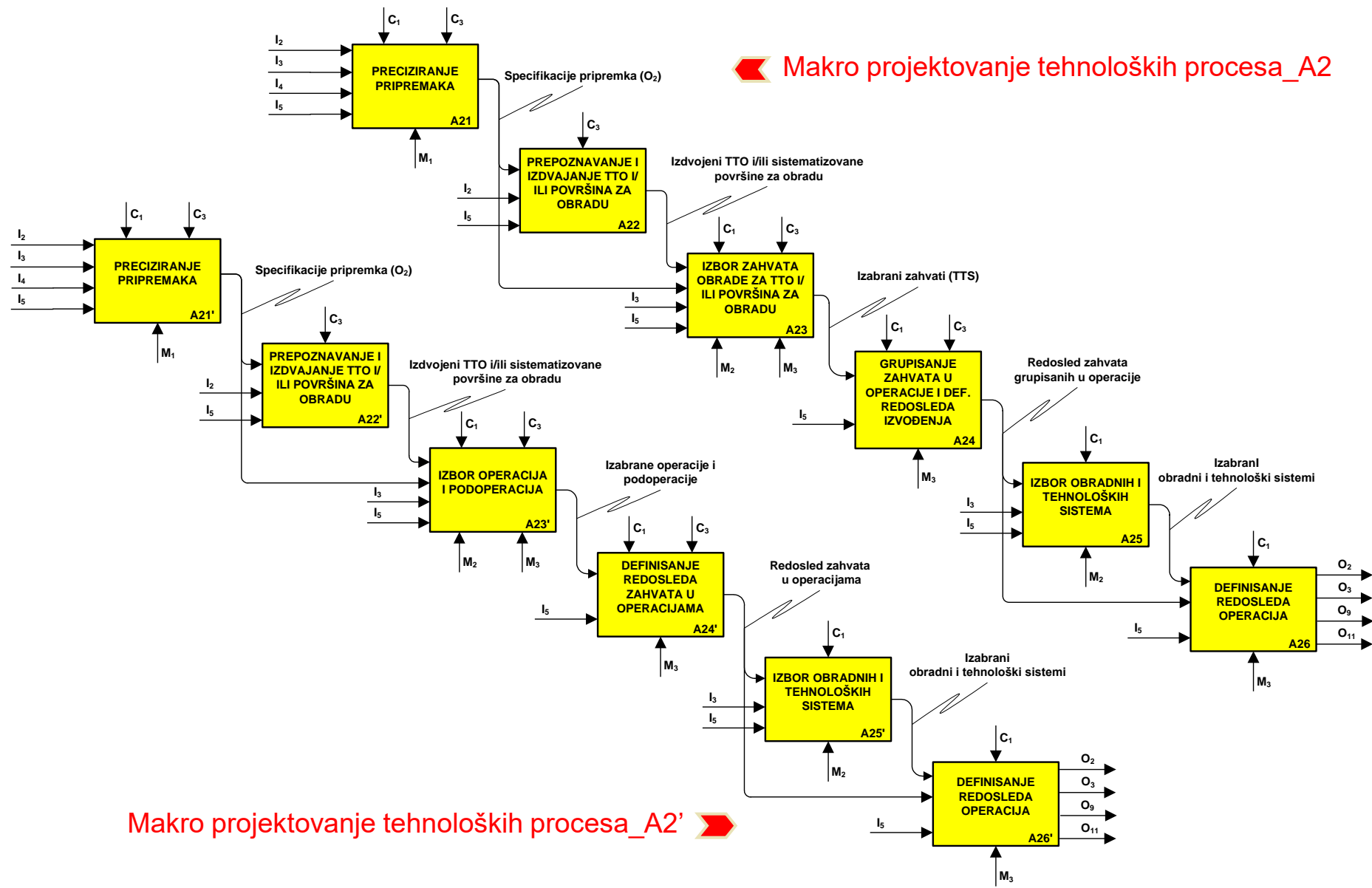
- Autodesk Inventor
- SolidWorks
- Pro/ENGINEER Wildfire i Creo



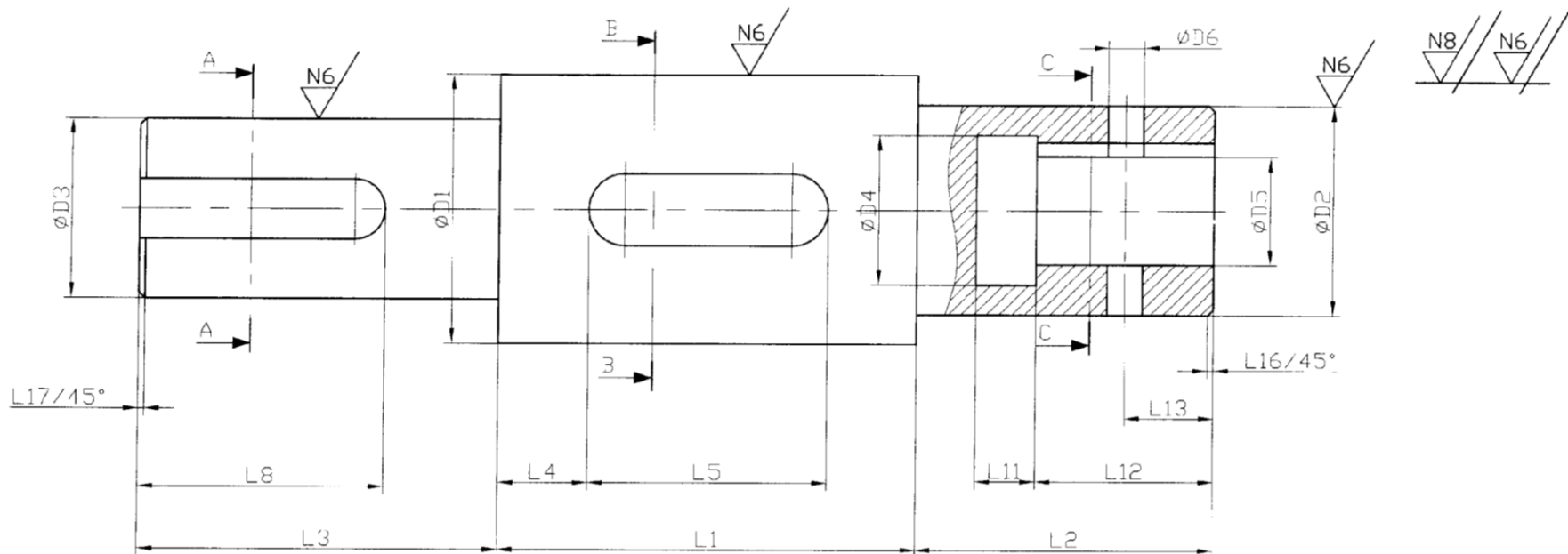
Detaljno (makro i mikro) projektovanje tehnoloških procesa

Dekompozicioni dijagrami – Makro projektovanje tehnoloških procesa

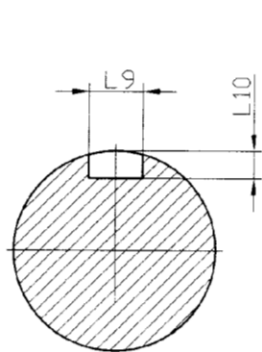
◀ Makro projektovanje tehnoloških procesa_A2



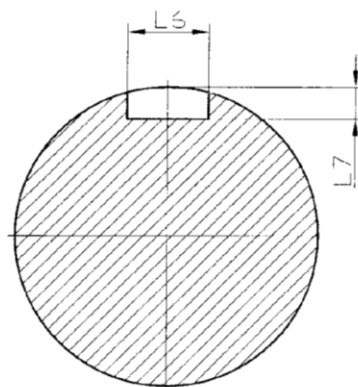
▶ Makro projektovanje tehnoloških procesa_A2'



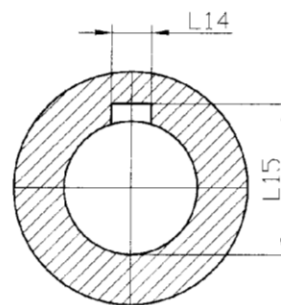
Napomena:
 Pobojsati na propisanu zateznu crvnostcu
 Obrniti ostre ivice



Presek A-A



Presek B-B



Presek C-C

KOMPLEKSAN DEO

Elementarni tipski oblici (feature):

