



MONTAŽA

I. dio

NASTAVNI MATERIJAL

<http://titan.fsb.hr/~zkunica/nastava/Montaza1.pdf>

Zoran Kunica

Zagreb, 2016.

Predgovor

Ovaj se nastavni tekst koristi za više kolegija (Zavarivanje i montaža, Tehnologija II, Proizvodne tehnologije II, Proizvodni postupci, Osnove tehnologija II) koji se izvode na studijima strojarstva i zrakoplovstva Fakulteta strojarstva i brodogradnje zagrebačkog sveučilišta.

Svak posebno naglašava ono čime se bavi, i opravdano ističe važnost svojega područja. Neka to bude dopušteno i meni, ako rekнем da je montaža ili sklapanje doista sveprisutan fenomen, prisutan u živome svijetu¹, a također i u bilo kojoj vrsti proizvodnje. Svladavanje osnovnih postavki montaže, i onome koji se kasnije neće njome posebno baviti, otvara prostor za racionalno uklapanje i povezivanje svih ostalih inženjerskih znanja i djelatnosti.

Sadržajem su obuhvaćene teme od uvodnih razmatranja povezanih uz fenomen montaže sve do razmatranja sklopivosti proizvoda, pa je tako ovaj nastavni materijal samo prvi u nizu ostalih s kojima će zajedno u potpunosti pokriti tehnologiju montaže, koliko je to s obzirom na opsežnost područja i satnice kolegija prikladno. Na taj će se način, uz već postojeće materijale na internetskim stranicama Fakulteta i ostalu literaturu, dodatno olakšati studentima učenje i polaganje ispita. Nadam se također da tekst može biti od koristi ne samo studentima, nego i drugima: onima koji se montažom praktično bave kao podsjetnik, a onima koji se montažom tek namjeravaju baviti, kao svojevrsan vodič.

Zahvaljujem profesoru Predragu Ćosiću i profesoru Dragutinu Lisjaku na recenziji i njihovim primjedbama koje su omogućile da se tekst poboljša.

Zagreb, ožujka 2016.

Zoran Kunica

¹ Bizaran primjer montaže u živom (ribljem) svijetu: <http://www.youtube.com/watch?v=Z-BbpaNXbvg>.

SADRŽAJ

Predgovor	1
Popis slika	3
Popis tablica	6
Popis oznaka.....	7
1. UVOD.....	8
2. OSNOVNI POJMOVI I OSOBITOSTI MONTAŽE	16
3. PODACI O PROIZVODU I PROIZVODNJI.....	24
4. STRUKTURA PROIZVODA	27
5. SASTAVNICE.....	33
5.1. KOLIČINSKA SASTAVNICA.....	33
5.2. STRUKTURNA SASTAVNICA	34
5.3. MODULARNA SASTAVNICA	36
5.4. VARIJANTNE SASTAVNICE.....	38
5.5. PRIMJER: ELEKTRIČNI MLIN ZA KAVU	40
6. LISTE ZASTUPLJENOSTI UGRADBENIH ELEMENATA.....	43
7. OBLIKOVANJE PROIZVODA ZA SKLAPANJE	45
7.1. UTJECAJ KONSTRUIRANJA.....	45
7.2. ZNAČAJKE SKLOPIVOSTI PROIZVODA	47
7.3. METODE OBLIKOVANJA PROIZVODA ZA SKLAPANJE.....	54
7.4. BOOTHROYDOVA I DEWHURSTOVA METODA DFA	57
7.4.1. Odabir metode sklapanja.....	60
7.4.2. Analiza proizvoda za ručno sklapanje.....	65
7.4.3. Preoblikovanje proizvoda za ručnu montažu i ponovna analiza	71
7.4.4. Načela za oblikovanje proizvoda za ručnu montažu	72
8. BIBLIOGRAFIJA.....	76

Popis slika

Slika 1. Postojeći proizvodni procesi – raspon koji pokriva sva razdoblja povijesti – od ručnog do potpuno automatskog rada.....	8
Slika 2. Pojavnost montaže	9
Slika 3. Pojavnost montaže i s njome povezane demontaže pri održavanju zrakoplova odnosno teleskopa Hubble	10
Slika 4. Zamjena ljudskog rada (mehanizacija i automatizacija)?	10
Slika 5. Automatizacija montaže i rukovanja: a) visokobrzinski automatski sustav, b) istraživanje timskog rada robota, c) automatsko rukovanje pri kontroli proizvoda, d) dvoruki robot	11
Slika 6. Različiti oblici sustava za realizaciju istog proizvoda	12
Slika 7. Završna montaža automobila 1915. (lijevo) i danas	13
Slika 8. Zastupljenost industrijskih robota u proizvodnji.....	14
Slika 9. Zastupljenost industrijskih robota u automobilskoj industriji.....	14
Slika 10. Zastupljenost industrijskih robota u tzv. općoj proizvodnji (isključena automobilska industrija).....	15
Slika 11. Montaža: od (pojedinačnih) ugradbenih elemenata do proizvoda	17
Slika 12. Montaža u proizvodnom sustavu	18
Slika 13. Struktura sustava montaže	19
Slika 14. Anatomija ljudske šake i sistematizacija načina hvatanja predmeta (prema R. Wellsu i M. Greigu).....	20
Slika 15. Sjajan proizvod koji nije praćen odgovarajućim radnim uvjetima u svojoj proizvodnji .	20
Slika 16. Isporuke industrijskih robota u razdoblju 1994.–2012.	21
Slika 17. Isporuke industrijskih robota po industrijskim granama u razdoblju 2010.–2012.....	22
Slika 18. Pieter Brueghel Stariji: <i>Babilonska kula</i> , 1563.	27
Slika 19. Podjela proizvoda s gledišta montaže	27
Slika 20. Jednostupnjevani proizvod.....	28
Slika 21. Višestupnjevani proizvod.....	28
Slika 22. Prikaz strukture proizvoda (DIN 6789): a) stablo izgradnje, b) pregled ustroja proizvoda	30
Slika 23. Struktura proizvoda prikazana stablom i neki mogući načelni oblici budućeg montažnog procesa i sustava: a) samostalno radno mjesto montaže, b) razdioba ugradbenih elemenata (odnosno rada montaže) na više radnih mjesta.....	31
Slika 24. Pojavni oblici sastavnica i lista zastupljenosti ugradbenih elemenata	32
Slika 25. Shema količinske sastavnice: a) bez sklopova, b) sa sklopovima.....	34
Slika 26. Shema strukturne sastavnice, s različitim označavanjem stupnjeva ugradnje	36
Slika 27. Sheme modularnih sastavnica.....	37
Slika 28. Sheme varijantnih sastavnica	39
Slika 29. Električni mlin za kavu	40
Slika 30. Prikaz strukture mlina za kavu stablom: a) I. varijanta, b) II. varijanta, c) III. varijanta.	41
Slika 31. Prikaz strukture mlina za kavu strukturnom sastavnicom (navedeni samo najvažniji podaci za opis u strukturnu sastavnicu): a) I. varijanta, b) II. varijanta, c) III. varijanta.....	41

Slika 32. Prikaz strukture mlina za kavu modularnom sastavnicom: a) I. varijanta, b) II. varijanta, c) III. varijanta	41
Slika 33. Zadatak za izradu strukturne, modularne te količinske sastavnice	42
Slika 34. Sheme struktura proizvoda P1 i P2, sa shemama listâ zastupljenosti ugradbenih elemenata za dio D1 i sklop S2.....	44
Slika 35. Prouzročeni troškovi i odgovornost odjela za troškove proizvodnje	45
Slika 36. Utjecaj konstruiranja na troškove proizvodnje	46
Slika 37. Faze konstruiranja i utjecaji na sklopivost proizvoda	46
Slika 38. Osnovni (bazni) ugradbeni element proizvoda	47
Slika 39. Spajanje dva dijela različitih smjerova sklapanja: a) krajnji sklop, b) Dio 1 spojen smjerom SS ₁ , c) Dio 2 spojen smjerom SS ₂ , uz prethodno preorijentiranje za 90 ° (privremenog, trenutačnog) sklopa	48
Slika 40. Spajanje dvaju dijelova s jednim smjerom sklapanja.....	48
Slika 41. Jednosmjerne (a i b) i višesmjerne (c) putanje sklapanja.....	48
Slika 42. Skraćenje kritičnog dijela putanje sklapanja promjenom promjera dijela	49
Slika 43. Strukturiranost proizvoda u sklopove	49
Slika 44. Primjeri primjene pogodnih tehnika spajanja	50
Slika 45. Primjena standardnih ugradbenih elemenata	51
Slika 46. Pogodan oblik ugradbenih elemenata	51
Slika 47. Faktori za određivanje simetričnosti odnosno nesimetričnosti nekoga objekta	51
Slika 48. Primjeri pogodnih geometrijskih značajki dijelova	52
Slika 49. Određenost položaja.....	52
Slika 50. Primjer načina izbjegavanja zapletanja dijelova	53
Slika 51. Minimiranje broja dijelova i broja njihovih veza (spojeva).....	53
Slika 52. Optimalne tolerancije s obzirom na troškove izradbe i montaže	54
Slika 53. Prozori softvera Boothroydove i Dewhurstove metode DFA	55
Slika 54. Razmatranje sklopivosti (i općenito tehnološkičnosti) proizvoda u što ranijim, konceptualnim fazama razvoja proizvoda	56
Slika 55. Stupnjevi izvođenja metode DFA	57
Slika 56. Sistematizacija montažnih sustava po Boothroydu i Dewhurstu	58
Slika 57. Stanica s jednim robotom.....	59
Slika 58. Stanica s dva robota	59
Slika 59. Višestanični robotski sustav (linija).....	60
Slika 60. Prosječna satnica u Hrvatskoj	63
Slika 61. Definiranje ovojnice, duljine i debljine.....	66
Slika 62. Primjer analize proizvoda za ručno sklapanje: pneumatski cilindar	70
Slika 63. Preoblikovani pneumatski cilindar.....	71
Slika 64. Skošenje (desno) za lako umetanje	72
Slika 65. Primjer standardizacije dijelova.....	73
Slika 66. Oblikovanje da se potpomogne umetanje	73
Slika 67. Odnos troškova između uobičajenih postupaka spajanja.....	73
Slika 68. Jednostavno sklapanje odozgo-nadolje.....	74
Slika 69. Osiguranje obilježja za samopozicioniranje da se izbjegne pridržavanje i poravnavanje	74

Slika 70. Nepravilna geometrija može uzrokovati zaglavljivanje dijela za vrijeme umetanja.....	74
Slika 71. Poboljšanje umetanja u slijepu rupe osiguranjem prolaza za zrak	75
Slika 72. Oblikovanje za lako umetanje: stupnjevani dio – stupnjevano umetanje	75
Slika 73. Geometrijska obilježja koja utječu na rukovanje dijelovima	75
Slika 74. Neka druga obilježja koja utječu na rukovanje dijelovima	75

Popis tablica

Tablica 1. Usporedba značajki montaže i izradbe dijelova	23
Tablica 2. Prikaz strukture proizvoda P1 i P2 u matičnom obliku.....	32
Tablica 3. Strukturna sastavnica.....	35
Tablica 4. Karta 1. Odabir metode sklapanja	61
Tablica 5. Obrazac za analizu proizvoda za ručno sklapanje.....	65
Tablica 6. Karta 2. Ručno rukovanje – procijenjena vremena, s	67
Tablica 7. Karta 3. Ručno umetanje – procijenjena vremena, s.....	68
Tablica 8. Obrazac analize pneumatskog cilindra.....	70
Tablica 9. Obrazac analize preoblikovanog pneumatskog cilindra.....	72

Popis oznaka

α	– faktor simetričnosti odnosno nesimetričnosti, kut za koji se objekt mora okrenuti oko osi okomite osi umetanja da bi postigao prvotnu orijentaciju	°, rad
β	– faktor simetričnosti odnosno nesimetričnosti, kut za koji se objekt mora okrenuti oko osi umetanja da bi postigao prvotnu orijentaciju	°, rad
AF	– jednonamjenski automatski sustav, nesinkroni	
AI	– jednonamjenski automatski sustav, sinkroni	
AP	– programabilni automatski sustav	
AR	– programabilni automatski sustav, robotski	
EM	– efikasnost konstrukcije proizvoda za ručno sklapanje	
MA	– ručni sustav	
MM	– mehanizirani ručni sustav	
NA	– broj dijelova u proizvodu	
ND	– broj dijelova u proizvodu kojima će se promijeniti dizajn u prve tri godine	
NM	– teoretski minimalan (idealni) broj dijelova u proizvodu	
NP	– broj različitih proizvoda koje će se sklopiti prve tri godine u osnovi istim montažnim sustavom	
NT	– ukupan broj dijelova proizvoda uključujući i one za tvorbu varijanti	
QE	– investicijska sredstva tvrtke, za zamjenu jednog radnika u montaži, u jednoj smjeni,	USD, HRK
RI	– investicijska sposobnost tvrtke, $RI = SH \times QE/WA$	
SH	– broj radnih smjena	
TM	– vrijeme sklapanja	s
VS	– godišnja proizvodna količina po smjeni, u milijunima	
WA	– godišnja cijena jednog radnika u montaži uključujući i režijske troškove	USD, HRK

1.UVOD

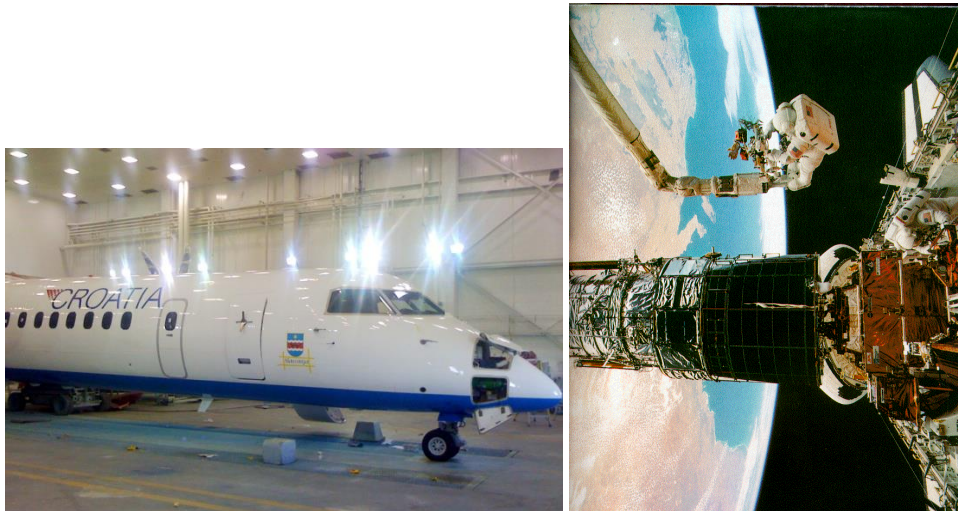
PROIZVODI se vrlo često sastoje od više dijelova – ugradbenih elemenata, koji se IZRAĐUJU u različitim vremenima i na različitim mjestima, pa ih onda treba SKLAPATI tj. MONTIRATI. Stoga je očekivano pojavljivanje montaže te njezinih dijelova – rukovanja i spajanja, u najrazličitijim područjima ljudskog djelovanja (slike 1. do 3.).



Slika 1. Postojeći proizvodni procesi – raspon koji pokriva sva razdoblja povijesti – od ručnog do potpuno automatskog rada



Slika 2. Pojavnost montaže



Slika 3. Pojavnost montaže i s njome povezane demontaže pri održavanju zrakoplova odnosno teleskopa Hubble

Ciljevi kao što su ostvarenja profita, velike proizvodnosti i visoke kvalitete proizvoda te oslobađanje ljudi mukotrpnih tjelesnih radnji i rada u rizičnim radnim okružjima (Slika 4.), uvijek iznova aktualiziraju problem zamjene ljudskog rada strojnim^{2,3}. Stoga se pojavljuju razni oblici mehanizacije i automatizacije radnih procesa (Slika 5.).



[The Ford Flathead Assembly Line In 1946](#)

Gradnja [Rockefellerovog centra](#) u New Yorku 1932. godine



Slika 4. Zamjena ljudskog rada (mehanizacija i automatizacija)?

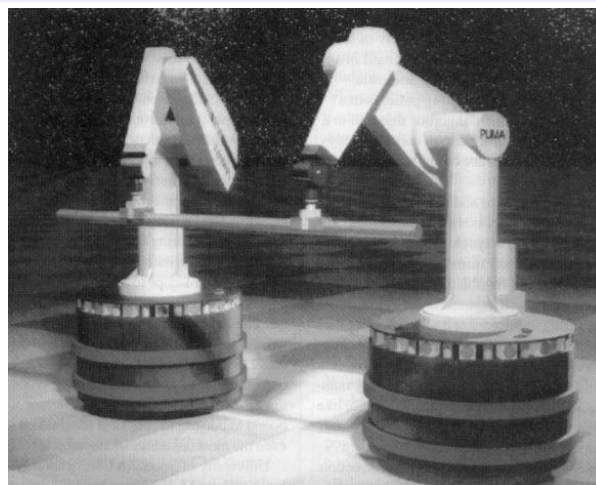
² Zamjena ljudskog rada u pakiranju (sestrinskoj ili bratskoj tehnologiji montaže): <http://titan.fsb.hr/~zkunica/nastava/v/Airline%20Tray%20Kitting%20divx.avi>.

³ Ručna, <https://www.youtube.com/watch?v=kIDUDhphqo>, i automatska izvedba, <https://www.youtube.com/watch?v=Mr7U9pQtwg8>, procesa slaganja odjevnog predmeta (majice).



Sklapanje 220
dijelova u minuti

a)



Romeo i
Julija, oko
1995.
godine

b)



c)



d)⁴

Slika 5. Automatizacija montaže i rukovanja: a) visokobrzinski automatski sustav, b) istraživanje timskog rada robota, c) automatsko rukovanje pri kontroli proizvoda, d) dvoruki robot

⁴ <http://titan.fsb.hr/~zkunica/nastava/v/Motoman+SDA10+robot+assembly.flv>

U osnovi oblikovanja nekoga tehnološkog procesa i njegovog radnog (tehničkog) sustava, što uključuje i razmatranje prikladnog stupnja mehanizacije i automatizacije, jest tvorevina – proizvod, uporabne i tržišne vrijednosti, određenih (planiranih) proizvodnih količina. Ručni sustavi će redovito biti višega stupnja fleksibilnosti no istodobno manje proizvodnosti od automatskih. Nadalje, i kod automatskih su sustava prisutne značajne razlike u stupnju fleksibilnosti i proizvodnosti. Sasvim općenito, pa tako i u projektiranju sustava montaže, zadaća je oblikovanjem (projektiranjem) otkriti a realiziranim radnim sustavom postići najprikladniji odnos proizvodnosti i fleksibilnosti (jednonamjenskosti). I opet općenito, uvijek je riječ o želji za postizanjem ekonomične podjele rada, koja uključuje ljude i/ili strojeve (Slika 6.).



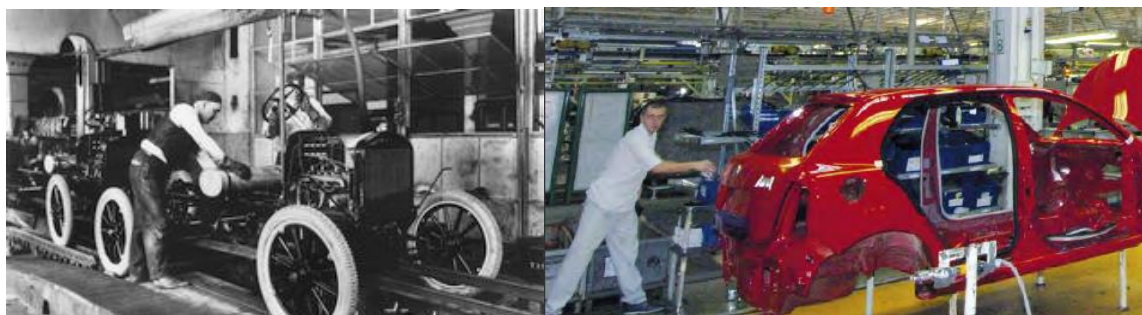
Bernard M. Snyder



Slika 6. Različiti oblici sustava za realizaciju istog proizvoda

Valja istaknuti da se pri razmatranju automatizacije nekoga procesa neminovno uspoređuju cijena ljudske radne snage i cijena investiranja u automatsku opremu. No, u suštini, riječ je o usporedbi cijene ljudskog tjelesnog rada i cijene ljudskog rada koji je ugrađen u ostvarenje automatske opreme (ma koliko ovaj posljednji eventualno, postupno, automatizacijom, bivao sve manjeg udjela).

Što se tiče automatizacije, barem u području diskretne (komadne) proizvodnje, automobilska se industrija smatra vodećom, pokretačkom industrijom automatizacije. Ipak, završna montaža automobila nije dio toga (Slika 7.)⁵.



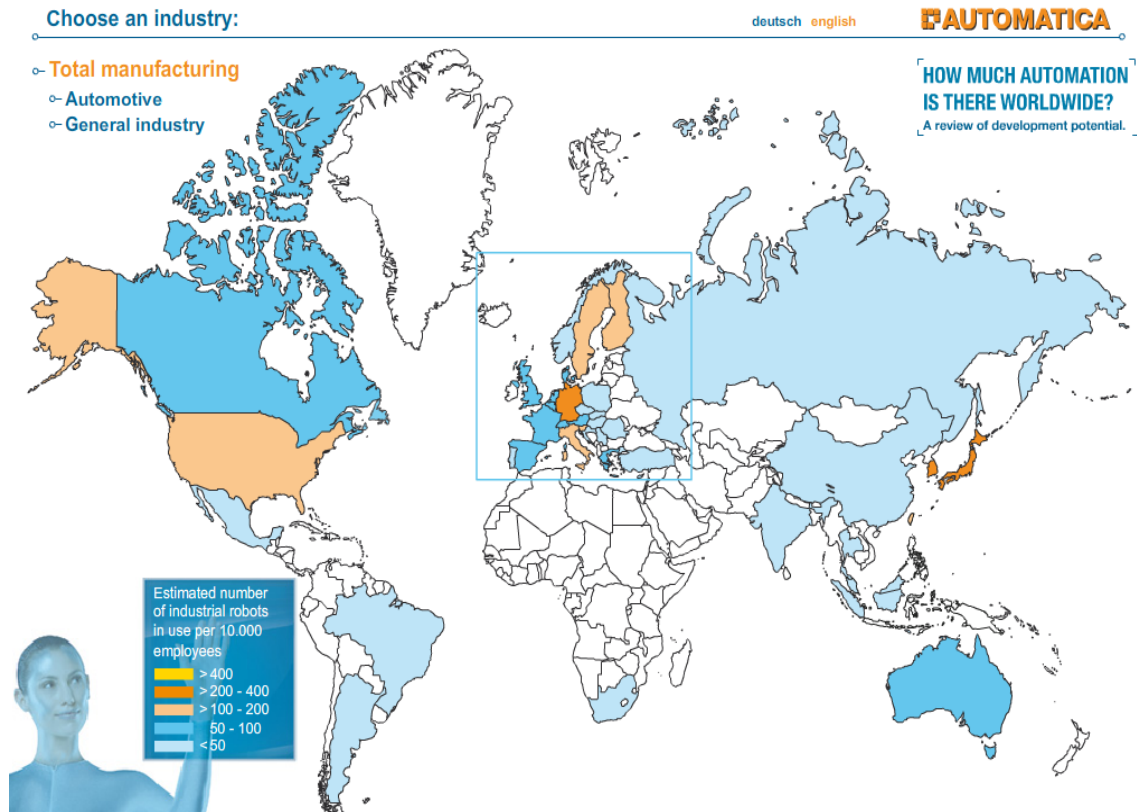
Slika 7. Završna montaža automobila 1915. (lijevo) i danas

Slikama 8. do 10. prikazan je broj industrijskih robota po državama svijeta, na 10000 zaposlenih. Prema tim podacima iz 2010. godine, no još uvijek aktualnim, vodeće zemlje u industrijskoj robotici jesu:

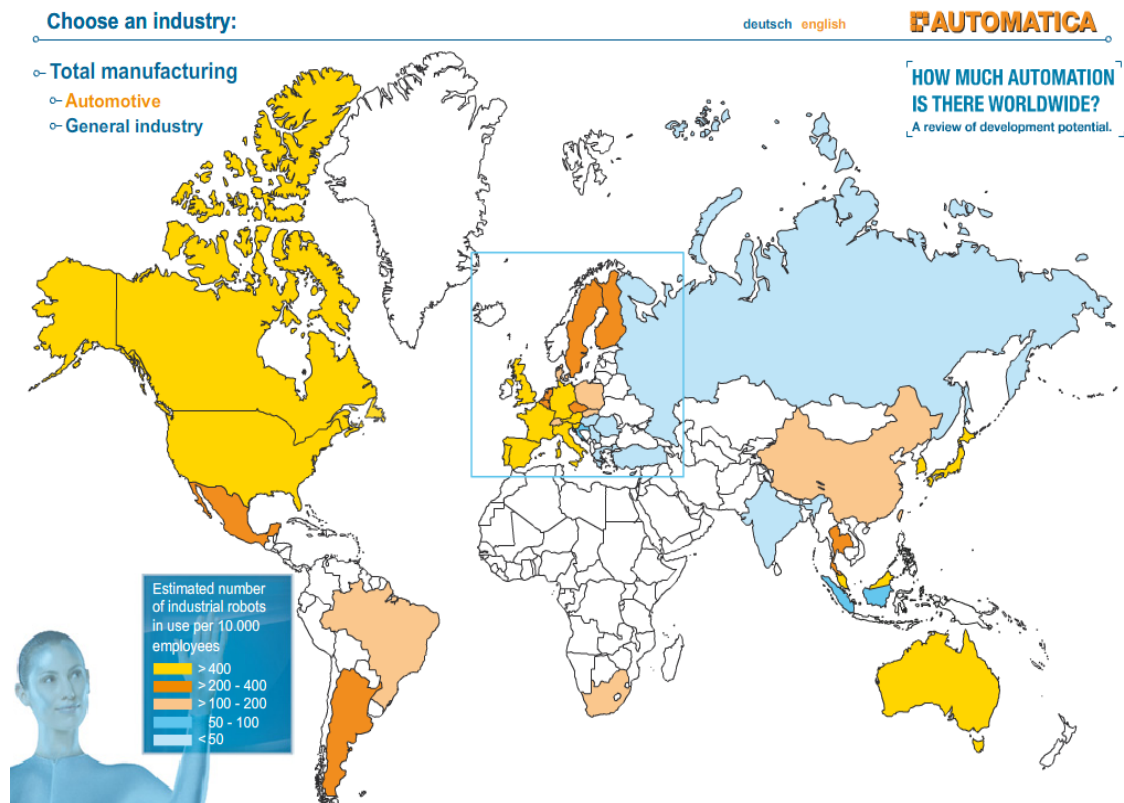
1. klasa – Njemačka, Japan, Južna Koreja;
2. klasa – Švedska, Finska, Italija, Slovenija, Tajvan, USA.

