



UNIVERZITET U NOVOM SADU

FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA



Nastavni predmet:

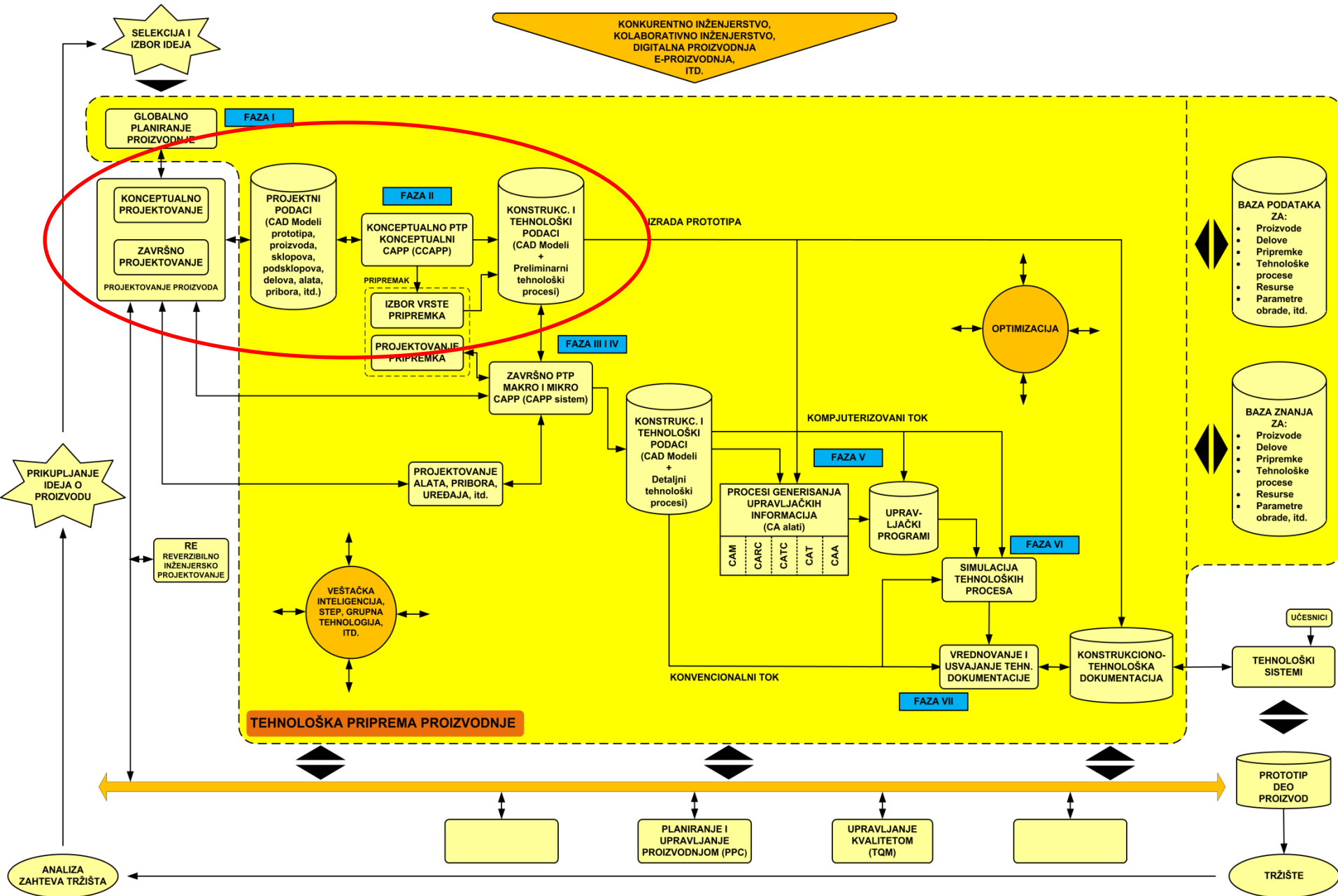
INTEGRISANI CAPP SISTEMI I PDM

Predavanje br. 6 i 7:

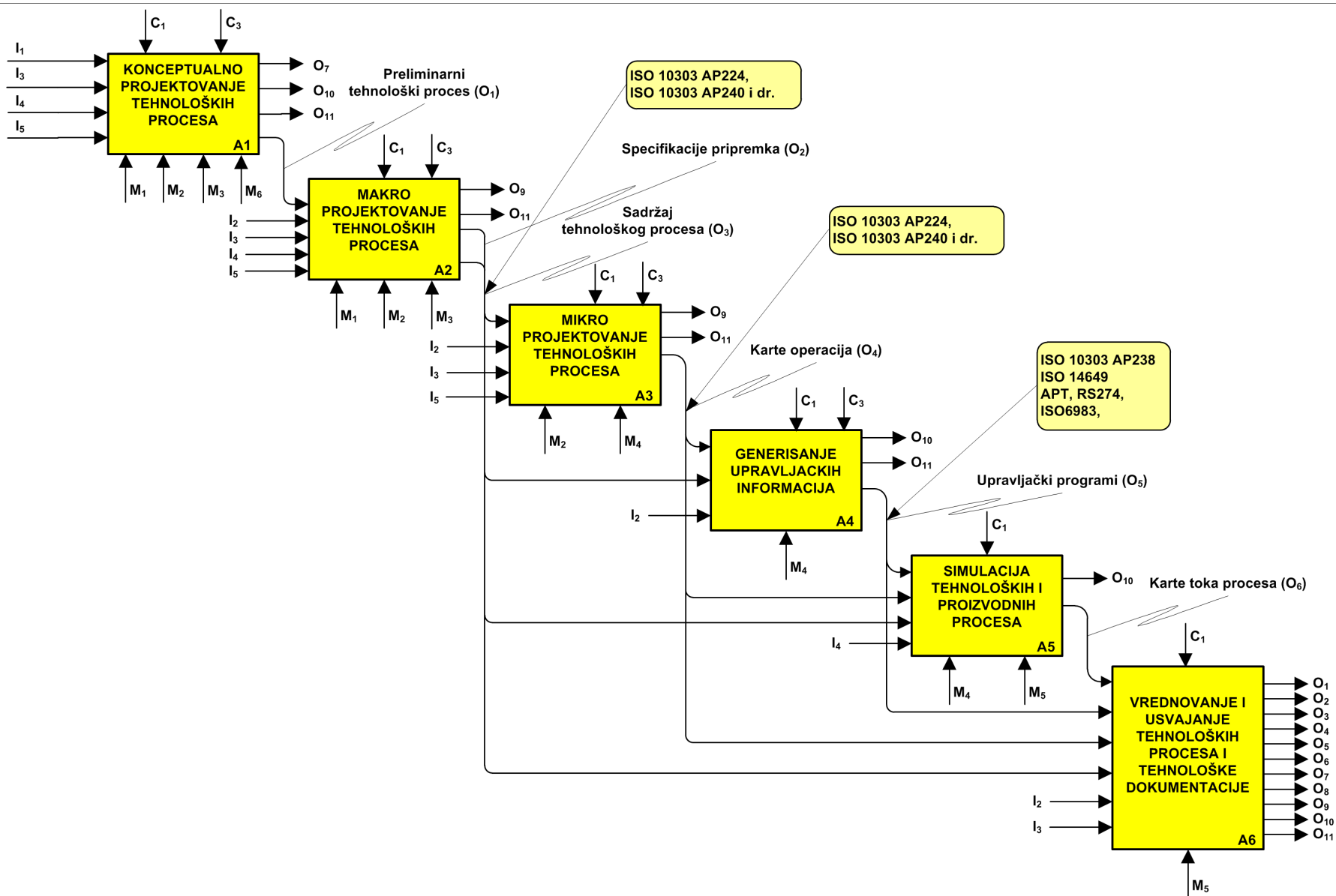
*Konceptualno projektovanje tehnoloških procesa-
Konceptualni CAPP sistem*

Prof. dr Dejan Lukić

Opšti model tehnološke pripreme proizvodnje



Dekompozicioni dijagrami modela tehnološke pripreme



NODE: A0

TITLE:

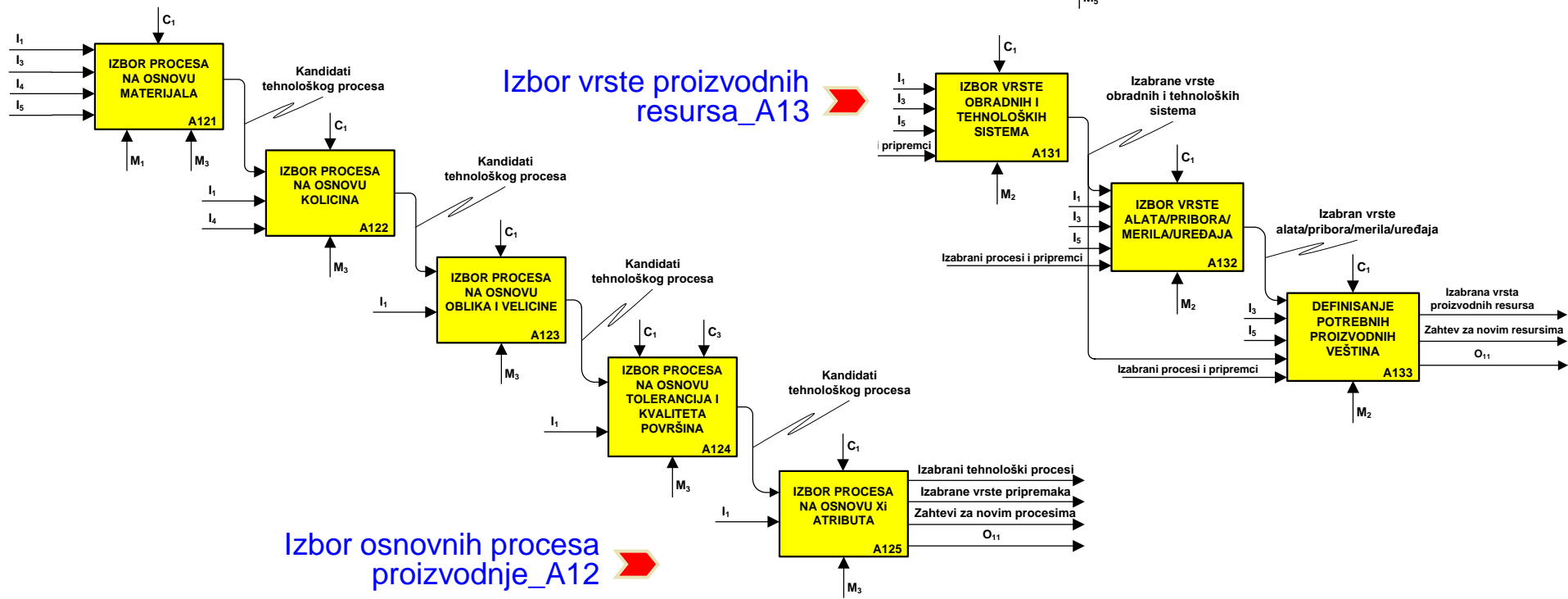
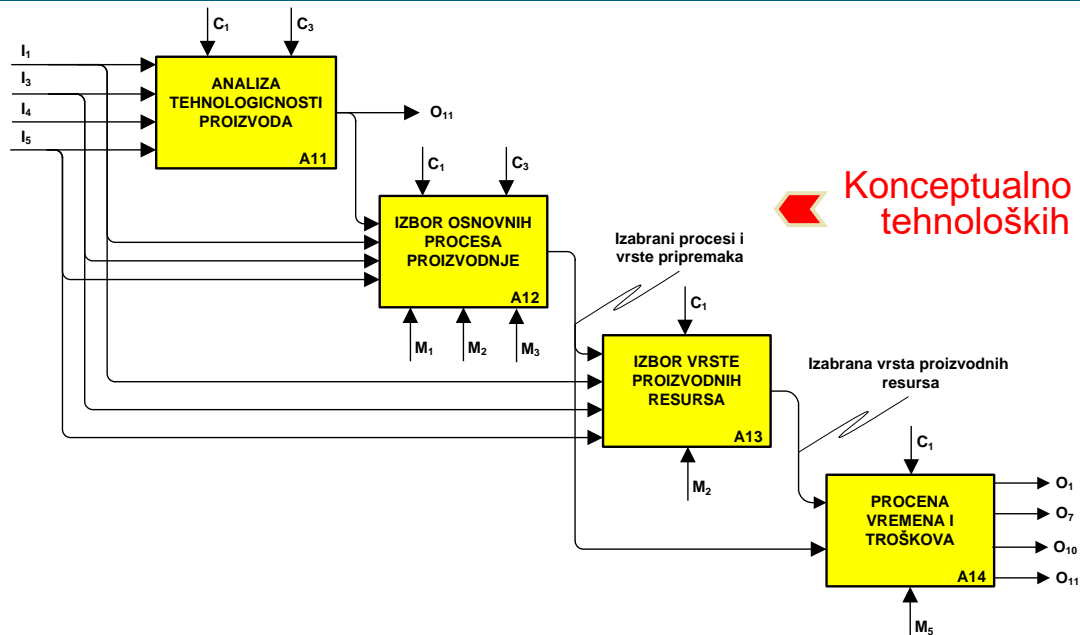
TEHNOLOŠKA PRIPREMA PROIZVODNJE

