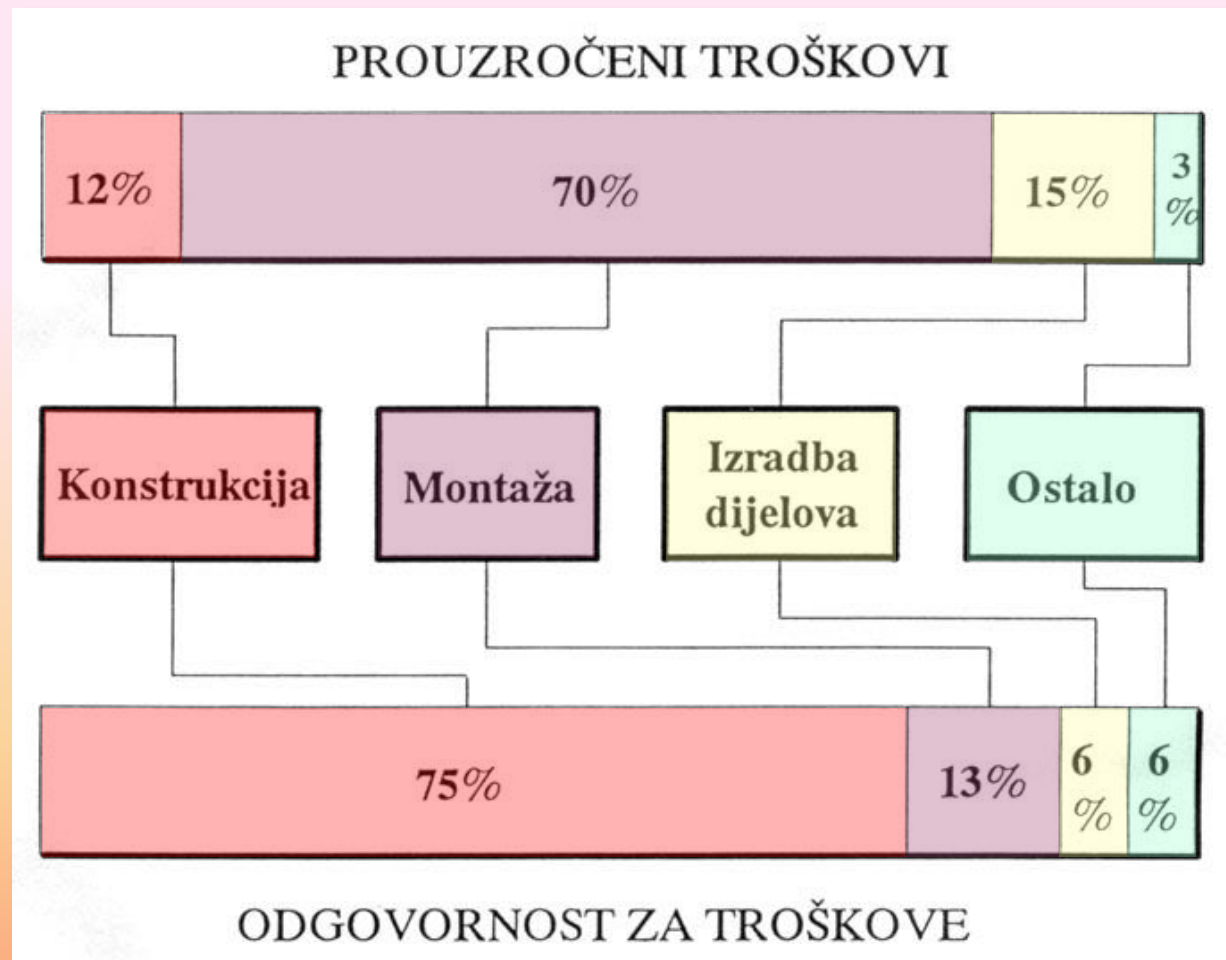
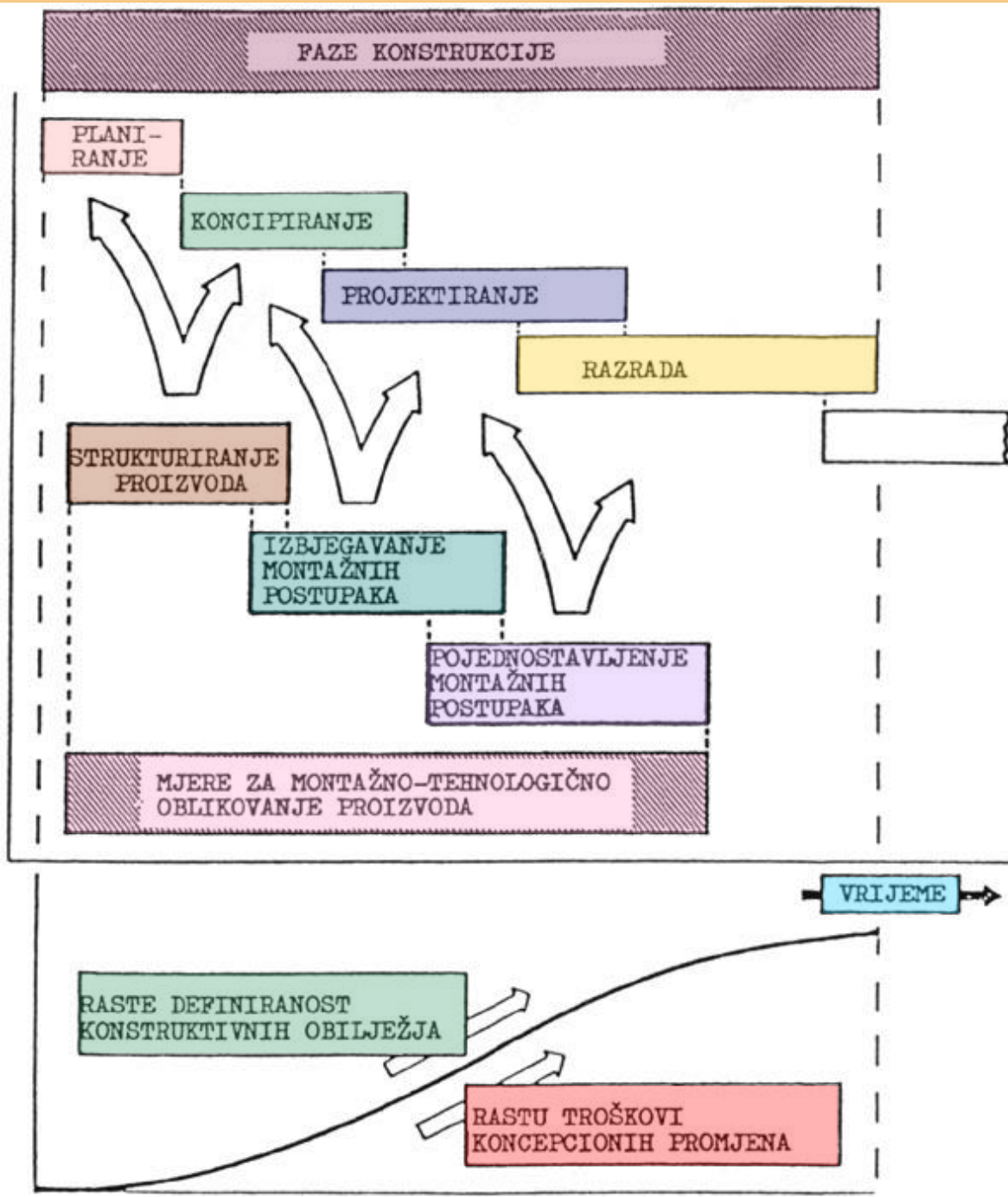


OBLIKOVANJE PROIZVODA ZA SKLAPANJE

Razmatranje izradbe i montaže već tijekom oblikovanja – konstruiranja proizvoda, predstavlja najveći potencijal za značajno sniženje troškova proizvodnje i povišenje proizvodnosti.





Faze konstruiranja i utjecaji na **sklopivost** proizvoda

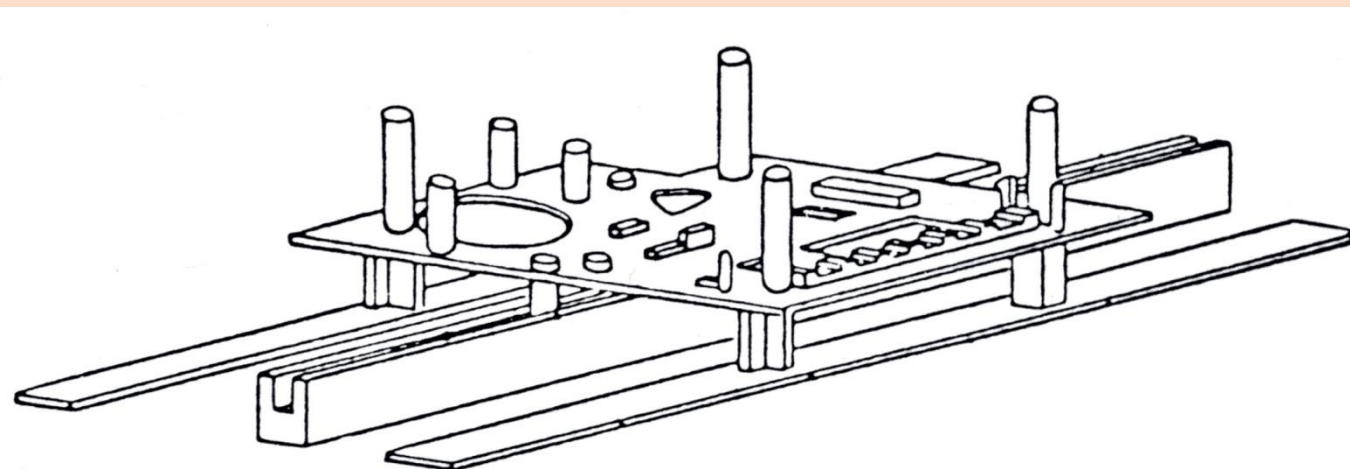
Tehnologičnost proizvoda za sklapanje (sklopivost proizvoda) očituje se u sljedećemu.

1. POSTOJANJE OSNOVNOGA (BAZNOGA) UGRADBENOG ELEMENTA

Postojanje osnovnoga (baznoga) ugradbenog elementa olakšava osmišljavanje i izvođenje montažnoga procesa – transport narastajućega proizvoda tijekom sklapanja.

Tako je osnovni ugradbeni element nosač svih ostalih dijelova u proizvodu, koji pojednostavnjuje naprave za transport i stezanje.

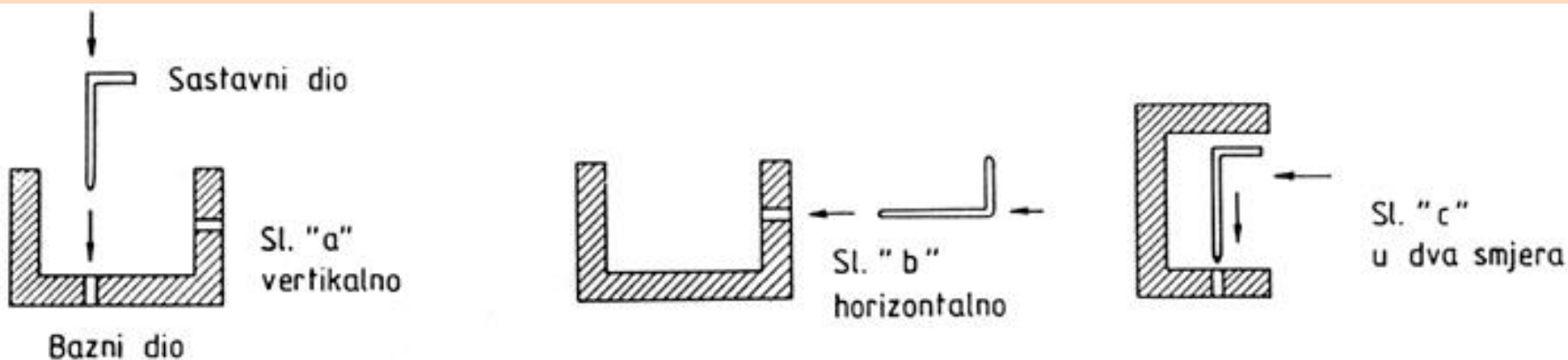
Osnovni ugradbeni element u odnosu na ostale ističe se veličinom, krutošću i stabilnošću. Obično ostvaruje veći broj veza od ostalih ugradbenih elemenata (zajedničke plohe – plohe dodira), i posjeduje plohe pogodne za izvođenje radnji tijekom sklapanja (postavljanje, prihvat, zakretanje).



2. OSTVARENJE SAMO JEDNE (ŠTO MANJEG BROJA) OSI SKLAPANJA I SMJERA SKLAPANJA ODOZGO NADOLJE

Ostvarenje samo jedne (što manjeg broja) osi sklapanja, i ostvarenje smjera sklapanja odozgo nadolje, odnosno pod kutom koji neće biti veći od 90° od okomice prema horizontali, pojednostavnjuje oblikovanje i izvođenje procesa sklapanja, budući da otklanja potrebu za zakretanjem ili preokretanjem sklopa nastalog u nekome trenutku montažnoga procesa, odnosno sklapanja dijelova odozdo što je u pravilu otežano.

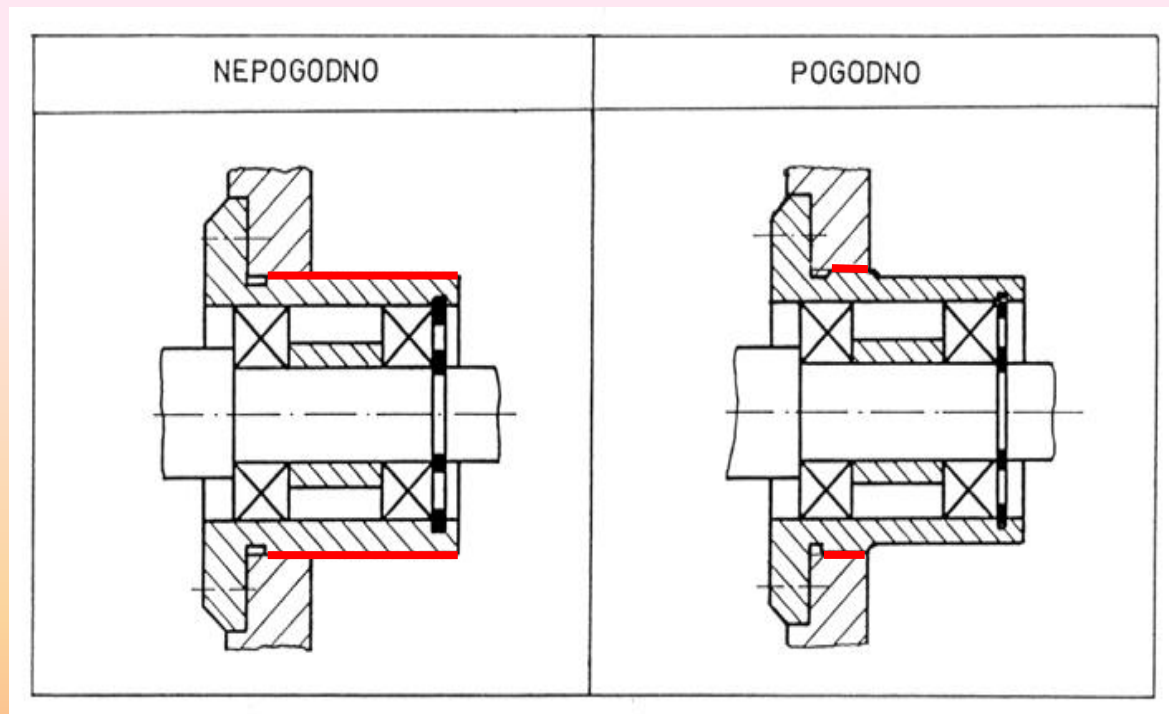
Postojanje više osi sklapanja, u slučaju tehnika spajanja koje zahtijevaju primjenu sile, uobičajeno iziskuje dodatne radnje (funkcije) rukovanja, što ishodi složenijim uređajima za rukovanje i posebnim napravama za oslanjanje i stezanje sklopa.