Upravo mala zastupljenost robota u općoj industriji ukazuje na njezin značajan potencijal, i trend koji se upravo sve više iskazuje, a to je prodor automatizacije u područje manjih proizvodnih količina tj. proizvoda za koje se automatizacija njihove proizvodnje gotovo donedavno smatrala neizvedivom tj. neisplativom.

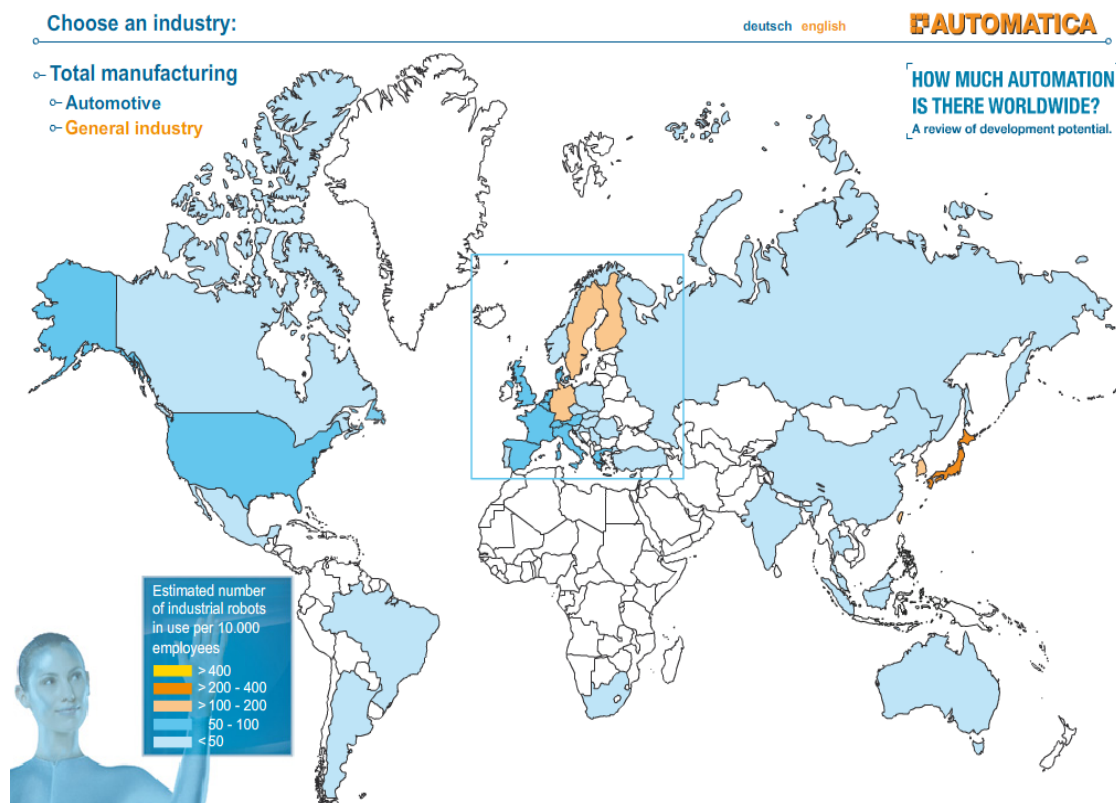
⁵ Ručni i automatizirani procesi sklapanja osobnog vozila:
<http://titan.fsb.hr/~zkunica/nastava/v/Production+of+the+2008+Renault+Laguna.flv>.



Slika 8. Zastupljenost industrijskih robota u proizvodnji



Slika 9. Zastupljenost industrijskih robota u automobilskoj industriji



Slika 10. Zastupljenost industrijskih robota u tzv. općoj proizvodnji (isključena automobilska industrija)

2. OSNOVNI POJMOVI I OSOBITOSTI MONTAŽE

Montaža, ili sklapanje, jest svaka djelatnost kojoj je cilj spajanje dvaju ili više objekata u cjelinu, određene namjene.

Montaža je zastupljena u svim ljudskim djelatnostima, od industrije (građevinarstvo, strojarstvo, elektronika, brodogradnja...), do kućanstva. U industriji, proces proizvodnje redovito završava sklapanjem.

Objekti sklapanja, ili **ugradbeni elementi**, jesu (pojedinačni) dijelovi, sklopovi i bezoblične tvari.

Dijelovi su geometrijski određene tvorevine nastale obradom nekog materijala, od jednoga komada.

Sklopovi su geometrijski određene tvorevine sastavljene od najmanje dva ugradbena elementa.

Bezoblične su **tvari**: plinovi, tekućine, praškovi i granulat.

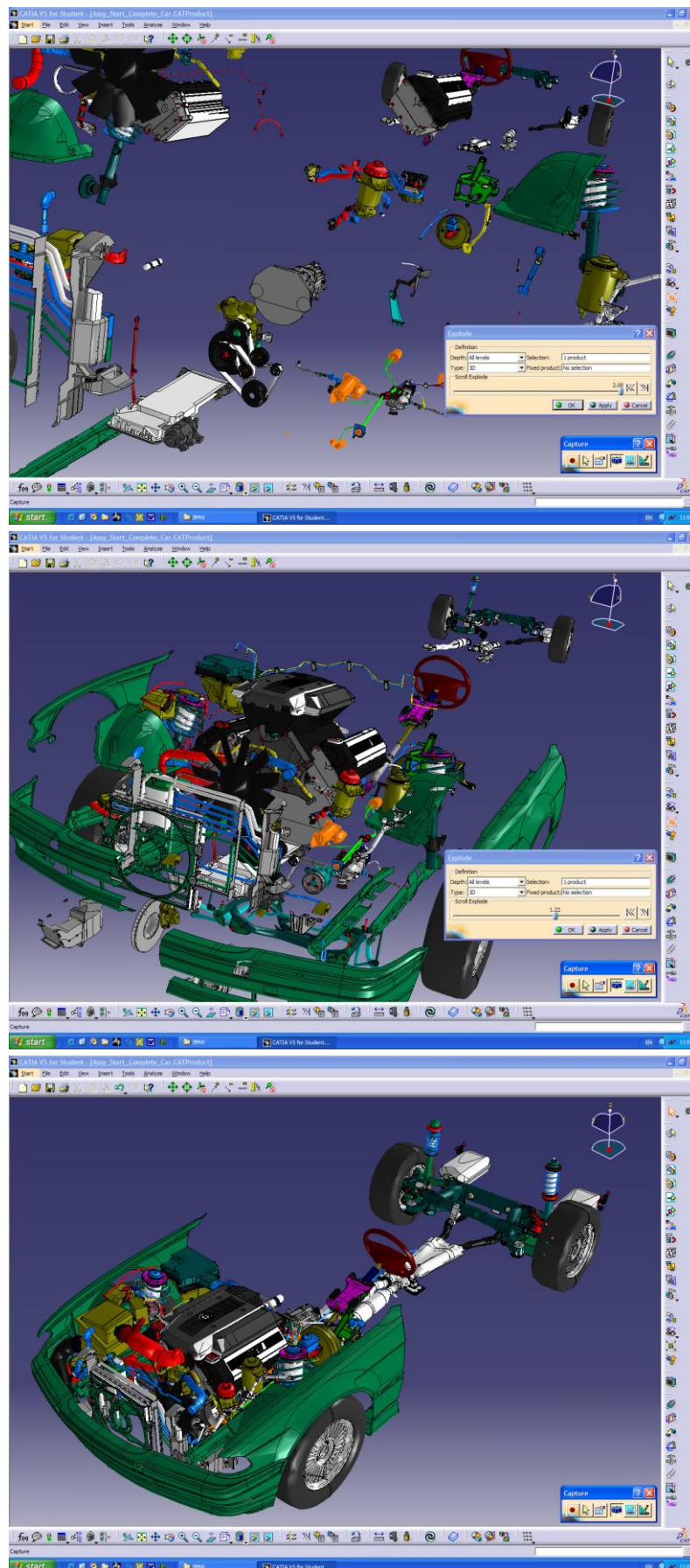
Odnosi između ugradbenih elemenata neke tvorevine ostvaruju se spojevima.

Završni sklop jest **proizvod**.

Zadatak je montaže, da se sustav (pojedinačnih) ugradbenih elemenata (nekog proizvoda) sklopi u sustav veće kompleksnosti određene namjene (proizvod), u određenom broju komada (proizvodnoj količini), u jedinici vremena (planiranom razdoblju) – Slika 11.

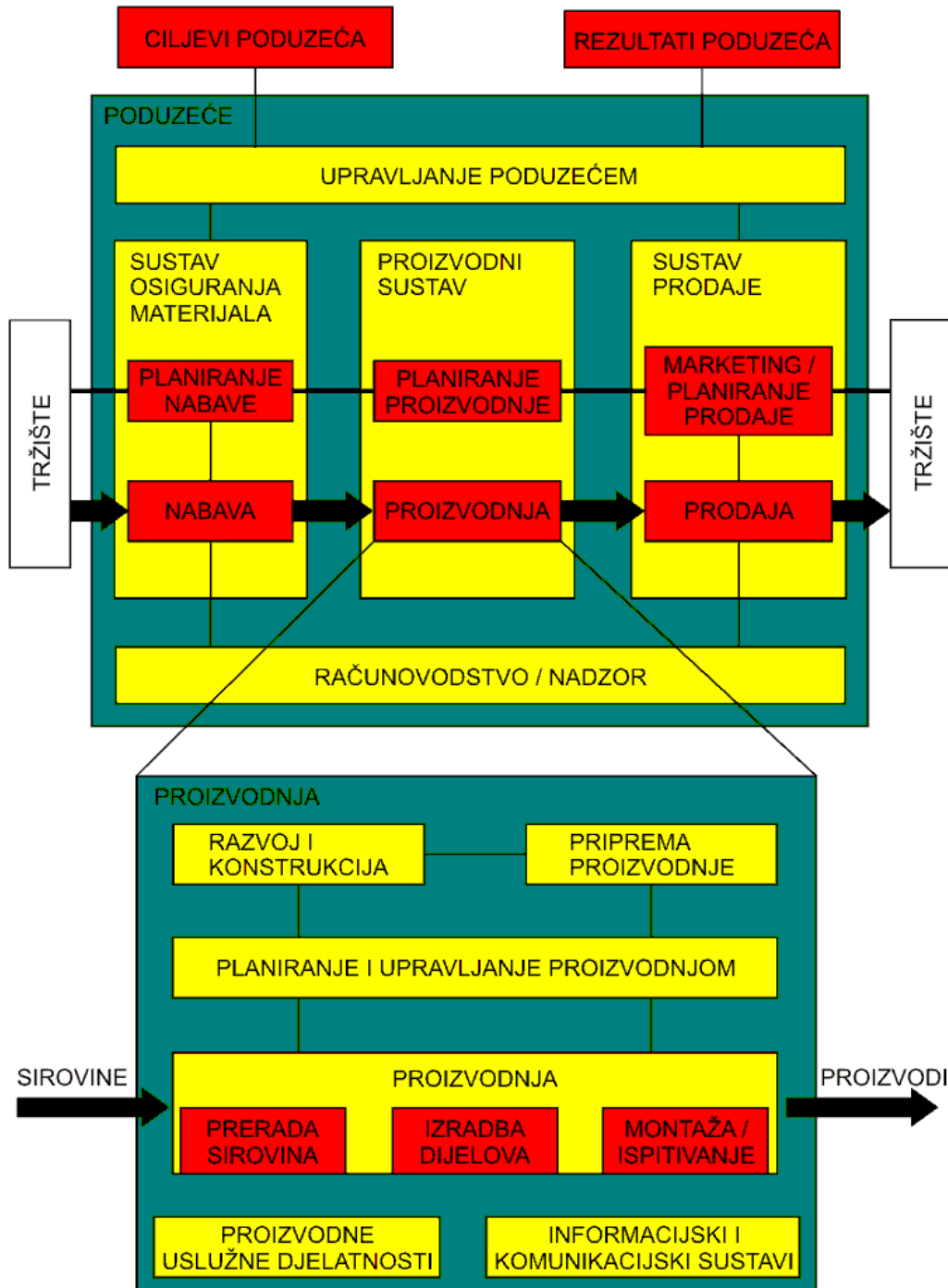
Montaža je neizbježna u slučajevima:

- a) ako se funkcija proizvoda ne može ostvariti jednim ugradbenim elementom;
- b) ako treba osigurati međusobnu pokretljivost ugradbenih elemenata;
- c) potrebe za ugradbenim elementima od različitih materijala;
- d) jeftinije izradbe dva ugradbena elementa umjesto jednoga;
- e) osiguranja zamjenjivosti, transporta i demontaže ugradbenih elemenata radi smanjivanja troškova ili održavanja proizvoda;
- f) posebnih zahtjeva na proizvod (naprimjer estetskih).



Slika 11. Montaža: od (pojedinačnih) ugradbenih elemenata do proizvoda

U proizvodnom sustavu, montaža je jedan od izvršnih odjela (Slika 12.). Budući da je montaža redovito završna aktivnost u proizvodnji, svi propusti, greške i nedostaci prethodnih faza proizvodnje kumuliraju se u njoj.



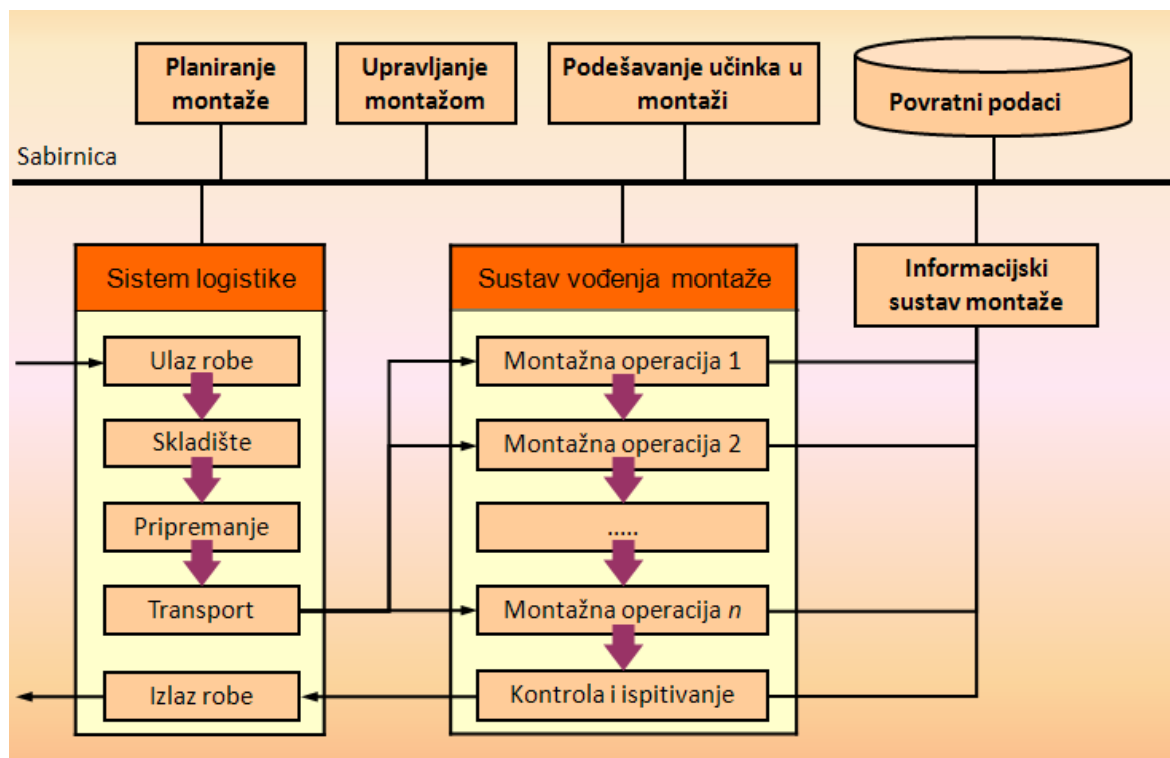
Slika 12. Montaža u proizvodnom sustavu

Jezgru montaže čine funkcije (operacije) montaže (Slika 13.). Kao i kod izradbe dijelova, i kod montaže su potrebne dodatne funkcije, s kojima tek osnovne montažne funkcije tvore cjelovit montažni proces (unutar montažnog sustava).

Montažna radna mjesta moraju se snabdjeti: informacijama, materijalom (ugradbenim elementima i drugima), alatom i napravama. Opskrbu montaže obavlja sustav logistike.

Potrebne se informacije i dokumenti (radni nalozi za montažu, sastavnice, upute za montažu, ...) stvaraju u **odjelu planiranja i vođenja montaže** i preko informacijskog sustava raspodjeljuju na pojedine montažne stanice. Tijek realizacije montaže odgovara onome u izradbi dijelova.

Preko povratnih podataka s montažnih stanica mogu se prikupiti pogonski podaci i podesiti učinak u montaži što daje podlogu za daljnje planiranje kapaciteta.



Slika 13. Struktura sustava montaže

Stupanj složenosti montažnih radova, ovisno o proizvodu (čiji su gabariti raspona od minijaturnih elektroničkih proizvoda do tankera), ishodi **različitim izvođenjem montaže**.

Upravo **raznolikost pojavnosti proizvoda** i njihovih značajki (male količine, veliki obujmi, težine i broj ugradbenih elemenata, složeni geometrijski oblici ugradbenih elemenata...), kao i činjenica da se automatizacija montaže suočava s posebno složenom problematikom zamjene ljudskog rada, zasnovanoga na iznimnim motoričkim, osjetilnim i mentalnim sposobnostima, uvjetuju da se **montaža i danas izvodi najčešće ručno** (Slika 14.), uz korištenje jednostavnoga alata. Stoga je relativan udio zaposlenih u montaži visok, krećući se u u pojedinim granama gospodarstva između 17 i 34 %. Također, u ručnoj montaži, značajne su razlike u njezinim izvedbama s obzirom na radne uvjete, koji su ponekad daleko od uzornih⁶ (Slika 15.).

Zdrav, dobro uhranjen radnik tijekom osam sati može održati prosječno 75 W izlazne snage.

⁶ Podrazumijeva se da inženjer treba nastojati realizirati primjerene radne uvjete, vodeći se uzornim normama i etici struke. Odgovoran je ne samo za troškove (profit) nego i za ljude. Iz toga ponekad proistječe konflikt s naredbodavcima (vlasnicima sredstava za proizvodnju i njihovim posrednicima).

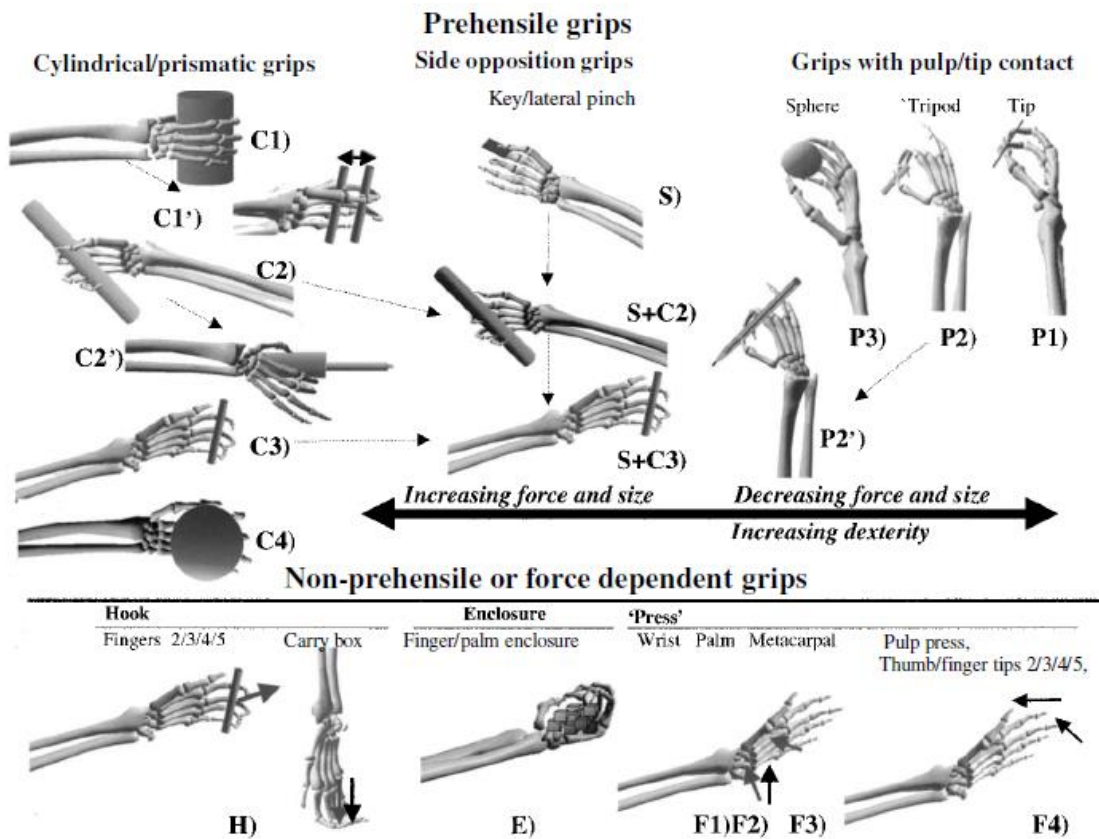


Figure 3. Grip taxonomy for use with hand wrench.