NO.:

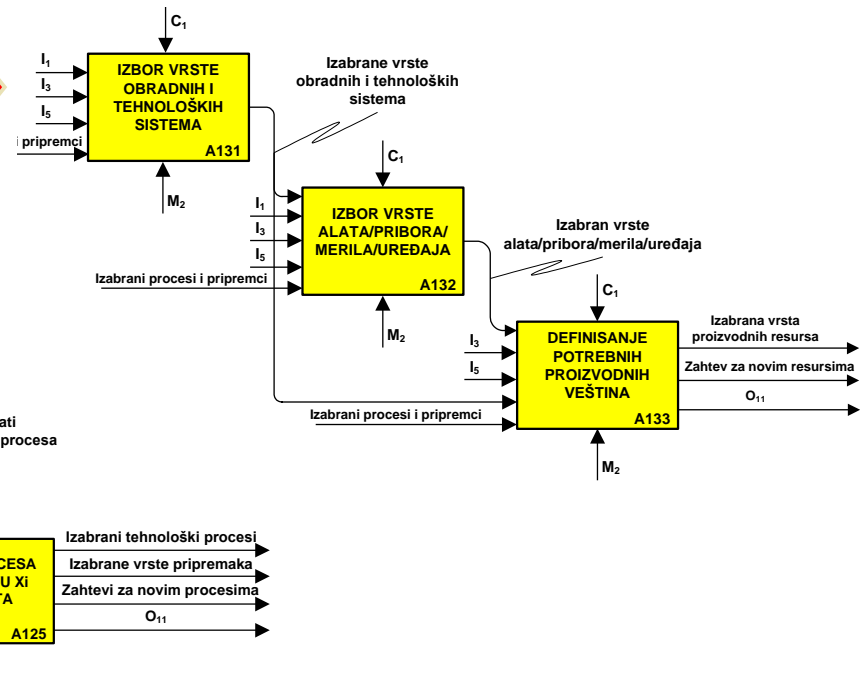
2

Dekompozicioni dijagram modela tehnološke pripreme proizvodnje_A0

Dekompozicioni dijagrami – Konceptualno projektovanje tehnoloških procesa

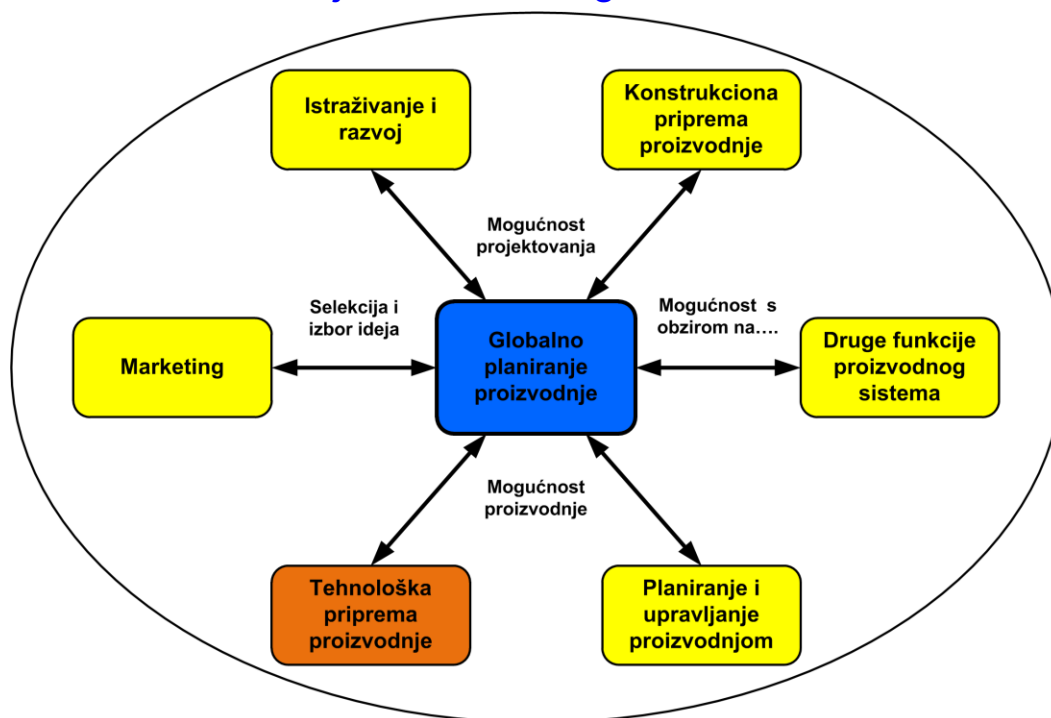


Izbor vrste proizvodnih resursa_A13



Globalno planiranje proizvodnje

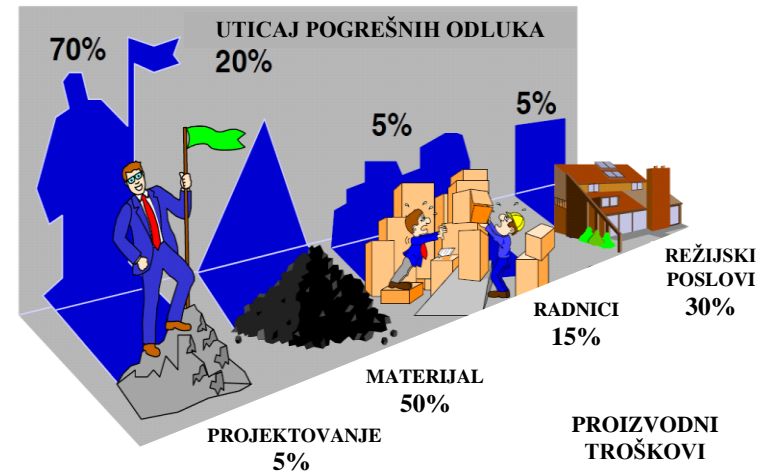
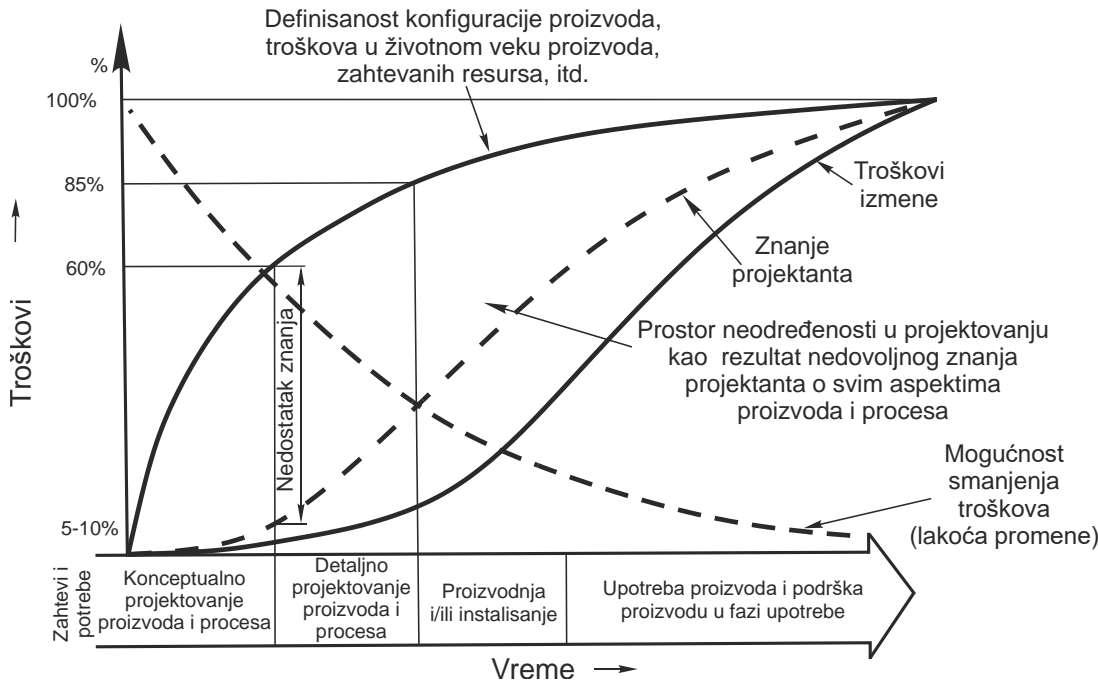
U okviru faze globalnog planiranja proizvodnje neophodno je **timskim radom** stručnjaka iz **različitih funkcija preduzeća** doći do rešenja o izboru **kvalitetnih proizvoda** sa aspekata mogućnosti razvoja, projektovanja, proizvodnje i plasmana. Ova faza predstavlja podršku u odlučivanju na početku 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.