- 1) Cilindar $\varnothing D1$, L1
- 2) Cilindar $\varnothing D2$, L2
- 3) Cilindar $\varnothing D3$, L3
- 4) Zljeb L4, L5, L6, L7
- 5) Zljeo L8, L9, L10
- 6) Cilindar (Rupa) $\varnothing D5$, L11
- 7) Cilindar (Upust) $\varnothing D4$, L11
- 8) Cilindar (Otvor) $\varnothing D6$, L13
- 9) Zljeb L14, L15
- 10) Oborena ivica L16/45°
- 11) Oborena ivica L17/45°

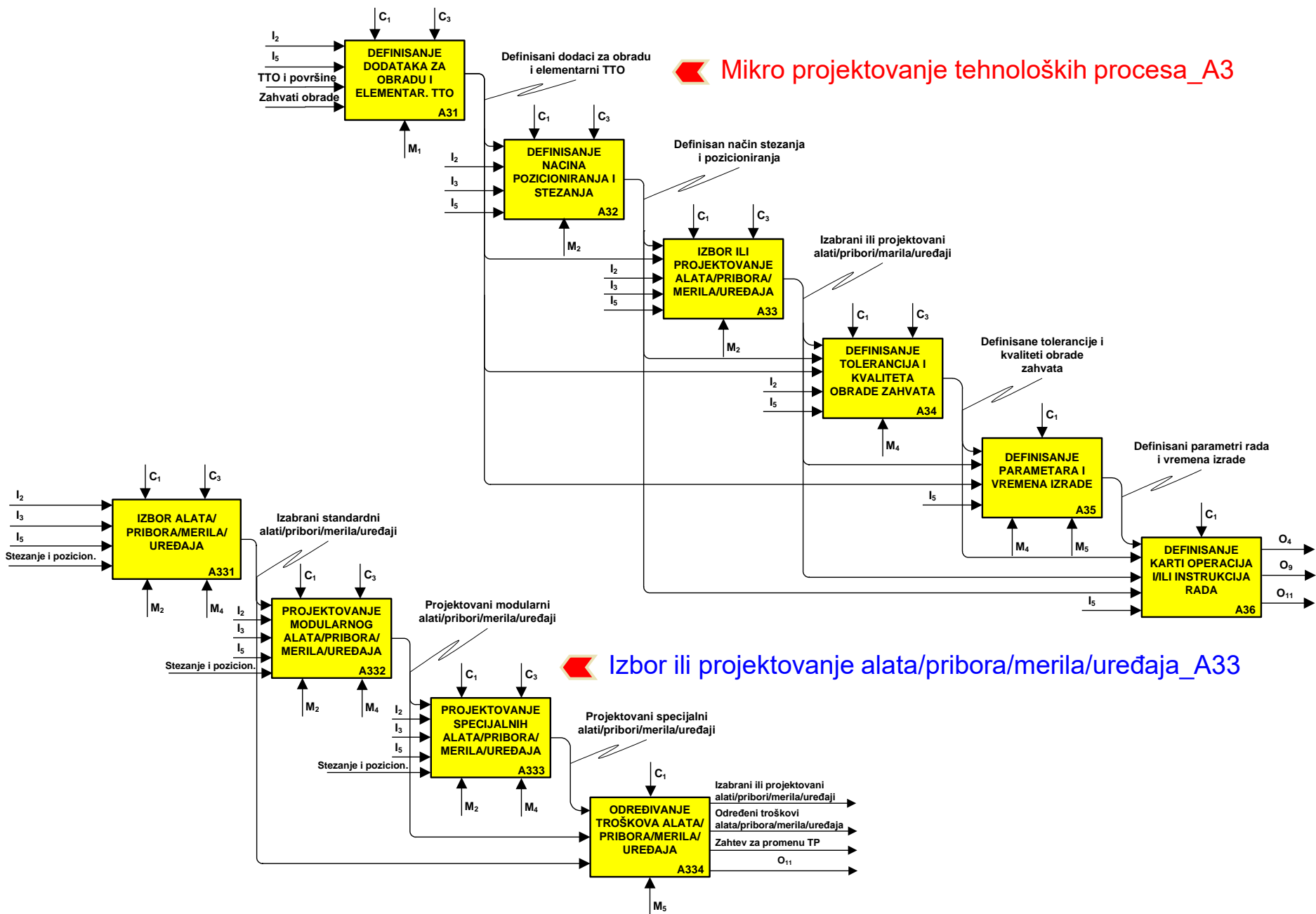
Kompleksan deo tehnološke grupe TG1

R.br. operacije	Naziv operacije	Mašina, uređaj
10	Odsecanje	Testera
20	Obrada krajeva	NC glodalica za obradu krajeva
30	Struganje i glodanje	NC strug - FTĆ GU 600
40	Kontrola	Kontrolni sto
50	Izrada unutrašnjeg žljeba	Vertikalna rendisaljka
60	Doterivanje	Radni sto
70	Poboljšanje	Peć za T.O.
80	Kontrola T.O.	Uređaj za merenje tvrdoće
90	Brušenje	NC brusilica za okruglo brušenje
100	Završna kontrola	Kontrolni sto

КАРТА ГРУПНЕ ОПЕРАЦИЈЕ

Број опер.	СКИЦА ОПЕРАЦИЈЕ	ОПИС ОПЕРАЦИЈЕ	Ознака			Време (мин)				Постојаност (ком)		
			Прибора	Алата	Мерила	ν	в	δ	T _{пр}		t _в	t _δ
30/1		<ul style="list-style-type: none"> Strugati grubo D₃=... l₃=... Strugati završno D₃=... l₃=... Obraditi ivicu l₇/45=... Glodati žljeb l₆/l₉/l₁₀=... 	САМОЦЕНТРИРАЈУЋИ СТЕЗАЧ, ШИЉЦИ	T01	ПОМОЋНО МЕРИЛО, ЧЕПОВИ.....							
30/2		<ul style="list-style-type: none"> Strugati grubo D₁=... (l₁+l₂)= Strugati grubo D₂=... l₂=... Strugati završno D₁=... l₁=... Strugati završno D₂=... l₂=... Oboriti ivicu l₁₆/45=... Bušiti D₅=... na (l₁₁+l₁₂)=... Useći žljeb D₄=... l₁=... Proširiti D₅=... l₁₂=... Glodati žljeb l₄/l₅/l₆/l₇=... Bušiti D₆=... l₁₃=... Proširiti D₆=... l₁₃=... 		T01 T01 T02 T02 T02 T04 T05 T06 T07 T08 T09								
Израдио:		Контролисао:	Одобрио:	Имена:		Лист/Листова:		1/1				

◀ Mikro projektovanje tehnoloških procesa_A3

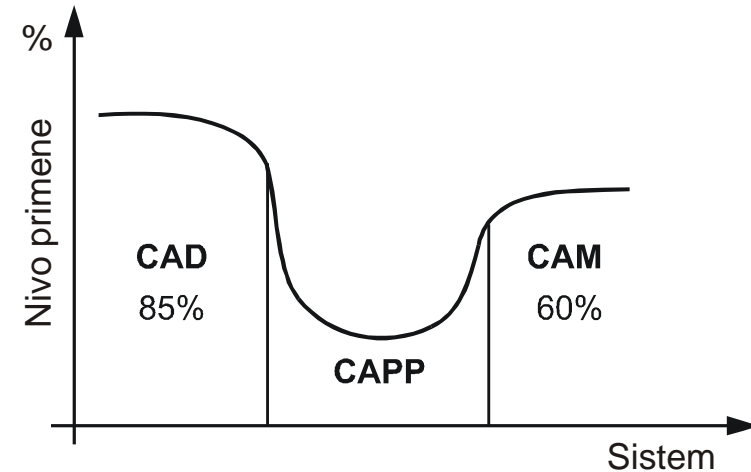
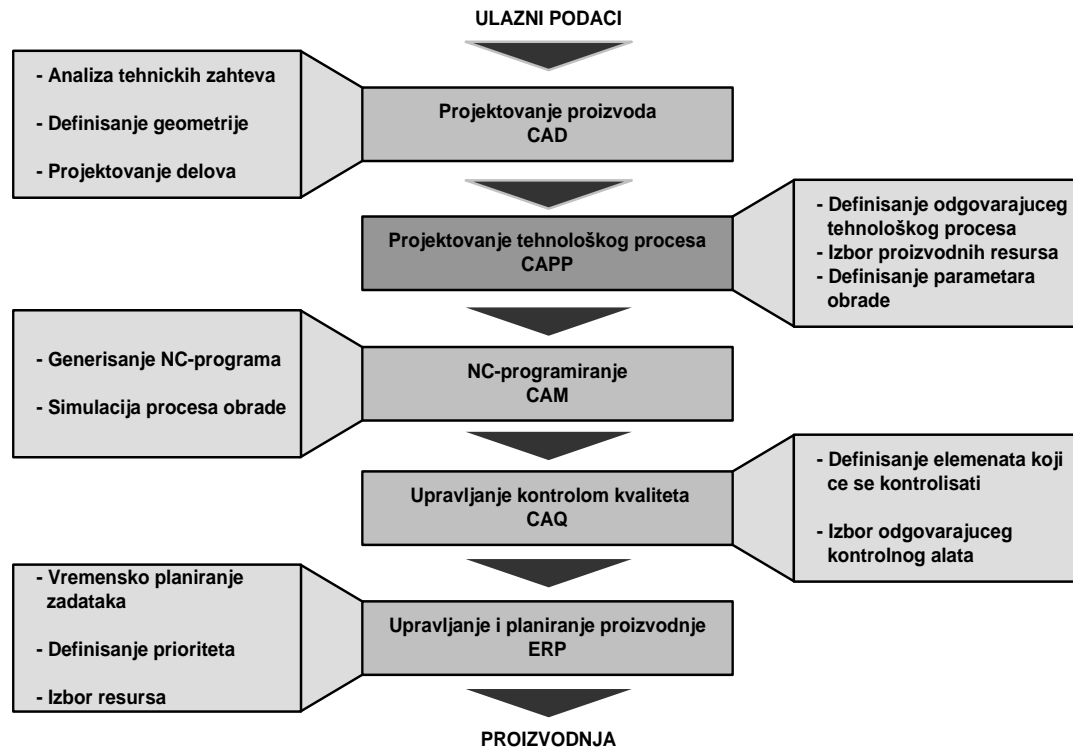