Slika 14. Anatomija ljudske šake i sistematizacija načina hvatanja predmeta (prema R. Wellsu i M. Greigu)

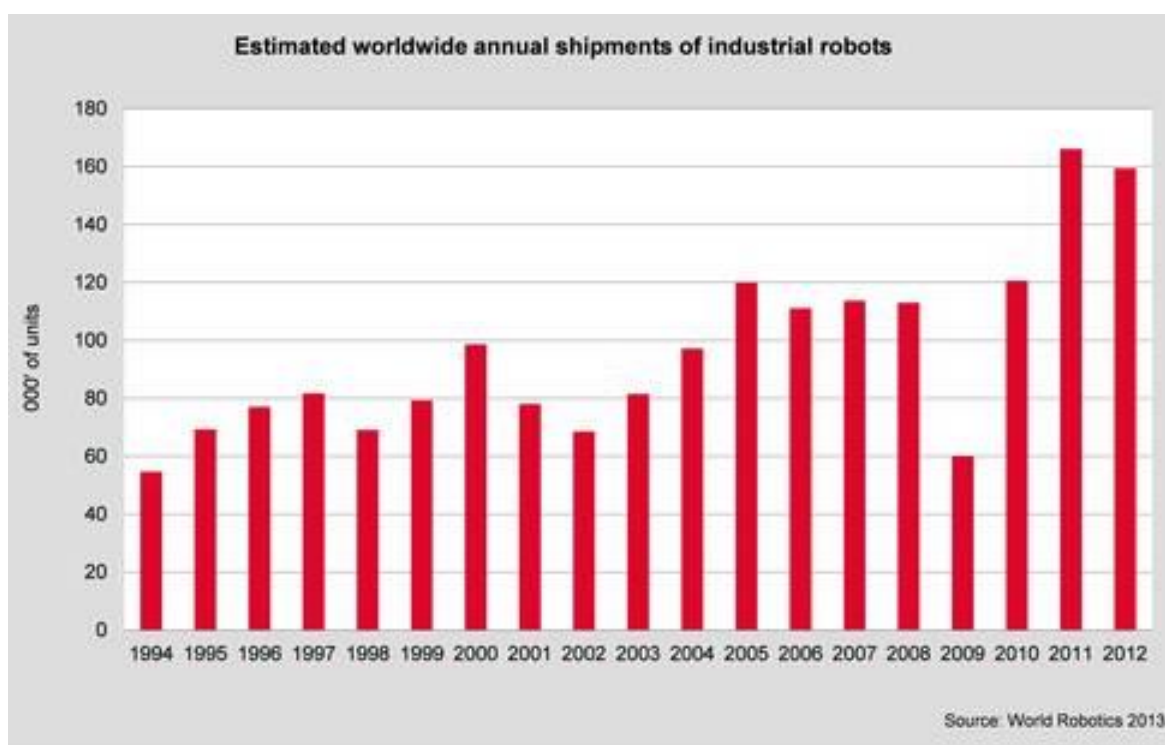


Slika 15. Sjajan proizvod koji nije praćen odgovarajućim radnim uvjetima u svojoj proizvodnji

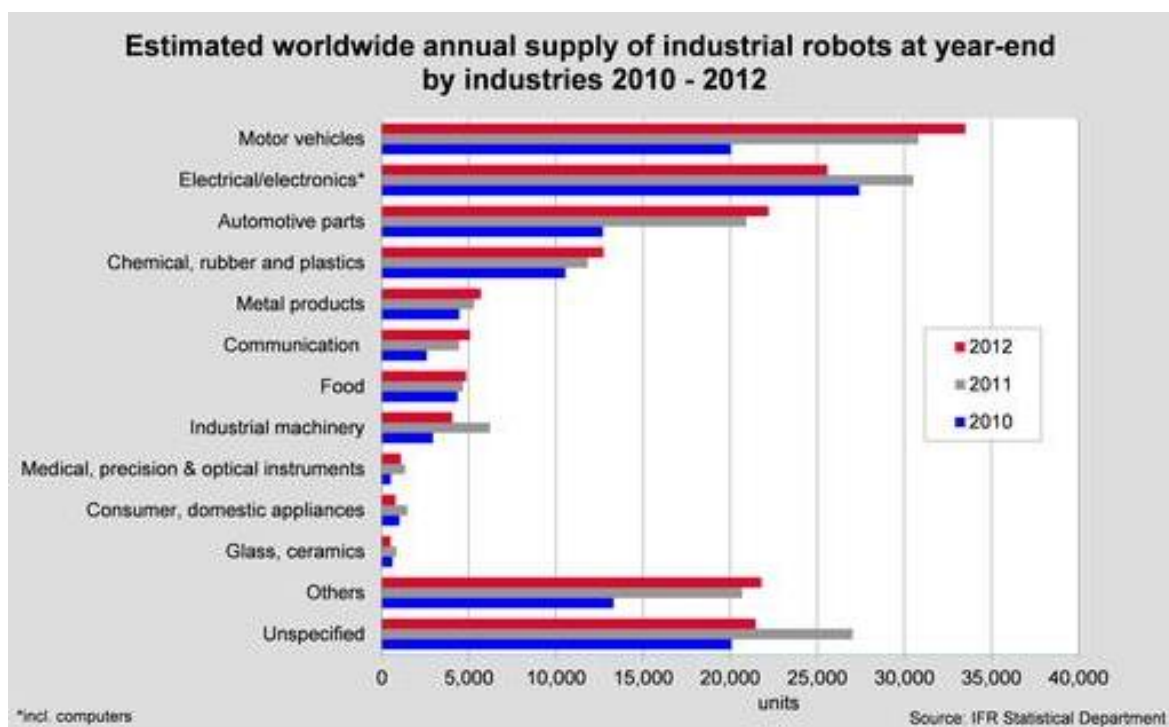
Nesklad između stupnjeva automatizacije u izradbi dijelova i montaži, uzrokovao je značajno povećanje vremenskog i troškovnog udjela montaže u realizaciji proizvoda.

Prosječan vremenski udio montaže u ciklusu proizvodnje iznosi od 40 do 60 %, a troškovni i do 50 %.

Stoga se automatizacija montaže nameće kao tehnološki imperativ, i danas predstavlja područje strateških rezervi profita proizvođača. Kao što je rečeno u poglavlju 1., uvođenje automatizacije podrazumijeva prethodnu usporedbu troškova investiranja u automatsku opremu spram troškova nadnica, koja ne mora uvijek biti u prilog uvođenju naprednih tehnoloških rješenja. Ipak, bez obzira na trenutačnu situaciju (ili čak dulja vremenska razdoblja) skupina, zajednica i država s njihovim raznolikim kulturološkim, političkim i sustavo-vrijednosnim opredjeljenjima prema načinu ostvarenja profita, prodor automatizacije je nezaustavljiv (slike 16. i 17.).



Slika 16. Isporuke industrijskih robota u razdoblju 1994.–2012.



Slika 17. Isporuke industrijskih robota po industrijskim granama u razdoblju 2010.–2012.

Problematika montaže počela se intenzivno proučavati 70-ih i 80-ih godina prošloga stoljeća. Napretcima i postignućima u tehnologijama izradbe dijelova, prirodno, fokus se prenio na montažu.⁷ U vezi toga, ali i drugoga, navest će sustavnije razlozi zapostavljenosti montaže:

- ❑ Izradba dijelova obavlja se ekonomično opremom koja nadmašuje ljudske sposobnosti, dok je u montaži situacija obrnuta (Tablica 1.).
- ❑ Sve dok je postojao problem izrade dijelova, problem montaže nije postojao.
- ❑ Ljudi su efikasni u montaži, jer raspolažu osjetilnim, motoričkim i mentalnim sposobnostima, superiornijim od onih u strojeva.⁸
- ❑ Ljudi imaju instinktivnu⁹ sposobnost spajati predmete međusobno, pa se montaža ponegdje nije smatrala *ozbiljnom* tehnologijom, za koju bi se trebala definirati posebna pravila, čijom bi se uporabom unaprijedila i povećala efikasnost montaže.

⁷ Opće je pravilo da rješavanje jednoga problema otvara pitanje rješavanja drugoga (narednog) problema.

⁸ Sve je moguće automatizirati, no pitanje je cijene.

⁹ Montaža je djelatnost koja ljudima predstavlja zadovoljstvo. Ljudi spoznaju montažu od najranije dobi. Najuspješnije se dječje igračke temelje na prirodnoj sklonosti ljudi k montaži (lego, puzzle, ...). Treba istaknuti da infantilna montaža i zadovoljstvo njezinom uspješnom izvedbom, impliciraju i demontažu. Naime, demontaža i montaža su fizičke i motoričke realizacije instinktivnih i vježbanih temeljnih misaonih procesa spoznavanja, analize i sinteze, koji se dešavaju vrlo rano, tako da se neki njihovog ranog podrijetla u odraslijoj dobi više i ne dosjećaju (Jedna je kolegica na nastavi u vezi strukturiranja proizvoda rekla: „To smo radili kad smo imali dvije-tri godine.“). Valentino Braitenberg veli da smo na osnovi naše opservacije skloni precjenjivati složenost funkcioniranja i građe neke tvorevine, sve dok je ne rastavimo i u potpunosti ne upoznamo njezine dijelove.

- Montaža redovito nije skupa¹⁰. **Potrebne investicije za ručnu montažu su minimalne, a glavni troškovi su troškovi ljudskog rada. Dok su oni mali, nema motivacije za unapređenjem efikasnosti montaže.**

Tablica 1. Usporedba značajki montaže i izradbe dijelova

MONTAŽA	IZRADBA DIJELOVA
Više ugradbenih elemenata u procesu	Jedan izradak u procesu
Ugradbeni elementi složene geometrije	Pripremi jednostavne geometrije
Različite montažne operacije na više ugradbenih elemenata	Različite izradbene operacije na jednom izratku
Masa i obujam objekta montaže rastu	Masa i obujam izratka se smanjuju
Na istom se objektu izvodi više puta (popravci)	Obrada se na izratku izvodi samo jednom
Mnogo rukovanja ugradbenim elementom	Malo rukovanja izratkom

S porastom broja ugradbenih elemenata i složenosti njihove geometrije, povećava se kompleksnost montažnog procesa i otežava njegovo planiranje i upravljanje.

Rješenja primijenjena u montaži nekoga proizvoda samo se rijetko i uz dodatan napor dadu uporabiti za montažu drugog, različitog proizvoda. To je redovit slučaj kod jednonamjenskih, nefleksibilnih sustava.

Montaža sklopova i proizvoda često se obavlja na istoj mikrolokaciji s izradbenim sustavom. No, u namjeri smanjenja troškova radne snage i/ili transporta, odnosno ostvarenja većeg profita, montažni se sustavi **dislociraju u područja niskog vrednovanja radne snage ili u blizinu tržišta** (globalizacija; državni, nadržavni i lokalni poticaji i porezne olakšice; *outsourcing* – izmještanje/izdvajanje montaže; *contract manufacturers* – ugovorni, *no-name*, OEM¹¹ i „OEM” proizvođači).

¹⁰ To u krajnjemu ovisi o konkretnoj sredini-zajednici, koja postavlja prag profitabilnosti.

¹¹ *Original Equipment Manufacturer*. Termin OEM označava izvornog proizvođača, čiji se proizvod ugrađuje u druge proizvode (proizvode drugih kompanija), pod imenom (izvornog) proizvođača; no termin se može odnositi i na bezimenog proizvođača, koji svoj proizvod ustupa drugoj kompaniji e da bi ova stavila svoju etiketu (kao da je ona proizvođač).

3. PODACI O PROIZVODU I PROIZVODNJI

Za analizu montažnog problema potrebne su informacije o **proizvodu i planiranoj količini** montiranih proizvoda.

Podaci o proizvodu¹², pa i neki o njegovoj montaži, mogu biti sadržani u:

- CAD modelima
- crtežima
- sastavnicama
- uzorcima i prototipovima
- podlogama u vezi spajanja i drugih radnji
- normama.

Proizvodne količine određuju se na temelju istraživanja tržišta¹³, i uz strukturu proizvoda, redovito su od presudnog značaja za oblikovanje i realizaciju procesa i sustava montaže.

Prva inženjerska faza u realizaciji proizvoda jest konstruiranje ili oblikovanje proizvoda. U klasičnoj inženjerskoj podjeli rada u iole većim proizvodnim sustavima, djelatnost konstruiranja uobičajeno se izvodi u posebnom, konstrukcijskom odjelu ili uredu.

Rezultat rada konstrukcije proizvoda jest geometrijsko-funkcionalni model proizvoda koji opisuje princip rada i geometriju pojedinačnih dijelova kao i njihove međusobne relacije.

Proizvod se i njegovi ugradbeni elementi prikazuju računalnim 3D modelima, odnosno tehničkim (konstrukcijskim) crtežima u mjerilu i sastavnicama.

Crteži ugradbenih elemenata – dijelova, radionički crteži, predočavaju dijelove – pojedinačne tvorevine s ciljem da se daju potrebni podaci za njihovu izradbu i kontrolu. Ovisno o geometrijskoj složenosti dijela, crtežom je sadržan veći ili manji broj projekcija, pogleda i presjeka. Dakle, iz radioničkog se crteža treba moći steći nedvosmislen uvid u

¹² Uključujući i njegove varijante.

¹³ Obično pod nadležnošću odjela nabave i *marketinga*.

oblik (geometriju) dijela što je dodatno potkrijepljeno davanjem odgovarajućih kota (izmjera, dimenzija). Crtež sadrži i podatke o tolerancijama te kvalitetama obrada pojedinih ploha, što su podaci važni za izradbu i montažu. Sastavnica radioničkog crteža redovito je dana zajedno s crtežom, na istome listu, a obuhvaća podatke o nazivu i oznaci dijela, materijalu, mjerilu, rubrikama za unos imena odgovornih osoba i datuma i druge.

Sklopni crteži, odnosno sklopni eksplozirani crteži, prikazuju sklop – tvorevinu sačinjenu od više od jednog ugradbenog elementa, u stupnju detaljnosti koji je potreban za obavljanje zadaće sklapanja proizvoda. Sklopni će crteži sadržavati kote gabaritnih dimenzija, kote pomaka pomičnih dijelova (ako takvi postoje za funkcioniranje proizvoda ili je važno pri montaži), podatke o dosjedima te često presjeke kojima se olakšava uvid u odnose između ugradbenih elemenata. Sklopni eksplozirani crteži prikazuju sklop u djelomično ili potpuno rasklopljenom stanju i omogućavaju brz uvid u građu sklopa i odnose njegovih ugradbenih elemenata. Što se tične sklopnih sastavnica, za razliku od radioničkih, one će se vrlo često sretati kao zasebni dokumenti: naime, broj ugradbenih elemenata sklopa može biti toliki da je fizički nemoguće istim listom papira obuhvatiti i potrebne projekcije sklopa, i sastavnicu. Tako će se u okviru sklopnog crteža nalaziti samo rudimentarna sastavnica s krucijalnim podacima o proizvodu (naprimjer naziv, oznaka, mjerilo) i oznakom sastavnice u kojoj su sadržani svi potrebni podaci o ugradbenim elementima sklopa (imena, oznake, materijali, norme, količine itd.).

Konstruktivski crteži (i sastavnice) redovito su praćeni dodatnom konstrukcijskom dokumentacijom u vidu odgovarajućih proračuna.

Konstruktivska dokumentacija definira ŠTO TREBA IZRADITI/MONTIRATI.

Oblikovanje/projektiranje, planiranje te izvođenje procesa izradbe i montaže zahtijeva izradu tehnološke dokumentacije (KAKO IZRADITI/MONTIRATI).

Tehnološka se dokumentacija (tehnološki list/plan, operacijski list, postupnik te prateći proračuni) uobičajeno izrađuje u odjelu tehnologije. Njome će se odrediti slijed operacija izradbe/montaže i raščlana operacija na faze i zahvate (uobičajeno naprimjer pri obradi odvajanjem čestica) odnosno elemente rada (uobičajeno u montaži). Tehnološka dokumentacija obuhvaća tehnološke planove i njima popratne proračune; može uključivati i konstrukcijsku dokumentaciju posebnih naprava za izradbu odnosno montažu. U tehnološkim se planovima uz navođenje operacija, njihove raščlane i slijeda, propisuju i strojevi, alati, naprave, kvalifikacije izvršilaca, režimi (parametri) obrade (brzine rezanja, posmaci itd.) te određuju vremena izvođenja.

Tehnološka će se dokumentacija minuciozno izrađivati u slučaju većih proizvodnih količina dok će u pojedinačnoj¹⁴ i obrtničkoj proizvodnji gotovo posve izostati. Naime, u prvo navedenoj trud razrade tehnologije mnogostruko će se isplatiti, dok je glede drugospomenutih svaki novi proizvod opetovanje nekoga prijašnjeg, izvršioци su specijalizirani i posjeduju prethodno znanje i iskustvo koje je primjereno. Ipak, i u nekim slučajevima pojedinačne proizvodnje razrađivat će se tehnologija, a tada je riječ o vrlo skupim proizvodima, ili takvima koji mogu znatno utjecati na sigurnost ljudi i okoliša. Također, ponekad će se i u pojedinačnoj i obrtničkoj proizvodnji pojaviti neki novi proizvod ili tehnologija, koji zahtijevaju poseban napor učenja uz razradu tehnologije.

Za montažu je razrada tehnologije vrlo često faza (oblikovanje procesa) u projektiranju novog montažnog sustava (uspostava još nepostojeće proizvodnje).

¹⁴ U tehnološkom planu tada nerijetko piše: „Montirati prema crtežu.“

Tehnološka se dokumentacija po zgotavljenju redom upućuje odjelima planiranja materijala i rada te na sama radna mjesta. Također je osnova za rad neproizvodnih – administrativnih i financijskih odjela i službi.

Bitni se činitelji kod oblikovanja montažnog procesa i sustava izvode izravno iz proizvoda.

Najveći utjecaj imaju:

- veličina, oblik, težina;
- kompleksnost (broj spojeva odnosno broj ugradbenih elemenata);
- struktura;
- kvalitativni zahtjevi te
- broj komada i broj varijanti proizvoda.

Veličina, oblik i težina proizvoda utječu na vrstu i tehnološke parametre sredstava za montažu.

Kompleksnost proizvoda izražava se brojem spojeva, odnosno brojem ugradbenih elemenata. Broj, vrsta i parametri spojeva određuju broj i izvedbu sredstava za montažu, a time i kompleksnost montažnog sustava.

Struktura proizvoda ima značajan utjecaj na strukturu i stupanj automatizacije sustava. Sklopno (modularno) orijentirani proizvodi, sa sklopovima koji se nezavisno sklapaju i ispituju, montiraju se u pravilu u modularno strukturiranim sustavima. U takvim sustavima dijelovi se montažnog procesa odvijaju prostorno i vremenski uspooredno – nezavisno, pozitivno utječući na duljinu ciklusa i preglednost (upravljivost) procesa.

Takve strukture sustava su automatičnije jer se cjelokupni obujam montaže dijeli na veći broj manjih cjelina koje se u pravilu lakše automatiziraju.

Zahtjevi kakvoće proizvoda postavljaju i kvalitativne zahtjeve na montažni sustav: visokokvalitetni dijelovi proizvoda uvjet su za primjenu automatskih sustava, a primjenom se automatskih sustava osigurava ujednačena i visoka kakvoća proizvoda.

Broj komada i broj varijanti proizvoda, utječu na stupanj automatizacije i stupanj fleksibilnosti sustava. Kapitalom intenzivna fleksibilna automatska montažna sredstva ekonomično se iskorištavaju samo ako se sklapa dovoljno velik broj komada, uz male troškove prelaska s jedne na drugu varijantu proizvoda.

U cilju sklapanja proizvoda uz minimalne troškove, proizvod treba detaljno razmotriti s gledišta strukture, oblikovanja za montažu i lanca mjera i tolerancija.

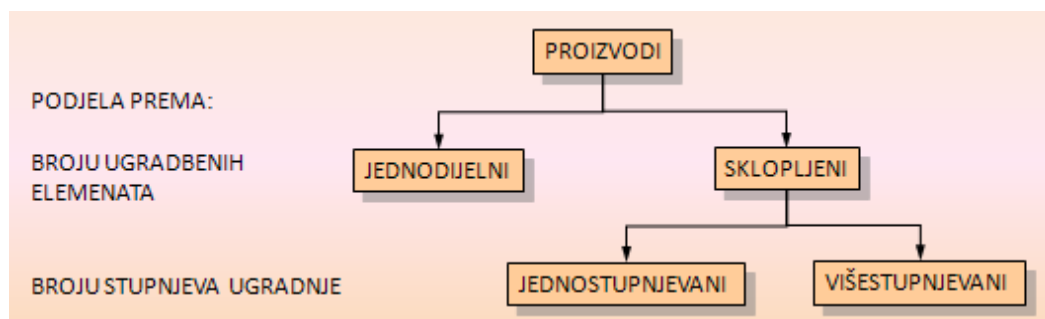
4. STRUKTURA PROIZVODA

Kao što je već spomenuto, uz proizvodne količine, struktura proizvoda je od presudnog značaja za oblikovanje i realizaciju procesa i sustava sklapanja. Kako će pak kasnije biti detaljnije razmotreno, struktura podrazumijeva podjelu rada, a ta sveprisutna činjenica ljudske egzistencije dakako nalazi svoj simbolički odraz i u umjetnosti (Slika 18.). Doista, u nekoj zajednici – društvu, može se identificirati mnoštvo proizvoda, utemeljenih na potrebama društva, s pripadajućim podjelama rada i sudjelovanjem pojedinaca u njima¹⁵.



Slika 18. Pieter Bruegel Stariji: *Babilonska kula*, 1563.

S gledišta montaže, proizvodi se dijele kako slijedi sa slike 19.

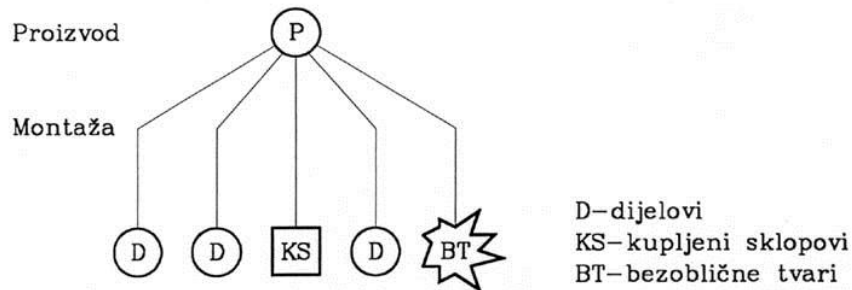


Slika 19. Podjela proizvoda s gledišta montaže

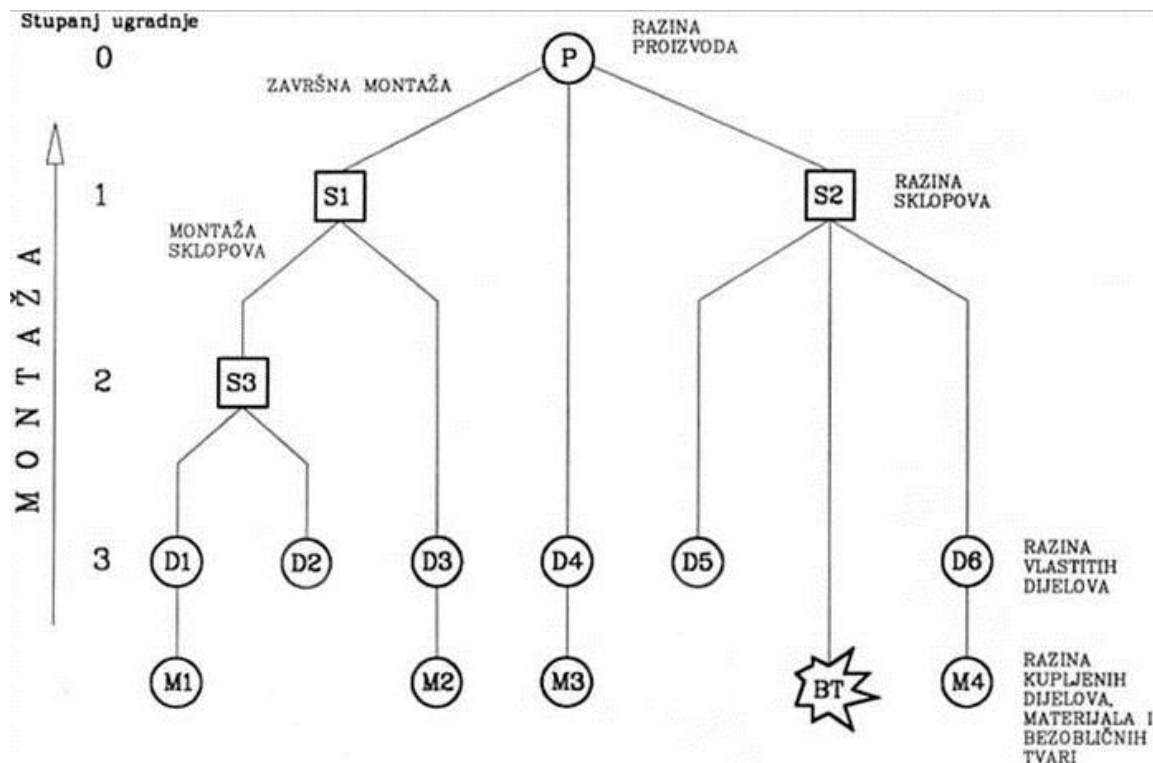
¹⁵ Racionalnu bit – piramidalnost strukture proizvoda ne treba miješati s poimanjem uzornih međuljudskih odnosa i demokracije. U suprotnom, moguće su manipulativne manifestacije autoritarnog i totalitarnog.

Jednostupnjevani proizvodi sastavljaju se u jednom koraku, a višestupnjevani u više koraka.

Jednostupnjevani proizvodi nemaju vlastitih sklopova.



Slika 20. Jednostupnjevani proizvod



Slika 21. Višestupnjevani proizvod

Struktura proizvoda opisuje raspored ugradbenih elemenata i njihove međusobne odnose u proizvodu.

Njome se definira dubina podjele proizvoda, mogući broj sklopova i njihova međusobna hijerarhijska zavisnost.

Strukturiranje proizvoda odnosno dodjeljivanje dijelova, sklopova i bezobličnih stvari određenim strukturnim razinama, moguće je izvršiti prema različitim kriterijima.