Konceptualno projektovanje 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.

Prema [nemačkom standardu VDI 2221](#) projektovanje i konstruisanje proizvoda se obavlja u četiri osnovne faze:

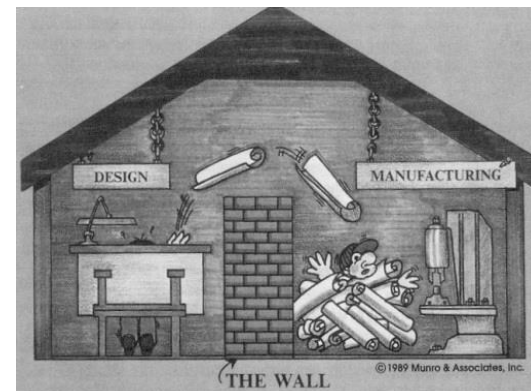
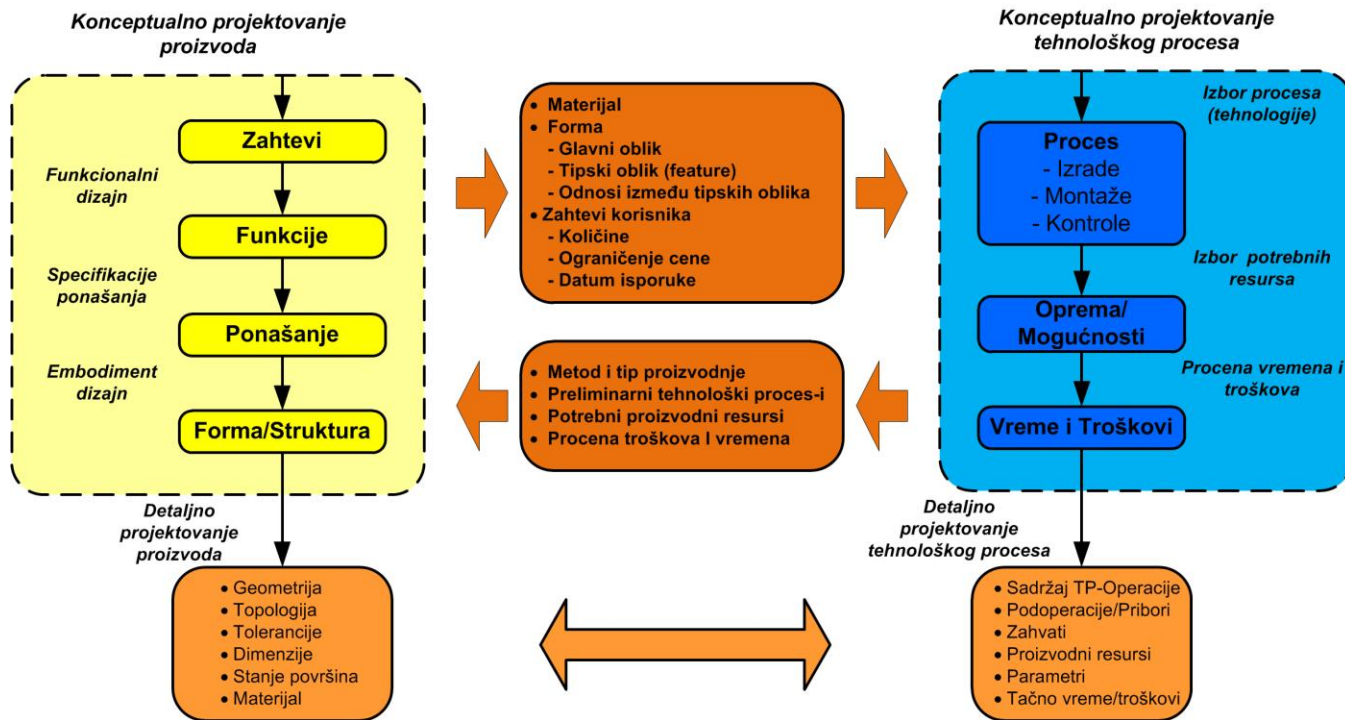
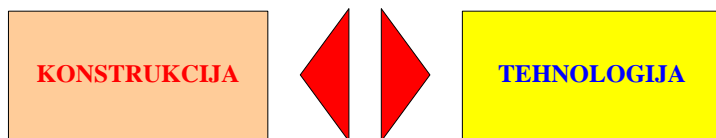
- *Definisanje zadatka* koji obuhvata prikupljanje informacija i definisanje zahteva i ograničenja koje treba da zadovolji rešenje proizvoda,
- *Konceptualno projektovanje* (nem. Methodisches Koncipieren, engl. Conceptual Design), obuhvata postavljanje funkcionalnih struktura, pretraživanje odgovarajućih principa i njihovu kombinaciju u konceptne varijante proizvoda,
- *Oblikovanje* (nem. Methodisches Entwerfen, engl. Embodiment Design), u okviru koje projektant, počinjući od koncepta, određuje plan, oblikuje i razvija tehnički proizvod ili sistem u odnosu na tehničke i ekonomske uslove i
- *Detaljno projektovanje* (nem. Methodisches Ausarbeiten, engl. Detail Design), u okviru koje se konačno postavlja raspored, oblik, dimenzije i osobine površina svih pojedinačnih delova, tehničke i ekonomske mogućnosti se ponovo proveravaju, i generiše se konstrukciona dokumentacija.

Prema američkom standardu [NIST](#) projektovanje proizvoda se deli na dve osnovne faze, [konceptualno projektovanje proizvoda](#) i [detaljno projektovanje proizvoda](#).

Konceptualno projektovanje proizvoda obuhvata više faza projektovanja. U okviru **funkcionalnog dizajna**, odnosno projektovanja generišu se osnovne funkcije i ograničenja proizvoda i dekomponuju se na detaljne funkcije prema ulaznim inženjerskim zahtevima. Nakon toga se vrši **specifikacija ponašanja**, gde se mapiraju detaljne funkcije u modelu primene i ponašanja proizvoda. **Oblikovanjem** se određuje osnovni oblik i struktura proizvoda na osnovu funkcije i ponašanja. Izlazno rešenje iz ove faze je konceptualno projektovan-dizajniran proizvod.

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.



Integracija aktivnosti projektovanja proizvoda i projektovanja tehnoloških procesa

Analiza tehnološkičnosti konstrukcije proizvoda

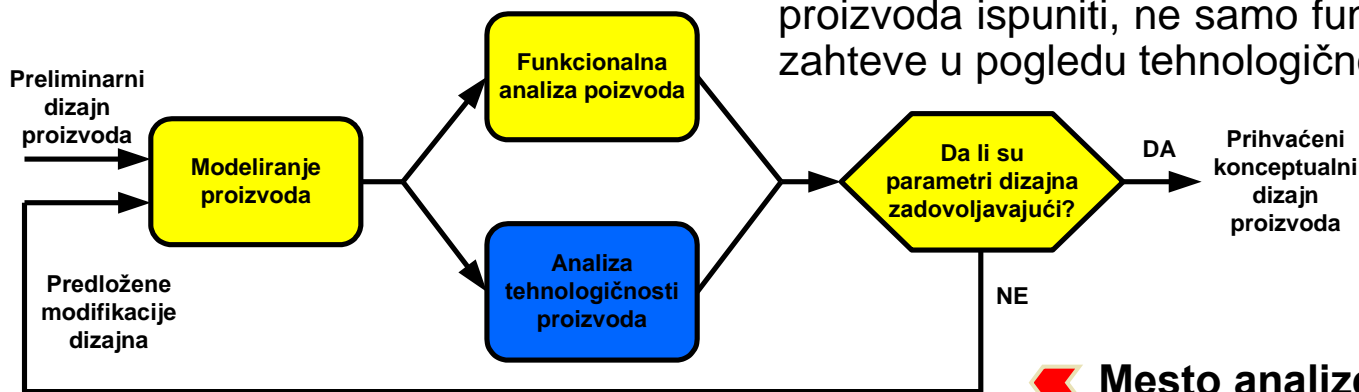
Tehnološkičnost konstrukcije proizvoda predstavlja meru pogodnosti proizvoda za izradu, montažu, eksploataciju, održavanje i druge aspekte iz životnog veka proizvoda.

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:

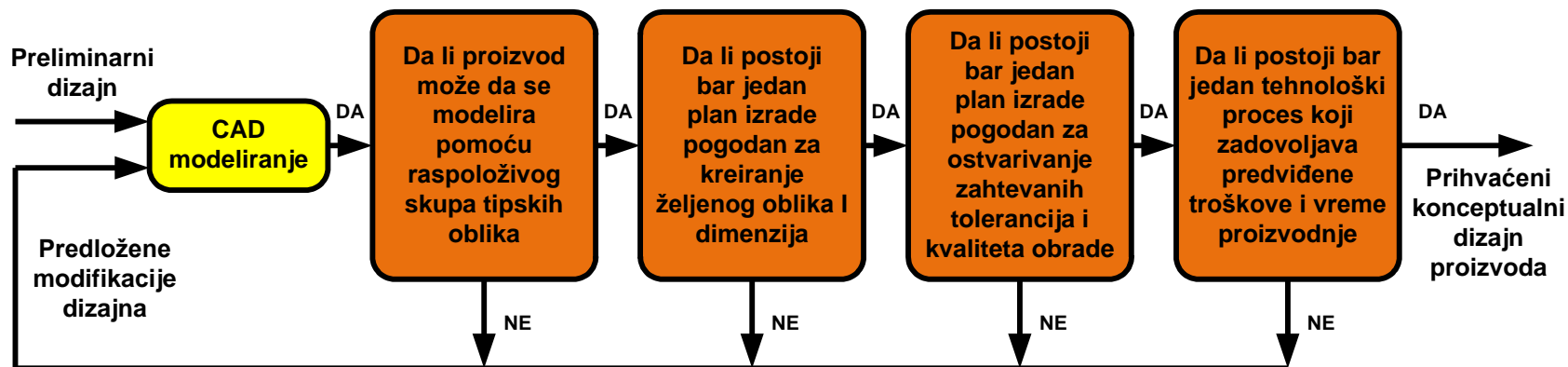
Ako se osnovni tok projektovanja proširi sistemom za analizu tehnološkičnosti, moguće je pri projektovanju proizvoda ispuniti, ne samo funkcionalne zahteve, već i zahteve u pogledu tehnološkičnosti izrade, montaže, itd.