◀ Izbor ili projektovanje alata/pribora/merila/uređaja_A33

Automatizacija projektovanja tehnoloških procesa – CAPP sistemi

Primena računara omogućila je automatizaciju projektovanja tehnoloških procesa izrade delova tj. razvoj *CAPP sistema*. To su sistemi pomoću kojih se vrši automatizacija aktivnosti koje je tehnolog obavljao manuelno uz upotrebu raznih pomoćnih sredstava i oni imaju za cilj da otklone sve nedostatke klasičnog projektovanja tehnologije.

CAPP sistemi imaju jednu od ključnih uloga u okviru CIM integracije i predstavljaju most između CAD sistema namenjenih projektovanju proizvoda i CAM sistema, odnosno obrade zasnovane na NC tehnologiji i primeni robota. Ipak, područje CAPP sistema još uvek nije tako razvijeno kao područje CAD i CAM sistema.



Nivo primene CAPP sistema

Mesto CAPP-a u užem CIM sistemu

Počeci razvoja sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa, odnosno prve ideje razvoja CAPP sistema, datiraju još od sredine 60-ih godina prošlog veka. Potom se 70-ih godina javila ideja o korišćenju CAD podataka za projektovanje tehnoloških procesa. Tokom 80-ih godina počeli su da se razvijaju CAPP sistemi u integraciji sa CAD i CAM sistemima i drugim aktivnostima proizvodnog sistema, da bi se 90-ih godina intenzivirala primena metoda veštačke inteligencije u razvoju CAPP sistema. Početak razvoja CAPP sistema se karakterisao klasičnim algoritamskim programiranjem, za razliku od današnjih CAPP sistema, koji se razvijaju na bazi savremenih naučnih disciplina, kao što su metode veštačke inteligencije, potom relacione i objektno orijentisane baza podataka, agent-bazirane tehnologije, dok se u budućnosti predviđa sve šira primena internet tehnologija i tehnologija baziranih na STEP standardima

Cilj razvoja CAPP sistema je da se omogući projektovanje kvalitetnih tehnoloških procesa iz skupa velikog broja mogućih varijanti u što kraćem vremenskom periodu. Osnovni, najvažniji zadaci koji se rešavaju primenom CAPP sistema su:

- *Prihvatanje i analiza ulaznih projektnih podataka, izdvajanje i prepoznavanje tipskih tehnoloških oblika,*
- *Izbor i definisanje pripremaka,*
- *Definisanje sadržaja tehnološkog procesa i operacija izrade,*
 - *Definisanje operacija i podoperacija izrade delova,*
 - *Izbor i definisanje zahvata i njihovog redosleda izvođenja,*
 - *Izbor i definisanje proizvodnih resursa,*
 - *Izbor i definisanje parametara i strategije obrade,*
- *Generisanje upravljačkih programa za NC obradne i tehnološke sisteme,*
- *Određivanje vremena i troškova proizvodnje i*
- *Generisanje odgovarajuće tehnološke dokumentacije.*

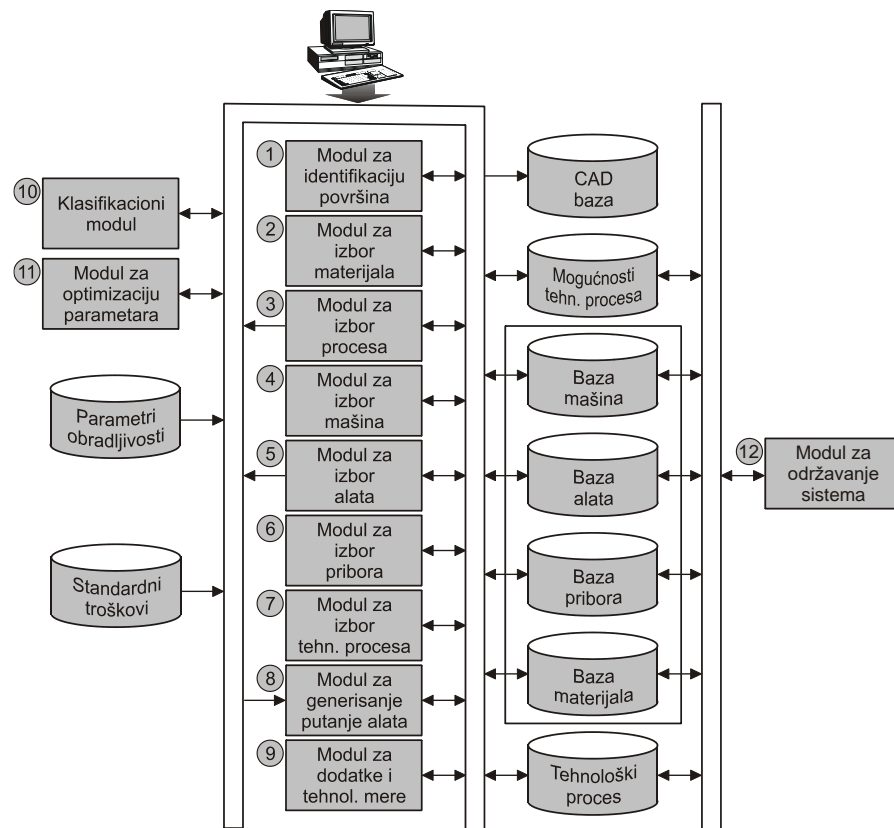
Osnove razvoja i primene CAPP sistema

Osnovni cilj CAPP sistema je otklanjanje nedostataka ručnog načina projektovanja tehnoloških procesa. Osnovna primena CAPP sistema usmerena je na:

- *Smanjenje vremena i troškova projektovanja kvalitetnih tehnoloških procesa*
- *Sistematizaciju, kategorizaciju i memorisanje znanja za projektovanje tehnoloških procesa*
- *Optimizaciju postojećih tehnoloških procesa*
- *Veću produktivnost projektanata tehnoloških procesa*
- *Mogućnost povezivanja sa ostalim CAx aktivnostima*
- *Smanjenje potrebe za visoko kvalitetnim tehnolozima, kao i lakše obrazovanje novih projektanata tehnoloških procesa, itd.*

Osnovni elementi CAPP sistema:

- *Baze podataka i Baze znanja za pojedine elemente tehnološkog procesa*
- *Logika za odlučivanje*
- *Određeni mehanizmi pomoću kojih se primenjuje i upravlja odgovarajuća baza znanja*