Što proizvod posjeduje više ugradbenih elemenata, očekivan je tim veći broj njegovih mogućih struktura, čime se nameću pitanja kombinatorike, varijantnosti, pronalaženja povoljnih struktura i otkrića optimalne strukture. Neprijeporno je da osnova strukture počiva na elementarnom fizičkom binarnom odnosu – spoju dvaju ugradbenih elemenata, a da će rješavanje pitanja raščlane proizvoda na sklopove (obuhvata ugradbenih elemenata sklopovima) ovisiti i o činiocima koji ne proistječu isključivo iz materijalnosti spojeva ugradbenih elemenata, niti moraju biti u potpunosti poznati tijekom konstruiranja proizvoda; odnosno, što su ti činioci poznatiji u većoj mjeri (postoje prethodno znanje i iskustvo uključenih sudionika) u procesu realizacije proizvoda, to će struktura proizvoda biti (unaprijed) određenija.

Kriteriji strukturiranja mogu biti:

- postojanje odnosa (spoja) između ugradbenih elemenata (dodir ploham a i bridovima)
- funkcija – mogućnost ispitivanja sklopa
- izbjegavanje demontaže
- ekonomičnost
- održivost (stabilnost, nerastavljivost) sklopa, posebno pri transportu (pomicanju)
- (trenutačna) dispozicija (raspoloživost) ugradbenih elemenata,

pri čemu treba zadržati otvorenost i prema primjeni možebitnih drugih kriterija koji samo u prvi mah, naizgled, upućuju prema nepovoljnim rješenjima strukture.

Ako je kriterij funkcija, proizvod se strukturira tako da se tvore sklopovi koji ispunjavaju određenu funkciju, navodeći samo potrebne ugradbene elemente bez njihove međusobne hijerarhijske zavisnosti. To vrlo često rezultira manjim brojem razina podjele proizvoda pa se tako smanjuje broj potrebnih crteža, što je bilo posebno akutalno u doba nepostojanja CAD softvera.

Praksa pokazuje, da funkciju često nije moguće ostvariti jednim predmontiranim sklopom, te da je zbog podjele rada poželjno podijeliti proizvod na više razina.

Struktura proizvoda orijentirana na funkciju proistekla iz faze konstruiranja tako često nije pogodna za oblikovanje montažnog procesa i sustava. **Stoga je strukturiranje proizvoda koje odgovara procesu montaže prvi korak u projektiranju montažnog procesa i sustava.**

Zaključno, strukturiranje proizvoda jest prvi korak u projektiranju montaže (ali i u oblikovanju proizvoda).

Pri strukturiranju se posebno obraća pažnja na mogućnost tvorbe sklopova (**CILJ strukturiranja**).

Podjela rada – vremenski i prostorno nezavisni procesi sklapanja (**SVRHA strukturiranja**¹⁶) – maksimiranje profita, skraćenje ciklusa proizvodnje.

Strukturiranjem se daje naglasak funkcijskim značajkama proizvoda (posebice kompleksnih), ili pak načelnom obliku budućeg montažnog procesa i sustava¹⁷.

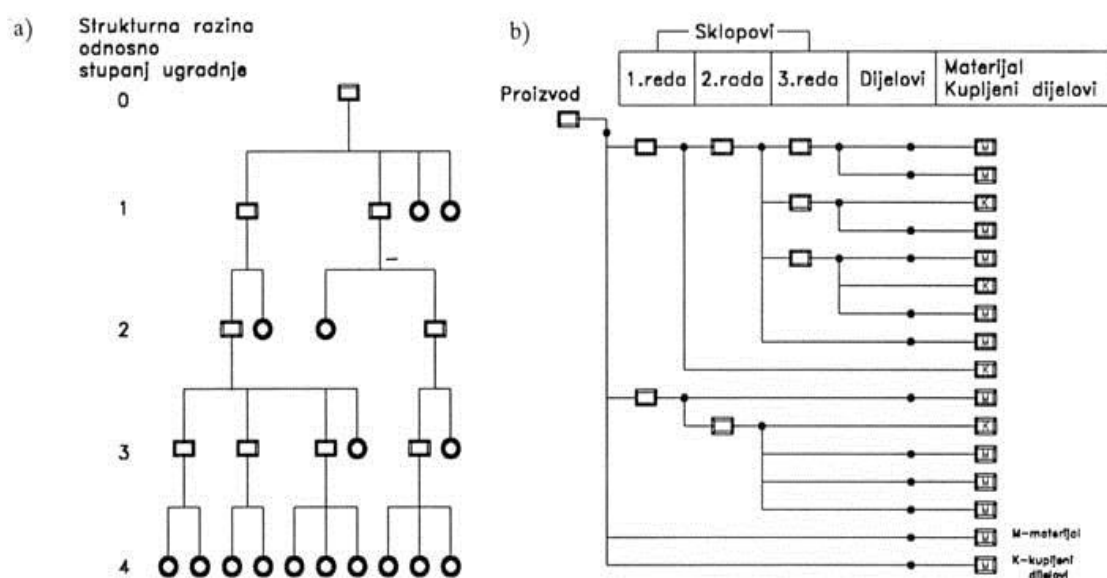
¹⁶ Navedeno se ne odnosi samo na montažu, nego i na bilo koju drugu djelatnost. Naprimjer, pri konstruiranju složenih proizvoda, uspostavljaju se timovi konstruktora unaprijed, prije no što je i prvi dio doista konstruiran.

Strukturiranjem se samo dijelom zadire u definiranje redoslijeda sklapanja (Struktura nije isto što i redoslijed sklapanja!).¹⁸

Struktura se proizvoda prikazuje:

- grafički,
- matrično, i
- tablično.

Prema DIN 6789, **grafički** se prikazuje struktura sklopljenih proizvoda kao stablo (drvo) izgradnje ili pregled ustroja proizvoda.



Slika 22. Prikaz strukture proizvoda (DIN 6789): a) stablo izgradnje, b) pregled ustroja proizvoda

Oba prikaza su vrlo slična i daju iskaze o sastavljanju dijelova, sklopova i bezobličnih tvari, dodjeljujući ih određenim strukturnim razinama, odnosno **stupnjevima ugradnje**.

Stupnjevi ugradnje broje se suprotno od tijeka montaže. Proizvodu se dodjeljuje stupanj ugradnje 0, dok su ugradbeni elementi stupnja ugradnje 1 dijelovi, sklopovi i bezoblične tvari za završnu montažu proizvoda.

Općenito, sklapanjem ugradbenih elemenata i -tog stupnja ugradnje, dobiva se sklop ($i-1$) stupnja ugradnje.

Često korištene termine *glavni sklopovi* (sklopovi za završnu montažu) i *podsklopovi* (sklopovi nižih stupnjeva ugradnje), treba izbjegavati zbog mogućnosti zabune.

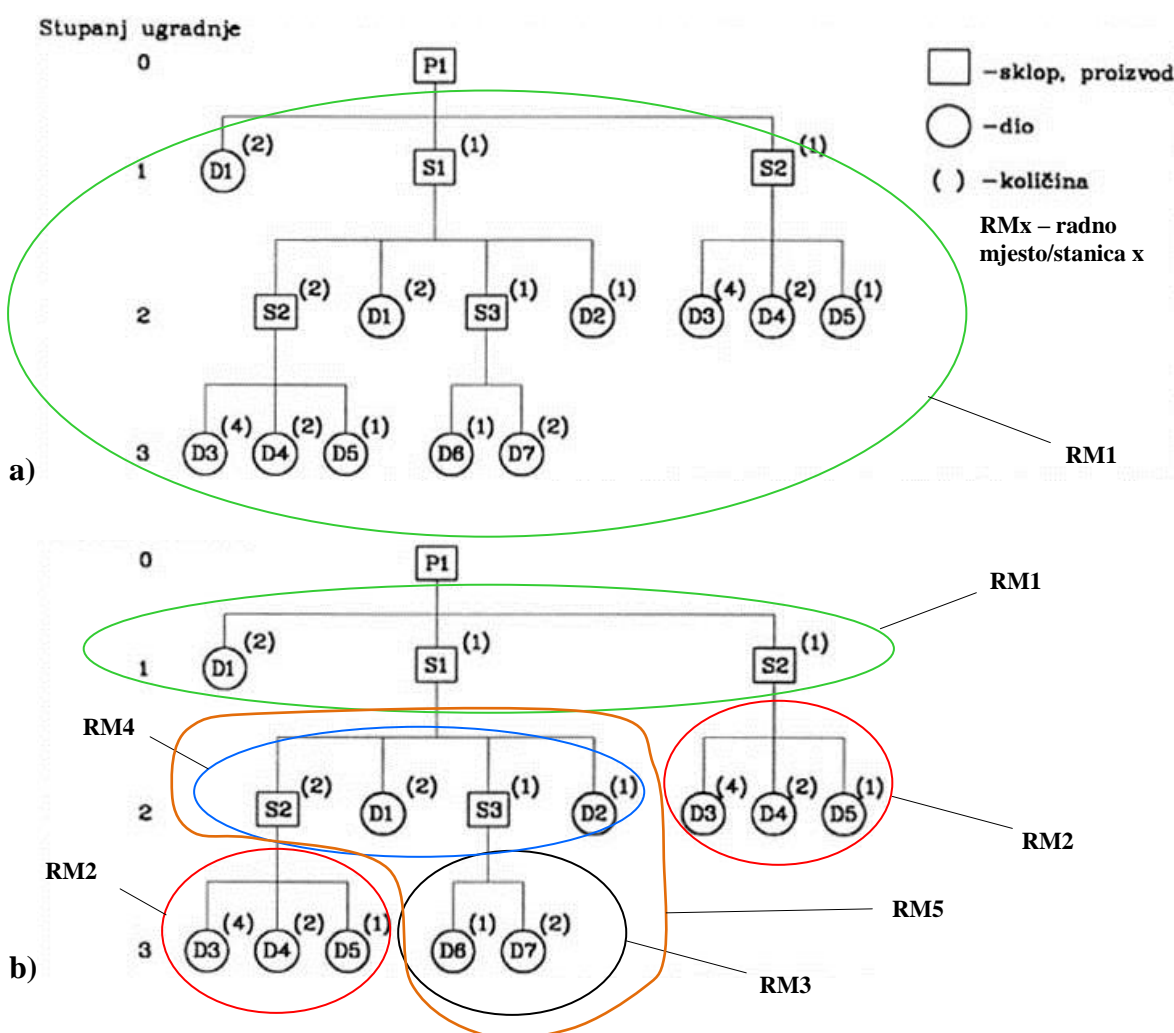
Projektiranje (oblikovanje) procesa odnosno sustava, podrazumijeva niz tranzicija od najviše razine apstrakcije do najniže, od najniže razine materijalnog do ostvarenja fizičkog prisuća (u stvarnom svijetu). Slika 23. prikazuje strukturu nekog proizvoda danu stablom,

¹⁷ Bit će posebno obrazloženo uz sliku 23.

¹⁸ Vidjeti bilješku ispod teksta broj 17.

pri čemu je istaknuta povezanost strukture s dvama mogućim načelnim oblicima budućeg montažnog procesa i sustava, naime: a) samostalno mjesto montaže, na kojemu se u potpunosti sklapa čitav proizvod; b) razdioba ugradbenih elemenata (odnosno rada montaže) na više radnih mjesta¹⁹. Kako će se doista realizirati dodjela ugradbenih elemenata po radnim mjestima, ovisi o narednim koracima projektiranja u kojima se, pored ostalog, određuju redoslijed sklapanja te elementi rada s njihovim vremenima trajanja.

Što se tiče povezanosti strukture proizvoda i redoslijeda sklapanja, iz strukture su vidljivi elementi redoslijeda sklapanja koji se tiču vremenske međuovisnosti nastajanja pojedinih sklopova (vertikale – različiti stupnjevi ugradnje), no za pojedini sklop (horizontale – jedan konkretan stupanj ugradnje) redoslijed nije egzaktno definiran; naprimjer, na slici 23.a), za 1. stupanj ugradnje proizvoda P1 (još) nije poznato hoće li redoslijed biti: {D1, S1, S2} ili možda {S1, S2, D1} – to će se upravo definirati redoslijedom sklapanja kao posebnim korakom u projektiranju montaže.



Slika 23. Struktura proizvoda prikazana stablom i neki mogući načelni oblici budućeg montažnog procesa i sustava: a) samostalno radno mjesto montaže, b) razdioba ugradbenih elemenata (odnosno rada montaže) na više radnih mjesta

¹⁹ Opseg (sadržaj) radnih zadataka utječe na zadovoljstvo i motiviranost izvršilaca.

Matrični prikaz strukture proizvoda se koristi isključivo za skup sličnih proizvoda.

Polja matrice pokazuju ukupnu količinu ugradbenih elemenata (stupci) za pojedini sklop/proizvod (retci).

Tablica 2. Prikaz strukture proizvoda P1 i P2 u matričnom obliku

UGRADBENI ELEMENTI, UPORABA	SKLOPOVI					DIJELOVI								
	S1	S2	S3	S4	S5	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
P1	1	3	1			4	1	12	6	3	1	2		
P2		1	2	1	1	1		4	2	1	2	4	1	2
S1		2	1			2	1	8	4	2	1	2		
S2								4	2	1				
S3											1	2		
S4			2		1						2	4	1	2
S5													1	2

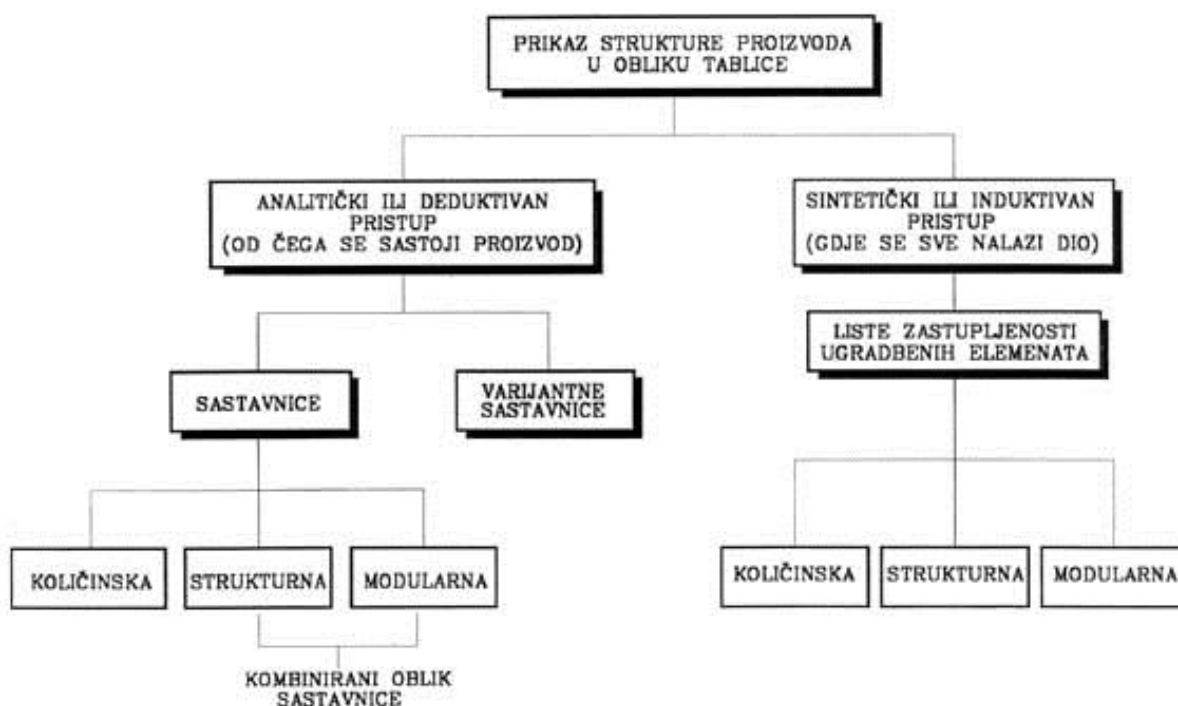
Struktura proizvoda se najčešće prikazuje **tablično**.

Tablica može biti napravljena analitičkim ili sintetičkim pristupom.

Analitički pristup rezultira *sastavnicama*, a sintetički *listom zastupljenosti ugradbenih elemenata*.

Sastavnice nastaju tako da se utvrđuje od čega se sastoji proizvod prolazom kroz strukturu od sklopljenog proizvoda do dijelova i njihovih sirovaca (*top-down*).

Ako se postavi obrnuto pitanje, u kojim se sve proizvodima nalazi određeni ugradbeni element, dobiva se lista zastupljenosti ugradbenih elemenata.



Slika 24. Pojavni oblici sastavnica i lista zastupljenosti ugradbenih elemenata

5.SASTAVNICE

Sastavnica je formalizirani popis jednoznačno označenih sastavnih dijelova jedne jedinice proizvoda, odnosno jednoga sklopa, s podacima o potrebnim količinama za njihovu izradbu.

Sastavnica se izravno upisuje na crtež ili se izrađuje kao poseban dokument (najčešće u formatu A4). Potonji oblik ima niz prednosti u pogledu izrade, pohrane, upravljanja i umnožavanja.

Oblici sastavnica su različiti, ali sve sastavnice sadrže dvije skupine podataka: glavu i retke sastavnice.

Glava sastavnice sadrži podatke o proizvodu odnosno sklopu (identifikacijski broj, naziv, klasifikacijski broj, stanje izmjene...) i podatke za identifikaciju i upravljanje sastavnicom (naziv tvrtke, broj sastavnice, datum izrade sastavnice...).

Retcima sastavnice opisuju se ugradbeni elementi. Svaki ugradbeni element proizvoda ima u sastavnici redak s njegovim podacima (identifikacijski broj, naziv, broj crteža, format crteža, naziv materijala, oznaku materijala, jedinicu količine...).

Oblik sastavnice ovisi o njezinoj strukturi. Prema ovom kriteriju sastavnice se dijele na: **količinske, strukturne i modularne.**

5.1. KOLIČINSKA SASTAVNICA

Količinska sastavnica jest popis dijelova sklopa (proizvoda) sortiranih po rastućim identifikacijskim brojevima (Slika 25.).

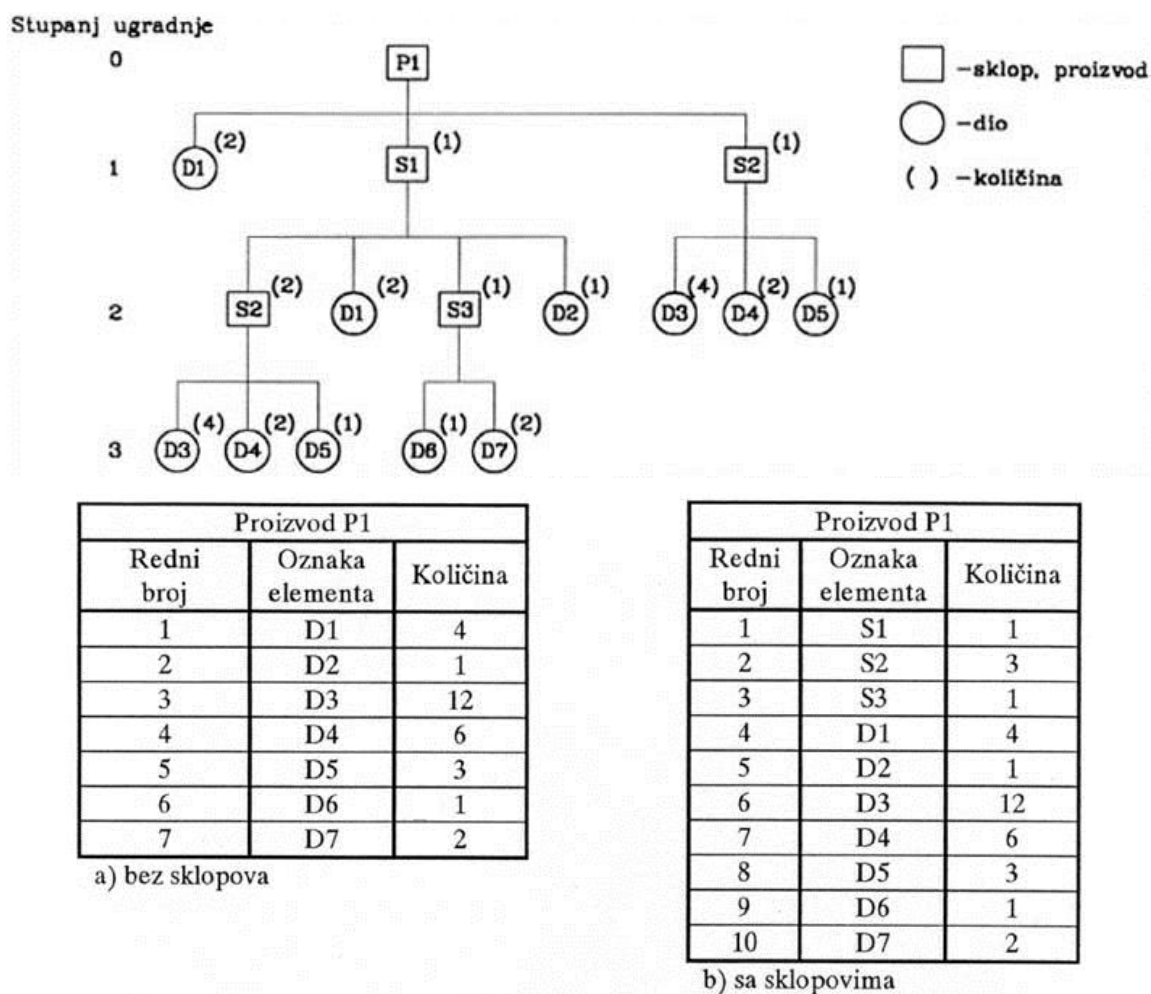
Dio se unosi u sastavnicu samo jednom bez obzira na broj njegovih pojavljivanja u proizvodu, uz navođenje ukupnog broja komada potrebnih za montažu proizvoda.

U industriji se ponekad koristi količinska sastavnica koja uz dijelove sadrži i sklopove.

Podaci o količinama su i u ovoj sastavnici zbirni, te je broj komada nekog dijela u sklopu, navedenom u sastavnici, već uzet u obzir.

Količinska sastavnica je najjednostavniji oblik sastavnice. Iz nje nije vidljiva struktura proizvoda, te se ne može raspoznati koliko proizvod ima stupnjeva ugradnje i koji dijelovi tvore neki sklop, pa je nepogodna za prikaz višestupnjevanih proizvoda. Hoće li njome biti

biti obuhvaćeni samo dijelovi ili samo sklopvi, ili neka njihova kombinacija²⁰, ovisi o konkretnoj situaciji.



Slika 25. Shema količinske sastavnice: a) bez sklopova, b) sa sklopovima

5.2. STRUKTURNA SASTAVNICA

Strukturalna sastavnica je višestupnjevana sastavnica u kojoj se strukturirano unose sklopovi i dijelovi²¹ proizvoda (Tablica 3., Slika 26.).

Vidljivost strukture proizvoda postiže se unošenjem svih ugradbenih elemenata nadređenog sklopa (nižeg stupnja ugradnje), u sastavnicu, neposredno nakon njegovog navođenja, uz grafičko ili brojčano označavanje stupnjeva ugradnje.

Podaci o količini uvijek se odnose na nadređeni krajnji sklop/proizvod.

²⁰ Naprimjer, tretman kupljenih sklopova kao pojedinačnih dijelova.

²¹ Uključujući i bezoblične stvari te druge materijale i komponente vezana uz proizvod (ambalaža, etikete i slično).

Sastavnica uključuje sirovce (poluproizvode), što omogućava određivanje potrebnih količina sirovaca.

Iz strukturne sastavnice jasno proizlazi podjela proizvoda, no kod proizvoda s velikim brojem pozicija, strukturna sastavnica brzo postaje nepregledna i neprikladna (preopsežnost) za korištenje na radnim mjestima.

Identični ugradbeni elementi višestruko primijenjeni u proizvodu, moraju se više puta unijeti u sastavnicu, što povećava prostor za pohranu i vrijeme obrade sastavnice.

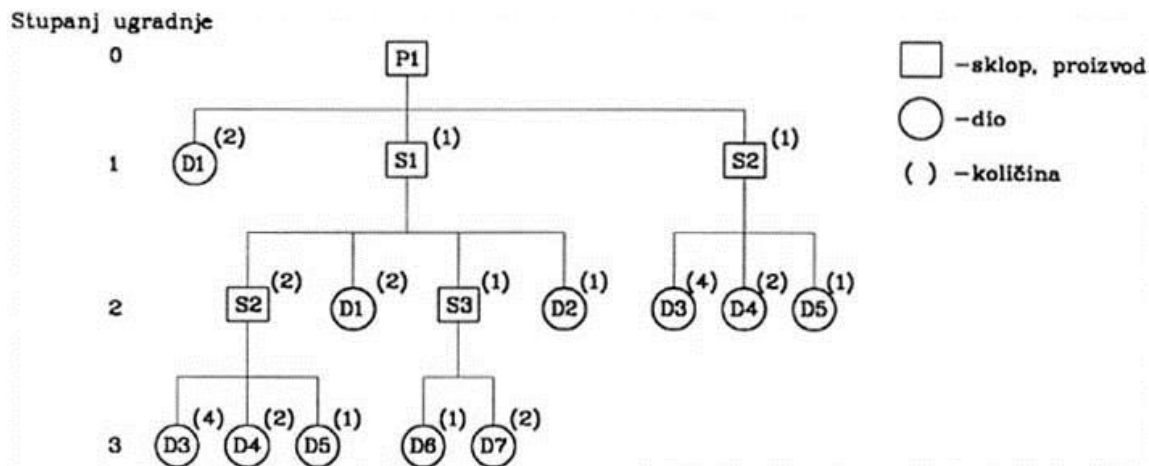
Izmjene sastavnica su dugotrajnije nego kod drugih oblika sastavnica, jer se jednaki dijelovi i sklopovi moraju tražiti na različitim razinama proizvoda.