◀ 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):

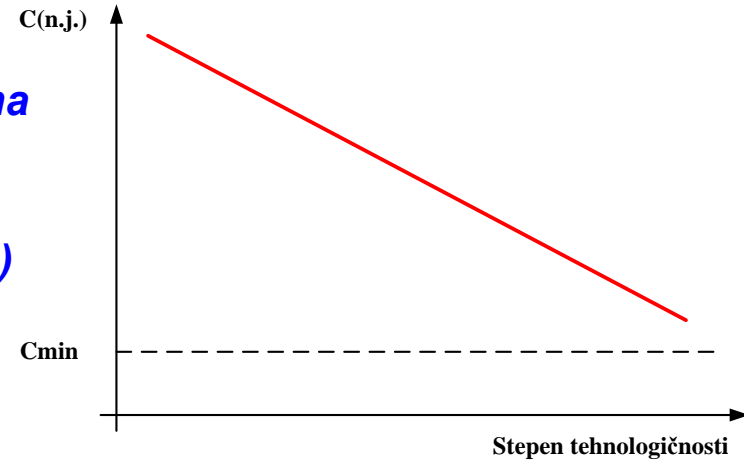
➤ 1) Prilaz

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

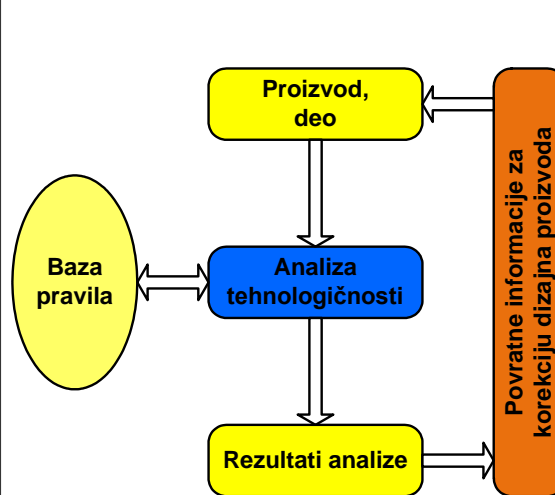
➤ 2) Ocena tehnoložnosti

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

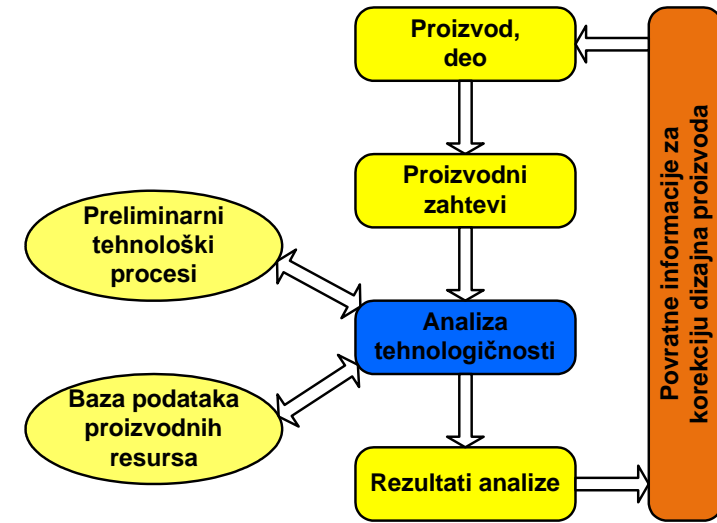
➤ 3) Nivo automatizacije



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		



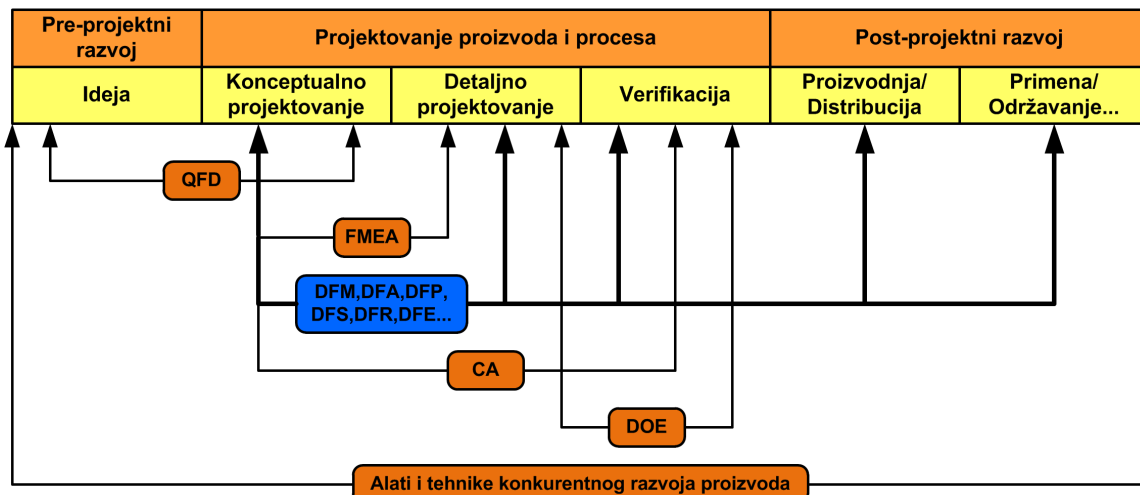
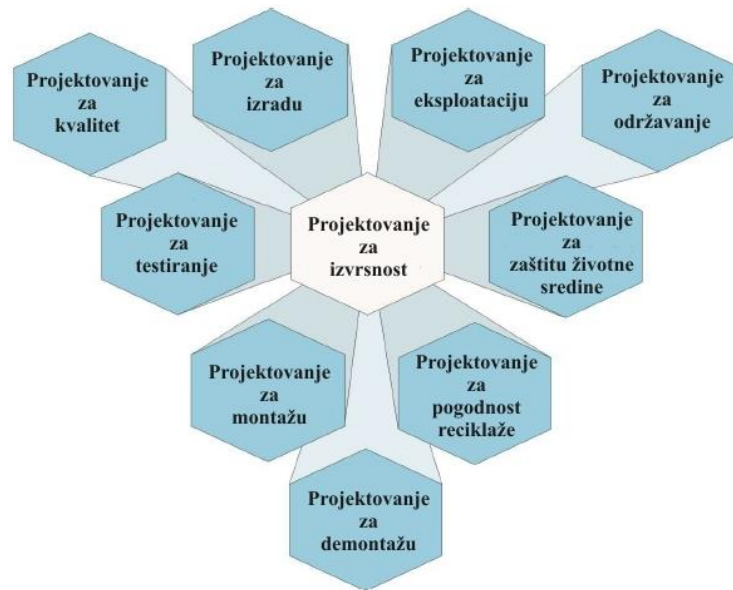
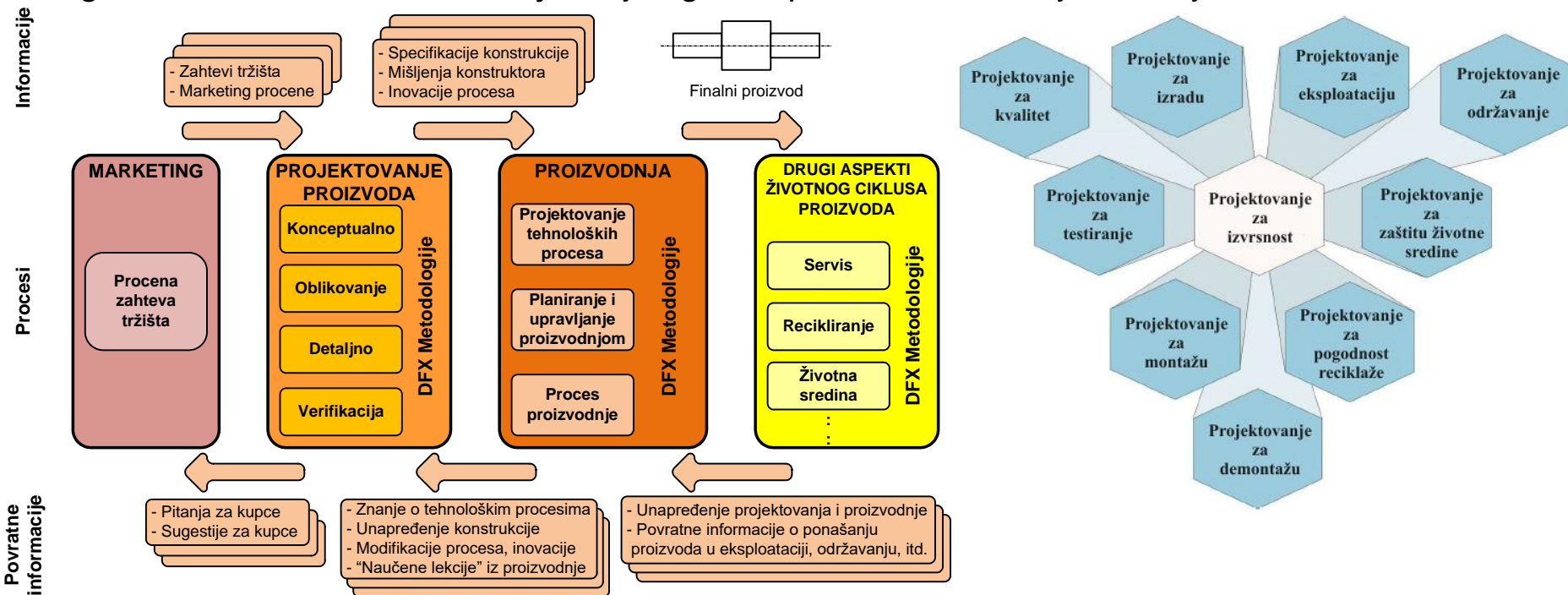
Direktan prilaz



Indirektan prilaz

Projektovanje proizvoda za izvrsnost DFX

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



Projektovanje za izradu i montažu (DFMA)

Dva osnovna aspekta za projektovanje kvalitetne konstrukcije proizvoda s obzirom na izradu i montažu su:

- *DFM u izboru kvalitetnog odnosa materijala i procesa, kao i proceni vremena i troškova izrade delova i*
- *DFA u pojednostavljenju strukture proizvoda i kvantifikovanju troškova montaže.*
- *Maksimalna standardizacija delova i površina za izradu,*
- *Izbor varijante procesa za lakšu i jeftiniju izradu,*
- *Izbor procesa koji poboljšava uniformnost,*
- *Izbor odgovarajućih tolerancija i kvaliteta obrade površina,*
- *Izbor materijala pogodnih za izradu,*
- *Minimizacija broja operacija, pripremnih i pomoćnih vremena,*
- *Minimizacija potrebnih resursa,*
- *Uključivanje novih materijala i procesa, i dr.*
- *Minimizirati broj delova,*
- *Projektovati konstrukciju na modularnom principu,*
- *Koristiti standardne i simetrične delove,*
- *Konstruisati proizvod sa stabilnim baznim delom i min. brojem kontakt. površina,*
- *Eliminisati dodatne delove za fiksiranje uvek kada je to moguće,*
- *Konstruisati proizvod sa minimalnim brojem osa i nivoa montaže,*
- *Obezbediti pristup za ugradnju delova,*
- *Obezbediti funkciju samofiksiranja i samopozicioniranja delova,*
- *Oblikovati delove sa obeležjima za pravilnu orijentaciju, pozicioniranje i pričvršćivanje,*
- *Optimizirati manipulaciju delovima i podešavanja,*
- *Izbegavati delove koji se mogu međusobno zamrsiti ili upetljati i dr.*