Struktura idealnog CAPP sistema

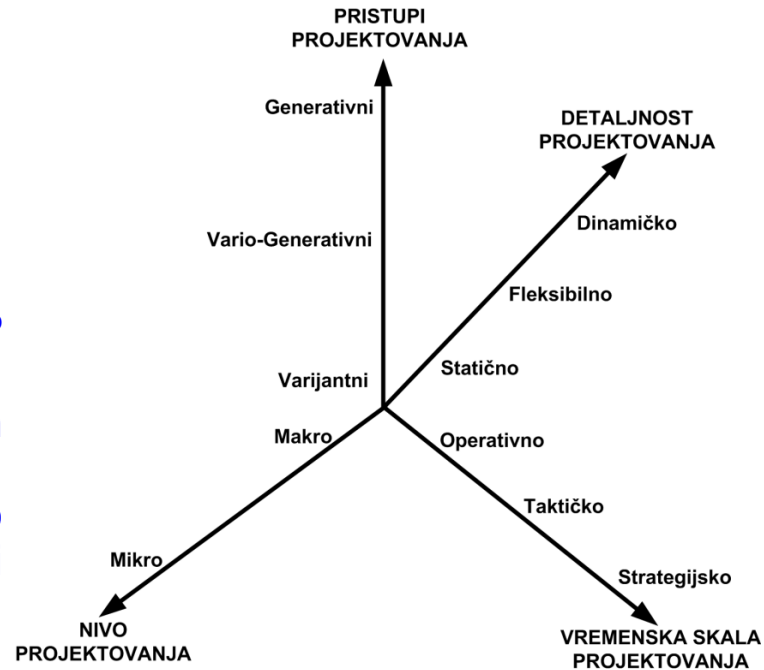
Osnova podele CAPP sistema

Prema **pristupu projektovanja** CAPP sistemi mogu biti **varijantni** i **generativni**. U literaturi se mogu naći i drugačije podele, odnosno proširenja na vario-generativne CAPP sisteme, kao kombinacije varijantnih i generativnih, nove generativne CAPP sisteme, ili CAPP sisteme zasnovane na znanju.

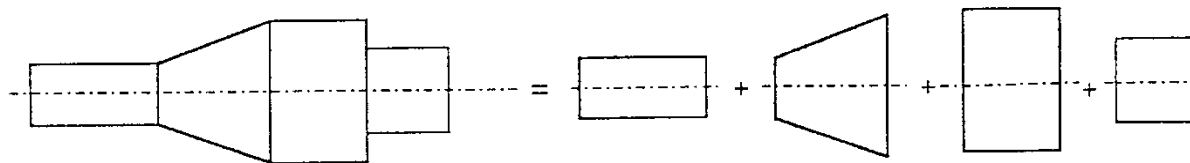
Prema **nivou projektovanja**, projektovanje tehnoloških procesa može da se izvrši na **makro** i **mikro** nivou. Makro nivo je viši nivo i uglavnom se odnosi se na nivo sadržaja tehnološkog procesa, dok se mikro nivo odnosi na nivo projektovanja operacija.

Prema **vremenskoj skali projektovanja** definiše se vreme projektovanja, od kratkoročnog do dugoročnog. **Operativno** projektovanje predstavlja kratkoročno projektovanje koje se zasniva na projektovanju tehnološkog procesa za nivo pogona i odnosi se samo na definisanje tehnološkog procesa u užem smislu bez određivanja tehnoekonomske efekata. **Srednjeročno ili taktičko** projektovanje se, pored zadataka kratkoročnog projektovanja, odnosi i na definisanje troškova, kvaliteta, sposobnosti procesa, itd. **Dugoročno ili strategijsko** projektovanje se odnosi na nivo kompanije, odnosno planiranje svih aktivnosti proizvodnog sistema, kao što su planiranje materijala, proizvodnih tehnologija, proizvodne opreme, itd.

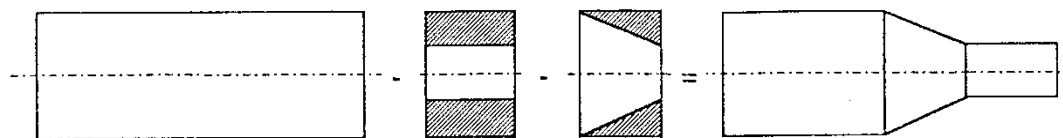
Prema **detaljnosti projektovanja**, tehnološki procesi mogu biti **statični** ili promenljivi u zavisnosti od raspoloživih proizvodnih resursa. Ako proizvodni sistem koristi statično projektovanje, tehnološki proces se ne menja u vremenu. Za **fleksibilno** projektovanje vrši se samo orijentaciono projektovanje tehnoloških procesa, dok se detaljno projektovanje vrši na nivou pogona. **Dinamičko** projektovanje podrazumeva mogućnost promena tehnoloških procesa u toku samog procesa proizvodnje s obzirom na dinamičko stanje u proizvodnom sistemu.



Projektovanje proizvoda može (u opštem slučaju) da shvati kao proces komponovanja (sklapanja) od različitih elementarnih oblika (feature), primenom raznih transformacija:

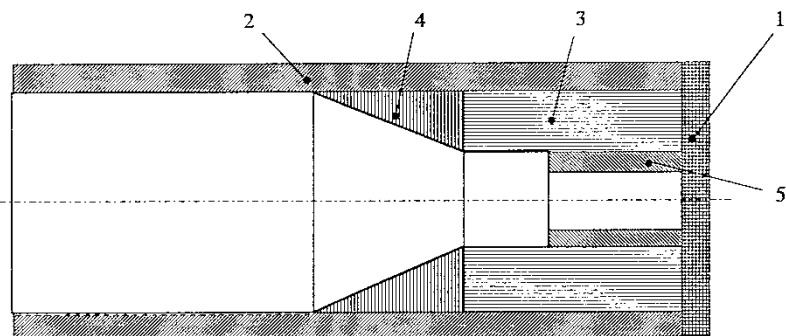


Projektovanje tehnoloških procesa izrade može se predstaviti kao proces dekomponovanja (razlaganja), gde se od polaznog oblika (priprema) uklanjaju određeni elementarni oblici-primitivi, tako da se dobija gotov deo (izradak) :

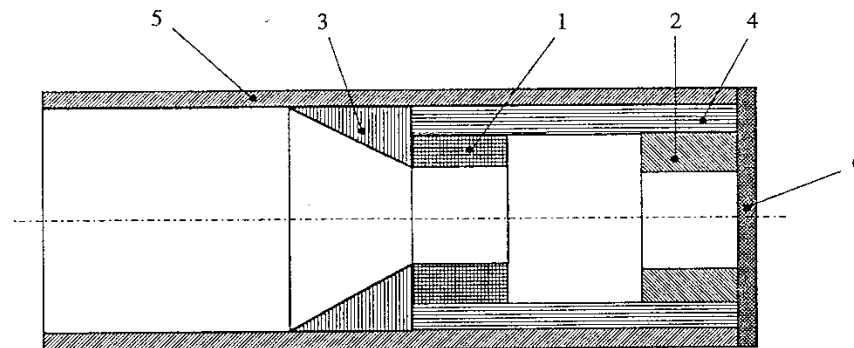


U zavisnosti od toga kakva se transformacija primenjuje, tj. šta je početno a šta krajnje stanje, logika kod CAPP sistema može da se svrsta u dve grupe:

- Projektovanje tehnoloških procesa uklanjanjem slojeva materijala (forward planning)
- Projektovanje tehnoloških procesa dodavanjem slojeva materijala (backward planning)



Forward planning:



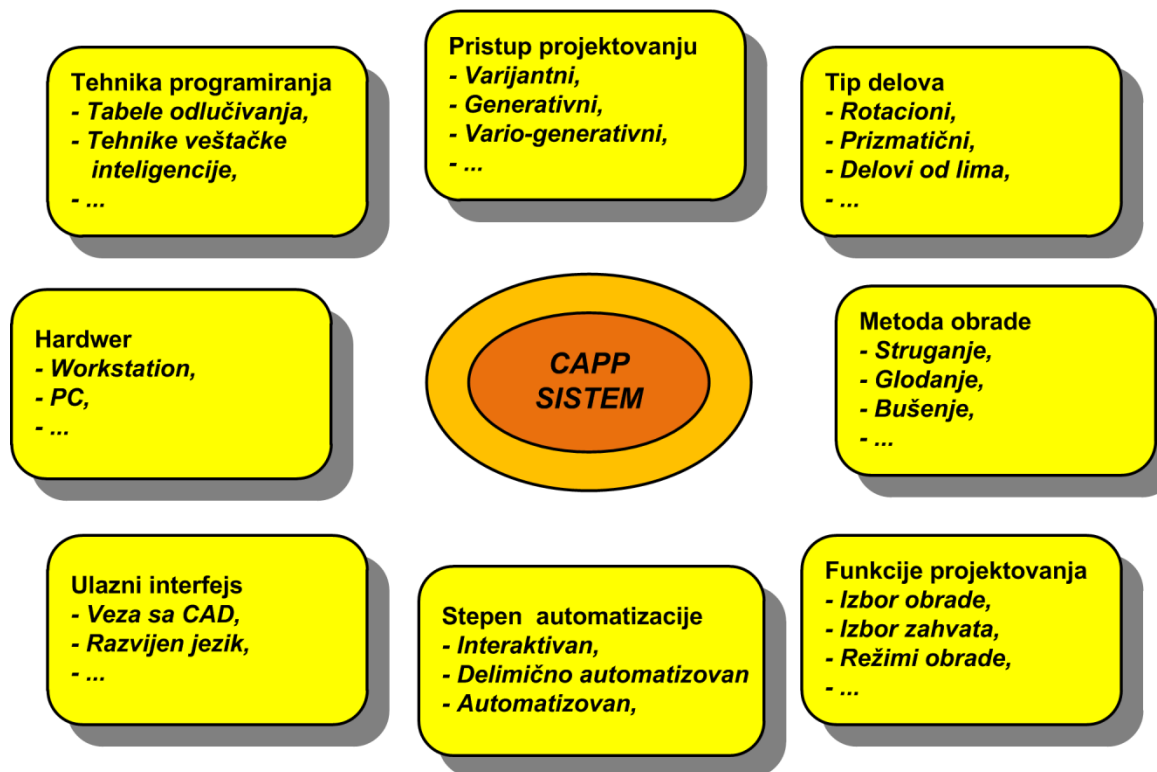
Backward planning:

Pored navedenih podela, postoji podela CAPP sistema u zavisnosti od nivoa računarske podrške, koja zavisi od složenosti samog CAPP sistema:

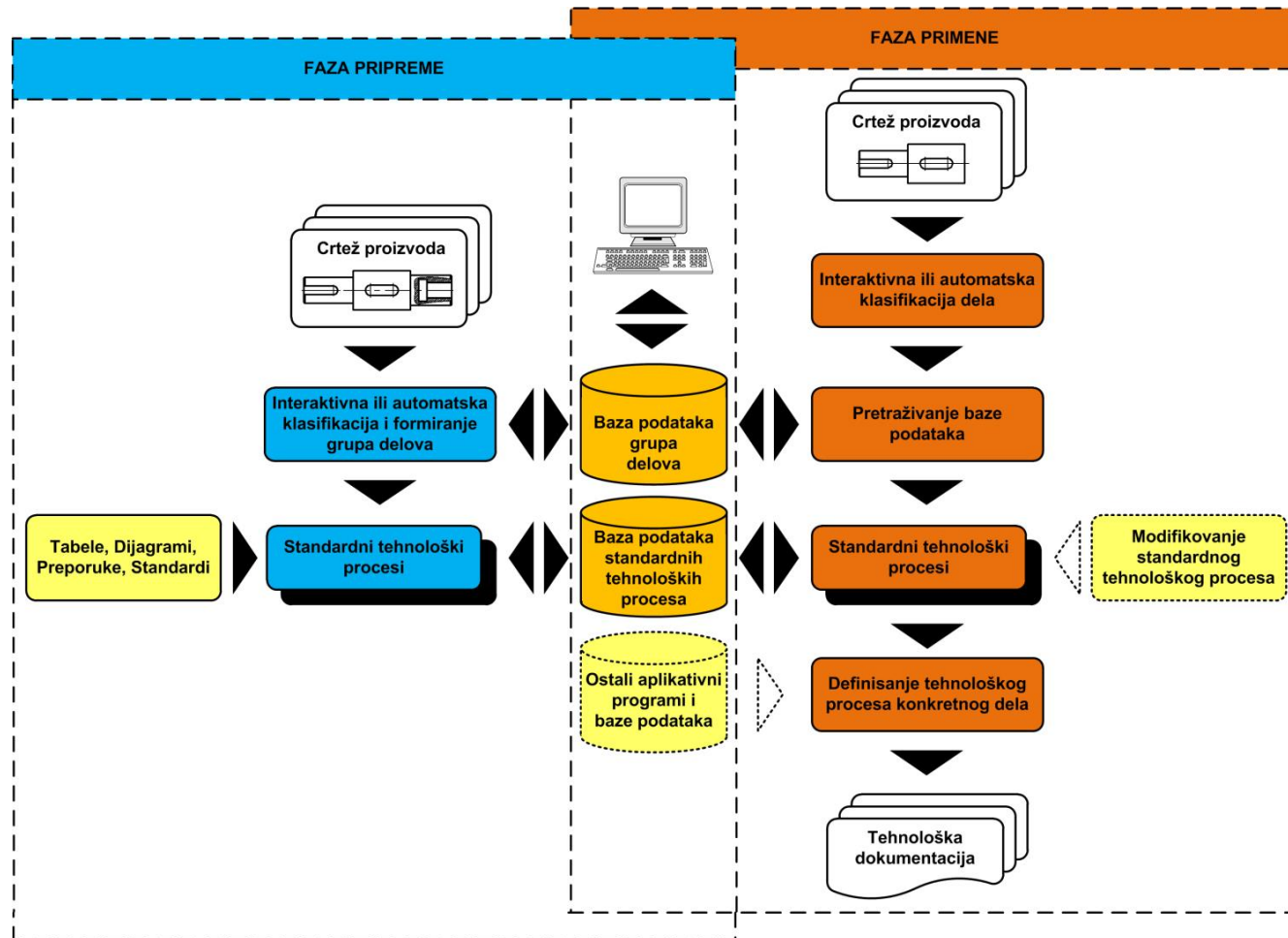
CAPP sistemi nižeg nivoa podrazumevaju primenu računara za memorisanje i pretraživanje podataka za tehnološke procese koje tehnolog ručno projektuje. Ovakvi sistemi obezbeđuju pretraživanje postojećih tehnoloških procesa koji mogu predstavljati osnovu za nove TP.

CAPP sistemi srednjeg nivoa automatizovano generišu tehnološke procese za određene delove jednostavnijeg geometrijskog oblika. U određenim slučajevima potrebno je da projektant izvrši određene izmene, kako bi se generisani TP prilagodio specifičnim uslovima proizvodnje.

CAPP sistemi visokog nivoa podrazumevaju ugradnju specifičnih znanja vezanih za projektovanje tehnološkog procesa u sistem, koji u velikoj meri preuzima ulogu projektanta tehnoloških procesa. Baze podataka i baze znanja CAPP sistema ovog nivoa su povezane sa bazama CAD, CAM i drugih CAX sistema, čime se postiže njihova potpuna integracija.



Karakteristike za podelu i vrednovanje CAPP sistema



Faza pripreme

- Analiza proizvodnog programa,
- Razvoj ili izbor sistema klasifikacije,
- Klasifikacija i grupisanje delova,
- Razvoj baze podataka delova,
- Projektovanje grupnih TP za grupe delova,
- Razvoj baze podataka za standardne TP

Faza primene

- Klasifikacija i kodiranje konkretnog dela,
- Pretraživanje baze podataka grupa delova,
- Izbor standardnog TP,
- Modifikovanje i preciziranje TP za deo,
- Generisanje tehnološke dokumentacije

Osnovni prednosti varijantnih CAPP sistema u odnosu na manuelno PTP:

- Ušteda vremena potrebnog za projektovanje tehnoloških procesa,
- Ulaganja za razvoj (hardver i softver) ovih sistema su relativno mala,
- Vreme razvoja sistema je relativno kratko, a instalisanje i primena su laki,
- Dobra pouzdanost u realnim uslovima,
- Pozitivan uticaj na standardizaciju, unifikaciju i tipizaciju proizvoda i TP
- Prikupljaju se znanja i iskustva korisna za manje iskusne tehnologe

Osnovni nedostaci varijantnih CAPP sistema su:

- Kvalitet standardnih i preciziranih tehnoloških procesa i dalje zavisi od znanja i veštine tehnologa,
- Baza podataka za proizvode i tehnološke procese vremenom postaje obimna, što usporava rad sistema i otežava rad pri klasifikaciji,
- Eventualna potreba za više informacija u klasifikacionom kodu, zahteva ponovno klasificiranje i kodiranje postojećih grupa delova i njihovih tehnoloških procesa,
- Prilično smanjena fleksibilnost u pogledu geometrije i tačnosti delova, što je naročito izraženo za tehnološke procese obrade na obradnim sistemima sa NC upravljanjem,
- Krutost sistema s obzirom na mogućnost primene istog CAPP sistema u više proizvodnih sistema (preduzeća)

U novije vreme varijantni CAPP sistemi se razvijaju i primenom savremenih prilaza, kao što su tipski oblici, metode veštačke inteligencije i dr., što je dalo novu dimenziju ovom prilazu i značajno je uticalo na kombinovanje varijantnog i generativnog prilaza, odnosno razvoj vario-generativnih CAPP sistema.