3. POSTIZANJE JEDNOSTAVNIH LINEARNIH I KRATKIH PUTANJA SKLAPANJA

Postizanje jednostavnih linearnih putanja sklapanja, gdje god je to moguće, značajno će pojednostavniti izvođenje sklapanja, olakšati automatizaciju i dopustiti razmatranje jeftinije opreme za automatsku montažu.

Istodobno treba težiti što kraćim putanjama sklapanja.



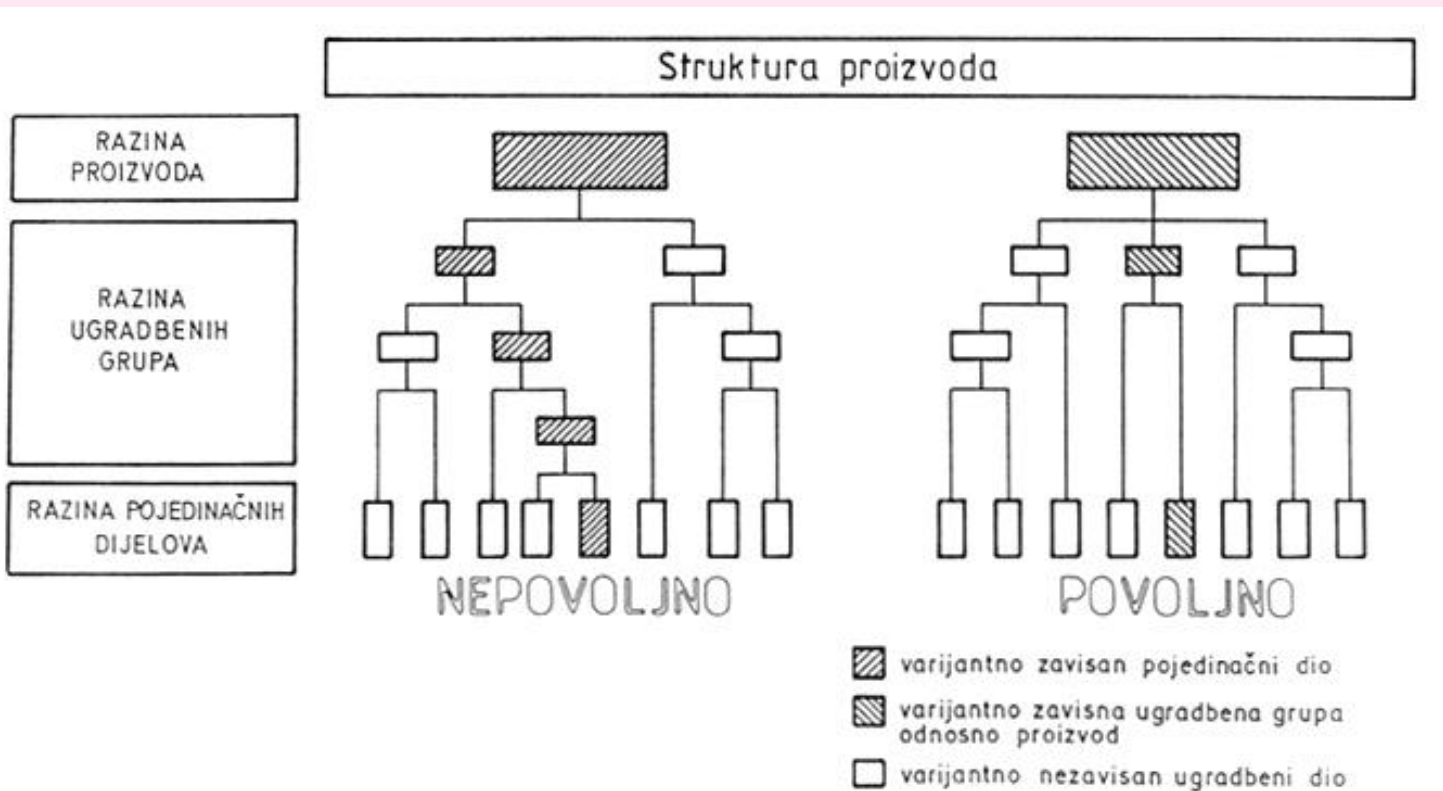
4. STRUKTURIRANOST PROIZVODA U SKLOPOVE

Strukturiranost proizvoda u sklopove dopušta oblikovanje nezavisnih i usporednih montažnih procesa (predmontaža).

Proistekli sklopovi trebaju se ispitati prije završne montaže, čime se izbjegava ugradnja neispravnih sklopova u završnoj montaži, i njihova demontaža po utvrđenoj neispravnosti proizvoda.

Funkcijski, postojanje sklopova olakšava stvaranje varijanti proizvoda.

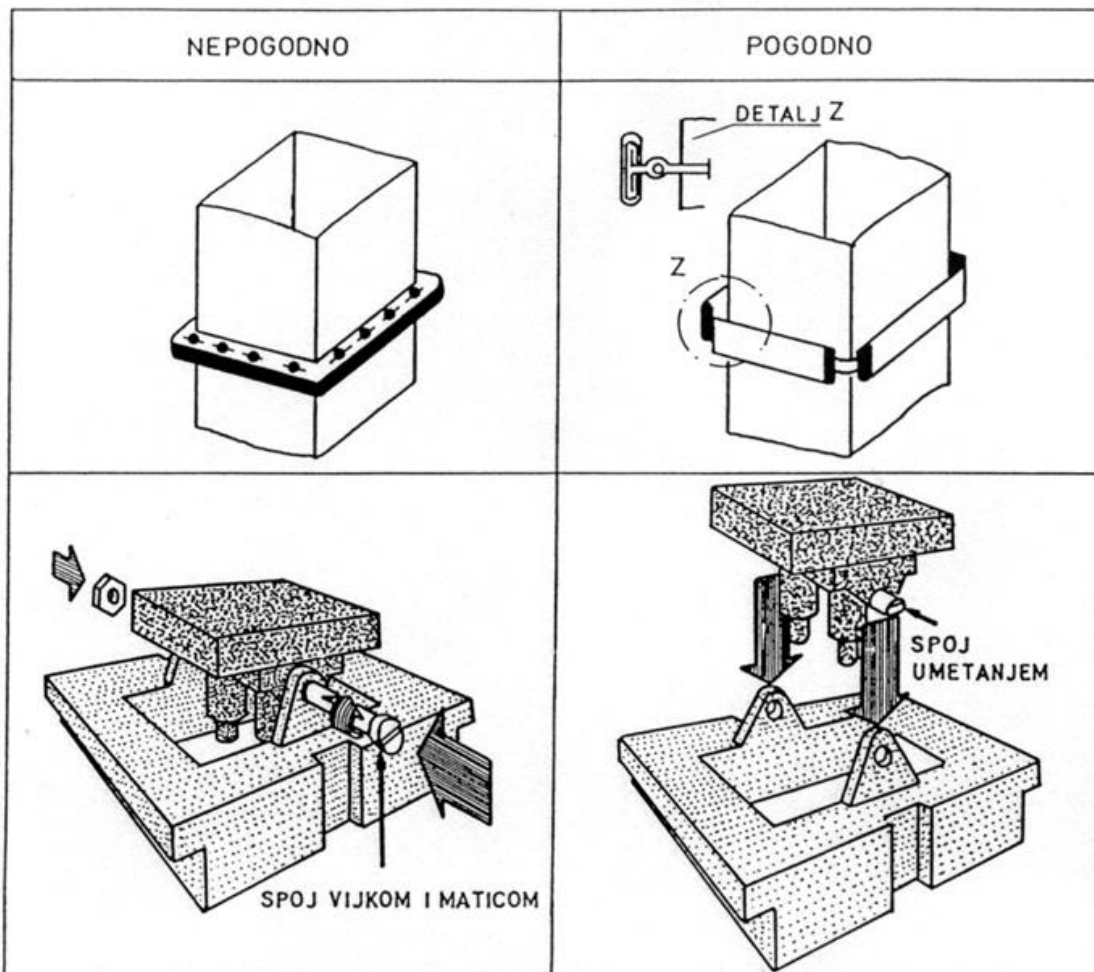
Varijantno zavisne ugradbene elemente treba nastojati montirati u što kasnijim fazama montažnoga procesa (upravljanje raznolikošću).



5. PRIMJENA POGODNIH TEHNIKA SPAJANJA

Primjenom pogodnih tehnika spajanja utječe se na pouzdanost rada montažnoga sustava (zastoji), i kakvoću proizvoda.

Tehnika spajanja ovisi o materijalu dijelova, i željenom stupnju rastavljivosti odnosno nerastavljivosti proizvoda.

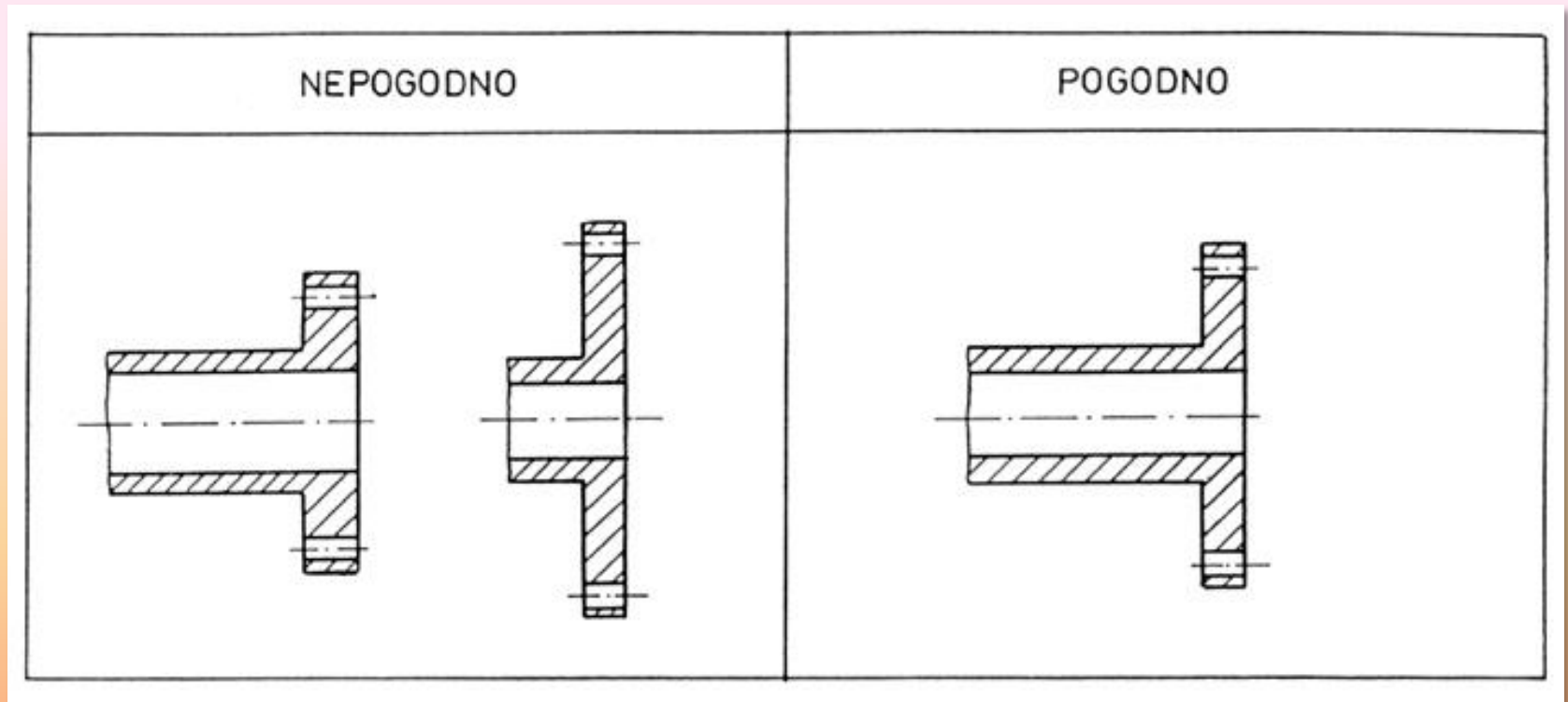


Rastavljivost proizvoda, pored funkcijskih i inih zahtjeva, uvjetovana je potrebama održavanja ili reciklaže proizvoda.

Treba nastojati koristiti tehnike spajanja koje nisu intenzivne dijelovima (izbjegavati vijčanje) i koje ne zahtijevaju dodatni materijal. Tako su kod dijelova od polimernih i tankostijenih metalnih materijala uvriježeni uskočni spojevi (spoj oblikom).