Projektovanje za izradu i montažu (DFMA)

Osnovni zadaci DFMA:

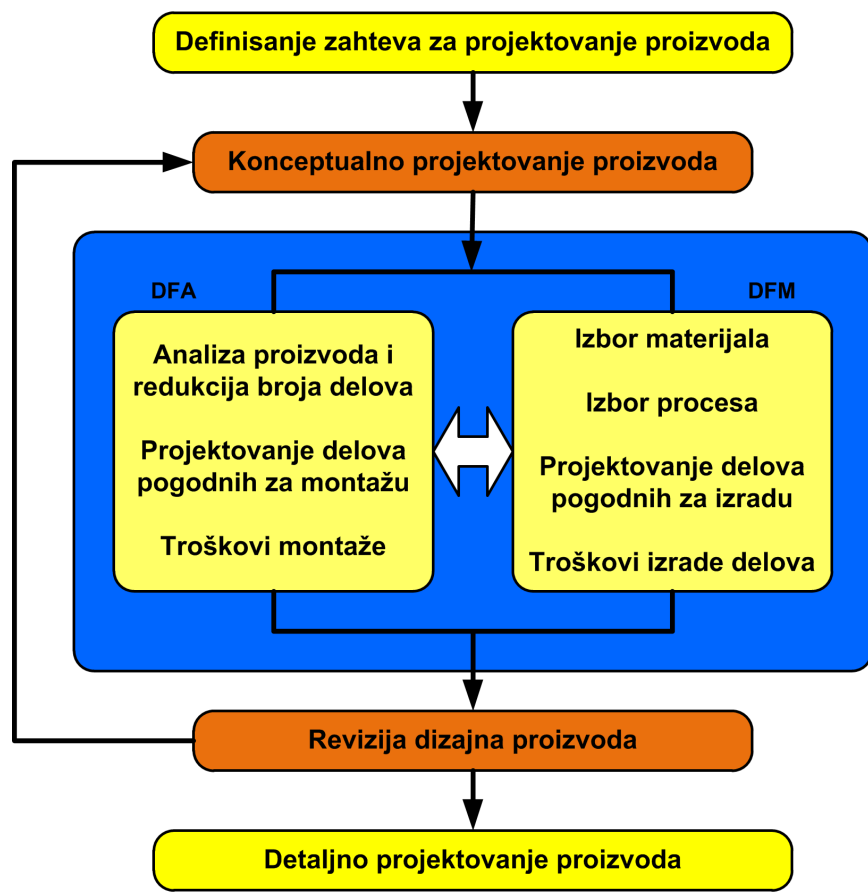
- Osnova studije simultanog inženjerstva, u smislu definisanja smernica projektanskom timu za poboljšanje konstrukcije proizvoda, smanjenje troškova i vremena proizvodnje i kvantifikaciju poboljšanja,
- Alat za proučavanje konkurentskih proizvoda i kvantifikovanje kvaliteta procesa izrade i montaže,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

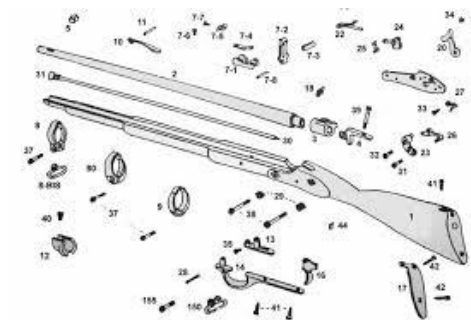
Pojava kontradiktornosti →

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

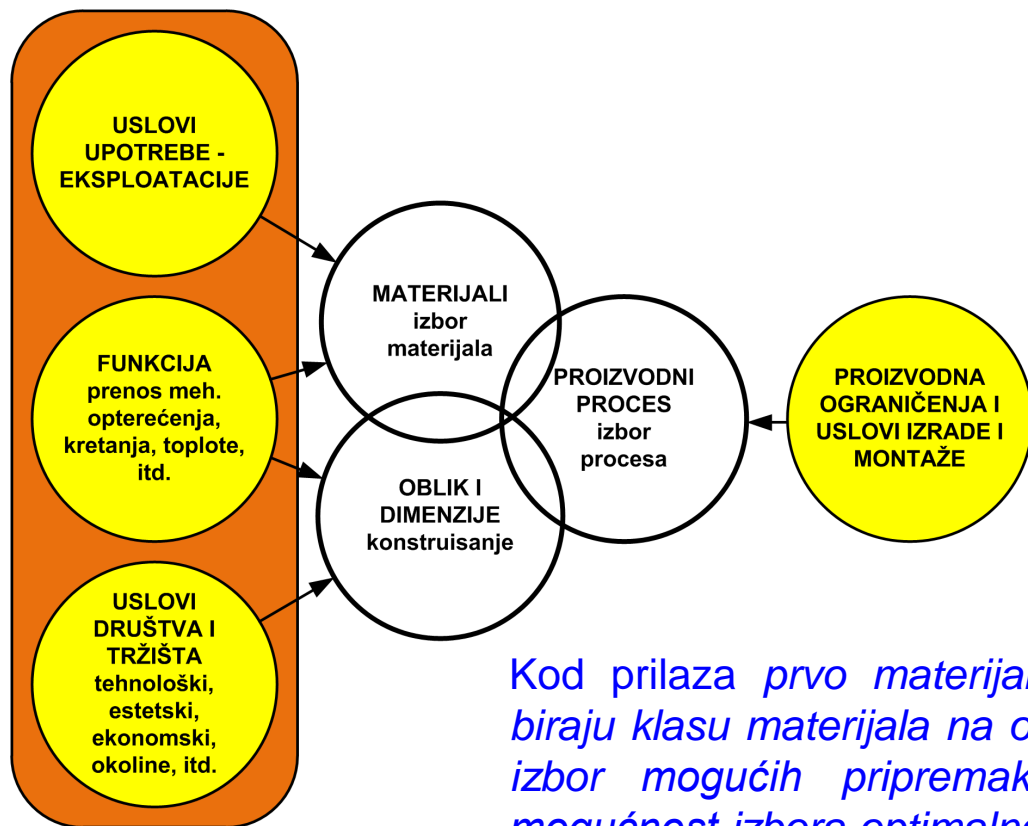


ISTORIJAT DFMa

- 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.



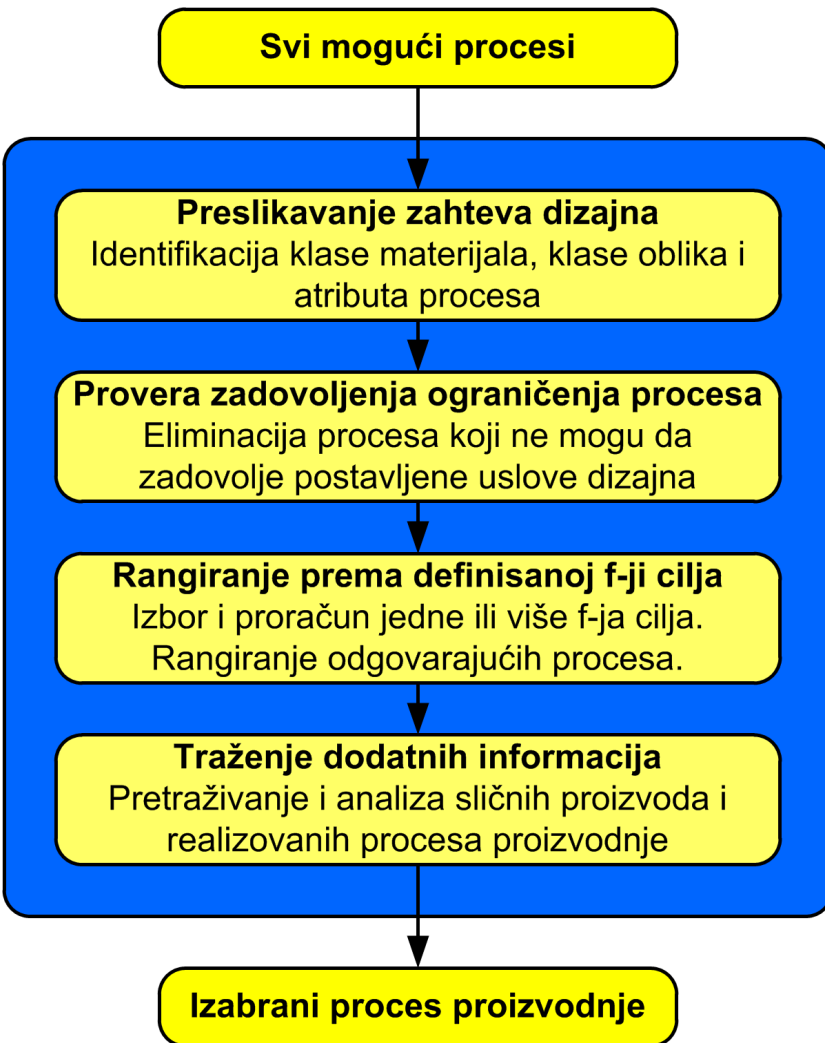
Dva osnovna prilaza za izbor kombinacije materijal/proces su:

- *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:

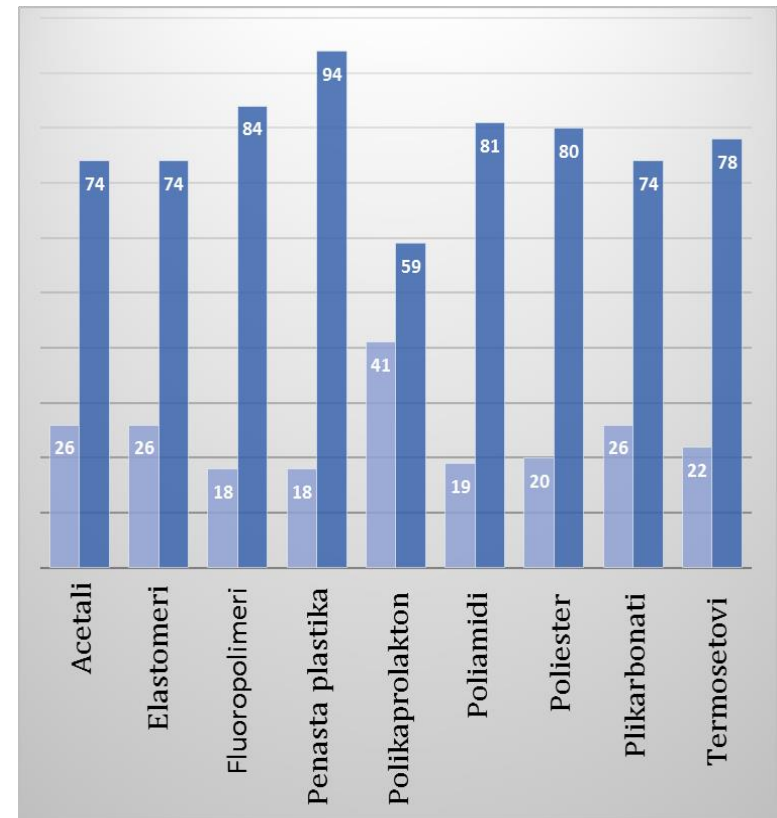
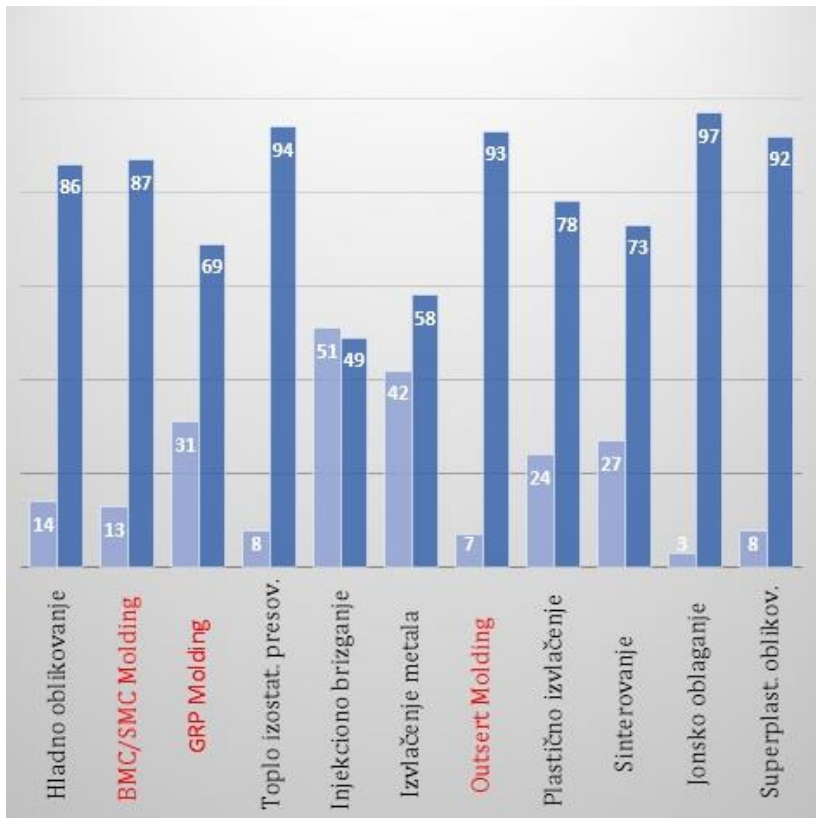
- *Kako biraмо proizvodne procese?*
- *Kako materijal utiče na izbor procesa?*
- *Da li funkcija proizvoda i posebna svojstva eksploatacije utiču na izbor proizvodnog procesa?*
- *Koji kriterijumi se koriste pri izboru procesa?*
- *Koji kriterijumi su značajniji?*
- *Kako definišate težinske koeficijente 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 matrično 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.



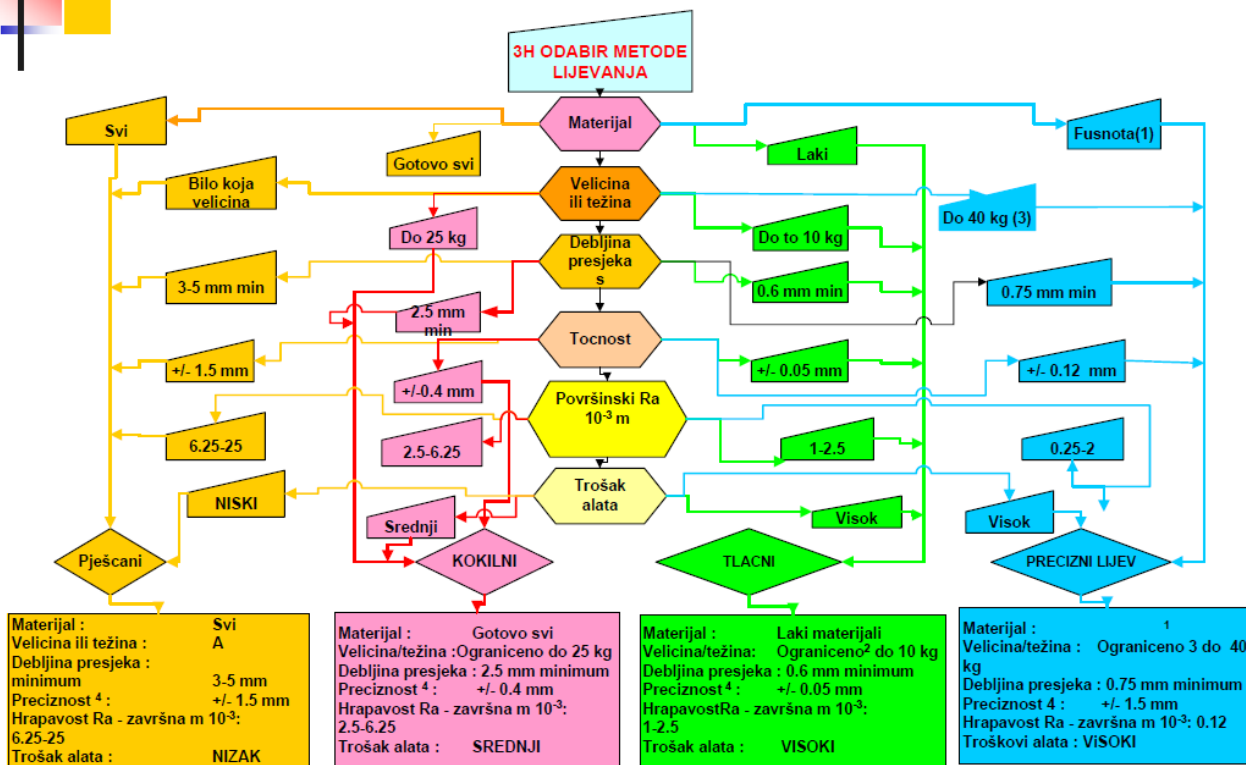
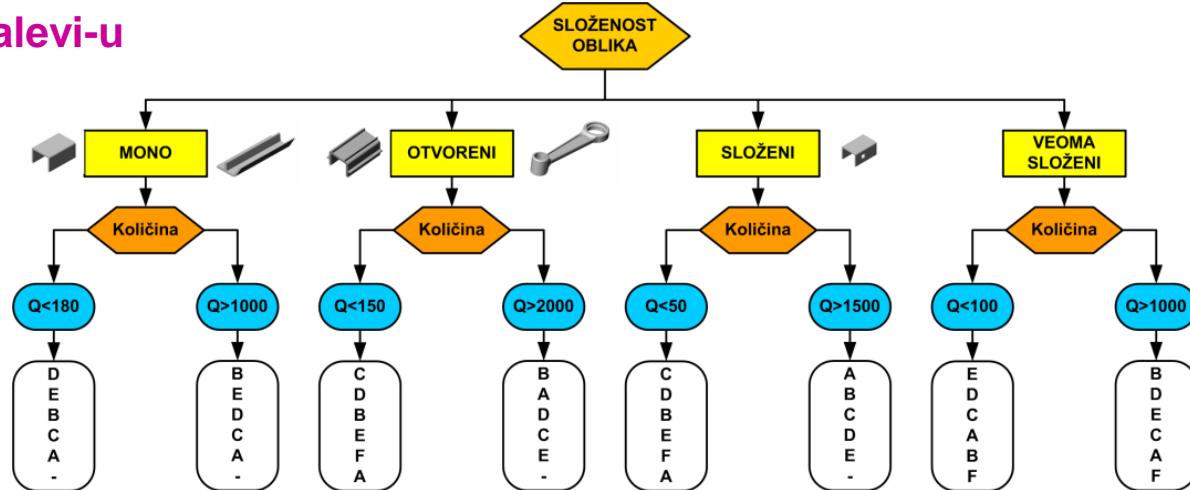
Procesi	Siv liv i Nodularni liv	Ugljenični čelici	Legirani čelici	Nerdajući čelici	Aluminijum i Al legure	Bakar i Cu legure	Cink i Zn legure	Magnezijum i Mg legure	Titanium i Ti legure	Nikal i Ni legure	Vatrootporni metali	Termoplasti	Duromeri
Livenje u pesku	O	O	O	O	O	O	-	O	-	O	-	X	X
Precizno livenje	-	O	O	O	O	O	-	-	-	O	-	X	X
Livenje 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 livenje	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

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	
Jedinice	µm	mm		kom/sat	komada	m ²	

Primer izbora procesa prema Halevi-u

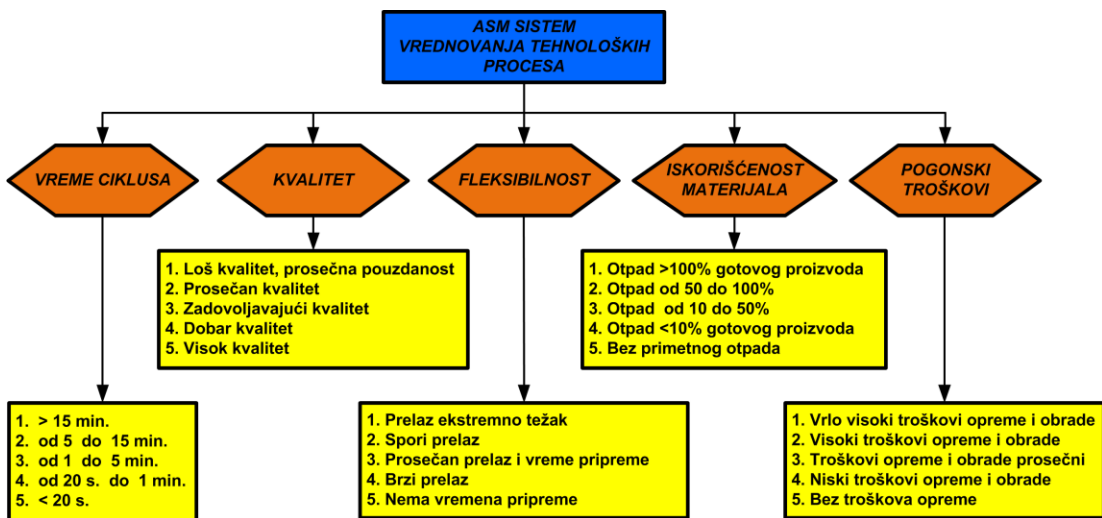
- **A-livenje**
- **B-obrada deformisanjem**
- **C-obrada skidanjem materijala**
- **D-spajanje**
- **E-montaža**
- **F-dodavanje materijala**



NAPOMENE:

1. Materijali koji se mogu proizvesti preciznim ljevanjem pripadaju slojide cim 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 raspjenu faktora skupljanja i dimenzijama odljevka. To se može proracunati jednadzbon:
Toleranca > dimenzija ((S_{max} - S_{min})/2) where S is the factor 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 pumi	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.