Varijantni CAPP sistemi su posebno pogodni za primenu u malim i srednjim proizvodnim sistemima sa relativno stabilnim programom proizvodnje, koji nemaju sopstvene razvojno-istraživačke timove.

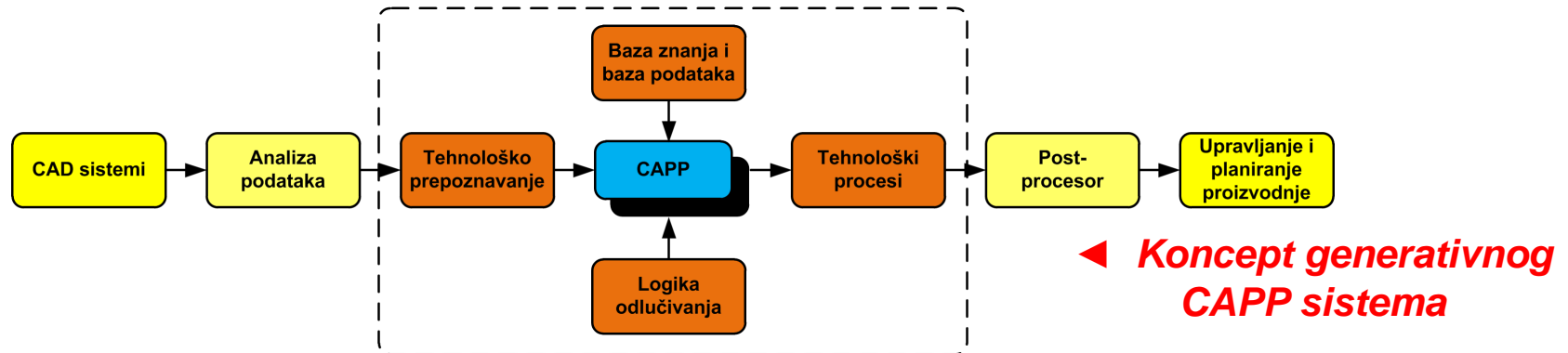
Generativni CAPP sistemi

Generativni CAPP sistem su bazirani na nezavisnom projektovanju tehnološkog procesa za svaki proizvod ili deo, bez razvrstavanja u određene grupe ili modifikovanje postojećih standardnih tehnoloških procesa, uz minimalno učešće tehnologa.

Sistem generiše tehnološki proces na osnovu ugrađenog logičkog algoritma, koji u sebi sadrži odgovarajuću bazu znanja (knowledge base) o projektovanju tehnoloških procesa i bazu podataka raspoloživih proizvodnih resursa.

Za razvoj generativnog CAPP sistema je neophodno:

- Identifikovanje i prikupljanje znanja potrebnih za projektovanje tehnoloških procesa,
- Jasno i tačno opisati deo u formatu prihvatljivom za računar,
- Prikupljeno znanje za projektovanje i podaci o proizvodu moraju da budu ugrađeni u jedinstvenu tehnološku bazu podataka i bazu znanja.



Osnovni model generativnog CAPP sadrži tri bazna modula:

- Modul za opis dela i prepoznavanje oblika
- Modul tehnološke baze podataka i baze znanja
- Logiku za odlučivanje i odgovarajuće algoritme

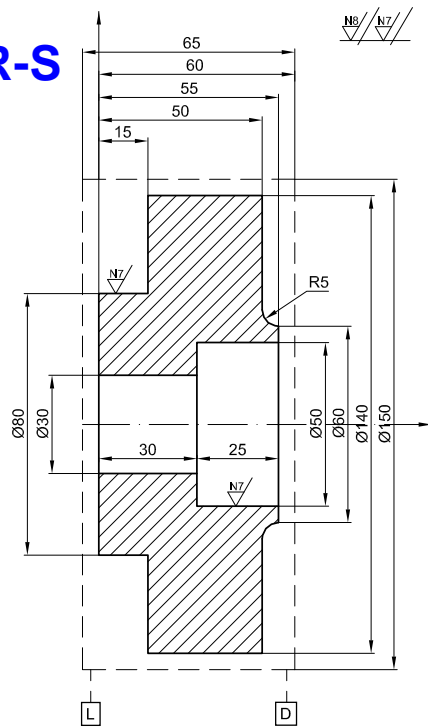
CAPP sistemi koriste različite načine za opis delova:

- **Klasifikacioni brojevi (Codes)**
- **Specijalni jezici za lingvističko opisivanje (Specijal Descriptive Languages)**
- **CAD modeli (CAD models)**

Prve generacije generativnih CAPP sistema su koristile klasifikacione brojeve za opis delova primenom konstrukciono-tehnoloških klasifikatora. Takav opis je relativno siromašan i vrlo teško može da obuhvati sve neophodne podatke, naročito podatke o tehnološkim karakteristikama.

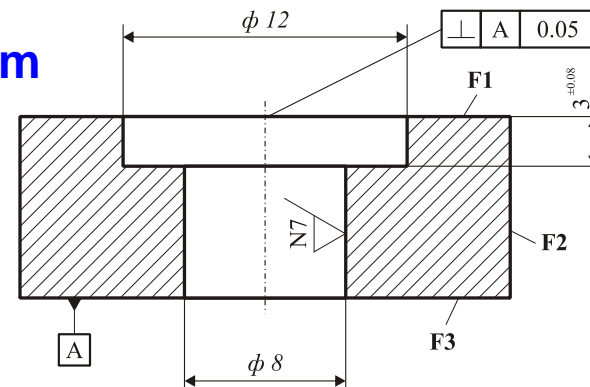
U sledećoj fazi razvoja počeli su se primenjivati specijalni jezici za opisivanje geometrijskih i tehnoloških karakteristika dela. Ovi jezici su najčešće simbolički, jer se povezivanje geometrijskih i tehnoloških karakteristika vrši posredstvom simbola (npr. AUTAP ili SAPOR-S). Posebnu grupu jezika za opisivanje delova čine jezici prilagođeni za primenu kod ekspertnih sistema, koji koriste veštačku inteligenciju za definisanje tehnološkog procesa. Jedan od takvih sistema je GARI, u okviru koga se deo opisuje pomoću tipskih tehnoloških oblika korišćenjem sistemskih reči.

SAPOR-S



GARI sistem

NAZV/IZVOR.PROGR.ZA DEO BR.5
KOMT/TEHNOLOŠKE INFORM.
MATR/Č.0545
BKOM/200
KOMT/GEOMETR.INFORMAC.
POGE
GAPO/150,65
GAME/140,55.30
SOSD/70,5
SODU/50Q7,25
TOSD/R,70,0,5,60,5,70
SOSL/80Q7,15
ZAGE
KRAJ



SN (tip otvora sa upuštenim ulazom)
(počinje od F1)(završetak na F3)
(prečnik 8)(prečnik upuštenog dela 12)
(kvalitet površine 7)(rastojanje HF2 19)
(dubina upuštenog dela HF1 3 +-80)
(normalnost HF3 +-50)

Razvoj generativnih CAPP sistema od sredine 80-ih godina fokusiran je na direktnu primenu CAD modela proizvoda, odnosno povezivanjem sa CAD sistemom. Podatke iz CAD modela proizvoda je potrebno prilagoditi tehnološkim zahtevima, odnosno izvršiti tehnološko prepoznavanje proizvoda kroz prepoznavanje i definisanje odgovarajućih tipskih tehnoloških oblika. U novije vreme se sve više razvijaju standardi za razmenu i deljenje podataka o proizvodu, gde se posebno izdvaja STEP.

U tehnološkoj bazi podataka CAPP sistema čuvaju se podaci o mašinama, alatima, priborima, merilima, režimima obrade, i drugi neophodni podaci za projektovanje tehnoloških procesa. Logika donošenja odluka predstavlja jednu od osnovnih komponenti CAPP sistema koja oponaša način rada tehnologa i njegovo znanje koje je potrebno za projektovanje tehnoloških procesa.