Rastrošna je i izrada novih sastavnica, koje sadrže već primijenjene sklopove u drugim proizvodima.

Tablica 3. Strukturna sastavnica²²

FSB Fakultet strojarstva i brodogradnje Zagreb			STRUKTURNA SASTAVNICA								Datum izrade:		K:	KI:	List:
Naziv:			Identitet:				Broj crteža:						Listova:		
Stupanj ugradnje	Identitet ugradbenog dijela	Naziv ugradbenog dijela	Format crteža	Broj crteža	Broj pozicije na sklopom crtežu	K	KI	JM	Količina	Broj izmjene	Datum izmjene	S	Datum stupanja		
JM - jedinica mjere: 11 - komad 20 - gram 21 - dag 22 - kg		31 - mm 33 - mm 41 - mm ² 42 - cm ² 52 - cm ³ 53 - dm ³ 54 - m ² 61 - dcl 62 - l	K - karakter dijela: D - dio u užem smislu F - fletivni sklop M - materijal (sirovina)	P - gotov proizvod S - sklop T - standardni dio	KI - ključ nosioca izrade: 10 - jmaonica 15 - teška obrada 20 - laka obrada 30 - montaža	40 - pogon održavanja 54 - nabava 55 - kooperacija domaća 56 - kooperacija inozemna	S - status ključ: U - ubacivanje dijela B - brisanje dijela R - izvedeni dio * - alternativni dio	Broj sastavnice:							

²² <http://www.fsb.hr/~zkunica/nastava/Strktsas.doc>



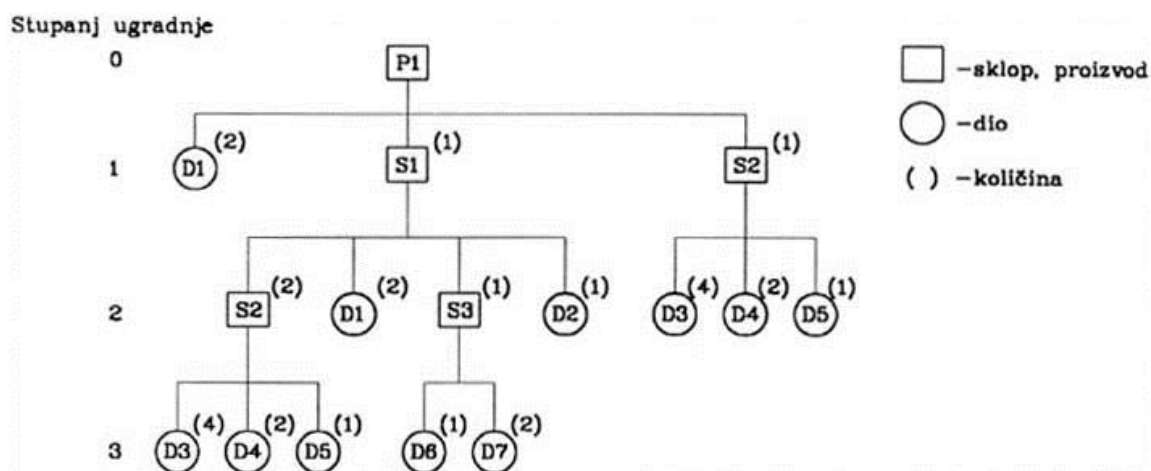
St ug	Stu ugr	Proizvod P1		
		Stupanj ugradnje	Oznaka elementa	Količina
1	x	1	D1	2
1	x	1	S1	1
2	xx	.2	S2	2
3	xxx	..3	D3	8
3	xxx	..3	D4	4
3	xxx	..3	D5	2
2	xx	.2	D1	2
2	xx	.2	S3	1
3	xxx	..3	D6	1
3	xxx	..3	D7	2
2	xx	.2	D2	1
1	x	1	S2	1
2	xx	.2	D3	4
2	xx	.2	D4	2
2	xx	.2	D5	1

Slika 26. Shema strukturne sastavnice, s različitim označavanjem stupnjeva ugradnje

5.3. MODULARNA SASTAVNICA

Modularna sastavnica je jednostupnjevana sastavnica proizvoda, odnosno sklopa, koja sadrži samo dijelove i sklopove narednog stupnja ugradnje.

Za prikaz višestupnjevanog proizvoda (sklopa) potreban je skup modularnih sastavnica.



Proizvod P1		
Redni broj	Oznaka elementa	Količina
1	D1	2
2	S1	1
3	S2	1

Sklop S1		
Redni broj	Oznaka elementa	Količina
1	S2	2
2	D1	2
3	S3	1
4	D2	1

Sklop S2		
Redni broj	Oznaka elementa	Količina
1	D3	4
2	D4	2
3	D5	1

Sklop S3		
Redni broj	Oznaka elementa	Količina
1	D6	1
2	D7	2

Slika 27. Sheme modularnih sastavnica

Sklopovi koji se višestruko koriste u proizvodu ili u drugim proizvodima, prikazuju se samo jednom vlastitim sastavnicama, dok se u drugim sastavnicama pojavljuju samo kao pozicije.

Time se smanjuje vrijeme izrade i potreban prostor pohrane.

Izvođenje je izmjena jednostavno, jer se sastavnica sklopa nalazi pohranjena samo na jednom mjestu.

Podaci o količinama ugradbenih elemenata uvijek se odnose na montažu jednog komada proizvoda (sklopa), navedenog u zaglavlju sastavnice.

Zbog mogućnosti višestruke primjene sklopova u proizvodu, količine ugradbenih elemenata proizvoda treba posebno izračunati uzevši u obzir sve modularne sastavnice proizvoda.

Modularna sastavnica je zbog svoje preglednosti, najprikladniji oblik sastavnice za korištenje u pogonu, jer uvijek sadrži samo one podatke koji su potrebni za dotičnu montažu.

Prikladno ju je upotrijebiti za prikaz sklopno orijentiranih proizvoda i u slučaju pojavljivanja jednakih sklopova u više različitih proizvoda (montaže sklopova u većim serijama i u slučaju nužde stvaranja zaliha).

Glavni nedostatak kod ručno izvedenih modularnih sastavnica jest nemogućnost predočavanja cjelovite slike proizvoda: da bi se dobila, potrebno je nizati i spajati pripadajuće modularne sastavnice proizvoda.

Na osnovi pohranjenih modularnih sastavnica strojno se odgovarajućim programima (procesor sastavnice) mogu tiskati strukturne i količinske sastavnice.

Kombinirani se **oblici** prikaza sastavnica koriste kada se želi umanjiti ili otkloniti određene nedostatke osnovnih vrsta sastavnica.

5.4. VARIJANTNE SASTAVNICE

Varijantni proizvodi su proizvodi s velikim udjelom jednakih ugradbenih elemenata.

Razlike su ograničene na boju, veličinu, broj ugradbenih elemenata, strukturu i slično.

Njima proizvođači pokušavaju zadovoljiti širi krug kupaca.

Varijantni se proizvodi obično sastoje od tri grupe ugradbenih elemenata:

1. dijelova i sklopova koji se uvijek nalaze u strukturi proizvoda,
2. alternativnih dijelova i sklopova,
3. opcionalnih dijelova i sklopova koji se mogu, ali i ne moraju odabrati.

Varijante se mogu pojaviti na svakom stupnju ugradnje proizvoda, ali se zbog minimiranja troškova nastoje ostvariti u završnoj montaži.

Varijantnom sastavnicom ušteduje se rad na unošenju podataka, štedi prostor pohrane i dobiva bolji pregled o mogućnostima tipizacije i standardizacije proizvoda.

Svaka od varijanti proizvoda može se prikazati:

- posebnom sastavnicom, ili se varijantne sastavnice generiraju na osnovi:
- sastavnice jednakih dijelova,
- sastavnice *normalne izvedbe*, ili
- kompleksne sastavnice
- tipske sastavnice.

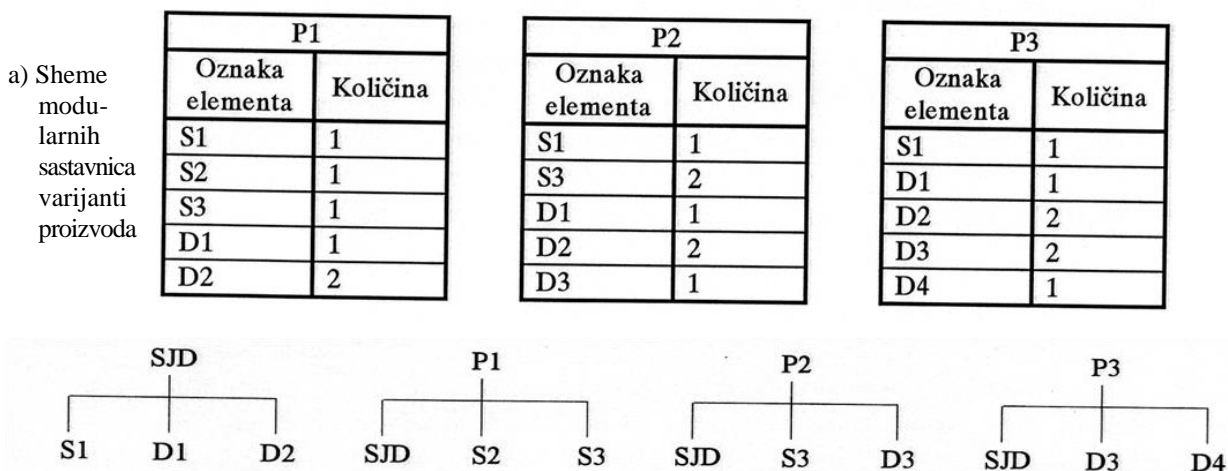
Generiranje varijantne sastavnice na osnovi sastavnice jednakih dijelova (Slika 28.b)), vrši se tako da se izradi fiktivna sastavnica jednakih dijelova, koja se u varijantnu sastavnicu unosi kao prva pozicija. Generirane varijantne sastavnice sadrže samo dodatne ugradbene elemente pa se nazivaju plus sastavnicama.

Kod plus-minus sastavnice (Slika 28.c)) osnovu čini normalna izvedba proizvoda. *Normalna izvedba proizvoda* je strateški, jezgri proizvod kompanije, na kojemu se zasnivaju svi ostali proizvodi. Varijantna sastavnica generira se dodavanjem (plus) ili brisanjem (minus) ugradbenih elemenata: kopira se sastavnica *normalne izvedbe*, pa joj se dodjeljuje novi identifikacijski broj, te brišu ili dodaju novi retci.

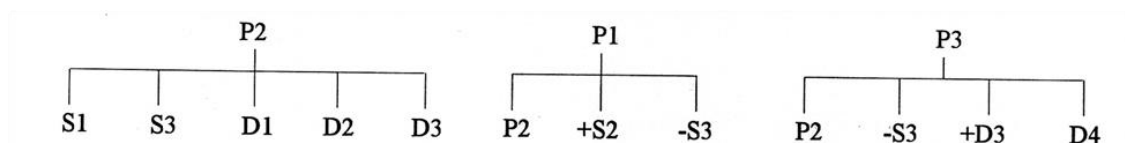
Kompleksna sastavnica sadrži sve ugradbene elemente skupine varijanti proizvoda (Slika 28.d)). Varijantna sastavnica generira se brisanjem nepotrebnih ugradbenih elemenata te se naziva minus sastavnica.

Proizvodi, koji se razlikuju po broju komada pojedinih ugradbenih elemenata, prikazuju se tipskom sastavnicom (Slika 28.e)). Tipska sastavnica je složena sastavnica sastavljena od više sastavnica u jednom obrascu.

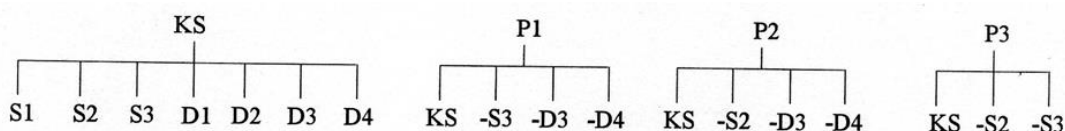
U konkretnom slučaju, odabrat će se vrsta varijantne sastavnice koja ishodi manjim opsegom rada s podacima.



b) Shema sastavnice jednakih dijelova (SJD) sa plus sastavnicom



c) Shema sastavnice normalne izvedbe (P2) sa plus-minus sastavnicom



d) Shema kompleksne sastavnice (KS) sa minus sastavnicom

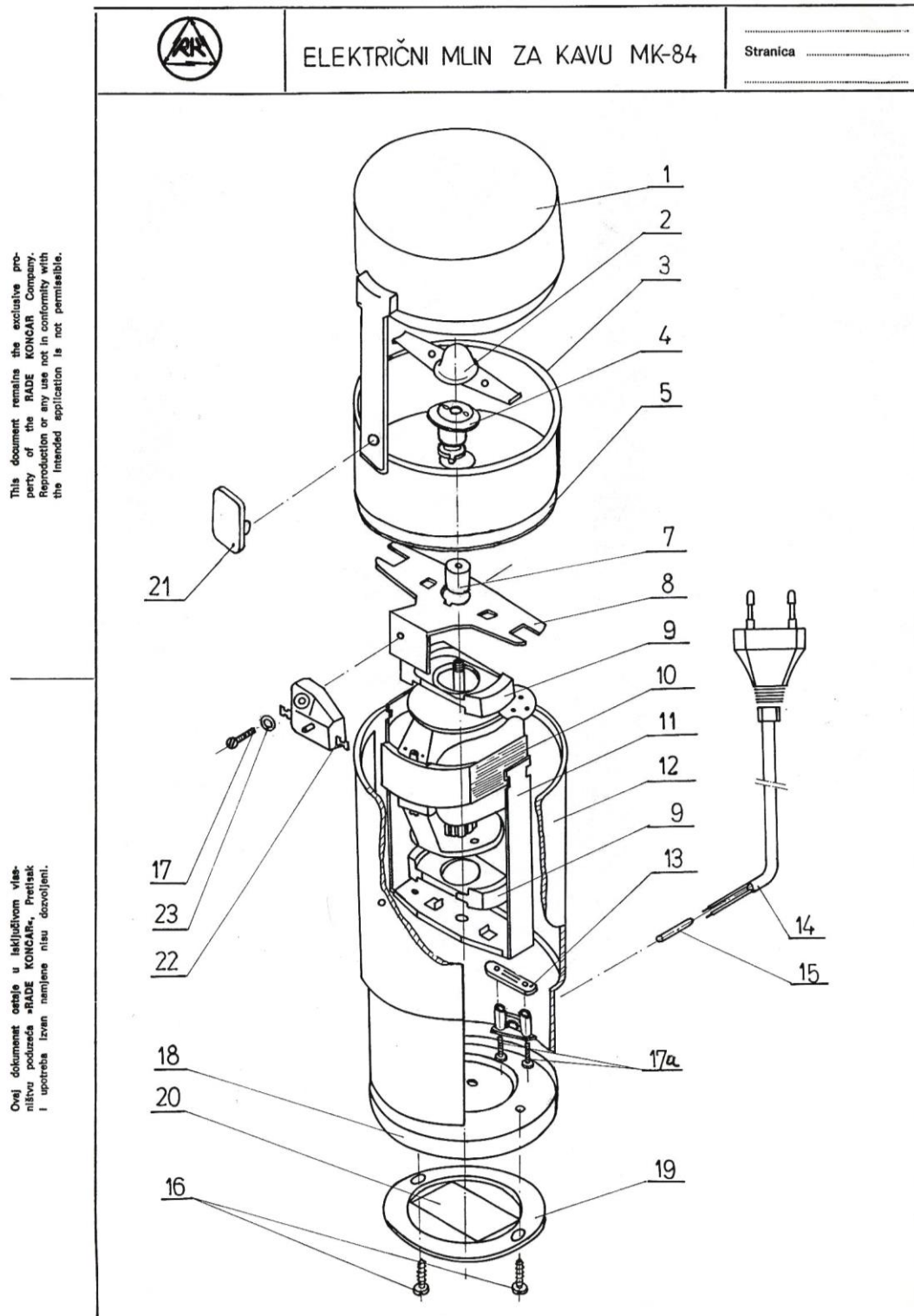
e) Shema tipske sastavnice

Tipska sastavnica proizvod P			
Oznaka elementa	Količine za varijante		
	P1	P2	P3
S1	1	1	1
S2	1	-	-
S3	1	2	-
D1	1	1	1
D2	2	2	2
D3	-	1	2
D4	-	-	1

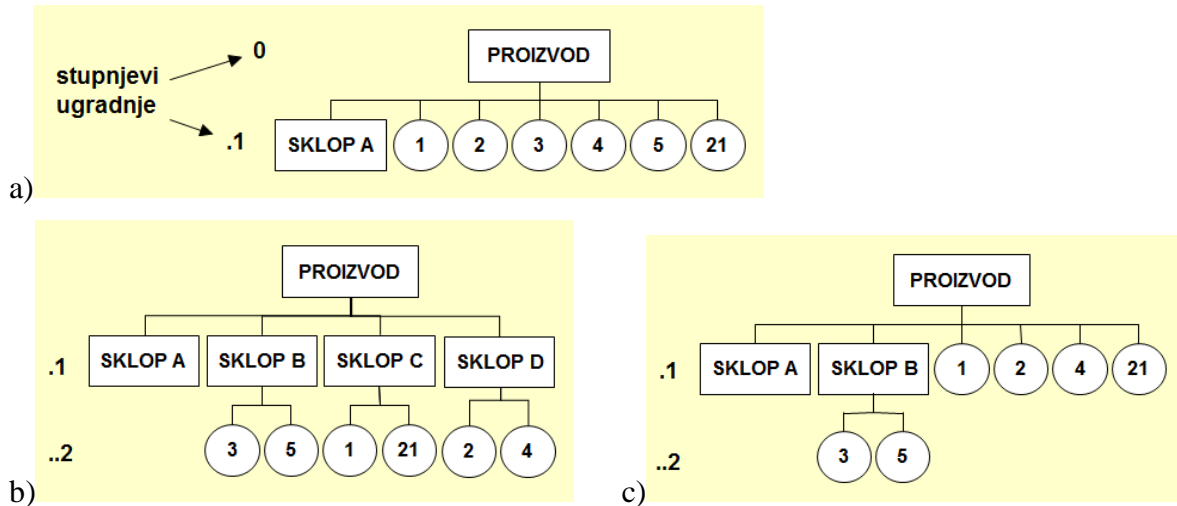
Slika 28. Sheme varijantnih sastavnica

5.5. PRIMJER: ELEKTRIČNI MLIN ZA KAVU

Uzet će se da je "donji dio" mlina (Slika 29.), sklop A, već montiran (kupljeni sklop), tako da treba strukturirati preostale pozicije: 1 do 5 i 21. Pozicije 2 i 4 ostvaruju spoj sa sklopom A navojem. Razni načini i prikazi strukture dani su slikama 30. do 32. Mogu li pozicije 1, 3 i 5 tvoriti sklop?



Slika 29. Električni mlin za kavu

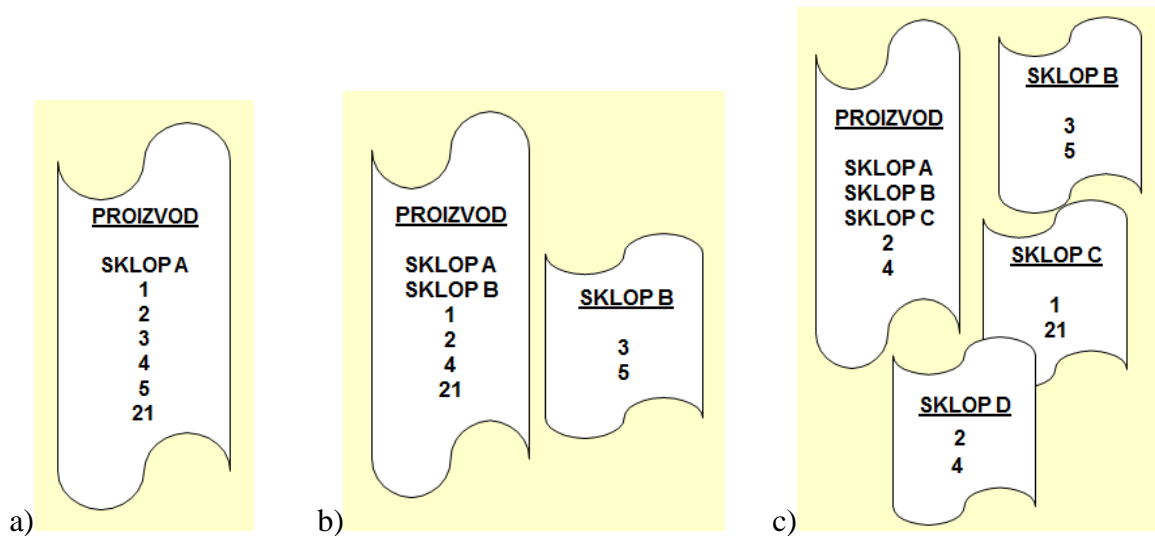


Slika 30. Prikaz strukture mlina za kavu stablom: a) I. varijanta, b) II. varijanta, c) III. varijanta

Stupanj ugradnje	Oznaka ugradbenog elementa
.1	SKLOP A
.1	1
.1	2
.1	3
.1	4
.1	5
.1	21

.1	SKLOP A
.1	SKLOP B
..2	3
..2	5
.1	SKLOP C
..2	1
..2	21
.1	SKLOP D
..2	2
..2	4

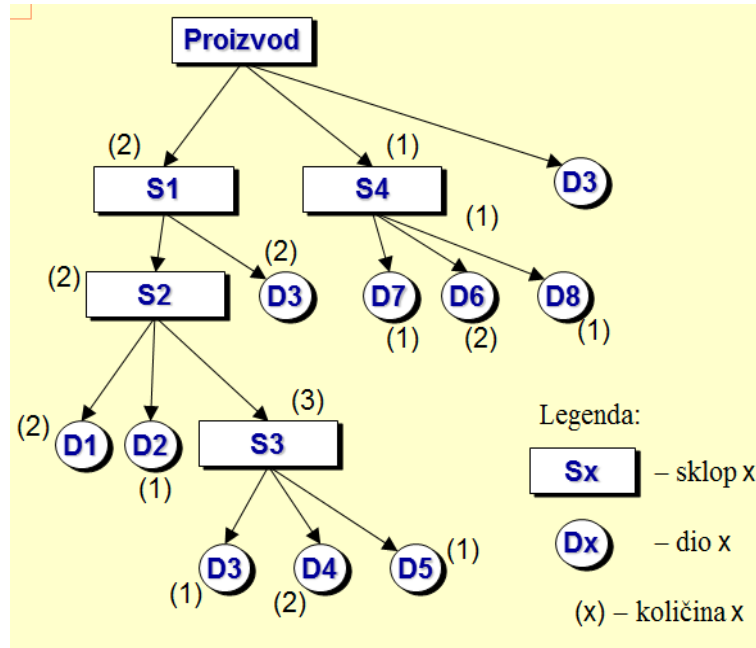
Slika 31. Prikaz strukture mlina za kavu strukturnom sastavnicom (navedeni samo najvažniji podaci za upis u strukturnu sastavnicu): a) I. varijanta, b) II. varijanta, c) III. varijanta



Slika 32. Prikaz strukture mlina za kavu modularnom sastavnicom: a) I. varijanta, b) II. varijanta, c) III. varijanta

Zadatak

Za proizvod čija je struktura prikazana stablom (Slika 33.), izraditi: strukturnu, modularnu te količinsku sastavnicu. S obzirom na prethodni primjer mlina za kavu gdje su se svi ugradbeni elementi pojavljivali u količini po jedan, u zadatku se pojedini ugradbeni elementi pojavljuju i u većim količinama, i na raznim mjestima u strukturi proizvoda.



Slika 33. Zadatak za izradu strukturne, modularne te količinske sastavnice

6. LISTE ZASTUPLJENOSTI UGRADBENIH ELEMENATA

Liste zastupljenosti ugradbenih elemenata, za razliku od sastavnica iz kojih se vidi od čega se sastoji proizvod, pokazuju u kojim su proizvodima (sklopovima) zastupljeni ugradbeni elementi.