Programski sistemi za izbor i rangiranje procesa

- CAMPS (Computer-Aided Material and Process Selection), Shea i Dewhurst
- MAS (Manufacturing Advisory Service), Smith
- EPSS (Expert Processing Sequence Selector), Farris
- MaMPS (Material and Manufacturing Process Selection), Giachetti
- CMS (Cambridge Materials Selector) and CPS system (Cambridge Process Selector), Esawi i Ashby
- COMPASS (Computer Oriented Material, Processes, and Apparatus Selection System), Chen i dr.

Geometrijske osobine	CAMPS	MAS	EPSS	DCA	MaMPS	CPS	COMPASS
Zapremina dela	x	x	x		x		x
Masa dela	x				x	x	
Opis oblika dela	x	x	x	x	x	x	x
Sekundarne geometrijske osobine	x	x	x	x	x	x	x
Tolerancije	x	x	x	x	x	x	x
Kvaliteti površina	x	x	x	x	x	x	x
Debljine zidova dela		x			x	x	
Mera za kompleksnost dela					x	x	
Provera unifikacije zidova dela	x	x					
Koristi CAD bazirano okruženje							x
Koristi CAD ulazne podatke							x

*Komparacija ulaznih geometrijskih informacija razvijenih sistema
za izbor i rangiranje procesa*

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.

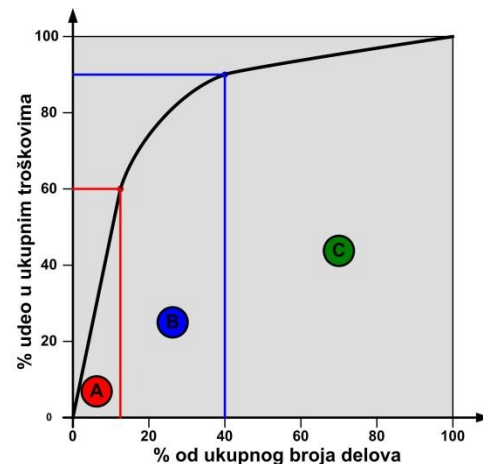
Posledice loše procene troškova i vremena:

- *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 %
Analitička	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)





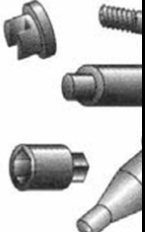
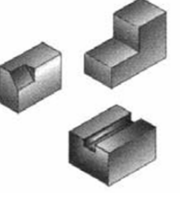
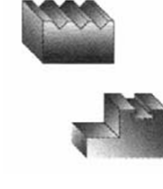





Ova metoda bazira na inženjerskom iskustvu i znanju, kao i odgovarajućim podacima iz proizvodne prakse koji su sistematizovani u obliku pogodnom za proračun i procenu troškova proizvodnje pojedinih delova.

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*

A 		ROTACIONI		B 	C 	PLJOSNATI I KUTIJASTI TANKOZIDNI DELOVI			
jedna/primarna osa		sa jednom osom/u jednoj ravni		sa jednom osom		sekundarni pravilni oblici sa ponavljanjem		pravilni oblici	složeni oblici
samo osnovni rotacioni oblici	sekundarni oblici	samo osnovni oblici	sekundarni oblici	samo osnovni oblici	ravnomeran presek ili debljina zida	neravnomeran presek ili debljina zida	kupasti, konusni ili kutijasti oblici	neravnomerni i/ili zaobljeni oblici	
A1	A2	B1	B2	C1	C2	C3	C4	C5	
									
rotaciono simetrični žljebovi, useci, konusi, oborene ivice, zaobljenja, upusti i rupe duž ose/centralne linije	unutrašnji i spoljni nareckani, jednostavni žljebovi na i duž osnovne ose/centra	stepenasti predmeti, žljebovi, kanali, useci i otvori/navoji duž jedne ose	stepenasti oblici, T žljebovi, zupčaniци i otvori, navoji, upusti u jednoj ravni	pripremi, otpresci, podloške, savijeni i drugi oblici na ili paralelni sa osnovnom osom	pljosnati zupčaniци, višestruko ili kontinualno savijeni oblici	delovi promenljivog preseka koji nisu izrađeni višestrukim savijanjem ili sastavljeni od više oblika	delovi kod kojih može da se javi promena debljine zidova	složeni ili nepravilni oblici 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

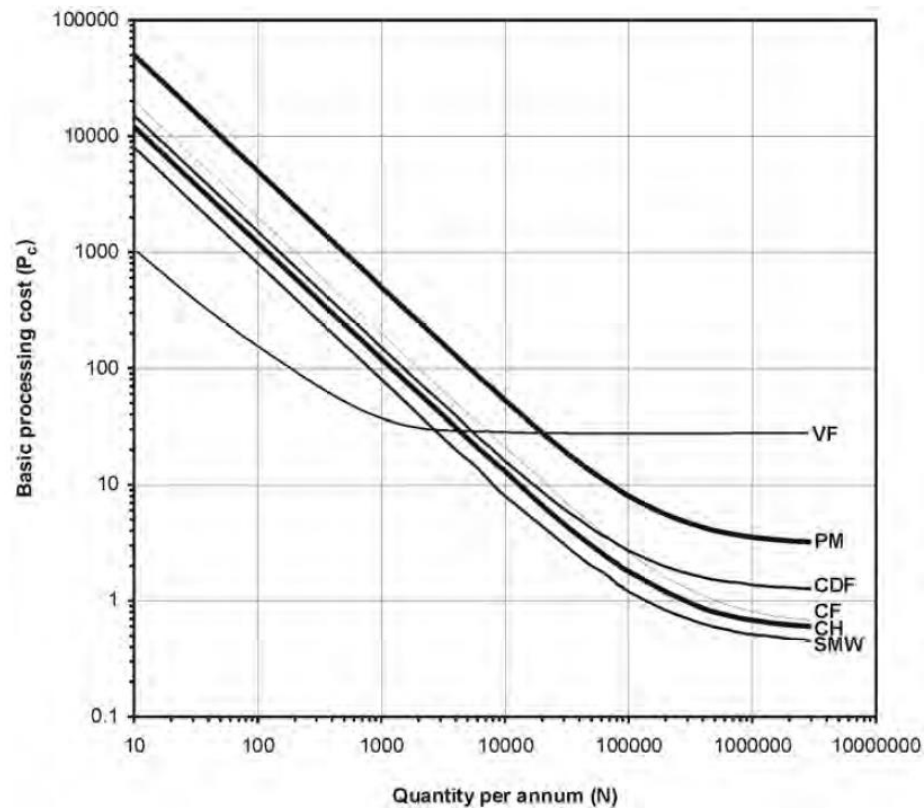
Kao osnova za određivanje troškova izrade proizvoda uzimaju se troškovi "idealnog proizvoda", uz korekciju sa relativnim koeficijentom troškova koji iskazuje razliku posmatranog proizvoda i idealnog proizvoda, s obzirom na vrstu materijala, složenost oblika, određene dimenzije, tolerancije i kvalitete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

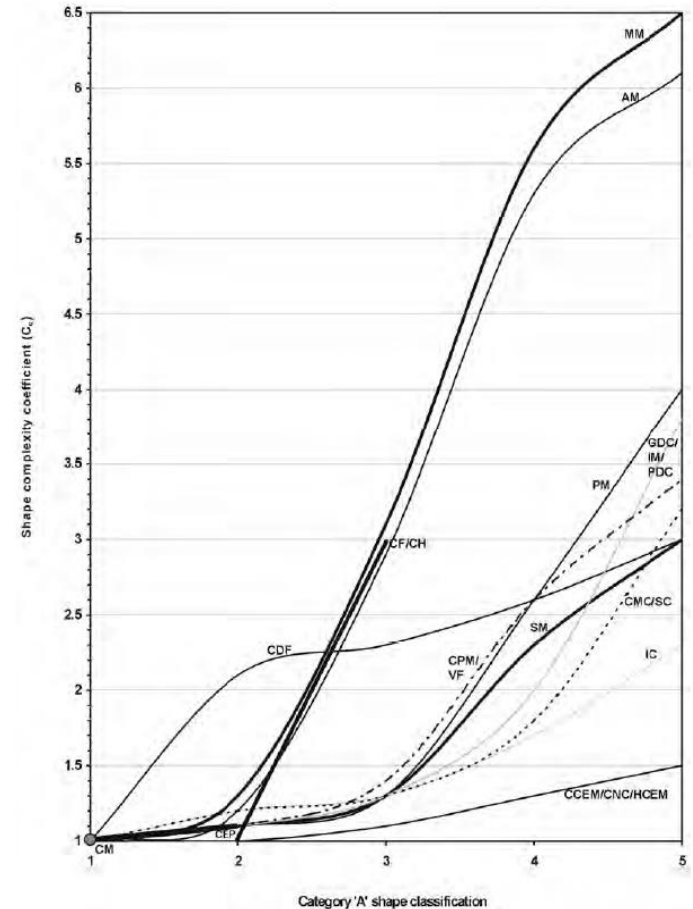
C_s – Koeficijent koji uzima u obzir debljinu zida proizvoda

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} .