Za razvoj logike za donošenje odluka najviše se koriste:

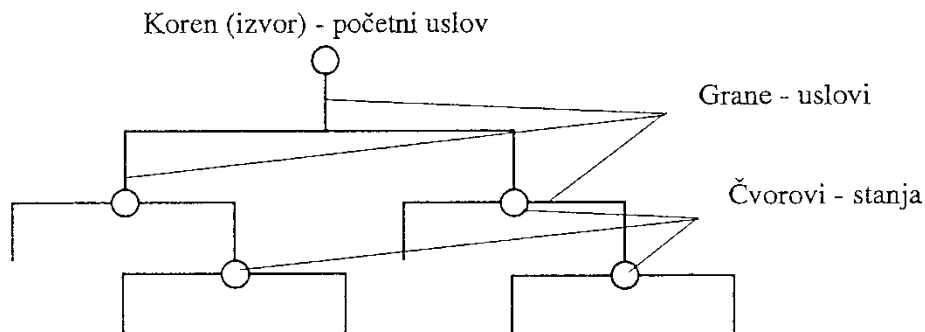
- **Stabla za odlučivanje**
- **Tabele za odlučivanje**
- **Metode veštačke inteligencije (ekspertni sistemi, neuronske mreže, genetički algoritmi, fuzzy logika)**

Prvi i drugi način se uglavnom primenjuju kod CAPP sistema koji su kreirani algoritamskim programiranjem primenom programskih jezika. Kod trećeg načina primenjuju se metode veštačke inteligencije, koje imaju niz prednosti u odnosu na prethodne i sve više CAPP sistema nove generacije se bazira na njihovoj primeni.

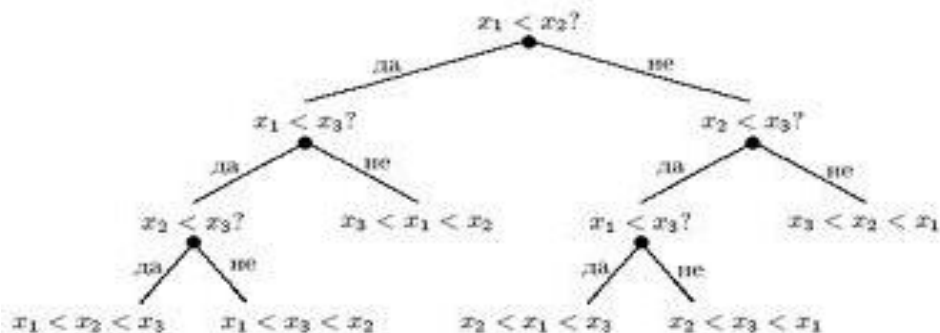
Jedan od najefikasnijih načina za prikazivanje tehnoloških mogućnosti pogona, a i tehnoloških znanja se odnosi na produkciona pravila: **IF (uslov) THEN (akcija-zaključak)**

Ovakve i slične iskaze treba na neki način implementirati u CAPP sistem. Oni prikazuju znanje o elementima koji učestvuju u procesu kreiranja tehnoloških procesa. To znanje se nalazi u raznim priručnicima, preporukama, kao i glavama iskusnih tehnologa-eksperata. To znanje se pre implementacije u program mora na neki način šematski predstaviti da bi bilo razumljivo i lako se implementiralo u program, kao i da posluži kao dokumentacija o programu.

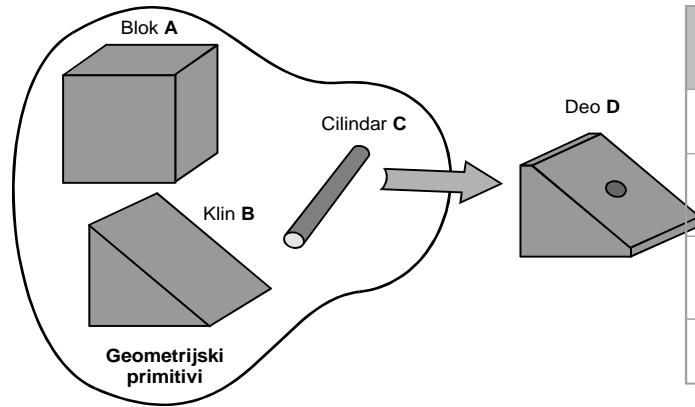
Stablo odlučivanja predstavlja grafički prikaz mogućih akcija (stanja) u zavisnosti od početnih (ulaznih) uslova, sa istovremenim prikazivanjem prelaznih stanja između početnog i krajnjeg stanja. Sastoji se od korena (jedinствен), čvorova i grana.



KVALITET > 8	T		
KVALITET < 8		T	T
DIM > 20		T	
DIM < 20	T		T
BUŠENJE	X	1	1
RAZVRTANJE		3	2
PROŠIRIVANJE		2	

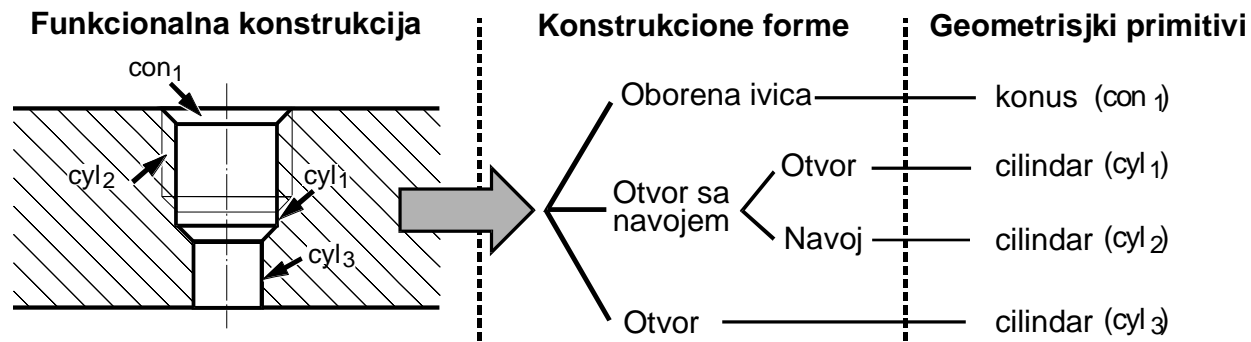


Primer transformacije geometrijskih primitiva u gotov deo primenom bulovih operacija:



Br.	Bulova jednačina	Način komponovanja geometrijskih primitiva
1.	$D = (A \cdot B) \cdot \bar{C}$	Na zasečenom bloku bušiti otvor
2.	$D = A \cdot (B \cdot \bar{C})$	Na kvadratnom bloku odseći nagib i bušiti otvor
3.	$D = (A \cdot \bar{C}) \cdot B$	Na kvadratnom bloku bušiti otvor pa odseći nagib
4.	$D = (\bar{C+B}) \cdot A$	Izraditi kalup i napuniti materijalom

Primer transformacije funkcionalne konstrukcije u geometrijske primitive:

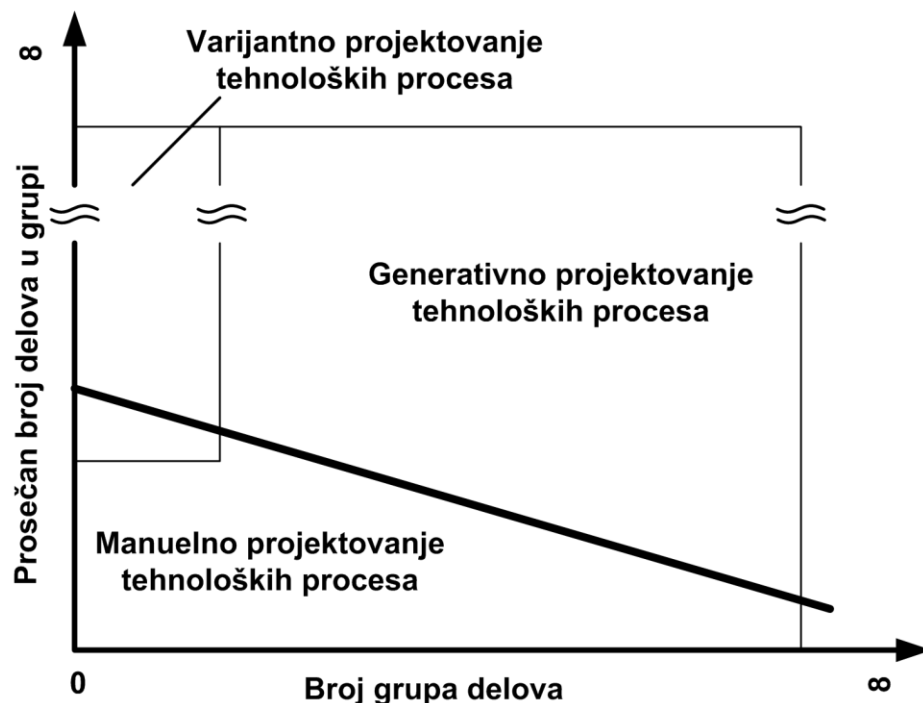


Osnovne prednosti generativnih CAPP sistema u odnosu na varijantne:

- Brže generisanje tehnoloških procesa,
- Svaki deo je ulaz sam za sebe,
- Brzo prilagođavanje promeni asortimana proizvodnog programa,
- Omogućuje se povezivanje sa drugim delovima CIM sistema,
- Laka akvizicija podataka.