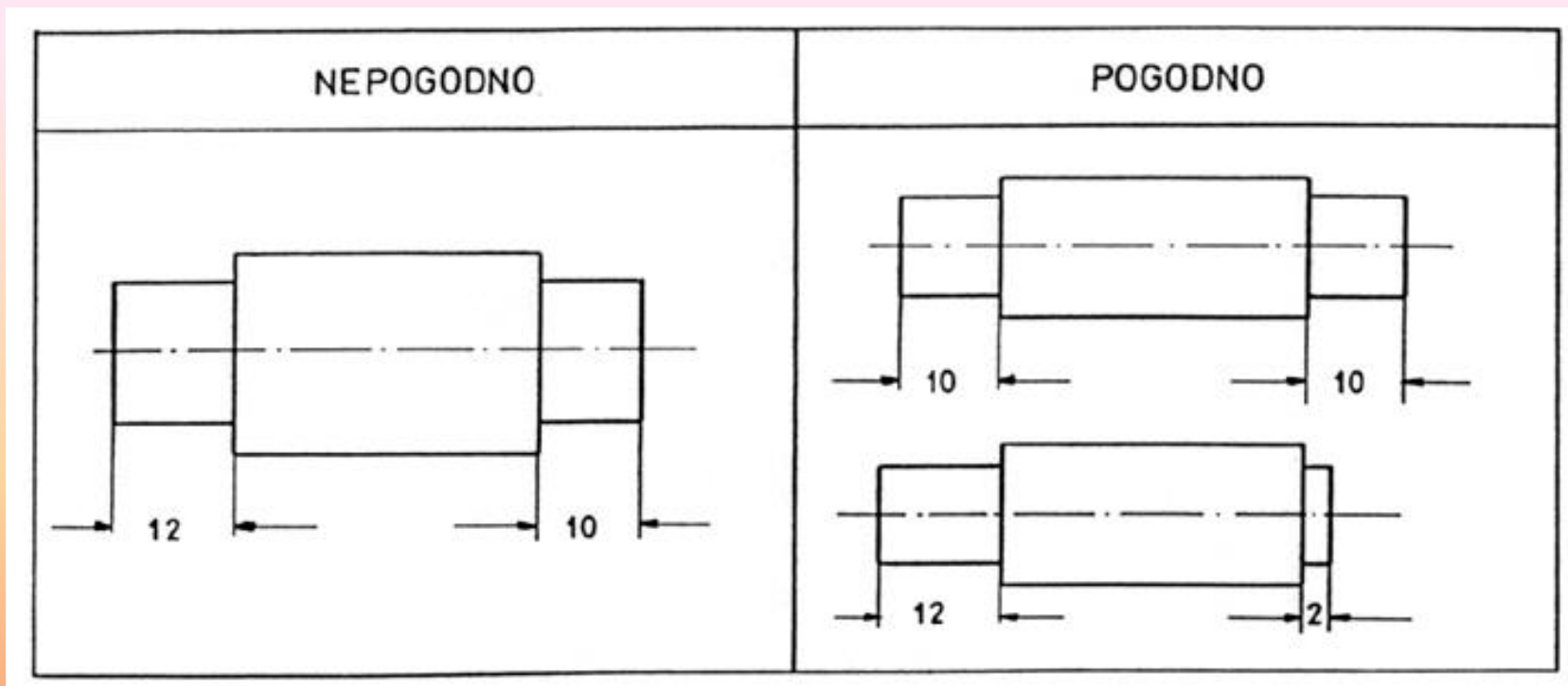
6. PRIMJENA STANDARDNIH UGRADBENIH ELEMENATA

Primjena standardnih ugradbenih elemenata pojednostavnjuje proces izradbe i osigurava visoku ponovljivost montažnoga procesa i opetovano korištenje opreme. (Veći obujam proizvodnje u pravilu ishodi snižavanjem troškova proizvodnje.)

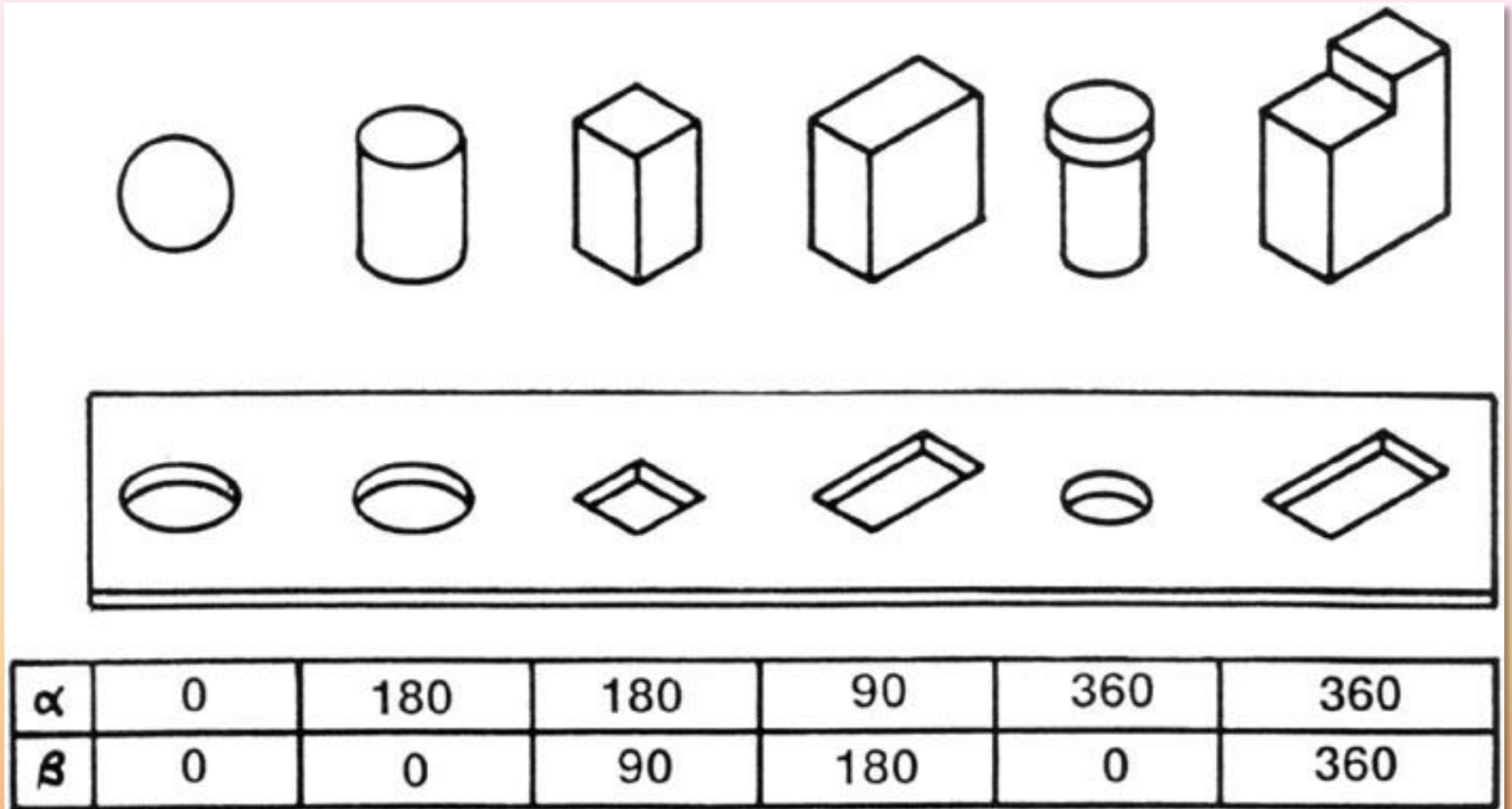


7. POGODAN OBLIK UGRADBENIH ELEMENATA

Pogodnim oblikom ugradbenih elemenata želi se olakšati izvođenje funkcija sklapanja (slaganje, orijentiranje, hvatanje, spajanje) ili potpuno ukloniti potreba za njihovim izvođenjem. U tome smislu, često se, bez obzira na eventualni rast troškova izradbe, dijelovi nastoje izvesti što simetričnijima. Međutim, ako visok stupanj simetričnosti nije postiziv, da bi se olakšalo orijentiranje dijela, treba ga oblikovati izrazito nesimetričnim.

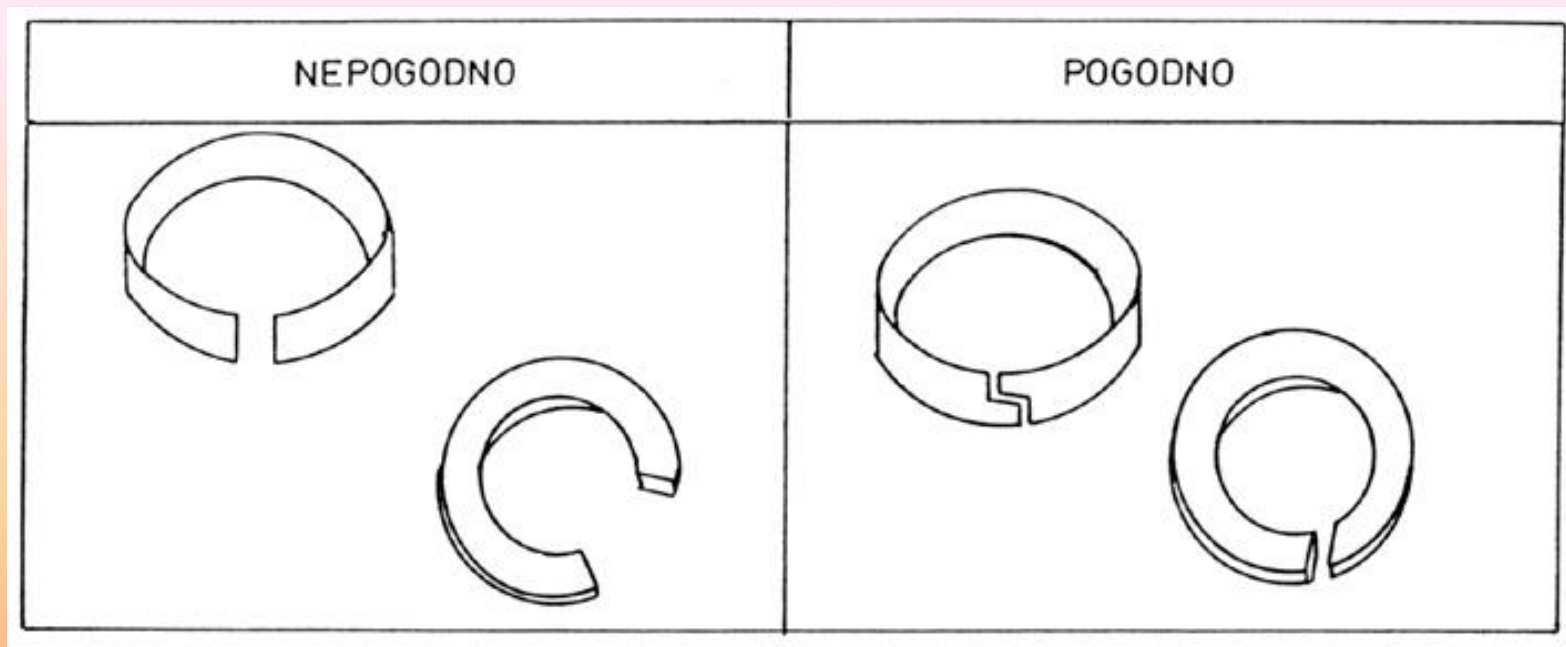


Simetričnost, odnosno nesimetričnost nekoga dijela definira se faktorima simetričnosti α i β . Faktor α jest kut za koji se dio mora okrenuti oko osi okomite osi umetanja da bi postigao prvotnu orijentaciju. Faktor β jest kut za koji se dio mora okrenuti oko osi umetanja da bi postigao prvotnu orijentaciju.



Ostali, ne manje važni činitelji koji utječu na izvedivost operacija sklapanja, jesu:

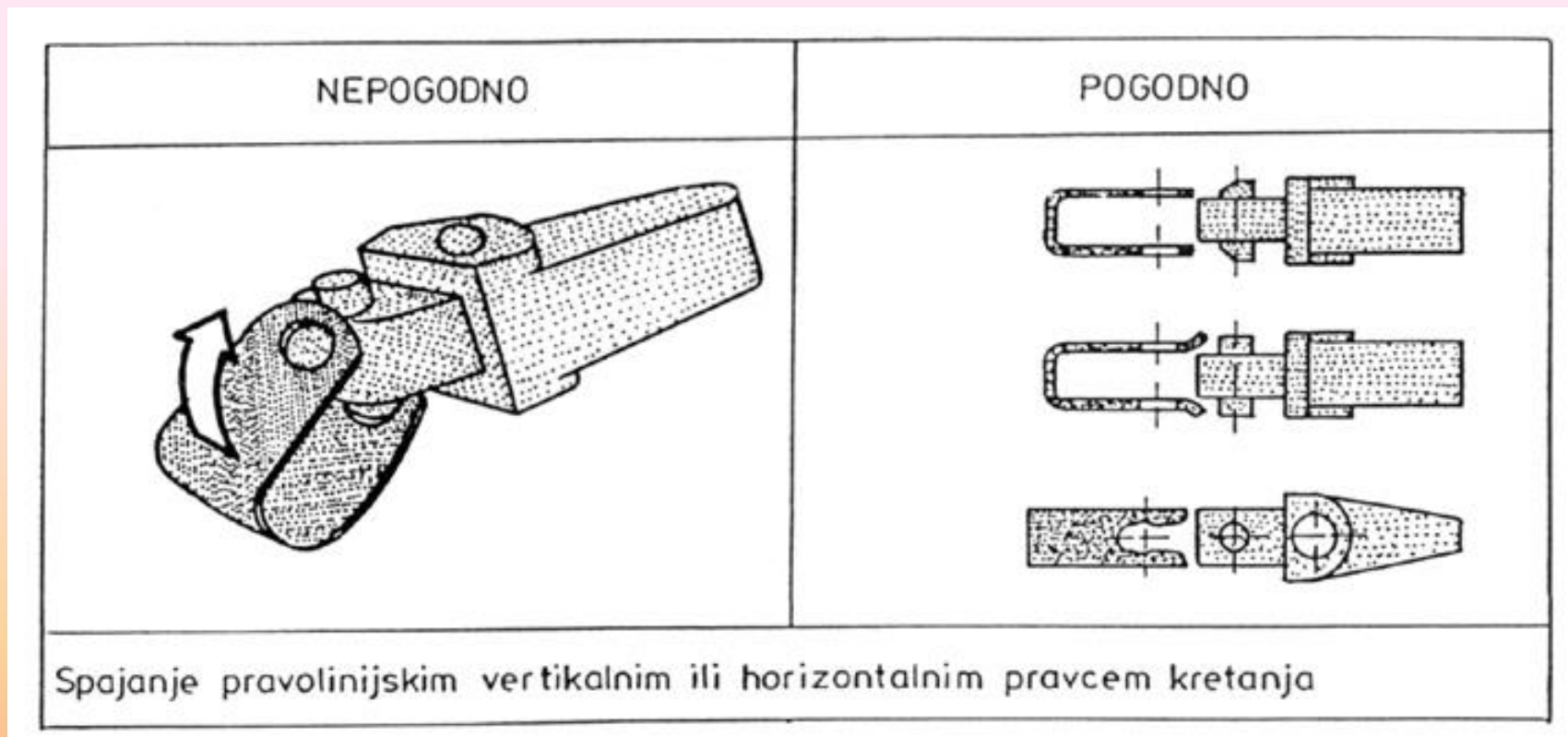
- ljepljivost,
- osjetljivost (krhkost),
- savitljivost,
- premalenost ili prevelikost,
- zapletljivost,
- sklizljivost, i
- opasnost po radnika (naprimjer oštri dijelovi).