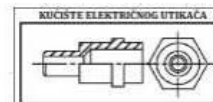
Za određivanje koeficijenta složenosti proizvoda potrebno je prethodno izvršiti klasifikaciju proizvoda prema klasi oblika (A, B ili C) i podklasi složenosti (1,2,3,4,5), nakon čega se koeficijent složenosti očitava sa grafika funkcija



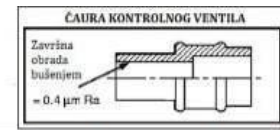
Koeficijent složenosti C_c za klasu oblika A

Primeri primene analogne metode za procenu troškova

Naziv proizvoda		Kućište elektr. utikača																				
Kod proizvoda/ID																						
Obim proizvodnje		1.000.000 komada																				
		A								B								A + B				
DETALJI O KOMPONENTI								Rc = Cc x Cmp x Cs x [Cft]								Ti						
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)	(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

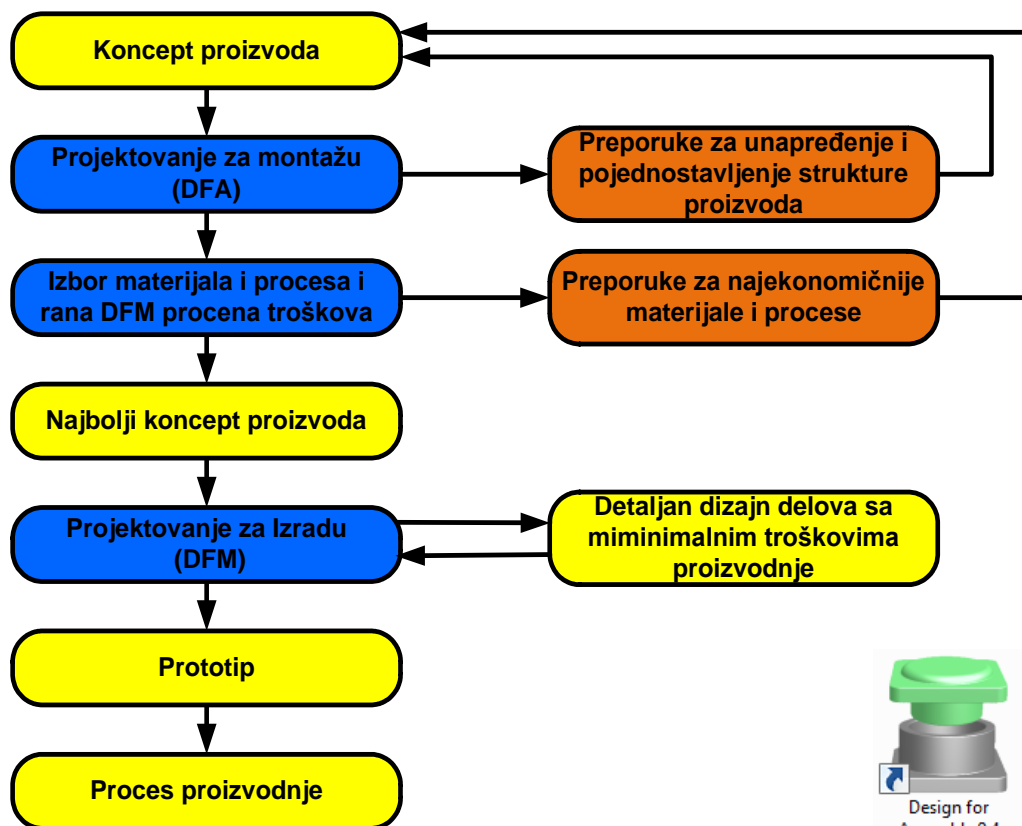


Naziv proizvoda		Čaura kontrolnog ventila																				
Kod proizvoda/ID																						
Obim proizvodnje		80.000 komada																				
		A								B								A + B				
DETALJI O KOMPONENTI								Rc = Cc x Cmp x Cs x [Cft]								Ti						
Deo br.	ID	Opis dela	Materijal	Primarni proces	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)	(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



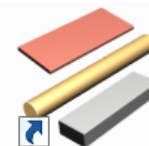
Dfa 9.4 Operation Library



Dfe 9.4 Material Library



Dfm Concurrent Costing 2.3



DfmCost 2.3 Material Library

DFM Concurrent Costing 2.3:

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.

<<Select process and material>>

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

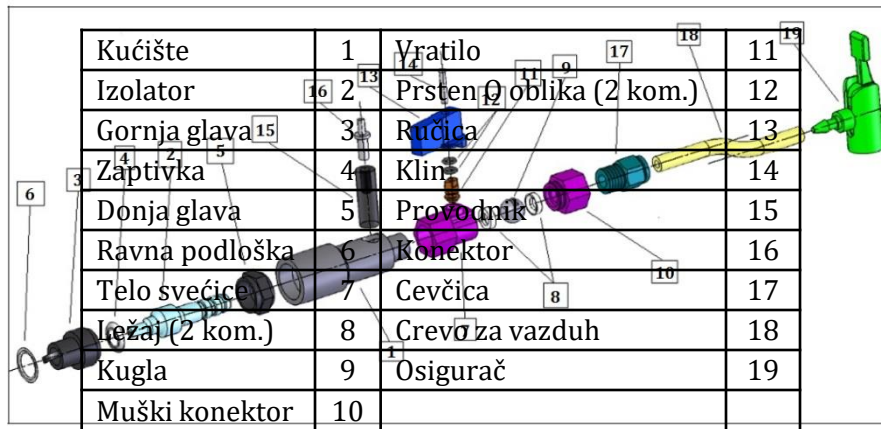
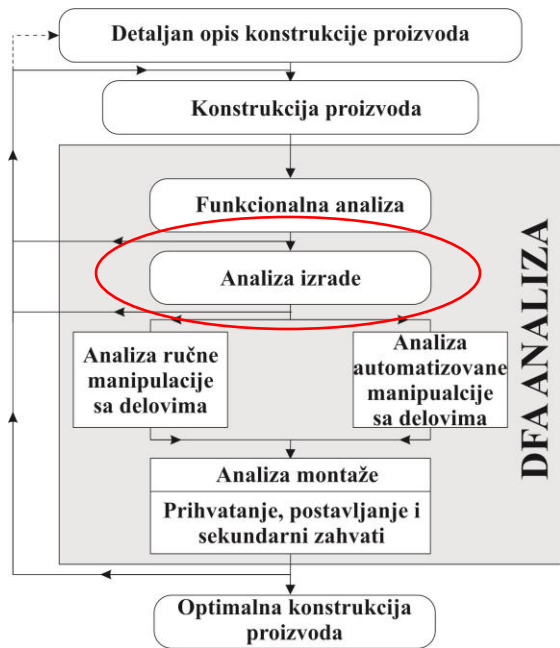
Beleške

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

Cost results, \$	Previous	Current
material	2.71	2.71
setup	0.02	0.03
process	0.45	0.45
rejects	0.03	0.03
piece part	3.23	3.23
tooling	0.48	0.48
total	3.71	3.71
Tooling investment	96.885	96.885

TeamSET softver za DFMA



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, Material Cast Iron, Grade Cast iron

Geometry: 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 window open. The main window shows a list of rules, including:

- Symmetrical Axial Slots
- Standard Hole Sizes
- Sharp Internal Corners
- Pockets With Bottom Chamfers
- Partial Holes
- Open Hem
- OD Profile Relief
- Non Uniform Draft Features
- Narrow Regions In Pockets
- Multiple Bends In Same Direction
- Minimum Internal Corner Radius
- Minimum Hole Diameter
- Long - Slender Turned Parts
- Linear And Angular Tolerance Rule
- Keyways Should Be Radiused At The
- Holes Intersecting Cavities
- Hole Distance To Bends
- Flat Bottom Holes
- Fillets On Top Edges
- Entry / Exit Surface For Hole
- Deep Radiused Corners
- Deep Holes
- Deep - Narrow Slots
- Cut To Hole
- Cut Radius
- Countersink

The 'Partial Holes' rule is selected, and its configuration dialog is open, showing:

- Area Cut From The Part (% of 360 degree hole)
- Operator: \geq
- Value: 75.0
- Criticality: High

The 'Partial Holes' rule description states: "When a hole intersects with the side of a feature, at least 75% of area of the hole should be within the material." The dialog also shows a table of rule settings:

Rule Category	Priority
Mill Rules	Low
Sheet metal rules	Critical
Sheet metal rules	Critical
Sheet metal rules	Critical

The inset diagram shows two cross-sections of a hole in a part. The left diagram shows a hole that is too shallow and wide, marked with a red 'X'. The right diagram shows a hole that is deeper and narrower, marked with a green checkmark.

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: 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**

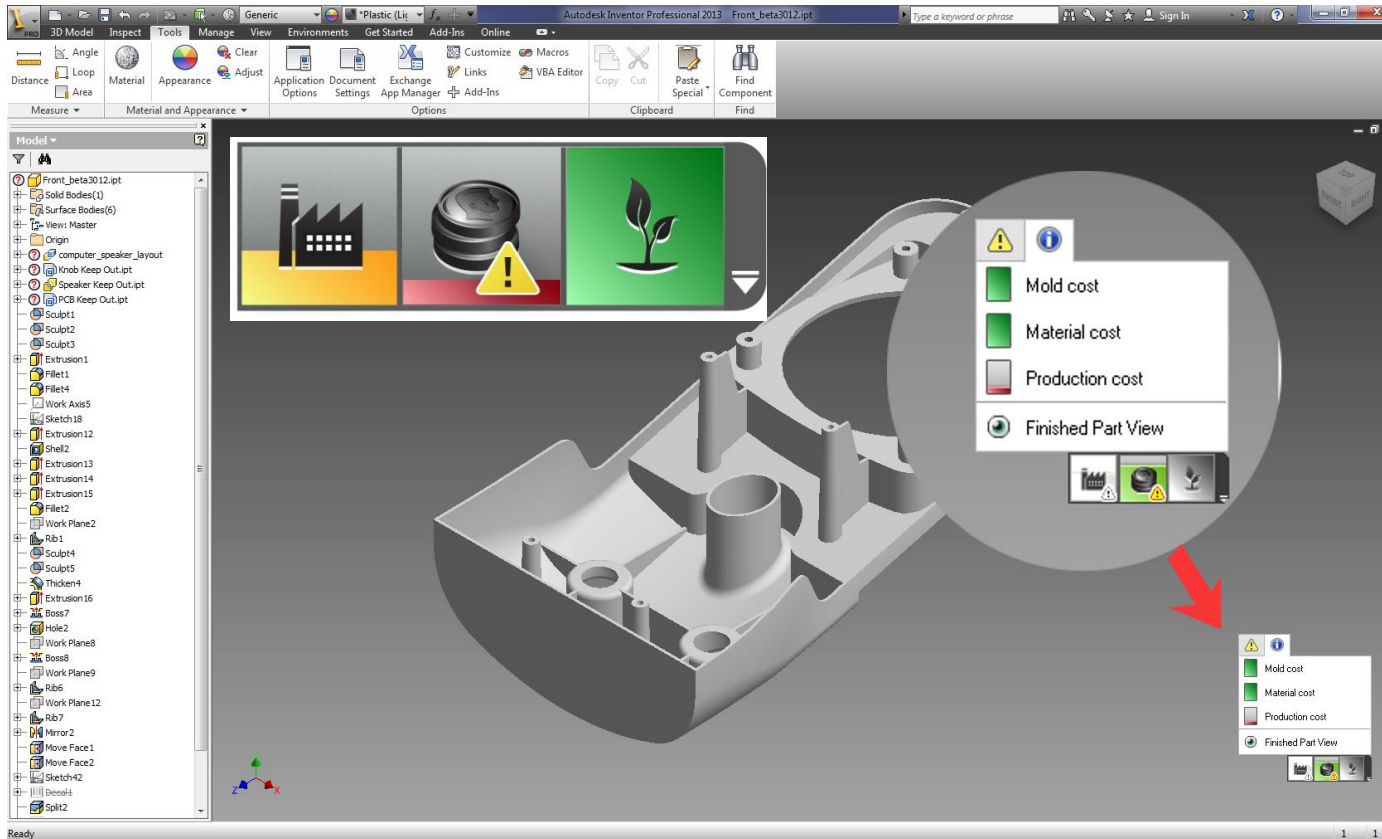
Comparison **40%**

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