Ova informacija je višestruko korisna:

- brz i cjelovit (potpun) uvid u mogućnosti izvršenja konstrukcijske izmjene ugradbenog elementa, s obzirom na njegovu zastupljenost u drugim proizvodima odnosno sklopovima;
- uvid o prikladnim ugradbenim elementima za internu standardizaciju;
- u slučaju pojave škarta u proizvodnji ili zakašnjenja u isporuci, donošenje odluke o prioritarnim proizvodima za montažu;
- vođenje politike nabave u cilju minimiranja skladišne pričuve.

Za višestupnjevine proizvode izrađuju se (Slika 34.):

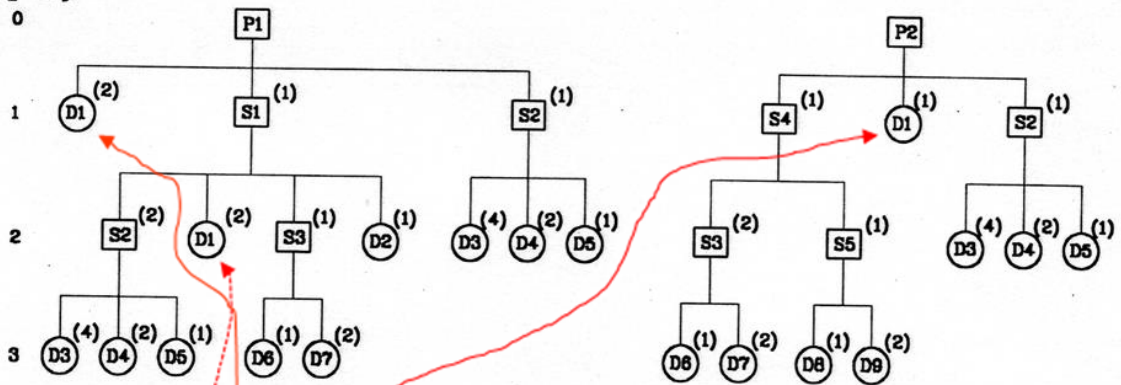
- modularne,
- strukturne, i
- količinske liste zastupljenosti ugradbenih elemenata.

Modularna lista pokazuje u koje neposredno nadređene sklopove ili proizvode ulazi ugradbeni element.

Strukturna lista pokazuje sve primjene nekog ugradbenog elementa u neprekinutom slijedu do razine proizvoda. Neposredna primjena promatranoga ugradbenog elementa označuje se strukturnim stupnjem 1, a indirektna primjena odgovarajućim višim stupnjem. Strukturna lista može biti vrlo obimna.

Količinske liste daju pregled ukupnog broja komada ugradbenih elemenata u proizvodima. Kao dodatna informacija često se navodi stupanj ugradnje kojim se definira primjena ugradbenog elementa.

Stupanj ugradnje
0



Dio D1		
Redni broj	Oznaka elementa	Količina
1	P1	2
2	P2	1
3	S1	2

Sklop S2		
Redni broj	Oznaka elementa	Količina
1	S1	2
2	P1	1
3	P2	1

a) Modularna lista zastupljenosti dijelova

Dio D1		
Strukturalni stupanj	Oznaka elementa	Količina
1	P1	2
1	S1	2
2	P1	2
1	P2	1

Dio D2		
Strukturalni stupanj	Oznaka elementa	Količina
1	S1	1
2	P1	1

Dio D3		
Strukturalni stupanj	Oznaka elementa	Količina
1	S2	4
2	S1	8
3	P1	8
2	P1	4
2	P2	4

Dio D4		
Strukturalni stupanj	Oznaka elementa	Količina
1	S2	2
2	S1	4
3	P1	4
2	P1	2
2	P2	2

Sklop S1		
Strukturalni stupanj	Oznaka elementa	Količina
1	P1	1

Sklop S2		
Strukturalni stupanj	Oznaka elementa	Količina
1	S1	2
2	P1	2
1	P1	1
1	P2	1

Sklop S3		
Strukturalni stupanj	Oznaka elementa	Količina
1	S1	1
2	P1	1
1	S4	2
2	P2	2

b) Strukturalna lista zastupljenosti dijelova

Dio D1		
Stupanj ugradnje	Oznaka elementa	Količina
1	S1	2
0	P1	4
0	P2	1

Sklop S2		
Stupanj ugradnje	Oznaka elementa	Količina
1	S1	2
0	P1	3
0	P2	1

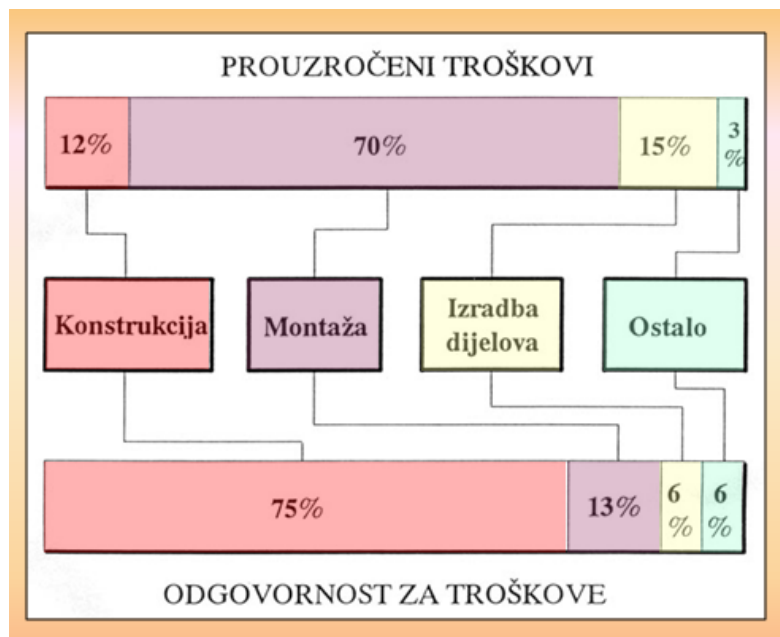
c) Količinska lista zastupljenosti elemenata

Slika 34. Sheme struktura proizvoda P1 i P2, sa shemama listâ zastupljenosti ugradbenih elemenata za dio D1 i sklop S2

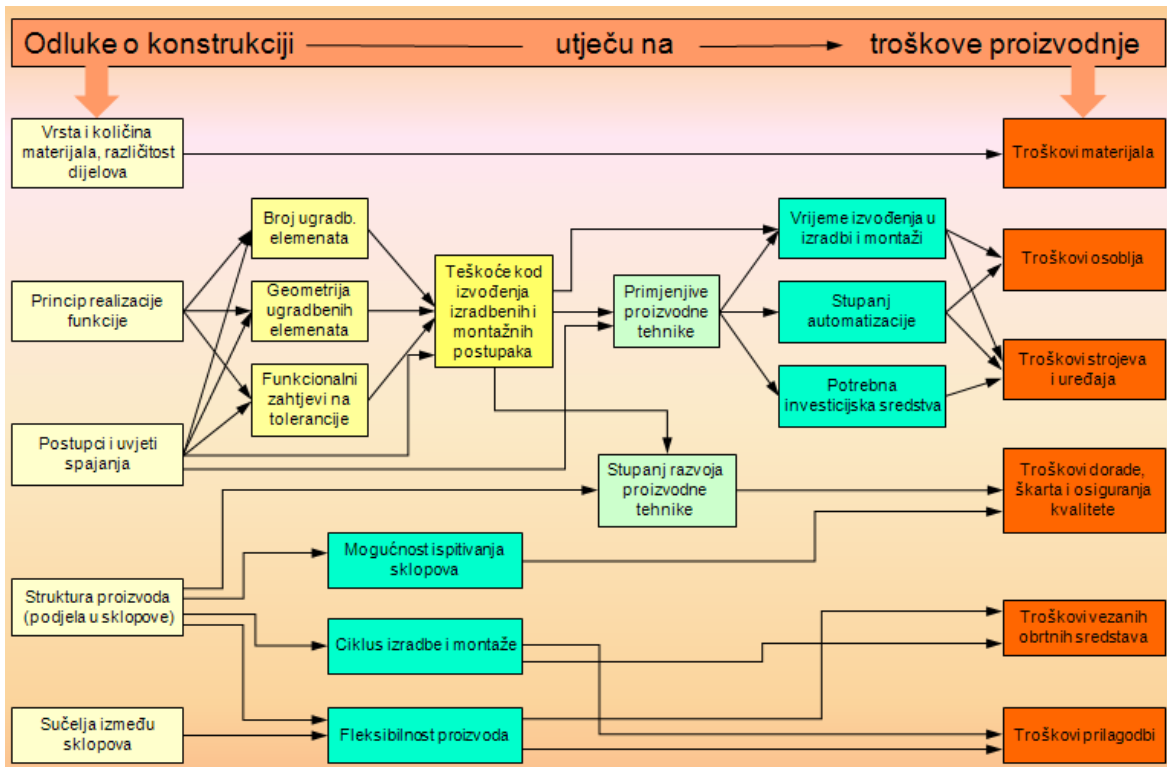
7.OBLIKOVANJE PROIZVODA ZA SKLAPANJE

7.1. UTJECAJ KONSTRUIRANJA

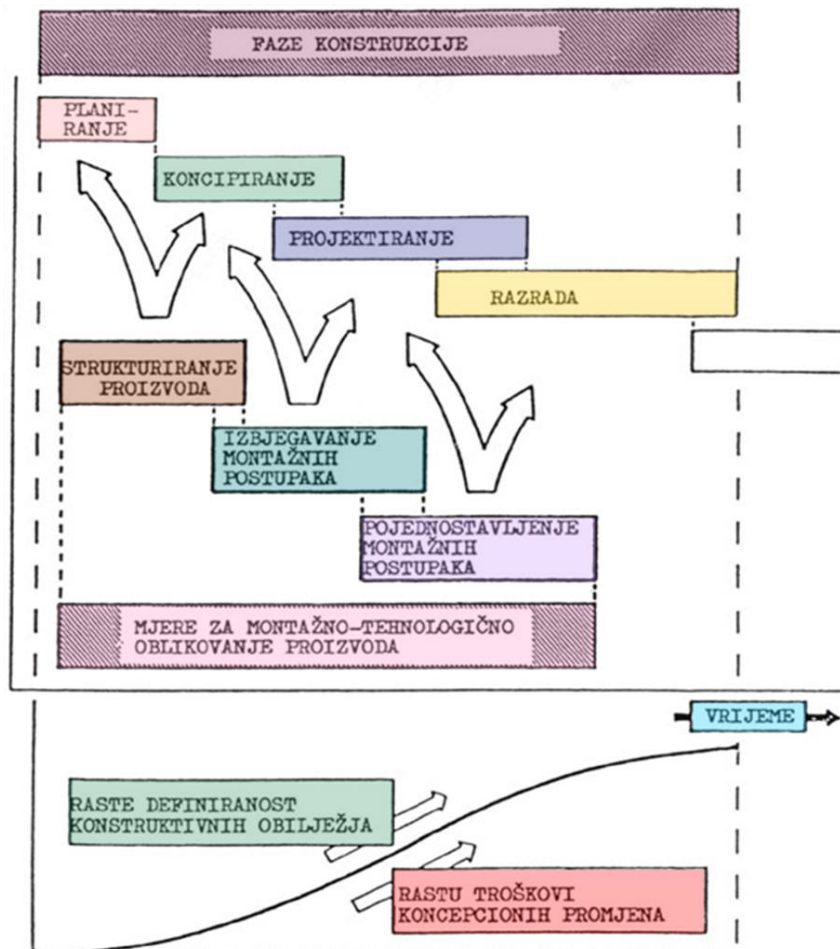
Razmatranje izradbe i montaže već tijekom oblikovanja proizvoda predstavlja najveći potencijal za značajno sniženje troškova proizvodnje i povišenje proizvodnosti (slike 35. do 37.).



Slika 35. Prouzročeni troškovi i odgovornost odjela za troškove proizvodnje



Slika 36. Utjecaj konstruiranja na troškove proizvodnje



Slika 37. Faze konstruiranja i utjecaji na sklopivost proizvoda

7.2. ZNAČAJKE SKLOPIVOSTI PROIZVODA

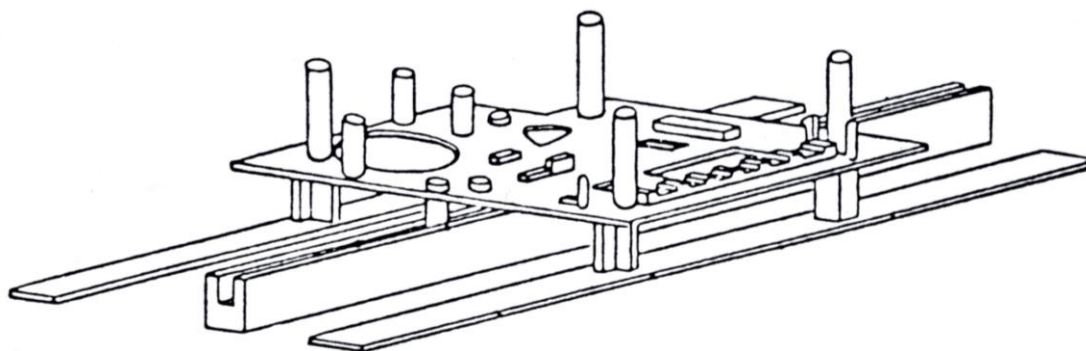
Tehnološkičnost proizvoda za sklapanje (sklopivost proizvoda) očituje se u sljedećemu.

POSTOJANJE OSNOVNOGA (BAZNOGA) UGRADBENOG ELEMENTA

Postojanje osnovnoga (baznoga) ugradbenog elementa olakšava osmišljavanje i izvođenje montažnoga procesa – transport narastajućega proizvoda tijekom sklapanja (Slika 38.).

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 sklapanja (postavljanje, prihvat, zakretanje).

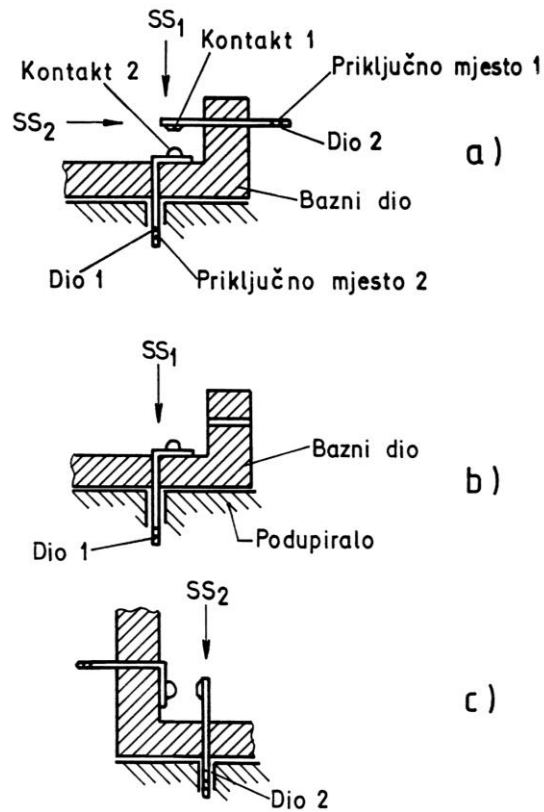


Slika 38. Osnovni (bazni) ugradbeni element proizvoda

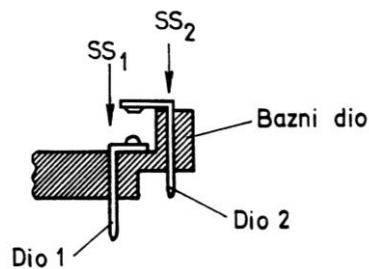
OSTVARENJE SAMO JEDNE (ŠTO MANJEG BROJA) OSI SKLAPANJA I OSTVARENJE SMJERA SKLAPANJA ODOZGO NADOLJE

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 operacije sklapanja dijelova odozdo što je u pravilu otežano (slike 39. do 41.).

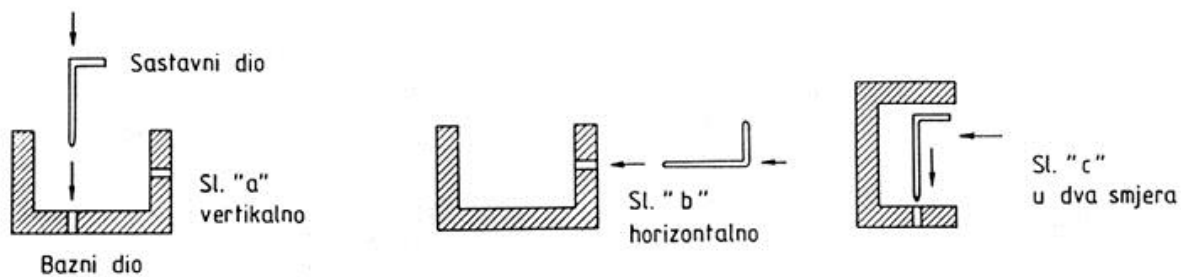
Postojanje više osi sklapanja, u slučaju tehnika spajanja koje zahtijevaju primjenu sile, uobičajeno iziskuje dodatne radnje rukovanja, što ishodi složenijim uređajima za rukovanje i posebnim napravama za oslanjanje i stezanje sklopa.



Slika 39. Spajanje dva dijela različitih smjerova sklapanja: a) krajnji sklop, b) Dio 1 spojen smjerom SS_1 , c) Dio 2 spojen smjerom SS_2 , uz prethodno preorijentiranje za 90° (privremenog, trenutalnog) sklopa²³



Slika 40. Spajanje dvaju dijelova s jednim smjerom sklapanja

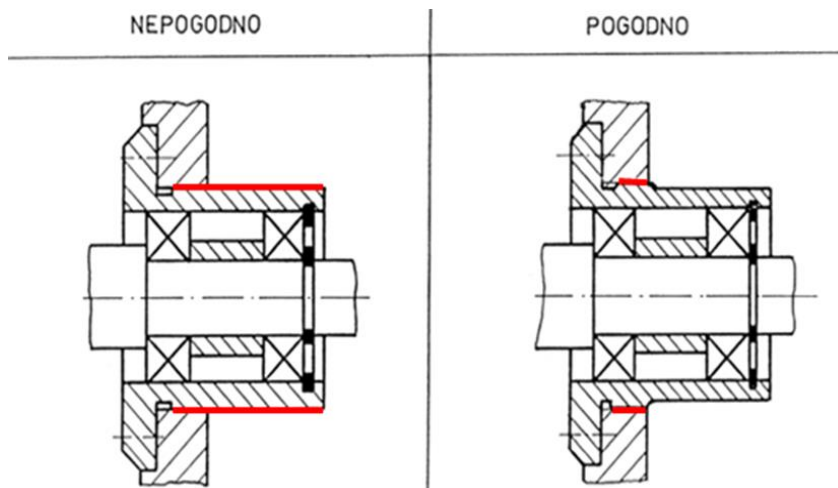


Slika 41. Jednosmjerne (a i b) i višesmjerne (c) putanje sklapanja

²³Privremeni se sklop sastoji od baznog dijela i dijela Dio 1.

POSTIZANJE JEDNOSTAVNIH LINEARNIH PUTANJA SKLAPANJA

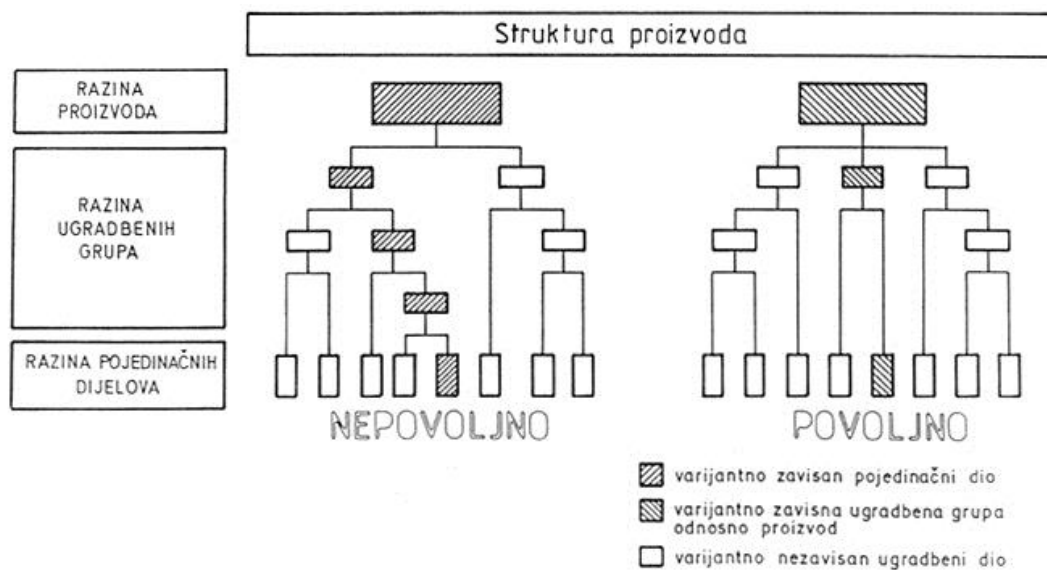
Postizanje jednostavnih linearnih putanja sklapanja, gdje god je to moguće, značajno će pojednostavniti izvođenje sklapanja, olakšati automatizaciju i dopustiti razmatranje jeftinije opreme za automatsku montažu. Istodobno se treba težiti što kraćim putanjama sklapanja (slike 39. do 42.).



Slika 42. Skraćenje kritičnog dijela putanje sklapanja promjenom promjera dijela²⁴

STRUKTURIRANOST PROIZVODA U SKLOPOVE

Strukturiranost proizvoda u sklopove (Slika 43.) 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. Postojanje sklopova olakšava stvaranje varijanti proizvoda. Varijantno zavisne sklopove treba nastojati montirati u što kasnijim fazama montažnoga procesa (upravljanje raznolikošću).



Slika 43. Strukturiranost proizvoda u sklopove

²⁴ Rezultira povišenjem troškova izradbe.

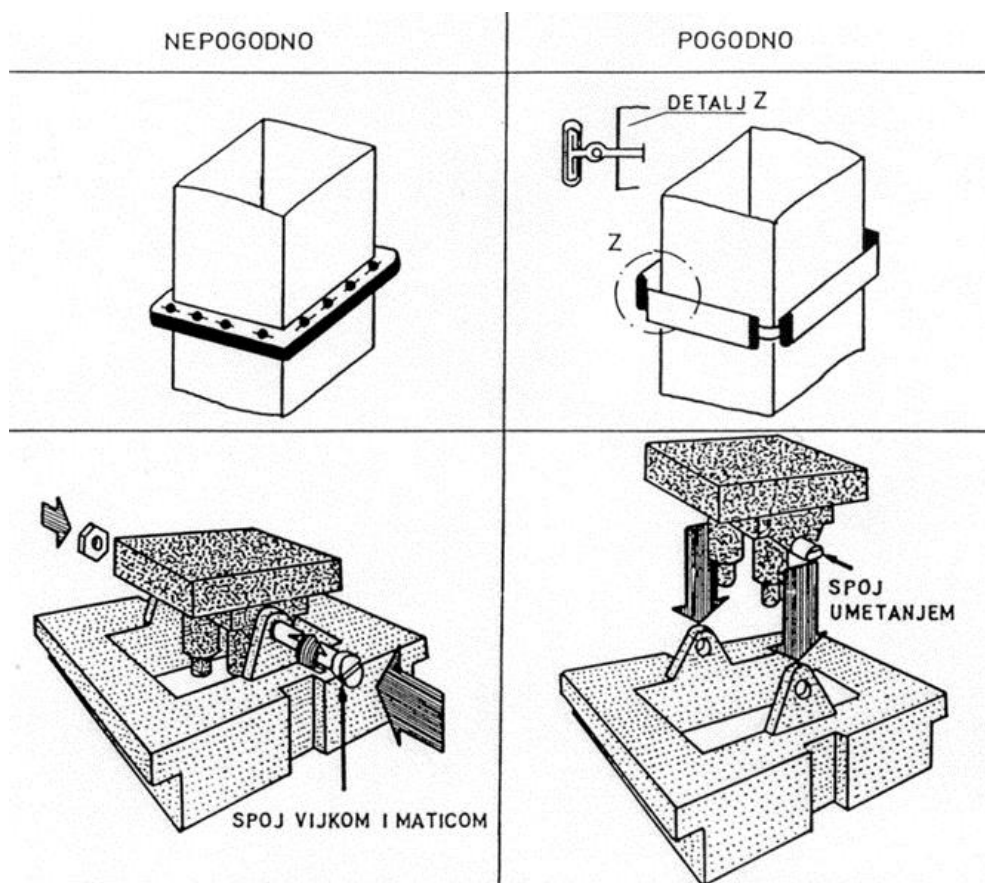
PRIMJENA POGODNIH TEHNIKA SPAJANJA

Primjenom pogodnih tehnika spajanja (Slika 44.) 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.