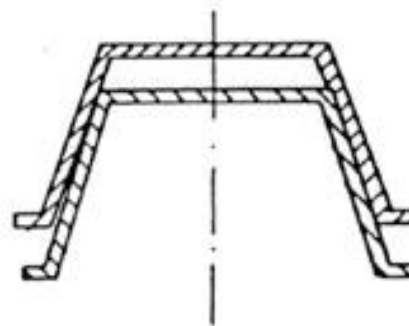
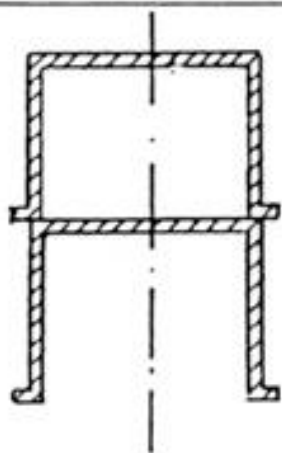


Izbjegavanje zaplitanja dijelova

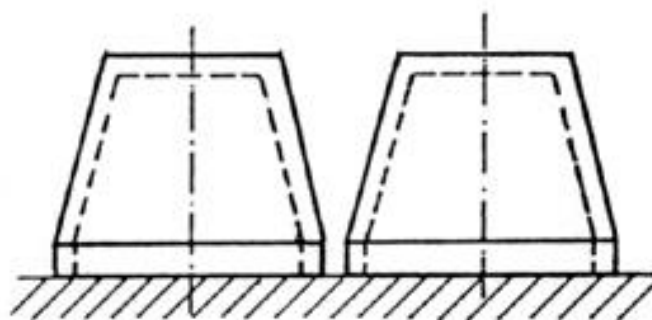
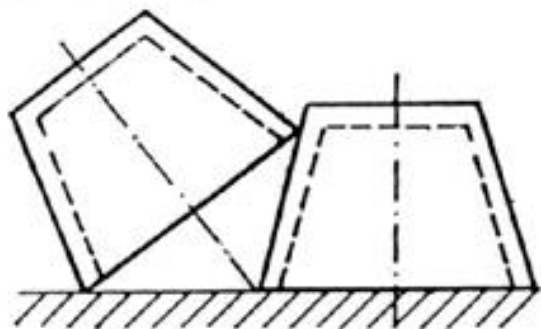
Za olakšanje izvođenja sklapanja, dijelovima se pridaju određene geometrijske značajke, poput:

- skošenja – za olakšavanje umetanja i naslagivanja,
- žlijebova i utora – za olakšavanje pozicioniranja, odnosno otklanjanje potrebe za stalnim održavanjem pozicije dijela.



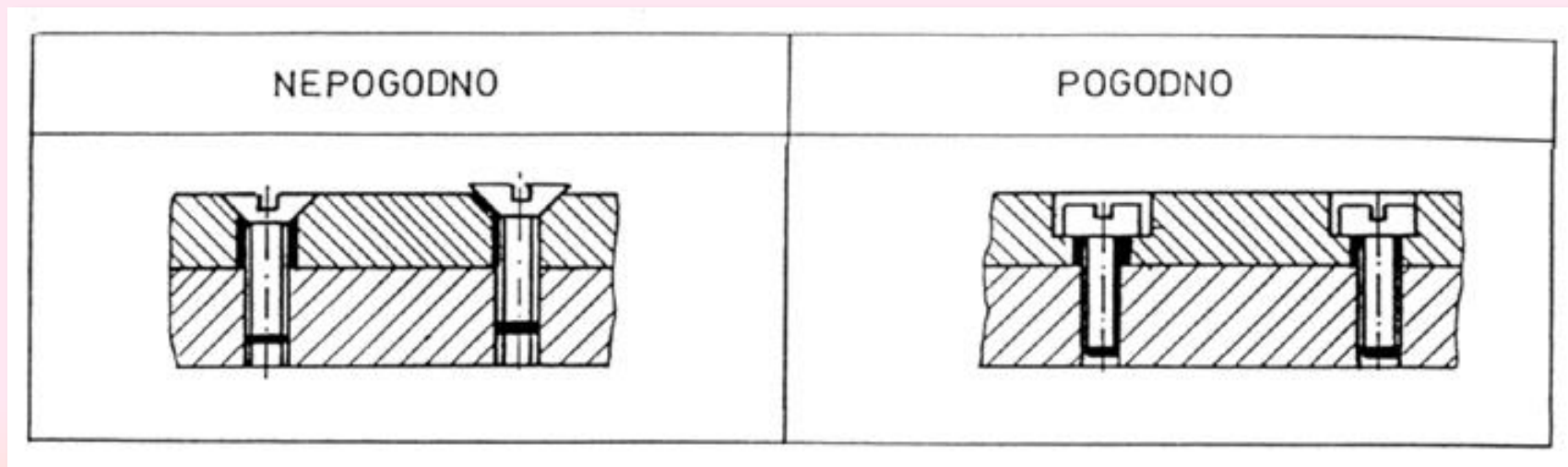


Omogućavanje slaganja ugradbenih elemenata



Sprečavanje nalijeganja ugradbenih elemenata

Oblikovanjem geometrijskih značajki dijelova svakako treba izbjeći neodređene položaje dijelova.

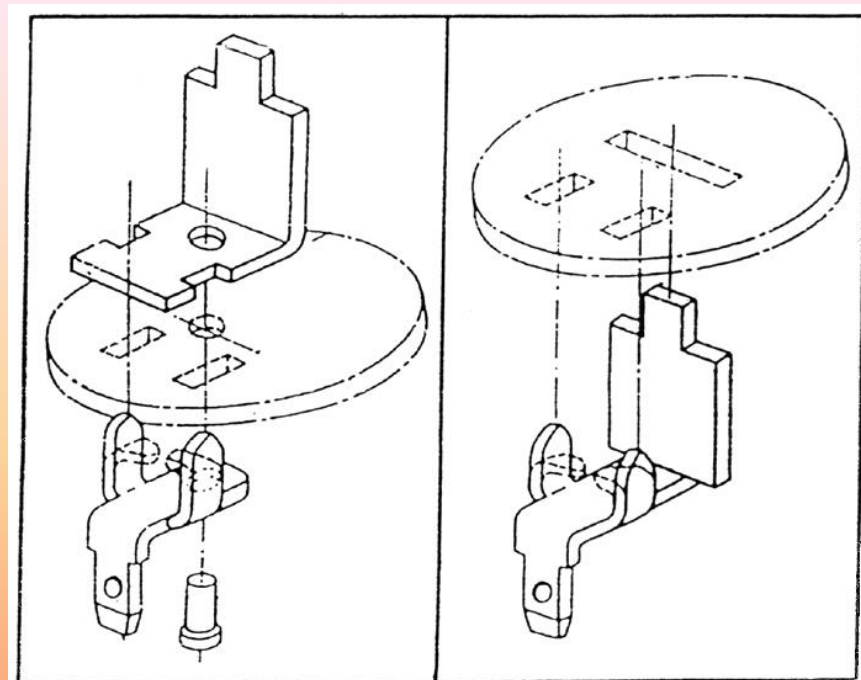


Sklop treba biti oblikovan tako da se njime daje rukovati kao pojedinačnim dijelom.

8. PRIMJENA NAČELA ELIMINACIJE I INTEGRACIJE UGRADBENIH ELEMENATA TE MINIMIRANJE BROJA VEZA (SPOJEVA) IZMEĐU DIJELOVA I SKLOPOVA

Učinkovita primjena načela eliminacije i integracije ugradbenih elemenata, te minimiranja broja veza (spojeva – sučelja) između dijelova i sklopova, uočava se kao rezultat konstruktorovoga napora da se pojedine funkcije proizvoda ostvaruju integriranim dijelovima.

Konstruktor mora imati dobre razloge za upotrebu neintegriranih dijelova (naprimjer zbog troškova izradbe), jer se integralnom izvedbom eliminiraju montažne operacije, potreba za ljudskim radom (u ručnoj montaži) i automatski montažni uređaji.

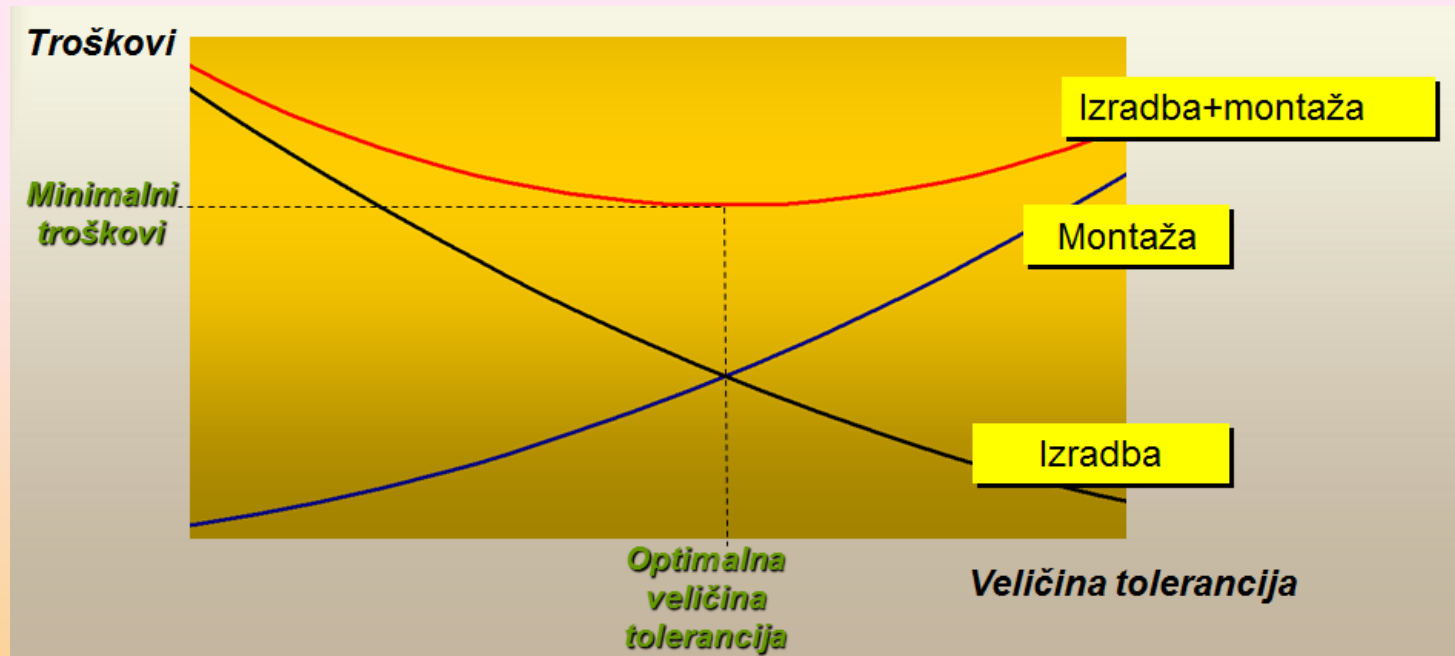


9. DEFINIRANJE ODGOVARAJUĆIH DOSJEDA UGRADBENIH ELEMENATA

Dosjedima dijelova treba se pokloniti iznimna pozornost.

Uske tolerancije poskupljuju izradbu dijelova. Međutim, za automatsku montažu tolerancije mogu biti i uže nego što se to zahtijeva namjenom proizvoda.

Odabir odgovarajućih dosjeda olakšat će oblikovanje i osigurati pouzdan rad montažnoga sustava, te smanjiti količinu defektnih proizvoda i potrebu za doradom dijelova.



Uza sve navedeno, tijekom oblikovanja proizvoda, treba se voditi računa o raspoloživoj **opremi, kadru te sposobnosti ulaganja** u opremu za realizaciju sklapanja.

Prikazana pravila **opće** su **smjernice** za dobru sklopivost proizvoda.

Međutim, njima nije obuhvaćena kvantifikacija valjanosti konstrukcija proizvoda, niti se na osnovi njih može sa sigurnošću suditi o utjecaju njihove primjene na poboljšanje konstrukcije – naime, **koliko primjena jednog pravila više pridonosi poboljšanju konstrukcije u odnosu na neko drugo pravilo.**

Netehnološka konstrukcija već u početku značajno otežava postupak projektiranja montažnoga sustava, može potpuno eliminirati mogućnost automatizacije, tako da u konačnici projektirani montažni sustav neće biti uzorno oblikovan i učinkovit.

U klasičnoj proizvodnji rješavanje proizvodnoga zadatka vremenski se poklapa s ustrojem odgovarajućih odjela, od kojih je svaki zadužen za rješavanje jednog segmenta cjelokupnog zadatka. Tako se konstruktori prije svega koncentriraju na funkciju proizvoda, prepuštajući razmatranje sklapanja tehnolozima, a ovi tehnološke nedorečenosti proizvoda i procesa vještini montažera.

Cjelovita narav montažnog zadatka nužno dovodi do toga da je sloboda svakoga odjela u rješavanju problema ograničena, pa su međe odjela često i kritična mjesta u nastojanju za učinkovitom proizvodnjom.

Nasuprot tome, teorijske spoznaje i razvoj i primjena CAD/CAE/CAM tehnologija, upravo uklanjaju međe između odjela klasične proizvodnje, ukidanjem i spajanjem odjela, ili olakšanjem razmjene podataka između njih (istodobno inženjerstvo – *Concurrent Engineering*, integrirani razvoj proizvoda, PDM, PLM).

Od konca 70-ih godina, s porastom udjela troškova sklapanja, počela se sustavno poklanjati pozornost problemu oblikovanja za sklapanje, koja je rezultirala razvojem i efikasnom primjenom niza **metoda za analizu i preoblikovanje proizvoda (Design For Assembly – DFA)**, softverski praćenih.