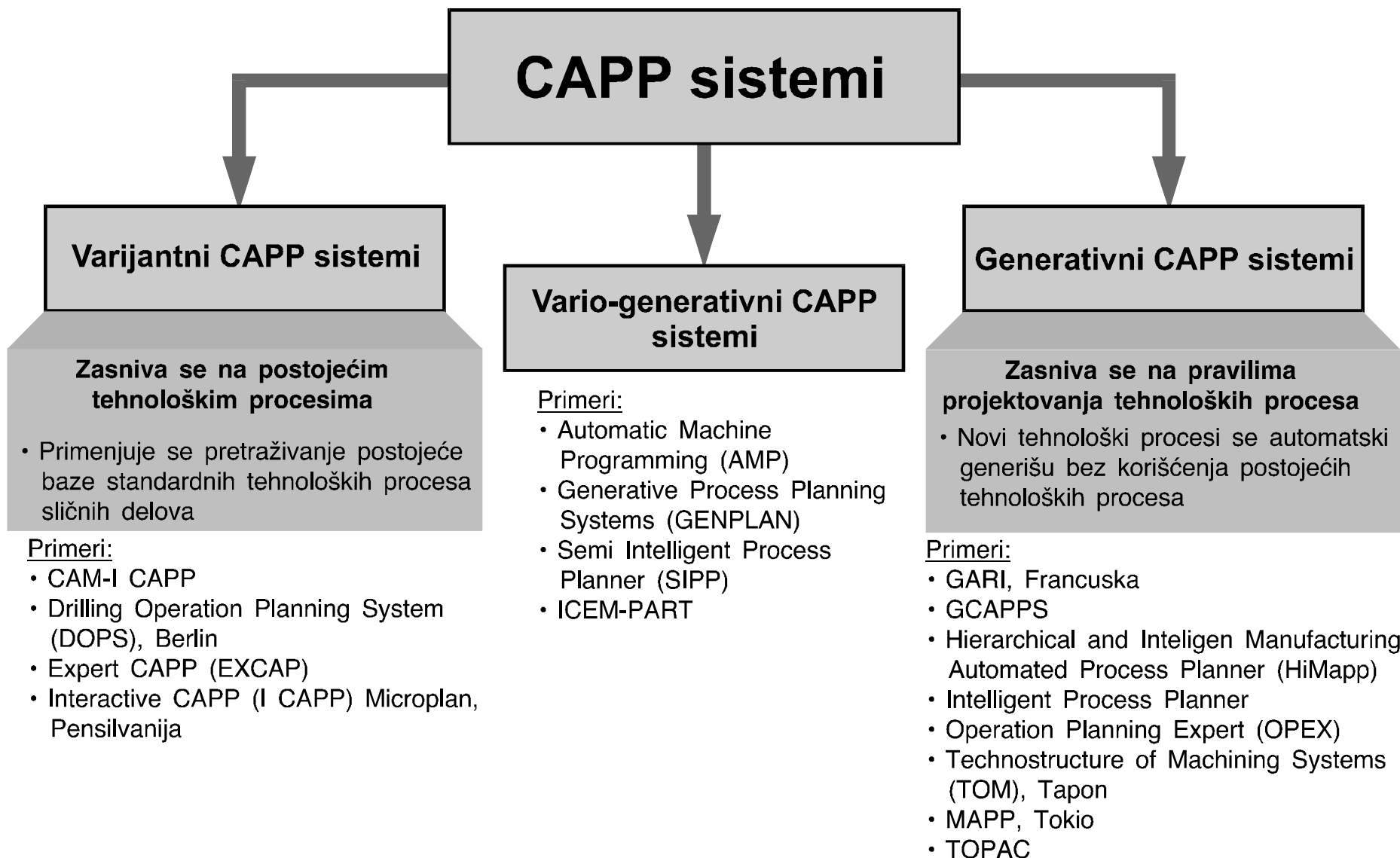
Uporedni prikaz CAPP sistema

Tip CAPP sistema	Predstavljanje proizvoda	Način unošenja ulaznih podataka	Način generisanja tehnoloških procesa	Razvijena baza podataka
Varijantni	Na principima grupne tehnologije	Manuelni ulaz	Manuelni, modifikacijom standardnih TP	Baza standardnih tehnoloških procesa
Generativni	Na bazi jezika za opis dela	Manuelni ulaz	Stablo odluke, Tablične odluke, Ekspertni sistemi	Baza znanja i tehnološka baza podataka
Novi generativni	CAD model	Automatski CAD interfejs	Stablo odluke, Tablične odluke, Metode veštačke inteligencije	Baza znanja i tehnološka baza podataka



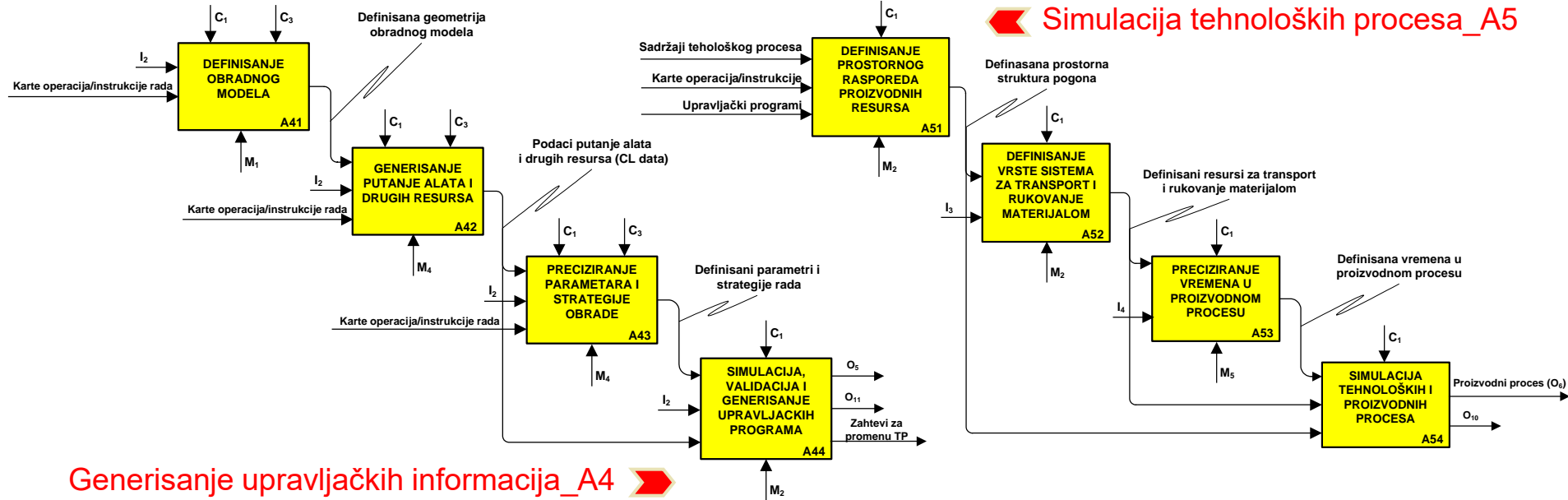
Ne postoji tačno definisana granica primene pojedinih metoda PTP, ali se mogu grubo definisati ekonomična područja njihove primene.

Ekonomična područja primene pojedinih pristupa projektovanja tehnoloških procesa (CAPP sistema)



Dekompozicioni dijagrami modela tehnološke pripreme - Dijagrami A4, A5 i A6

Simulacija tehnoloških procesa_A5



Generisanje upravljačkih informacija_A4