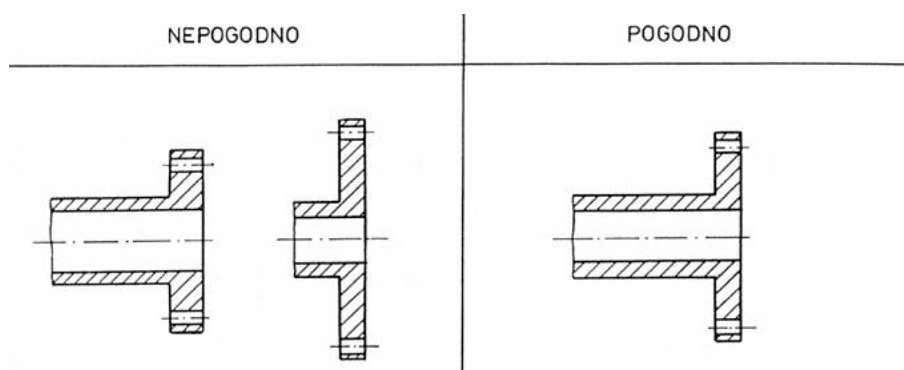
Treba nastojati koristiti tehnike spajanja koje nisu intenzivne dijelovima (izbjegavati vijčanje) i koje ne zahtijevaju dodatni materijal. Tako su kod dijelova od polimernih i tankostijenih metalnih materijala uvriježeni uskočni spojevi (spoj oblikom).



Slika 44. Primjeri primjene pogodnih tehnika spajanja

PRIMJENA STANDARDNIH UGRADBENIH ELEMENATA

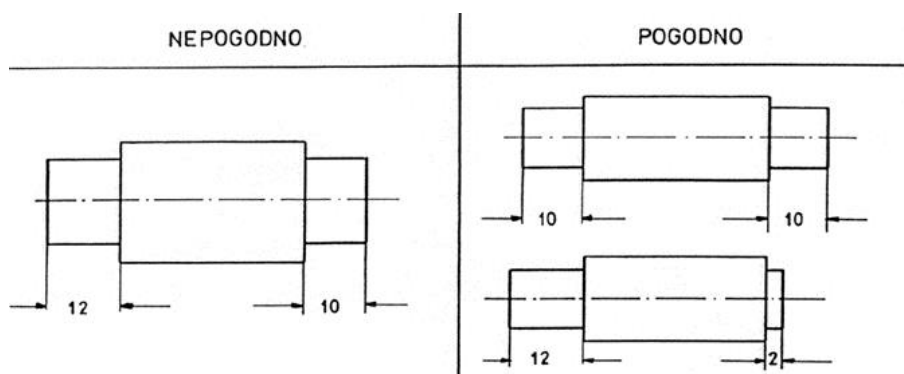
Primjena standardnih ugradbenih elemenata (Slika 45.) pojednostavnjuje proces izradbe i osigurava visoku ponovljivost montažnoga procesa uz opetovano korištenje iste opreme. Veći obujam proizvodnje (veće proizvodne količine) u pravilu ishodi snižavanjem troškova proizvodnje.



Slika 45. Primjena standardnih ugradbenih elemenata

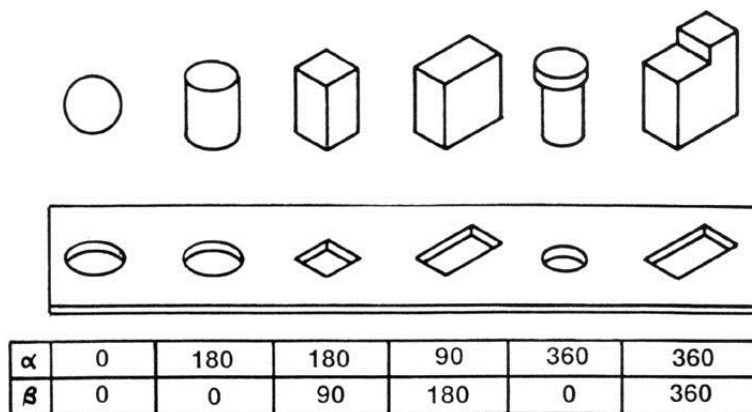
POGODAN OBLIK UGRADBENIH ELEMENATA

Pogodnim oblikom ugradbenih elemenata želi se olakšati izvođenje operacija 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 (Slika 46.).



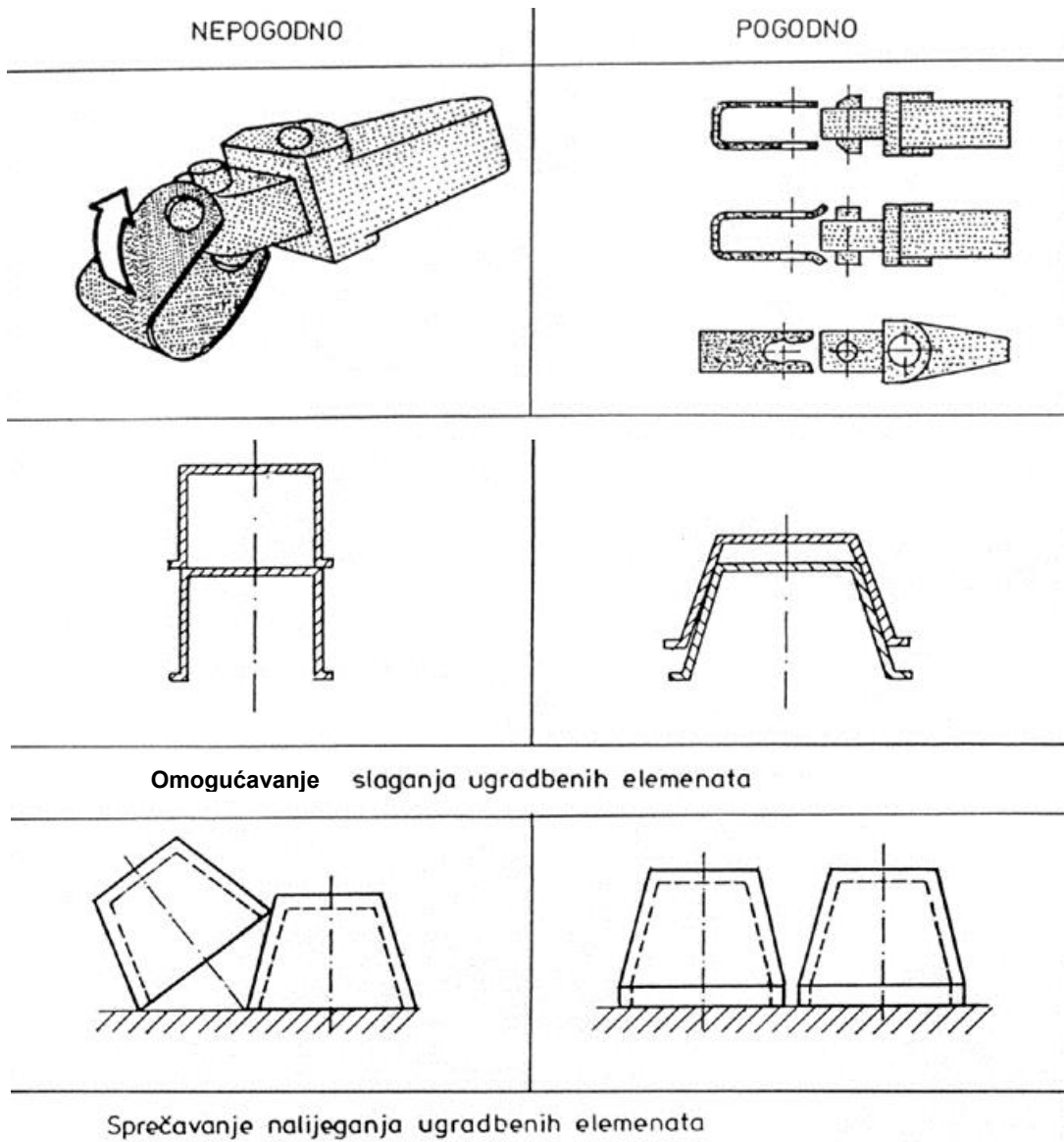
Slika 46. Pogodan oblik ugradbenih elemenata

Simetričnost, odnosno nesimetričnost nekoga objekta (dijela ili sklopa) definira se faktorima simetričnosti α i β (Slika 47.). 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.



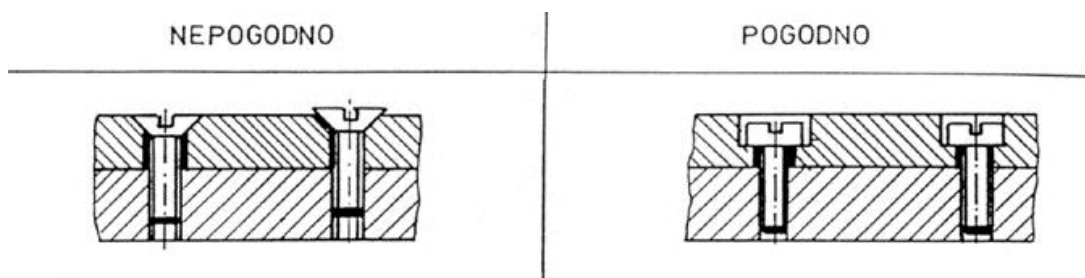
Slika 47. Faktori za određivanje simetričnosti odnosno nesimetričnosti nekoga objekta

Za olakšanje izvođenja radnji sklapanja dijelovima se pridaju određene geometrijske značajke, poput skošenja (olakšavanje umetanja i naslagivanja), žlijebova i utora (olakšavanje pozicioniranja, odnosno otklanjanje potrebe za stalnim održavanjem pozicije i orijentacije dijela) – Slika 48.



Slika 48. Primjeri pogodnih geometrijskih značajki dijelova

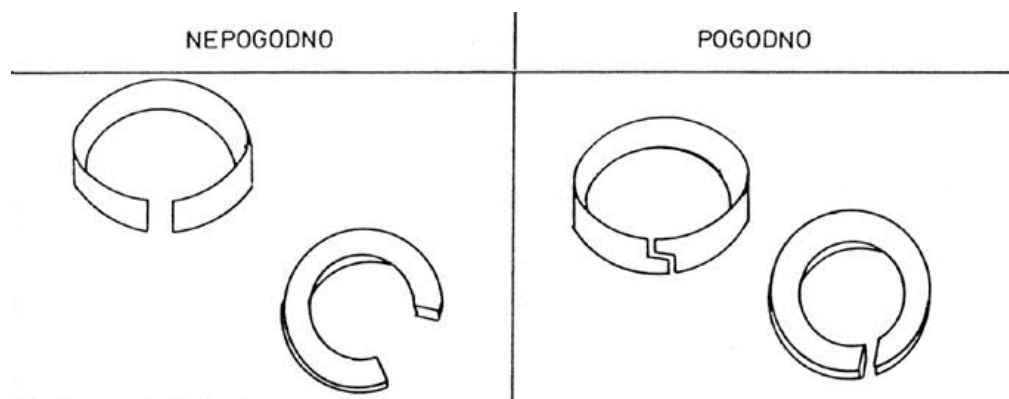
Oblikovanjem geometrijskih značajki dijelova svakako treba izbjeći neodređene položaje dijelova (Slika 49.).



Slika 49. Određenost položaja

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

Ostali, ne manje važni činitelji koji utječu na izvedivost operacija sklapanja, jesu: ljepljivost, osjetljivost (krhkost), savitljivost, premalenost, prevelikost, zapletljivost (Slika 50.), sklizljivost i opasnost po radnika (naprimjer oštri dijelovi).

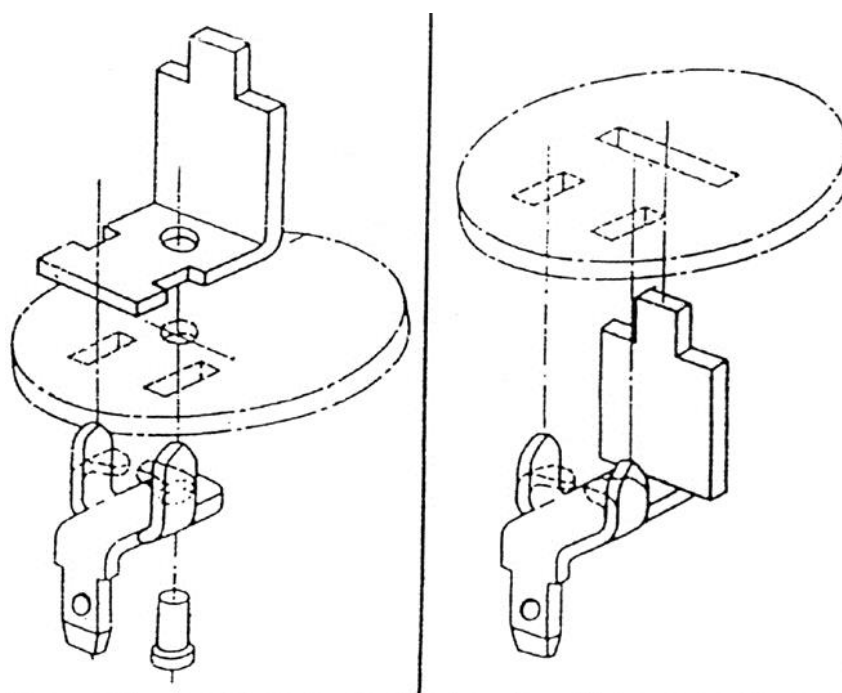


Slika 50. Primjer načina izbjegavanja zapletanja dijelova

UČINKOVITA 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) između dijelova i sklopova, uočava se kao rezultat konstruktorovoga napora da se pojedine funkcije proizvoda ostvaruju integriranim dijelovima (Slika 51.).

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.



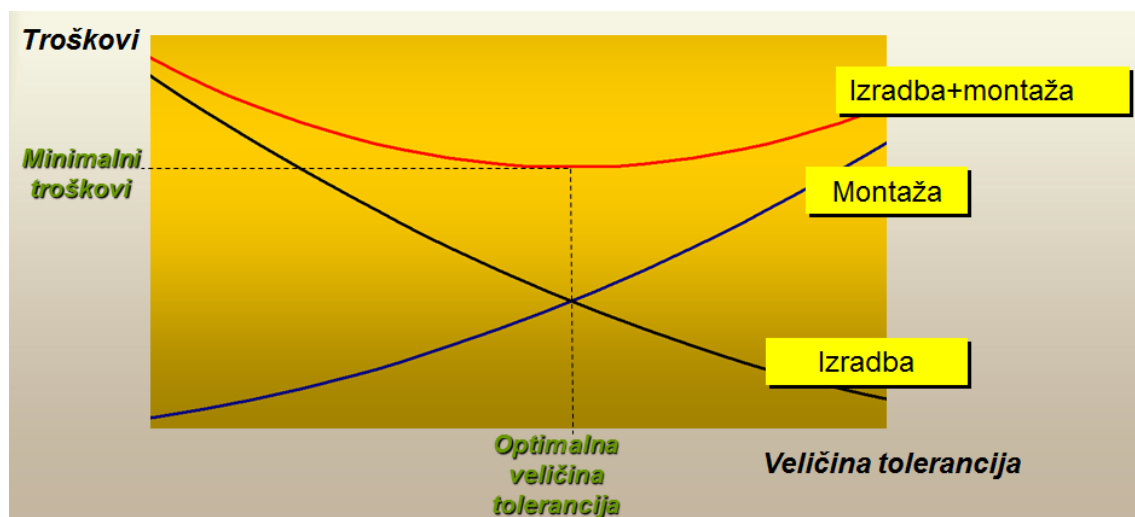
Slika 51. Minimiranje broja dijelova i broja njihovih veza (spojeva)

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. Stoga je pri definiranju dosjeda potrebno postići kompromisno rješenje.

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



Slika 52. Optimalne tolerancije s obzirom na troškove izradbe i montaže

7.3. METODE OBLIKOVANJA PROIZVODA ZA SKLAPANJE

Netom prikazane značajke odnosno pravila **opće** su **smjernice** za uzornu 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.**

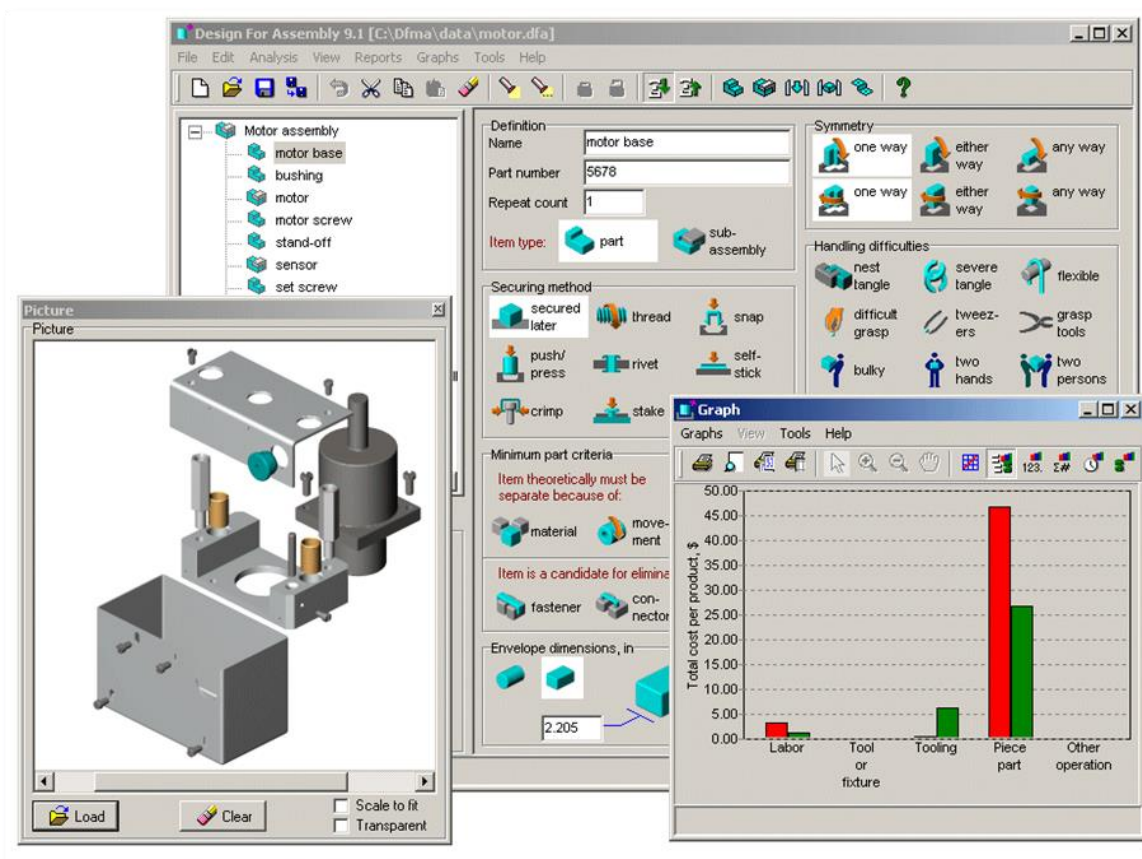
Netehnološka konstrukcija već u početku značajno otežava postupak projektiranja montažnoga sustava, može potpuno eliminirati mogućnost automatizacije, tako da u konačnici projektirani montažni sustav neće biti uzorno oblikovan i učinkovit.

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 i složena 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 – *Integrated Product Development*, PDM, upravljanje životnim ciklusom proizvoda – *Product Lifecycle Management*).

Od konca 70-ih godina prošloga stoljeća, s porastom udjela troškova sklapanja, počela se sustavno poklanjati pozornost problemu oblikovanja proizvoda za sklapanje, koja je rezultirala razvojem i efikasnom primjenom niza **metoda za analizu i preoblikovanje proizvoda (Design For Assembly – DFA)**, softverski praćenih (Slika 53.).



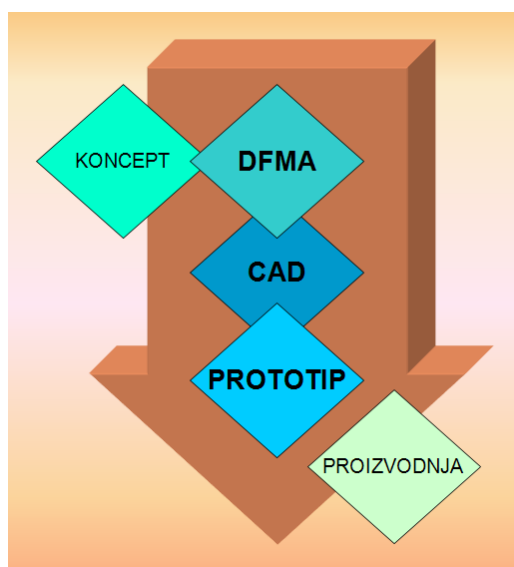
Slika 53. Prozori softvera Boothroydove i Dewhurstove metode DFA

Boothroyd i Dewhurst navode sljedeće ciljeve primjene metoda DFA:

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 činioce 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 otpočetka 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, što je posebno važno, i u ranim, konceptualnim fazama oblikovanja (Slika 54.²⁵), radije no da se već zgotovljena konstrukcija mora odbaciti i preoblikovati (redizajnirati). DFMA je sastavni dio istodobnog (simultanog) inženjerstva.



Slika 54. Razmatranje sklopivosti (i općenito tehnoložnosti) proizvoda u što ranijim, konceptualnim fazama razvoja proizvoda

Razvijeno je više metoda za procjenu sklopivosti proizvoda:

- već spomenuta 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).

Korištenjem metoda postižu se značajni rezultati²⁶, kao što se navodi za Boothroydova i Dewhurstova metoda DFA:

- 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 %.

²⁵ www.dfma.com; DFMA – *Design For Manufacture and Assembly* – Oblikovanje proizvoda za izradbu i montažu

²⁶ Uspjeh koji je polučila metoda DFA Boothroyda i Dewhursta potakla je razvoj i primjenu odgovarajućih procedura analize proizvoda u konceptualnim fazama razvoja i u drugim područjima (izradba, održavanje, ekoložičnost...) što se sve zajedno označava kraticom DFX (Oblikovanje proizvoda za područje X).

7.4. BOOTHROYDOVA I DEWHURSTOVA METODA DFA

Autori su metode DFA G. Boothroyd i P. Dewhurst. Objavljena je 1980. godine u Sjedinjenim Američkim Državama.

Svrha je metode:

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

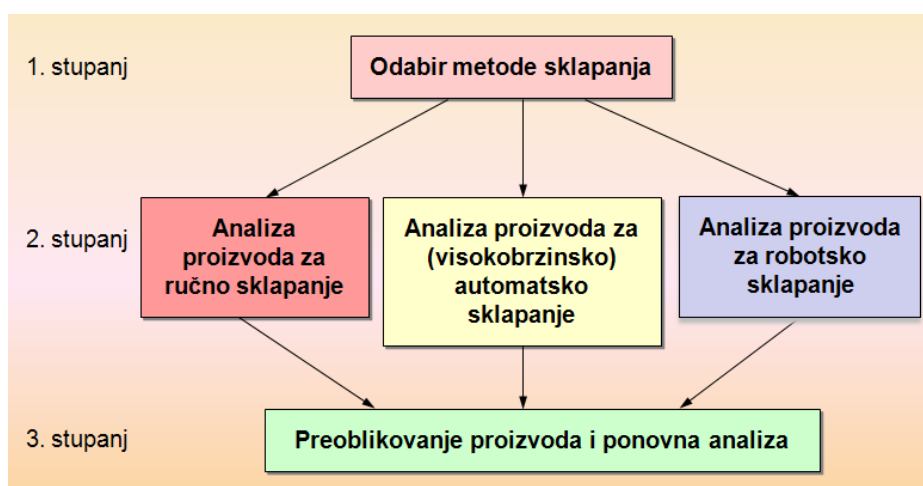
Ciljevi su metode:

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

Rezultati metode uključuju:

1. **procjenu vremena i troškova sklapanja,**
2. **kvantifikaciju efikasnosti oblikovanja** – različite konstrukcije po namjeni istih proizvoda mogu se kvantificirano uspoređivati.