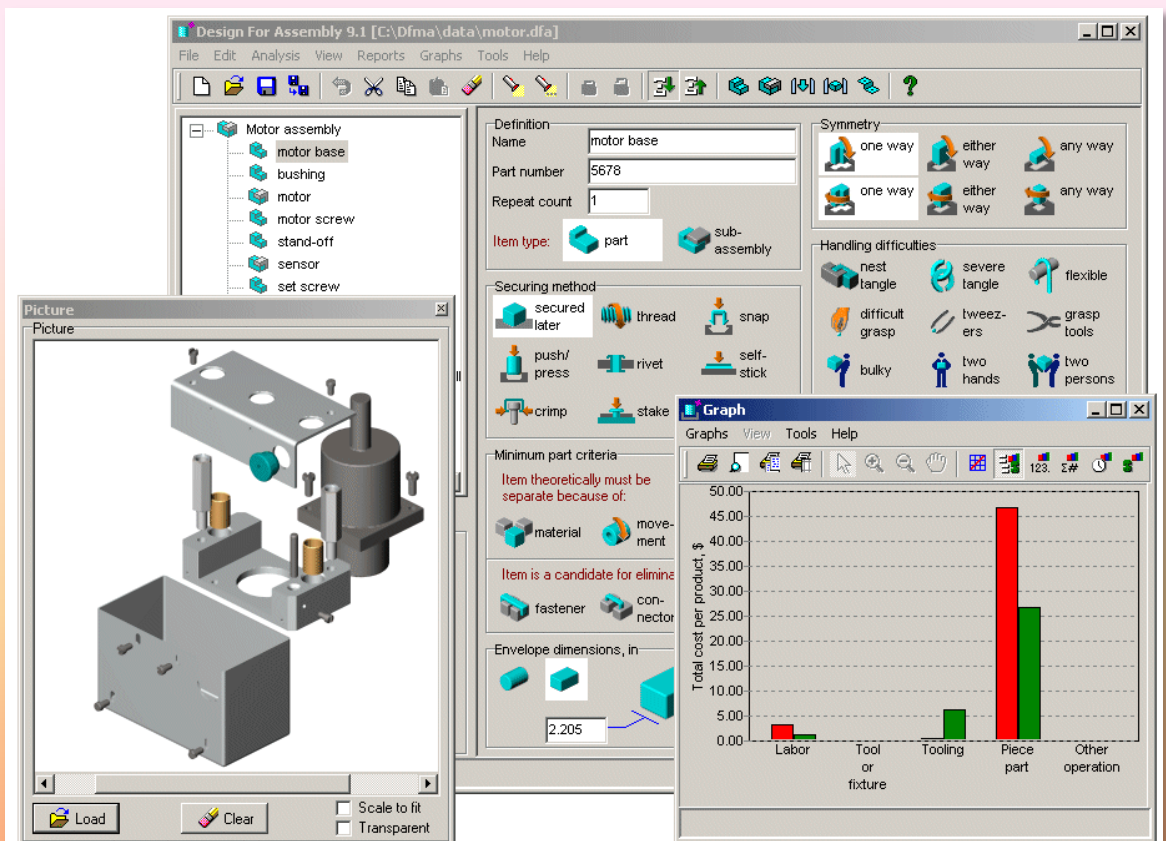
Boothroyd i Dewhurst navode sljedeće ciljeve primjene DFA metoda:

1. smanjenje ovisnosti konstruktora o tehnologu (koncentracija znanja);
2. metodičko vođenje konstruktora prema pojednostavnjenju proizvoda (sustavnost);
3. omogućavanje efikasnog rada i konstruktorima koji ne posjeduju veliko iskustvo;
4. uspostava baze podataka koja sadrži vremena sklapanja i troškovne činitelje za različite situacije oblikovanja i uvjete proizvodnje.

Metode za analizu i preoblikovanje proizvoda sadrže odgovarajuće **procedure** kojima se ispituje sklopivost proizvoda.

Procedure objedinjuju inženjersko znanje i iskustvo s nakanom da se oblikovanje proizvoda otpočeka usmjeri prema rješenjima koja će jamčiti postizanje racionalnoga sklapanja, ili da se spoznaju značajke proizvoda tržišnih takmaca.

Metode se koriste za postojeće proizvode ili prototipove, ali i u ranim, konceptualnim fazama oblikovanja, radije no da se već zgotovljena konstrukcija mora odbaciti i preoblikovati (redizajnirati).



METODE OBLIKOVANJA PROIZVODA ZA SKLAPANJE

Boothroydova i Dewhurstova metoda DFA (*Design For Assembly* – Oblikovanje proizvoda za sklapanje)

Hitachi AEM (*Assemblability Evaluation Method* – Metoda procjene sklopivosti)

Lucas *Design For Assembly Method* (Metoda oblikovanja proizvoda za montažu)

Sony DAC (*Design for Assembly Cost-effectiveness* – Oblikovanje proizvoda za troškovno učinkovitu montažu, *Design Analysis Control* – Upravljanje analizom oblikovanja)

Boothroydova i Dewhurstova DFA metoda

www.dfma.com

Autori: G. Boothroyd i P. Dewhurst, 1980., USA.

Svrha:

Sniženje troškova sklapanja, uz povišenje kvalitete i skraćenje vremena realizacije proizvoda na tržištu.

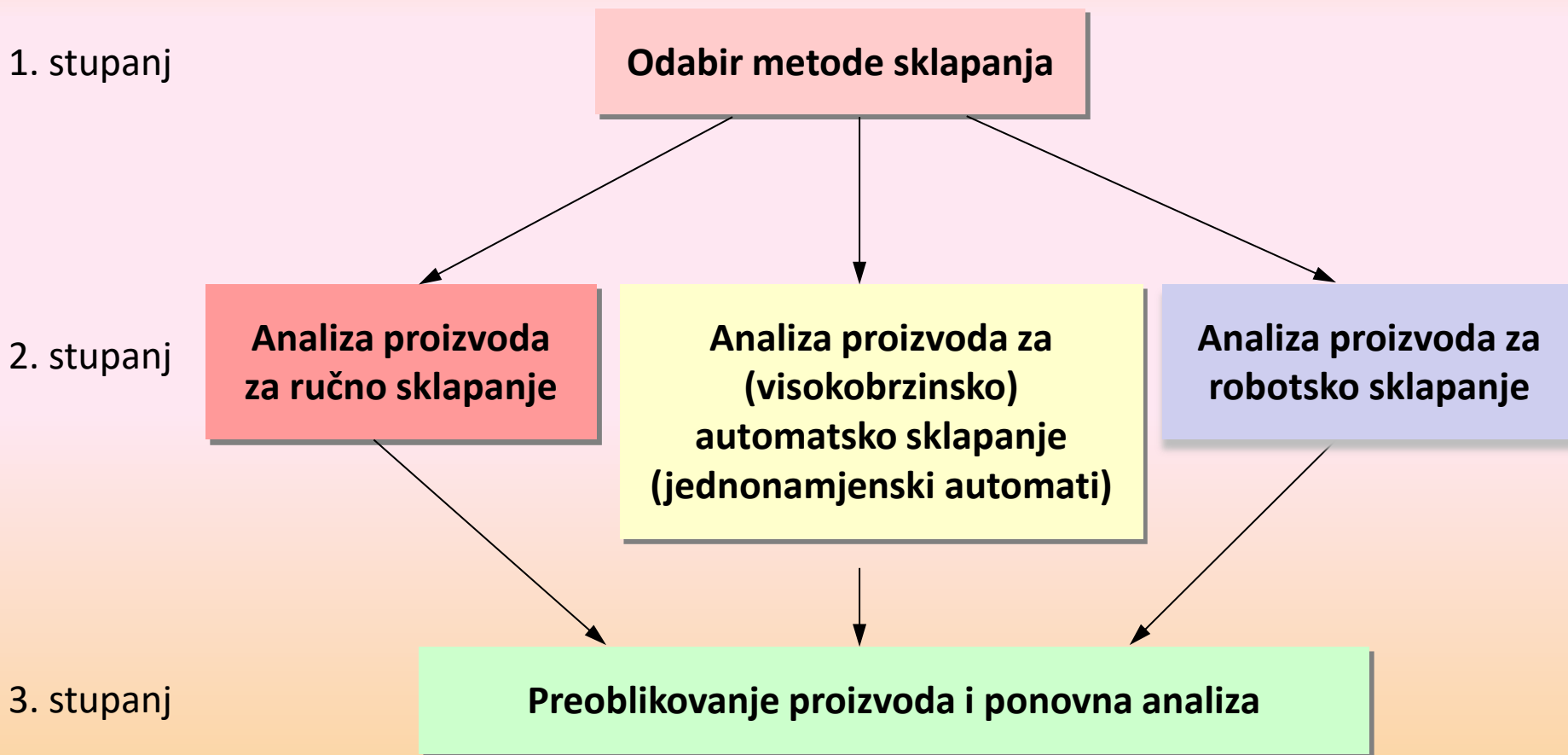
Ciljevi:

- 1. minimirati broj ugradbenih elemenata,**
- 2. ostvariti uvjete za olakšano spajanje preostalih ugradbenih elemenata.**

Rezultati metode:

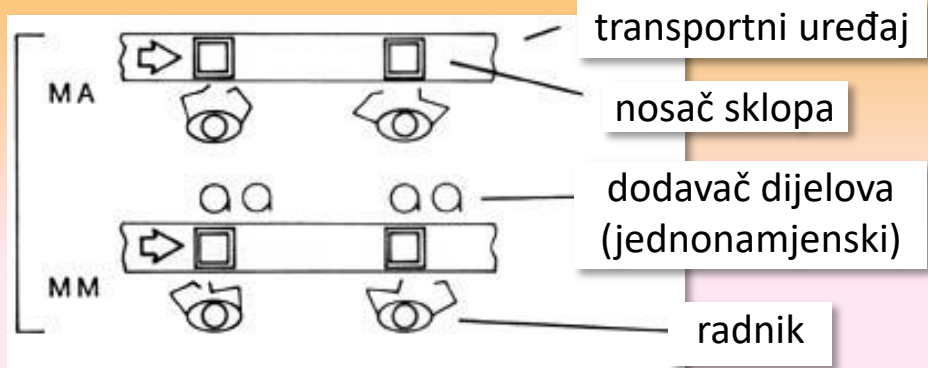
- 1. procjena vremena i troškova sklapanja,**
- 2. kvantifikacija efikasnosti oblikovanja – različite konstrukcije (po namjeni) istih proizvoda mogu se uspoređivati.**

... the “tent”-based Model 3 line, contrary to Elon Musk’s initial plans for a fully-automated car factory, is currently filled with human workers. Musk noted during the segment that “People are way better at dealing with unexpected circumstances than robots,” while sharing a laugh with some workers assembling the Model 3.



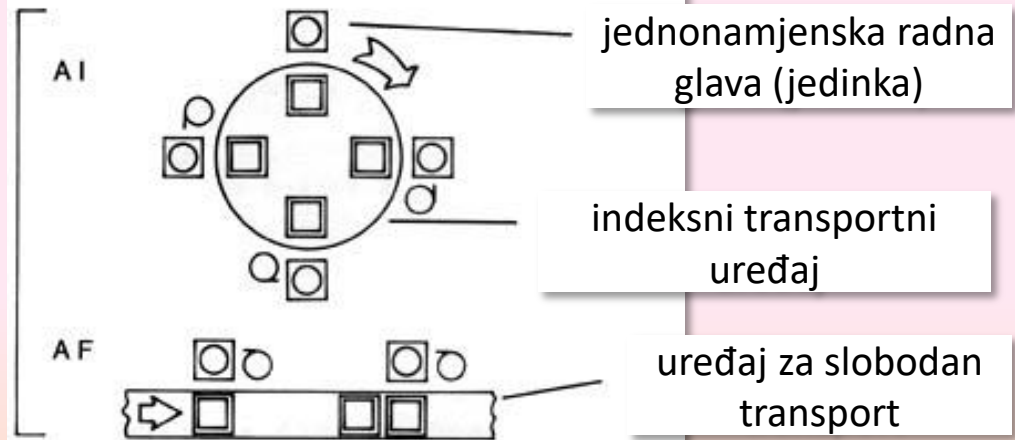
Stupnjevi odvijanja DFA metode

RUČNI SUSTAVI

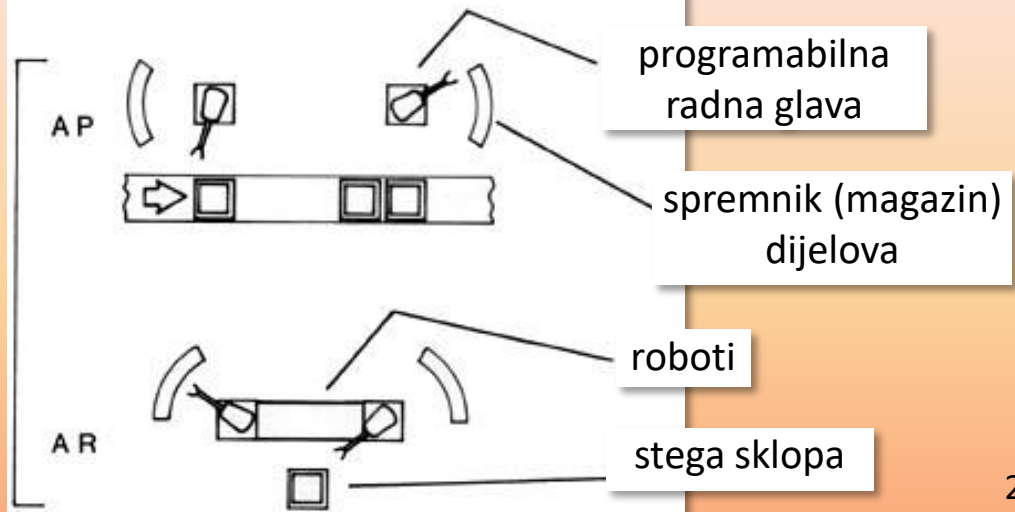


Vrste montažnih sustava po Boothroydu i Dewhurstu

JEDNONAMJENSKI (VISOKOBRZINSKI) AUTOMATSKI SUSTAVI



PROGRAMABILNI AUTOMATSKI SUSTAVI



NP > 1	Različiti proizvodi. Ručno namještanje potrebno za neke dijelove. Promjenjiva potražnja ili malena investicijska sposobnost.
	Različiti proizvodi, uz veliku sličnost. Ručno namještanje nepotrebno. Manje od 2 % defektnih dijelova. (6)

NP = 1							
Proizvod ima tržišni vijek barem tri godine, bez značajnih promjena u potražnji. Ručno namještanje nije potrebno ni za jedan dio. Broj defektnih dijelova je manji od 2 %. (1 i 2)							
NT < 1,5 NA (3) i ND < 0,5 NA (4)				NT ≥ 1,5 NA (3) ili ND ≥ 0,5 NA (4)			
RI ≥ 5	5 > RI > 2	2 ≥ RI ≥ 1	RI < 1	RI ≥ 5	5 > RI > 2	2 ≥ RI ≥ 1	RI < 1



Karta 1. Odabir metode sklapanja

**DFA:
Odabir metode sklapanja**

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
VS > 0,65	NA ≥ 16	0	AF	AF	AF	MM (AF)	AP	AP	AP (MM)	MM	MA (AP)	MA
	15 ≥ NA ≥ 7	1	AF	AF (AI)	AI (AF)	MM (AI)	AP	AP	MM (AP)	MM	MA	MA
	NA ≤ 6	2	AI	AI	AI	AI	AI	AI (AP)	MM	MM	MA	MA
0,65 ≥ VS > 0,4	NA ≥ 16	3	AP	AP	MM (AP)	MM	AP	AP	AP	MA (MM)	MA	MA
	15 ≥ NA ≥ 7	4	AI	AI	AI	MM	AP	AP	MM (AP)	MA (MM)	MA	MA
	NA ≤ 6	5	AI	AI	MM (AI)	MM	AI (MM)	MM	MM	MA (MM)	MA	MA
0,4 ≥ VS > 0,2	NA ≥ 16	6	AP	AP	MM	MM	AP	AP	AP	MA	MA	MA
	15 ≥ NA ≥ 7	7	AI (MM)	MM	MM	MM	AP	MM	MA (MM)	MA	MA	MA
	NA ≤ 6	8	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MA (MM)	MA	MA	MA
VS ≤ 0,2	9	MM	MM	MM (MA)	MA	MM	MA	MA	MA	MA	MA	

Označavanje u karti



niski troškovi



umjereni troškovi



visoki troškovi

Unutar karti, brojevi u zagradama pisani *italikom* označavaju broj napomene (vrijedi u svim kartama).

NP - broj različitih proizvoda koje će se sklapati prve tri godine u osnovi istim montažnim sustavom

NT - ukupan broj dijelova proizvoda uključujući i one za tvorbu varijanti

NA - broj dijelova u proizvodu

ND - broj dijelova u proizvodu kojima će se promijeniti dizajn u prve tri godine

RI - investicijska sposobnost tvrtke, $RI = SH \times QE/WA$ (5)

SH - broj radnih smjena

QE - investicijska sredstva tvrtke, za zamjenu jednog radnika u montaži, u jednoj smjeni, USD

WA - godišnja cijena jednog radnika u montaži uključujući i režijske troškove, USD

VS - godišnja proizvodna količina po smjeni, u milijunima

MA - ručni sustav

MM - mehanizirani ručni sustav

AI - jednonamjenski automatski sustav, sinkroni

AF - jednonamjenski automatski sustav, nesinkroni

AP - programabilni automatski sustav

AR - programabilni automatski sustav, robotski (Nije naveden u karti.)

Napomene

- (1) **Defektni dijelovi** mogu uzrokovati razne poteškoće u radu automatskih montažnih strojeva, blokirajući uređaje za dodavanje, čime se sprečavaju operacije radne glave. Defektni dijelovi mogu biti naprimjer vijci bez glave, otkrnuti dijelovi, strugotina itd. Smatra se da se automatizacija ne može uspješno provesti ako je udio defektnih dijelova veći od 2 %.
- (2) U razmatranju mogućnosti automatske montaže nekoga proizvoda treba pretpostaviti da će montažni sustav realizirati jednolike **količine proizvoda**. Stoga značajne poremećaje u zahtijevanim količinama treba kompenzirati stvaranjem zaliha. Međutim, kako stvaranje zaliha može biti vrlo skupo, to se razmatranje automatske montaže takvih proizvoda mora obaviti iznimno pozorno.
- (3) U automatskim montažnim sustavima, koristeći alternativne dijelove na radnim stanicama, mogu se dobiti **varijante** nekog **proizvoda**. Tada se moraju dati "upute" montažnome uređaju (stroju) koji se dio, između alternativnih, treba umetati. Naprimjer, kod montaže triju dijelova s dvije alternative za svaki dio, može se dobiti osam varijanti proizvoda.
- (4) U kodnome sustavu, jedna **promjena proizvoda** znači da će trebati novi uređaj za dodavanje dijelova i nova radna glava na automatskom montažnom stroju.
- (5) Važan činilac u razmatranju investicija za automatsku opremu je **investicijska sposobnost** poduzeća RI. Što je veći broj smjena, i što je viši iznos investicija za zamjenu jednog radnika u montaži, to je veća mogućnost automatizacije.
- (6) Sustavi označeni zagradama su ne više od 10 % manje ekonomični od optimalnog montažnog sustava u istome polju.

Postupak:

- 1. izračunati RI: $RI = SH \cdot QE / WA$**
- 2. odabrati redak u Karti 1.**
- 3. odabrati stupac u Karti 1.**
- 4. rješenje**
- 5. diskusija rješenja – varijante.**

Nadnice

<http://www.tportal.hr/vijesti/svijet/331476/Kolika-je-minimalna-placa-u-zemljama-EU-a.html>

<http://www.h-alter.org/vijesti/praznik-rada-u-sad-u>

DFA: Analiza proizvoda za ručno sklapanje

Ciljevi:

- ❑ odlučivanje o tome može li se neki ugradbeni element eliminirati ili integrirati,
- ❑ procjena vremena rukovanja i umetanja,
- ❑ identifikacija dijelova koji uzrokuju visoke troškove,
- ❑ izračunavanje efikasnosti oblikovanja za ručnu montažu:

$$EM = \frac{3 \cdot NM}{TM}$$

NM – teoretski minimalan broj dijelova u proizvodu

TM – ukupno vrijeme montaže, [s].

Obrazac, karte 2. i 3.

Postupak:

- 1. dobiti informacije o proizvodu**
- 2. rastaviti proizvod, ili zamisliti kako bi to izgledalo (s dodjelom identifikacijskih brojeva)**
- 3. sklapati proizvod i ispuniti po jedan redak obrasca za svaki ugradbeni element**
- 4. izračunati zbirne vrijednosti i *EM*.**

Pitanja za određivanje teoretski minimalnog broja dijelova

1. Je li dio pomičan u odnosu na već sklopljene dijelove?
2. Treba li dio biti od drugačijega materijala, ili izoliran, od već sklopljenih dijelova?
3. Treba li dio biti odvojen od već sklopljenih dijelova budući da bi u suprotnome sklapanje ili rasklapanje tih drugih dijelova bilo nemoguće?

Karta 2. RUČNO RUKOVANJE – PROCIJENJENA VREMENA, s

Definicije

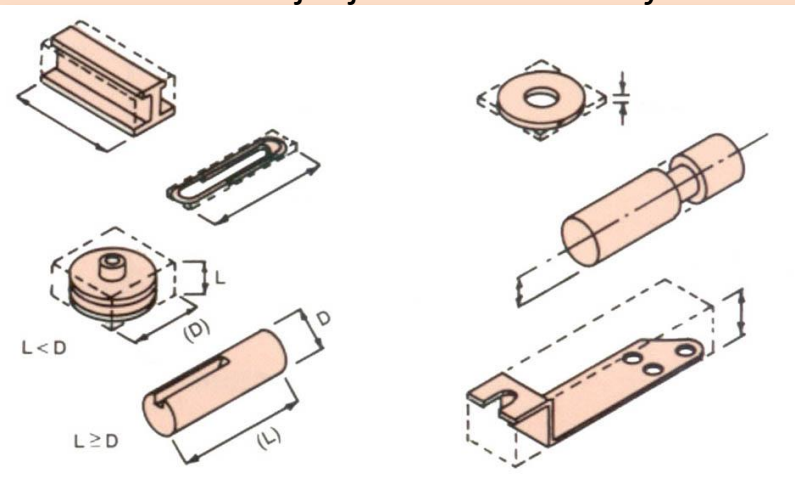
Ručno rukovanje uključuje hvatanje, pomicanje (transportiranje) i orijentiranje dijelova ili sklopova prije no što se umetnu ili dodaju u nosač (stegu) ili narastajući proizvod.

α *simetrija* jest rotacijska simetrija dijela oko osi okomite osi umetanja. Za dijelove s jednom osi umetanja, orijentacija s kraja na kraj potrebna je za $\alpha = 360^\circ$; inače $\alpha = 180^\circ$.

β *simetrija* je rotacijska simetrija dijela oko osi umetanja, ili ekvivalentno, oko osi koja je okomita na plovu na koju je dio položen (postavljen) tijekom sklapanja (Slika). Vrijednost rotacijske simetrije je najmanji kut za koji dio može biti rotiran da ponovi svoju (prvotnu) orijentaciju. Za valjak umetnut u kružni provrt, $\beta = 0^\circ$; za dio kvadratnoga presjeka umetnutog u kvadratni provrt $\beta = 90^\circ$.

Debljina je duljina najkraće stranice najmanje pravokutne prizme koja ovija dio. Ako je dio valjkast, ili posjeduje pravilni poligonalni presjek s pet ili više stranica, i ako je promjer valjka manji od duljine, tada se debljina definira kao polumjer najmanjeg valjka koji može oviti dio.

Veličina je duljina najduže stranice najmanje pravokutne prizme koja može oviti dio. U karti je termin *veličina* zamijenjen terminom *duljina*.



Definiranje ovojnice, duljine i debljine

		dijelovima je lako rukovati					otežano rukovanje dijelovima (1)					
debljina [mm]...		> 2			≤ 2		> 2			≤ 2		
duljina [mm]...		> 15	≥ 6 i ≤ 15	< 6	> 6	≤ 6	> 15	≥ 6 i ≤ 15	< 6	> 6	≤ 6	
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
dijelovima se može rukovati jednom rukom , bez pomoći alata za hvatanje	$(\alpha+\beta) < 360^\circ$	0	1,13	1,43	1,88	1,69	2,18	1,84	2,17	2,65	2,45	2,95
	$360^\circ \leq (\alpha+\beta) < 540^\circ$	1	1,5	1,8	2,25	2,06	2,55	2,25	2,57	3,06	3	3,38
	$540^\circ \leq (\alpha+\beta) < 720^\circ$	2	1,8	2,1	2,55	2,36	2,85	2,57	2,9	3,38	3,18	3,7
	$(\alpha+\beta) = 720^\circ$	3	1,95	2,25	2,7	2,51	3	2,73	3,06	3,55	3,34	4

		za rukovanje dijelovima trebaju...										
		pincete								standardni alati drugačiji od pinceta	specijalni alati	
		bez optičkog povećanja				uz optičko povećanje						
rukovanje dijelovima...		lako		otežano (1)		lako		otežano (1)				
debljina [mm]...		> 0,25	≤ 0,25	> 0,25	≤ 0,25	> 0,25	≤ 0,25	> 0,25	≤ 0,25	8	9	
dijelovima se može rukovati jednom rukom , ali samo koristeći alat za hvatanje (sitni dijelovi)	$\alpha \leq 180^\circ$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	$0 \leq \beta \leq 180^\circ$	4	3,6	6,85	4,35	7,6	5,6	8,35	6,35	8,6	7	7
	$\beta = 360^\circ$	5	4	7,25	4,75	8	6	8,75	6,75	9	8	8
	$\alpha = 360^\circ$	6	4,8	8,05	5,55	8,8	6,8	9,55	7,55	9,8	8	9
	$\beta = 360^\circ$	7	5,1	8,35	5,85	9,1	7,1	9,55	7,85	10,1	9	10

		nema dodatnih poteškoća pri rukovanju					dodatne poteškoće pri rukovanju (1)				
		$\alpha \leq 180^\circ$		$\alpha = 360^\circ$			$\alpha \leq 180^\circ$		$\alpha = 360^\circ$		
		duljina [mm]									
		> 15	≥ 6 i ≤ 15	< 6	> 6	≤ 6	> 15	≥ 6 i ≤ 15	< 6	> 6	≤ 6
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
dvjema rukama - dijelovi se čvrsto ugnježđuju ili zapliću, ili su savitljivi, ali se mogu hvatati i podizati jednom rukom (korištenjem alata za hvatanje ako je potrebno) (2)	8	4,1	4,5	5,1	5,6	6,75	5	5,25	5,85	6,35	7

		dijelovima može rukovati jedna osoba bez mehaničke pomoći								dijelovi se čvrsto ugnježđuju ili zapliću, ili su savitljivi (2)	dvije osobe ili mehanička pomoć potrebni za rukovanje
		dijelovi se čvrsto ne ugnježđuju niti zapliću, nisu savitljivi									
		masa dijela < 4,54 kg (10 lb)				masa dijela > 4,54 kg (teški)					
		rukovanje dijelovima...									
		lako		uz poteškoće (1)		lako		uz poteškoće (1)			
		$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	8	9
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
dvije ruke, dva radnika ili mehanička pomoć, potrebni su za hvatanje i transportiranje dijelova (velike duljine)	9	2	3	2	3	3	4	4	5	7	9

Napomene

- (1) Prilikom rukovanja dijelovima može doći do poteškoća ako se dijelovi ugnježđuju, zapliću, ili naliježu jedan na drugi, djelovanjem magnetičnosti ili maziva, ako su vrlo glatki ili zahtijevaju brižno rukovanje. Dijelovi koji se ugnijezde ili zapliću su oni dijelovi koji se zapliću kada su u nesređenoj gomili, ali se mogu odvojiti jednostavnim rukovanjem pojedinačnim dijelom (naprimjer spiralne opruge). Dijelovi koji su skliski (glatki) su oni koji lako iskliznu iz prstiju ili standardnog alata za hvatanje. Dijelovi kojima treba pažljivo rukovati su oni koji su lomljivi (krhki) ili mekani, imaju oštre bridove ili predstavljaju drugu opasnost za radnika.
- (2) Dijelovi koji se čvrsto ugnijezde ili zapletu su oni dijelovi koji se u gomili tako zapletu da je potrebno upotrijebiti obje ruke za razdvajanje. Savitljivi dijelovi su takvi da se tijekom rukovanja jako deformiraju zahtijevajući korištenje dviju ruku (naprimjer gumene ploče i remenje).

Karta 3. RUČNO UMETANJE (SPAJANJE) – PROCIJENJENA VREMENA, s

Napomene

- (1) Dio je čvrst ili nečvrst element u nekom montažnom procesu. Sklop se smatra dijelom ako se dodaje tijekom montaže. Ljepila, tekućine, punjenja i slično, koji se koriste za spajanje dijelova, ne smatraju se dijelovima.
- (2) Otežan pristup znači da prostor raspoloživ za montažnu operaciju uzrokuje znatno povećanje vremena montaže. Ograničen pogled znači da se radnik tijekom montažnog procesa mora osloniti uglavnom na osjetilo dodira.
- (3) Potreba za pridržavanjem dijela znači da je dio nestabilan nakon postavljanja ili umetanja, ili tijekom sljedećih operacija, te da dio treba hvatati, nanovo prikloniti ili pridržavati prije no što je konačno osiguran. Pridržavanje se odnosi na takvu operaciju, kojom se, ako je potrebno, održava položaj ili orijentacija već postavljenog dijela, prije, ili tijekom iduće operacije sklapanja. Dio je smješten ako ne zahtijeva pridržavanje ili ponovno poravnavanje za sljedeće operacije, i ako je samo djelomice osiguran.
- (4) Dio je lako poravnati i smjestiti (pozicionirati), ako je položaj dijela osiguran određenim smještajućim značajkama dijela, ili značajkama onoga dijela s kojime se dio spaja, a samo je umetanje olakšano dobro oblikovanim skošenjima ili sličnim značajkama.
- (5) Otpor koji nastaje za vrijeme umetanja dijela može biti uslijed: malenih zračnosti, zaglavljivanja ili uklještenja dijelova, nepravilnog položaja dijela ili umetanja dijela uz veliku silu otpora. Naprimjer, prešani spoj jest interferencijski spoj gdje se zahtijeva velika sila za sklapanje.
- (6) Standardno vrijeme za pritezanje vijaka uključuje dodatno vrijeme za uzimanje alata (vijčala), vijčanje vijka ili matice i otpuštanje (ispuštanje) alata. Ako treba nekoliko vijaka umetnuti i/ili pritegnuti slijedno, točniji račun za stupac 7 obrasca za ručno sklapanje jest: $(2) \times [(4)+(6)-3]+3$, gdje su (2), (4) i (6) iznosi u stupcima: 2., 4. i 6.

		nakon spajanja dio nije potrebno pridržavati da se zadrže orijentacija i pozicija dijela (3)				dio je potrebno pridržavati tijekom sljedećih operacija kako bimu se zadržali orijentacija ili pozicija (3)						
poravnavanje i smještanje dijela, tijekom spajanja ...		lako (4)		otežano		lako (4)		otežano				
otpor umetanju...		ne	da (5)	ne	da (5)	ne	da (5)	ne	da (5)			
		0	1	2	3	6	7	8	9			
dodavanje dijela (1), pri čemu nijedan dio još nije odmah konačno osiguran	dio i pridruženi alat (uključujući ruke) mogu lako doseći zahtijevani položaj	0	1,5	2,5	2,5	3,5	5,5	6,5	6,5	7,5		
	dio i pridruženi alat (uključujući ruke) ne mogu lako doseći zahtijevani položaj	1	4	5	5	6	8	9	9	10		
	zbog otežanog pristupa ili ograničenog pogleda (2)											
zbog otežanog pristupa i ograničenog pogleda (2)	2	5,5	6,5	6,5	7,5	9,5	10,5	10,5	11,5			
		nema operacije pritezanja ili plastične deformacije odmah po umetanju		plastična deformacija neposredno poslije umetanja				pritezanje vijaka odmah po umetanju (6)				
				plastično savijanje ili uvijanje		zakivanje ili slična operacija						
poravnavanje i smještanje tijekom spajanja...												
		lako, bez otpora umetanju (4)	otežano i/ili otpor umetanju (5)	lako (4)			otežano			lako (4)	otežano i/ili otpor uvijanju (5)	
				bez otpora umetanju	otpor umetanju (5)	lako (4)	bez otpora umetanju	otpor umetanju (5)	lako (4)			otežano
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
dodavanje dijela (1), pri čemu su dodavani dio ili drugi dijelovi odmah konačno osigurani	dio i pridruženi alat (uključujući ruke) mogu lako doseći zahtijevani položaj i alatom se lako rukuje	3	2	5	4	5	6	7	8	9	6	8
	dio i pridruženi alat (uključujući ruke) ne mogu lako doseći zahtijevani položaj, ili se alatom ne može lako rukovati	4	4,5	7,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	8,5	10,5
	zbog otežanog pristupa ili ograničenog pogleda (2)											
zbog otežanog pristupa i ograničenog pogleda (2)	5	6	9	8	9	10	11	12	13	10	12	
		mekhanički postupci spajanja - dijelovi su već u pravom položaju, ali nisu osigurani odmah po umetanju				nemekhanički postupci spajanja - dijelovi su već u pravom položaju, ali nisu osigurani odmah po umetanju				nema postupka spajanja		
		nikakva ili mala plastična deformacija			velika plastična deformacija (dio se u velikoj mjeri plastično deformira tijekom spajanja)			metalurški postupci		kemijski - npr. lijepljenje	rukovanje dijelovima ili sklopom - npr. orijentiranje, podešavanje	drugi postupci - npr. umetanje u tekućini
		savijanje ili slični	zakivanje ili slični	pritezanje vijaka ili drugi	nije potreban dodatni materijal - npr. elektro-otporno zavarivanje	potreban dodatni materijal	lemljenje	zavarivanje				
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Posebna operacija – montažni postupci gdje su svi čvrsti dijelovi u pravom položaju	9	4	7	5	3,5	7	8	12	12	9	12	

DFA: Preoblikovanje proizvoda za ručnu montažu i ponovna analiza

Razmotriti mogućnosti:

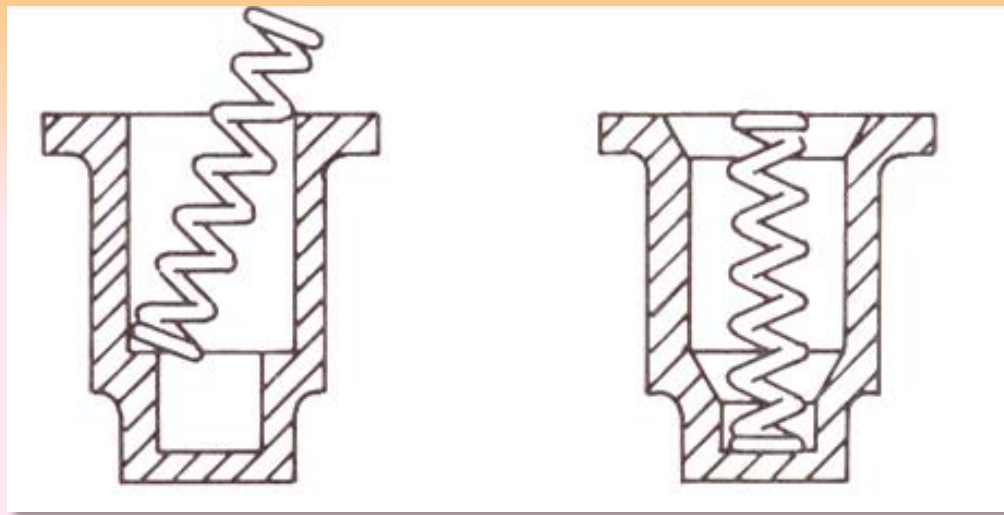
1. smanjenja broja dijelova (2. i 9. stupac obrasca),
2. poboljšanja rukovanja i spajanja uočavanjem dugačkih vremena i nalaženjem njihovih uzroka (4. i 6. stupac obrasca; koristiti karte kao vodič).

Primjena rezultata metode ipak u praksi može biti podložna nekim ograničenjima. Postojeći proizvod, iako utvrđeno montažnonetehnologičan, može biti atestiran, pa njegovo preoblikovanje zahtijeva i ponovno atestiranje.

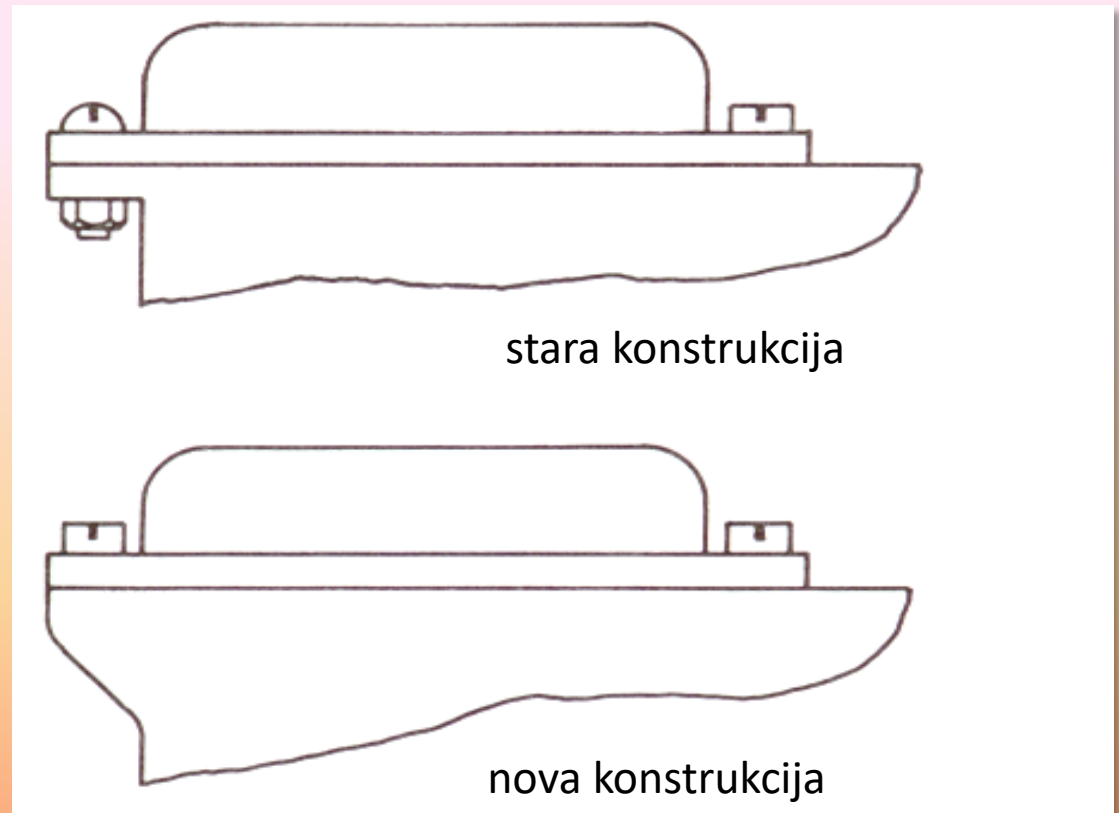
Nadalje, poboljšana se konstrukcija u konkretnome slučaju može pokazati neekonomičnom glede izradbe, ili neizvedivom zbog nedostatka odgovarajućih sredstava za proizvodnju, ili pak zbog otpora promjenama unutar same tvrtke.

Načela za oblikovanje proizvoda za ručnu montažu

- smanjiti broj i različitost ugradbenih elemenata
- nastojati izbjeći podešavanje (ugađanje)
- oblikovati dijelove da se sami pozicioniraju i poravnaju
- osigurati pristup i neograničen pogled mjestu montaže
- oblikovati dijelove za lako hvatanje iz hrpe
- minimirati potrebu za preorijentiranjem dijelova za vrijeme procesa montaže
- oblikovati ugradbene elemente da se ne mogu pogrešno sklopiti
- maksimirati simetriju dijelova ili dijelove načiniti izrazito asimetričnima

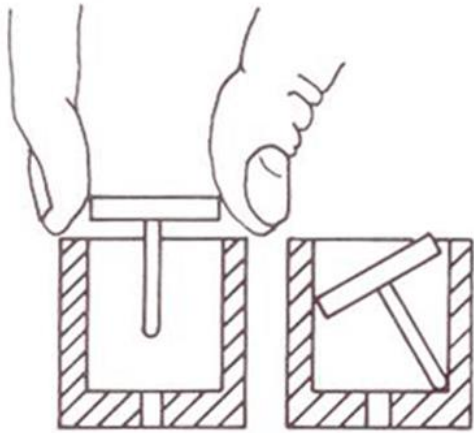


Skošenje za lako umetanje

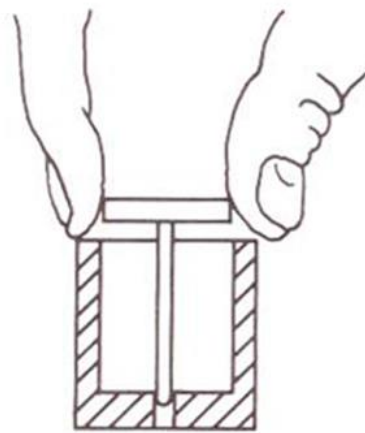


stara konstrukcija

nova konstrukcija

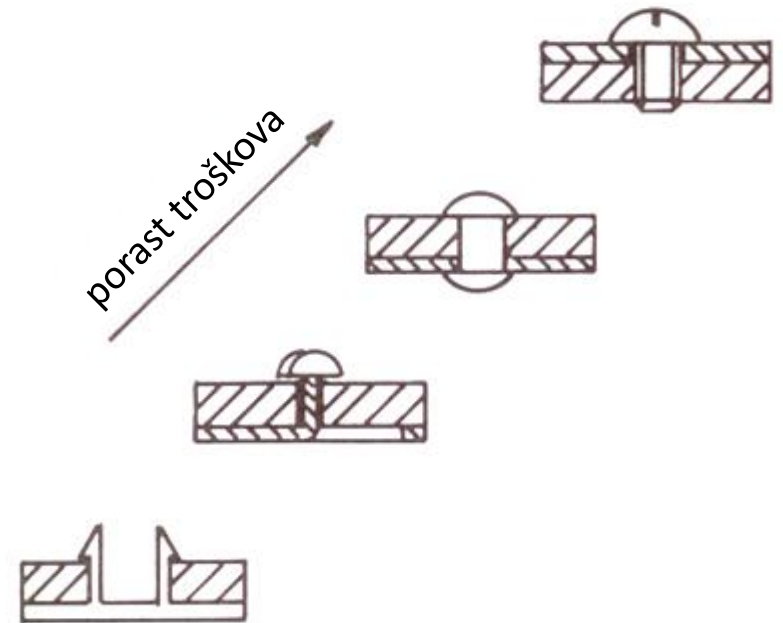


dio se mora ispustiti prije nego li je pozicioniran

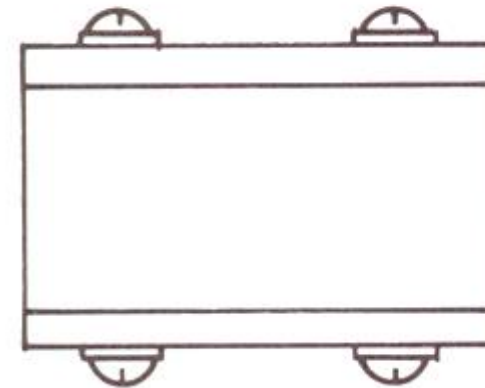


dio se pozicionira prije ispuštanja

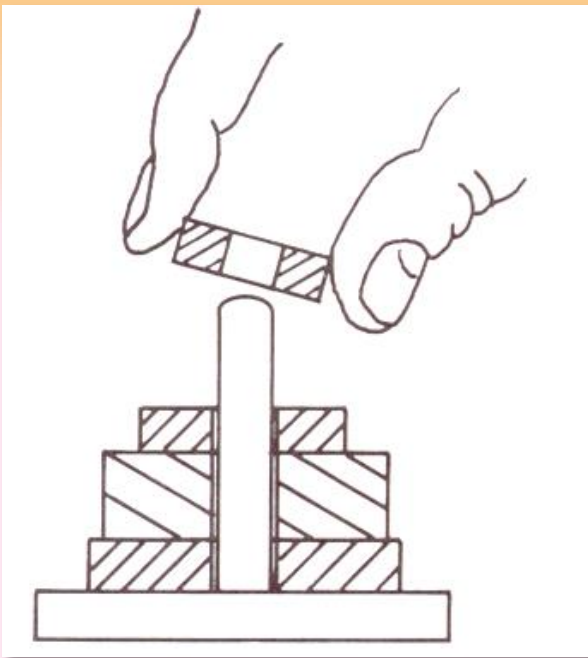
Oblikovanje da se potpomogne umetanje



Uobičajeni postupci spajanja



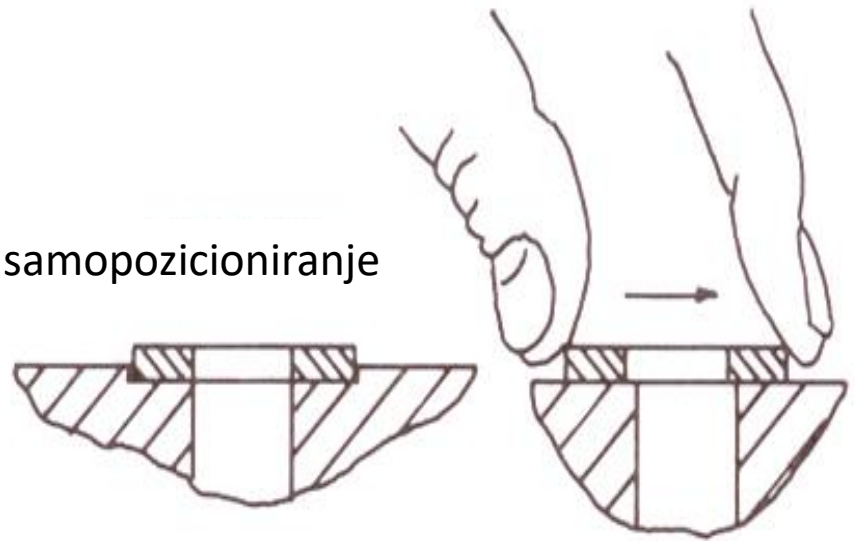
Umetanje iz suprotnog smjera zahtijeva zakretanje sklopa



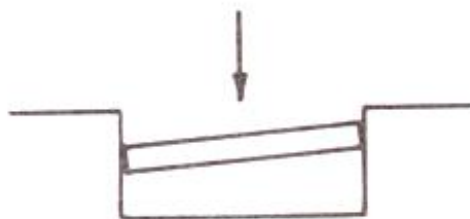
Jednostavno sklapanje
odozgo-nadolje

pridržavanje i poravnavanje
zahtijeva se za narednu operaciju

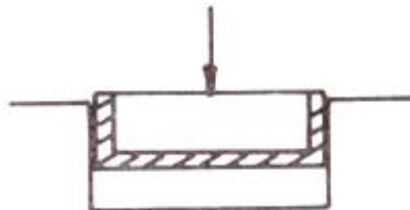
samopozicioniranje



Osiguranje obilježja za samopozicioniranje
da se izbjegne pridržavanje i poravnavanje

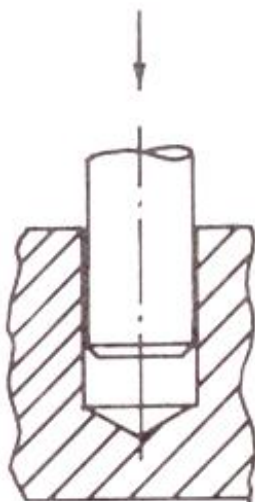


dio se zaglavluje
preko uglova

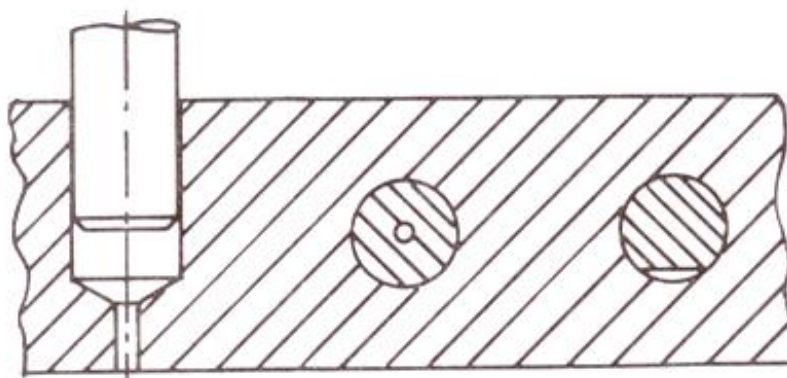


dio se ne može zaglaviti

Nepravilna geometrija može uzrokovati zaglavljivanje dijela za vrijeme umetanja



teško
umetanje

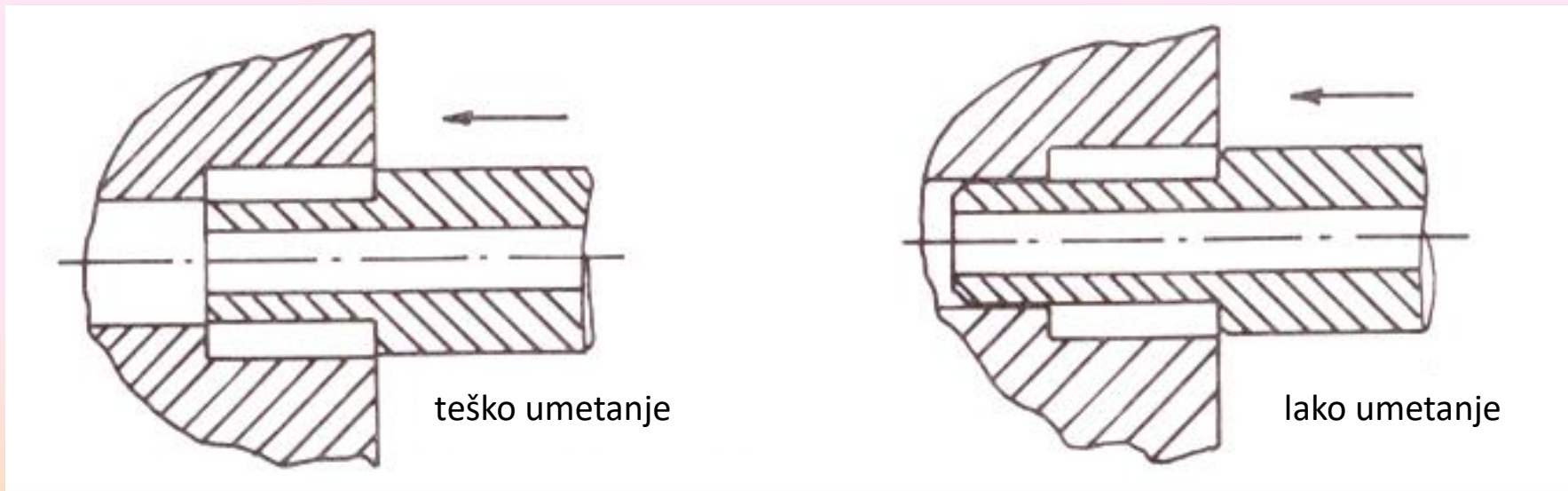


rupa u tijelu

rupa u trnu

ravna ploha
na trnu

Poboljšanje umetanja u slijepe rupe osiguranjem prolaza za zrak



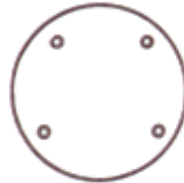
Oblikovanje za lako umetanje: stupnjevani dio –
stupnjevano umetanje



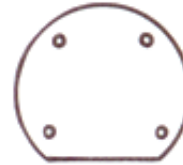
asimetrično



simetrično



neizrazita simetrija



izrazita asimetrija



zaglavljivo



nezaglavljivo

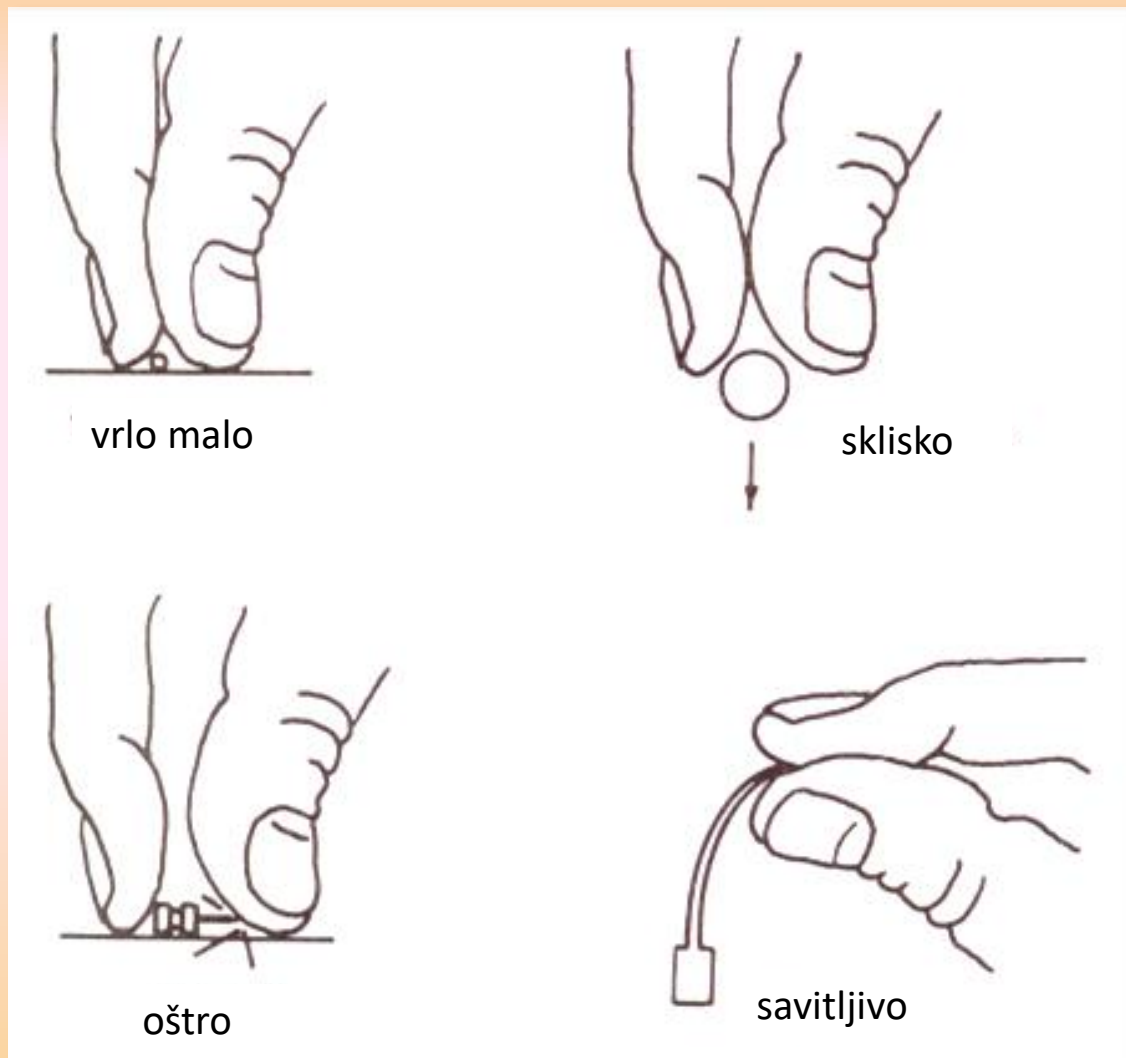


zapletljivo



nezapletljivo

Geometrijska obilježja koja utječu na rukovanje dijelovima

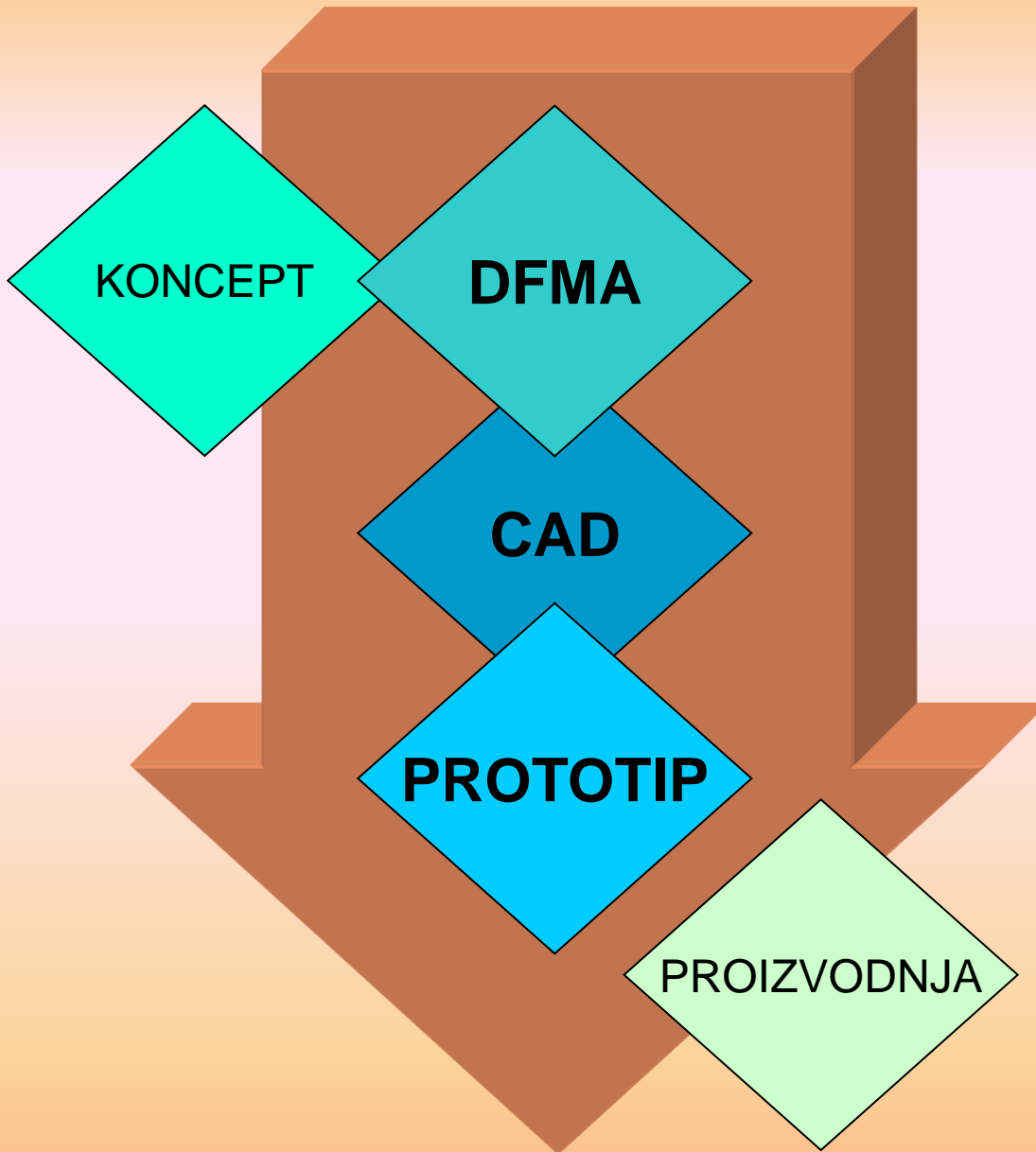


Ostala obilježja koja utječu na rukovanje dijelovima

REZULTATI PRIMJENE DFMA¹ METODE:

- smanjenje broja dijelova 51,4 %
- snižavanje cijene izradbe dijelova 37,0 %
- skraćenje vremena razvoja i lansiranja proizvoda na tržište 50,0 %
- poboljšanje kvalitete i pouzdanosti proizvoda 68,0 %
- skraćenje vremena sklapanja 62,3 %
- skraćenje ciklusa proizvodnje 57,3 %

¹ *Design For Manufacture and Assembly* – Oblikovanje proizvoda za izradbu i montažu



DFMA – sastavni dio
istodobnog (simultanog)
inženjerstva (CE –
Concurrent Engineering)

PLM (*Product
Lifecycle
Management*)

DFX