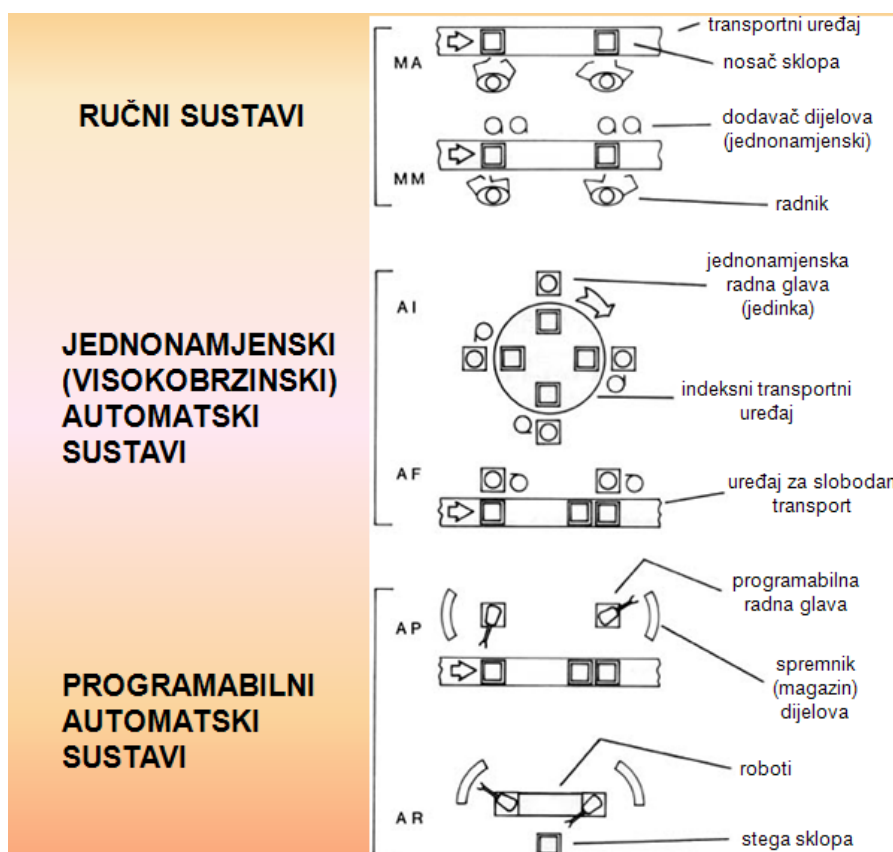
Metoda se odvija u tri koraka ili stupnja (Slika 55.).



Slika 55. Stupnjevi izvođenja metode DFA

Montažni sustavi sistematizirani su prema slici 56. Dijelevaju se u tri osnovne vrste a svaka od njih opet u po dvije podvrste.

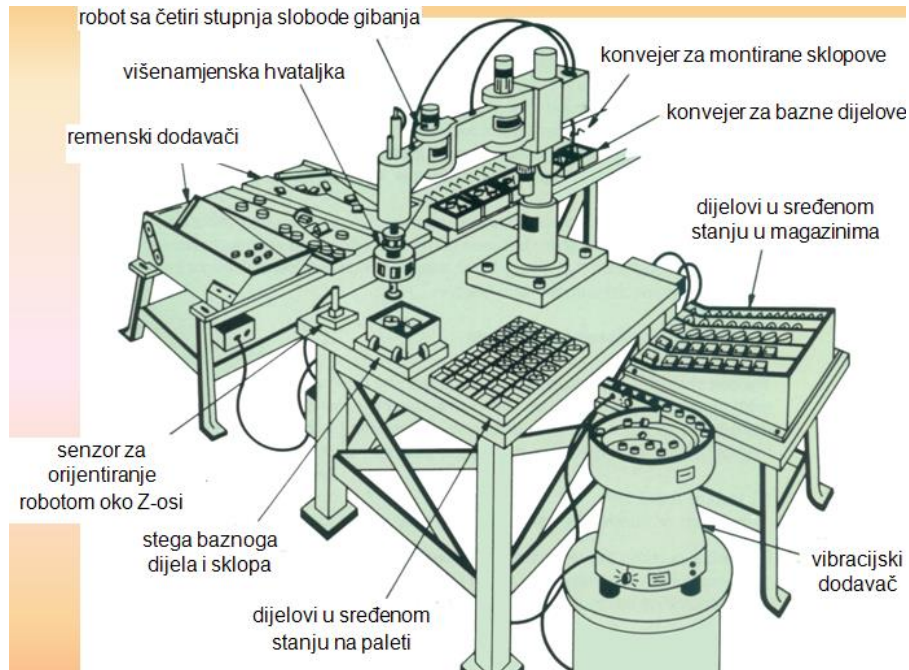
Kod ručnih je sustava uobičajeno riječ o (ručnim) radnim mjestima (ručnim radnim stanicama) koja su međusobno povezane transportnim uređajem (konvejerom). Ručni se sustavi odlikuju vrlo visokom fleksibilnošću prema promjeni proizvodnog programa. U njima se koriste jednostavni i jeftini alati i oprema. Zastoji zbog defektnih ugradbenih elemenata su zanemarivog vremenskog trajanja. U slučaju većih proizvodnih količina, ekonomična je primjena viših stupnjeva mehanizacije (sustavi MM) – uporaba pneumatskih ili električnih vijčala umjesto običnih, dodavača dijelova i druge slične opreme kojom će se skraćivati vrijeme ručne montaže te s jedne strane olakšavati tjelesni rad a s druge ga strane pojednostavljivati i činiti monotonim.



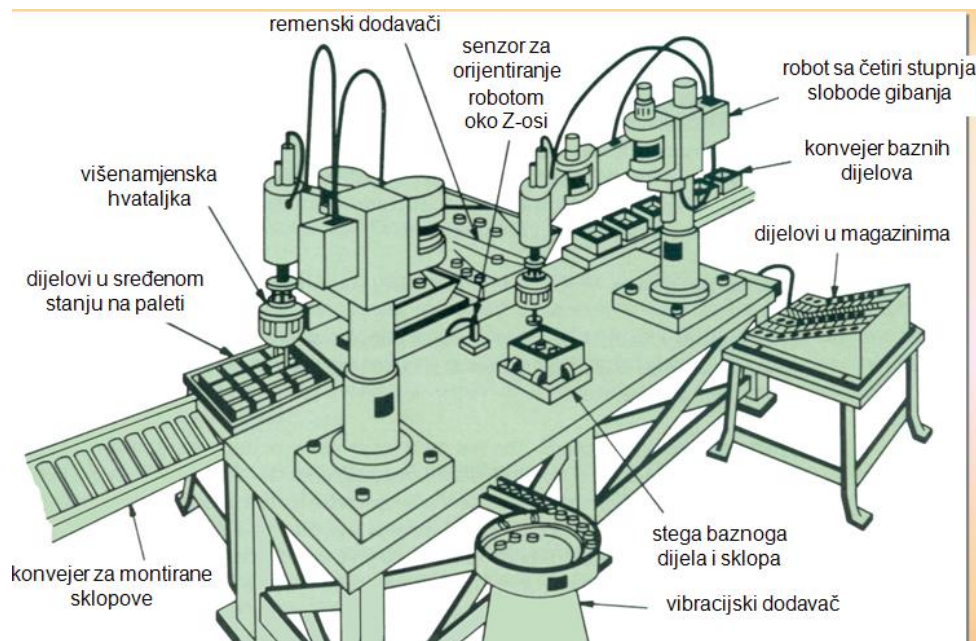
Slika 56. Sistematizacija montažnih sustava po Boothroydu i Dewhurstu

Jednonamjenski (visokobrzinski) automatski sustavi namijenjeni su sklapanju specifičnog (jednog) proizvoda u vrlo velikim proizvodnim količinama. Vrlo su ograničene fleksibilnosti prema promjeni proizvodnog programa. Eventualno može biti riječ o familiji proizvoda vrlo uske varijantnosti. U slučaju pada potražnje za proizvodom na tržištu, sustav, zbog velikog udjela specijalne opreme prilagođene proizvodnji, postaje gotovo u potpunosti neupotrebljiv. Nije sasvim pogodna niti situacija povećanja potražnje za proizvodom na tržištu; naime, budući da je kapacitet sustava limitiran, mora se postojeći sustav multiplicirati ili pak realizirati novi sustav, što zahtijeva financijska ulaganja. Redovito su jednonamjenski sustavi skupi i zahtijevaju značajan inženjerski napor da bi se realizirali. Jednonamjenski su sustavi osjetljivi na kvalitetu ugradbenih elemenata: u ručnim sustavima ljudi brzo uočavaju problematične ugradbene elemente i izbacuju ih iz procesa, dok kod jednonamjenskih sustava može doći do ozbiljnih zastoja u radu. Doduše, posljednjih je desetljeća razvijena kvalitetna dijagnostika stanja i kvalitete ugradbenih elemenata, no i pored njezine raspoloživosti i prisutnosti, ostaje zahtjev za visokom kvalitetom ugradbenih elemenata: naime, čak i ako dijagnostički sustav locira i eliminira defektni dio, ako je takvih dijelova previše, sustav montaže može biti nedovoljno iskorišten. Jednonamjenski se sustavi dijele na indeksne (AI) i slobodnoga toka (AF). Kod prvih je uobičajeno primijenjen okrećući stol za istodobno pomicanje predmeta rada (baznog dijela, privremenih sklopova i gotovog sklopa) od radne stanice do radne stanice, koje su smještene oko stola. Sustavi AI se koriste za sklopove manjeg broja ugradbenih elemenata. Sustavi AF se koriste za sklopove većeg broja ugradbenih elemenata i omogućuju formiranje spremnika (*buffera*) ispred svake radne stanice, kojima se izjednačava (balansira) razlika u vremenima izvođenja operacija po radnim stanicama a također i osigurava vrijeme potrebno za otklanjanje predvidljivih zastoja.

Programabilnim sustavima²⁷ nastoji se ublažiti jaz između vrlo velike fleksibilnosti ručnih sustava i vrlo velike proizvodnosti jednonamjenskih sustava. S napretkom tehnologije, ublažava se nefleksibilnost jednonamjenskih sustava. Slikama 57. do 59. prikazani su robotski sustavi.

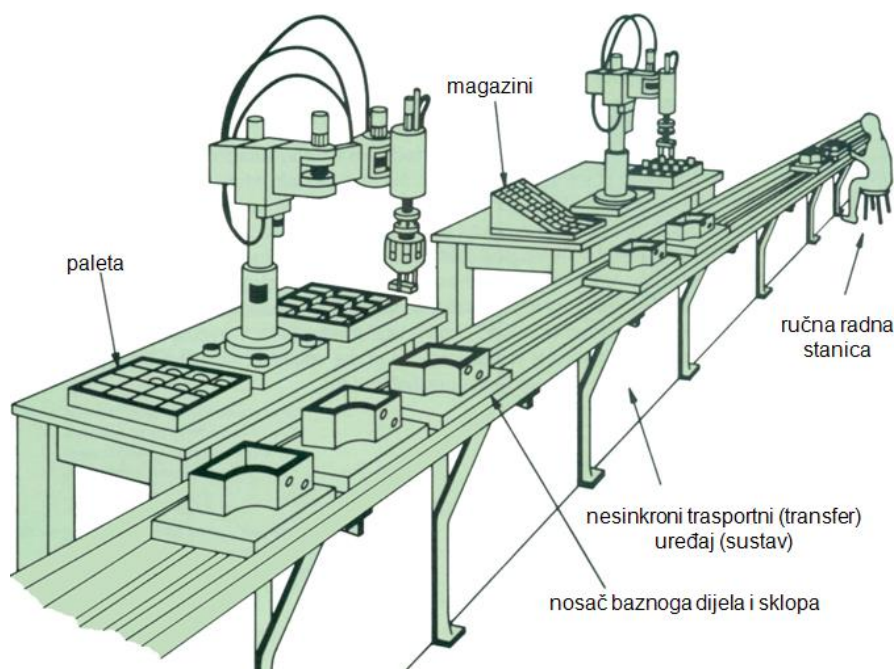


Slika 57. Stanica s jednim robotom



Slika 58. Stanica s dva robota

²⁷ U Karti 1. prve verzije metode DFA robotski se sustavi samo spominju ali ne razmatraju, nego u kasnijim izdanjima metode.



Slika 59. Višestanični robotski sustav (linija)

Orijentacijski, ručni se sustavi koriste za proizvodne količine (narudžbe) na razini desetaka tisuća (komada) proizvoda, programabilni za stotine tisuća proizvoda, a jednonamjenski za milijunske količine proizvoda. Navedeno treba uzeti s velikom rezervom, imajući na umu prodor automatizacije u područje manjih proizvodnih količina: naprimjer, narudžbe od samo 4000 do 5000 sklopova; no to zapravo ukazuje da se isprva velike proizvodne količine fragmentiraju (zbrojene fragmentirane količine i dalje daju veliku proizvodnu količinu), dijelom zbog potrebnih (posebnih) prilagodbi zahtjevima kupaca, a dijelom zbog međusobne konkurencije proizvođača i gubljenja monopola na tržištu.

7.4.1. Odabir metode sklapanja

Već je u ranoj fazi oblikovanja proizvoda važno odlučiti koja bi metoda sklapanja – ručna ili automatska – bila najpogodnija sa stanovišta troškova. Odabirom metode sklapanja omogućuje se konstruktoru ili tehnologu da na temelju osnovnih podataka o proizvodu i tvrtki (obujam proizvodnje, broj dijelova proizvoda itd.) odluči koja bi metoda montaže bila najekonomičnija. Uz odabir metode sklapanja odabire se i načelna izvedba budućega montažnoga sustava.

Odabir metode sklapanja i načelne izvedbe budućega montažnoga sustava izvodi se prema tzv. Karti 1. (Tablica 4.).

Tablica 4. Karta 1. Odabir metode sklapanja

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 niti 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				

		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	

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 uz Kartu 1.

- (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, otrhrnuti 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 pažljivo.
- (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 (spajati). 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 zagradaama su ne više od 10 % manje ekonomični od optimalnog montažnog sustava u istome polju.

Postupak izbora montažne metode i sustava jest:

1. izračunati investicijsku sposobnost tvrtke, RI:

$$RI = \frac{SH \cdot QE}{WA} \quad (1)^{28}$$

gdje su:

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 (Slika 60.)

2. odabrati redak u Karti 1.

3. odabrati stupac u Karti 1.

4. rješenje

5. diskusija rješenja – varijante.

Diskusija rješenja svodi se na variranje iznosa pojedinih veličina kojima se postiglo rješenje u 4. koraku. Variranjem iznosa provjerava se stabilnost rješenja te stječe sigurnost prosudbe, koja se može verificirati u komunikaciji s kolegama u tvrtki (naprimjer, konzultiranje odjela prodaje u smislu realnosti i rizika povećanja količina).

²⁸ Kako se može makismirati iznos RI? Neka su zadani podaci za dva slučaja, pri čemu je u oba slučaja broj smjena jednak. Podaci su za prvi slučaj: QE = 10 i WA = 1; a za drugi: QE = 100 i WA = 10. U oba se slučaja dobiva matematički jednak rezultat vrijednosti veličine RI. Razmisliti o različitim okolnostima i podnebljima koji mogu uvjetovati iznose veličina WA i QE.

Slika 60. Prosječna satnica u Hrvatskoj:²⁹

Primjer odabira montažne metode i sustava³⁰

Proizvod se sastoji od 35 dijelova ($NA = 35$). Deset dijelova proizvoda ima svoje alternative, tako da je proizvod varijantan (ukupni broj dijelova $NT = 45$). Također, pretpostavlja se da će biti deset bitnih promjena u konstrukciji proizvoda u prve tri godine ($ND = 10$). U slučaju primjene automatske montaže, svaka će promjena konstrukcije iziskivati promjenu dodavača dijelova, i svaki će dio zahtijevati svoju (radnu) jedinku.

Godišnja je proizvodnja 500 000 komada proizvoda po smjeni.

Radi se u dvije smjene ($SH = 2$). U skladu s politikom tvrtke, raspoloživa investicijska sredstva za jedinicu automatske opreme koja će zamijeniti jednoga radnika u jednoj smjeni iznosi 40 kUSD. Sredstvima je predviđena isporuka opreme, instalacija i pokusni rad prije samoga uključenja u proizvodni proces.

Godišnji trošak radnika, WA , procijenjen je na 20 kUSD, uključujući režijske troškove.

1. korak: Izračunati investicijsku spodobnost tvrtke RI

$$SH = 2$$

$$QE = 40 \text{ kUSD}$$

$$WA = 20 \text{ kUSD}$$

²⁹ <http://www.slobodnadalmacija.hr/Hrvatska/tabid/66/articleType/ArticleView/articleId/136156/Default.aspx,20110426>, ilustracija Boško Vestić

³⁰ Zamijetiti da nisu zadani (nisu relevantni) nikakvi grafički ili vizualni sadržaji, inače uobičajeni i od presudnog značaja u inženjerskom radu.

$$RI = 2 \times 40/20 = 4$$

Općenito, što je manja vrijednost RI-ja, manja je mogućnost automatizacije.

2. korak: Odabrati redak u Karti 1.

Kako je na osnovi proizvodne količine $VS = 0,5$, a broj dijelova $NA = 35$, odabran je redak označen brojem 3.

3. korak: Odabrati stupac u Karti 1.

Ako proizvod ima kratak tržišni vijek, ili, ako su dijelovi niske kvalitete, ili, ako je zahtijevano ručno namještanje dijelova, onda će biti odabrani stupci 8. i 9., vodeći k ručnoj montaži. U primjeru će se uzeti da niti jedan od ovih iskaza nije točan.

Ukupni broj dijelova proizvoda NT jest 45, a broj dijelova proizvoda NA jest 35. Također, broj dijelova koji će se promijeniti u naredne tri godine ND je 10, a investicijski faktor $RI = 4$. Stoga se odabire stupac 1.

4. korak: Rješenje

Polje 31 (redak 3, stupac 1) Karte 1. sadrži oznaku AP što upućuje na automatsku montažnu liniju s programabilnim radnim jedinkama.

5. Diskusija rješenja – varijante

Da su proizvodne količine bile veće (polje 01), ili da se proizvod mogao raščlaniti u manje sklopove (polje 41), došao bi u obzir jednonamjenski automatski sustav.

Da je tvrtka škrtarila u trošenju investicijskoga potencijala (polje 32) onda bi u obzir došla mehanizirana ručna montaža.

Za specificirane uvjete (bijelo) obojenje polja 31 ukazuje na relativno niske troškove i da treba obaviti analizu proizvoda za automatsku montažu kako bi se automatsko sklapanje pokušalo pojednostavniti.

Zadaci

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SH	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
VS, u milijunima	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
NA	20	16	10	6	19	8	4	5	6	7
NT	23	20	13	7	20	10	5	7	9	11
ND	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4
QE, kUSD	10	15	20	25	30	35	40	42	44	50
WA = 20 kUSD i procijeniti										

7.4.2. Analiza proizvoda za ručno sklapanje

Ciljevi analize jesu:

- odlučivanje o tome može li se neki ugradbeni element eliminirati ili integrirati,
- procjena vremena rukovanja i umetanja (spajanja).

Pri analizi se ispunjava poseban obrazac (Tablica 5.) i koriste dvije karte: Karta 2. i Karta 3. Karta 2. (Tablica 6.) posvećena je rukovanju, a Karta 3. umetanju tj. spajanju (Tablica 7.).

Postupak analiza proizvoda za ručno sklapanje:

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

Tablica 5. Obrazac za analizu proizvoda za ručno sklapanje

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ime sklopa/dijela
									EM = 3 x NM / TM =

Stupci:

- 1 identifikacijski broj dijela
- 2 broj uzastopnih izvođenja operacije
- 3 2-znamenkasta oznaka ručnog rukovanja
- 4 vrijeme ručnog rukovanja, s/dio
- 5 2-znamenkasta oznaka ručnog umetanja

- 6 vrijeme ručnog umetanja, s/dio
- 7 vrijeme operacije, s, $(2) \times [(4) + (6)]$
- 8 cijena operacije, cent, $0,4 \times (7)$
- 9 veličina za određivanje teoretski minimalnog broja dijelova

Pitanja za određivanje teoretski minimalnog (idealnog) 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?

Ako je odgovor na bilo koje pitanje "da" stavlja se broj I u 9. stupac, osim ako je u 2. stupcu naznačeno višekратно odvijanje iste operacije (postojanje više jednakih dijelova). U tome se slučaju u 9. stupac upisuje broj dijelova koji moraju biti odvojeni (zasebni).

Definicije u vezi Karte 2.

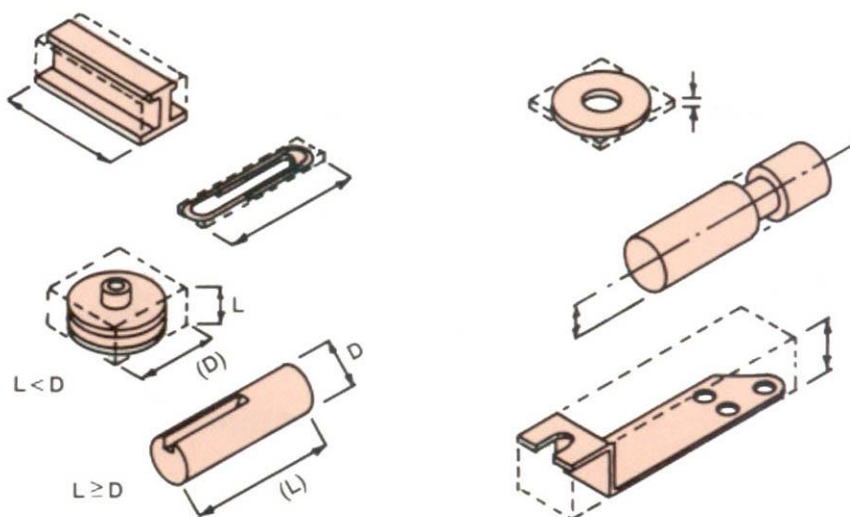
Ručno rukovanje uključuje hvatanje, pomicanje (transportiranje) i orijentiranje dijelova ili sklopova prije no što se umetnu ili dodaju u nosač (stegu) ili narastajući proizvod.

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 plohu 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*.



Slika 61. Definiranje ovojnice, duljine i debljine

Tablica 6. Karta 2. Ručno rukovanje – procijenjena vremena, s

		dijelovima je lako rukovati					otežano rukovanje dijelovima (1)					
		> 2			≤ 2		> 2			≤ 2		
		debljina [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						
dijelovima se može rukovati jednom rukom , ali samo koristeći alat za hvatanje (sitni dijelovi)	rukovanje dijelovima...	lako		otežano (1)		lako		otežano (1)		8	9	
		debljina [mm]...	> 0,25	≤ 0,25	> 0,25	≤ 0,25	> 0,25	≤ 0,25	> 0,25			≤ 0,25
$\alpha \leq 180^\circ$	$0 \leq \beta \leq 180^\circ$	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
	$0 \leq \beta \leq 180^\circ$	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

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)	nema dodatnih poteškoća pri rukovanju					dodatne poteškoće pri rukovanju (1)				
	$\alpha \leq 180^\circ$					$\alpha = 360^\circ$				
	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	
8	4,1	4,5	5,1	5,6	6,75	5	5,25	5,85	6,35	7

dvije ruke, dva radnika ili mehanička pomoć, potrebni su za hvatanje i transportiranje dijelova (velike duljine)	dijelovima može rukovati jedna osoba bez mehaničke pomoći									
	dijelovi se čvrsto ne ugnježđuju niti zapliću, nisu savitljivi					dijelovi se čvrsto ugnježđuju ili zapliću, ili su savitljivi (2)				
	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	
9	2	3	2	3	3	4	4	5	7	9

Napomene u vezi Karte 2.

- 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 ugnjezde 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 ugnjezde 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).

Tablica 7. Karta 3. Ručno umetanje – procijenjena vremena, s

poravnavanje i smještanje dijela, tijekom spajanja ...		nakon spajanja dio nije potrebno pridržavati da se zadrži orijentacija i pozicija dijela (3)				dio je potrebno pridržavati tijekom sljedećih operacija kako bi mu se zadržali orijentacija ili pozicija (3)						
		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 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		lako (4)	otežano i/ili otpor uvijanju (5)	
					bez otpora umetanju	otpor umetanju (5)		bez otpora umetanju	otpor umetanju (5)			
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
dodavanje dijela (1), pri čemu su dodavani dio i/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 i ograničenog pogleda (2)	5	6	9	8	9	10	11	12	13	10	12
mehanički postupci spajanja - dijelovi su već u pravom položaju, ali nisu osigurani odmah po umetanju		nema postupka spajanja				nemehanički postupci spajanja - dijelovi su već u pravom položaju, ali nisu osigurani odmah po umetanju				nema postupka spajanja		
nikakva ili mala plastična deformacija		metalurški postupci				kemijski - npr. ljepljenje				drugi postupci - npr. umetanje u tekućini		
savijanje ili slični		velika plastična deformacija (dio se u velikoj mjeri plastično deformira tijekom spajanja)		nije potreban dodatni materijal - npr. elektro-otporno zavarivanje		potreban dodatni materijal		rukovanje dijelovima ili sklopom - npr. orijentiranje, podešavanje				
zakivanje ili slični						lemljenje						
pritezanje vijaka ili drugi						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	

Napomene u vezi Karte 3.

- (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.

S obzirom na navedeno, **analiza proizvoda za ručnu montažu, obuhvaća:**

- donošenje odluke o tome može li se neki dio eliminirati ili integrirati s nekim drugim dijelom u proizvodu
- procjenu vremena rukovanja i umetanja svakog dijela
- identifikaciju dijelova koji uzrokuju visoke troškove
- izračunavanje efikasnosti oblikovanja za montažu, EM:

$$EM = \frac{3 \cdot NM}{TM} \quad (2)$$

gdje su:

NM – teoretski minimalan broj dijelova u proizvodu

TM – ukupno vrijeme montaže, [s]

3 [s] – idealno vrijeme sklapanja jednog ugradbenog elementa, i to uz lako rukovanje i umetanje, te jednu trećinu odmah osiguranih dijelova po umetanju.

Napomene u vezi analize

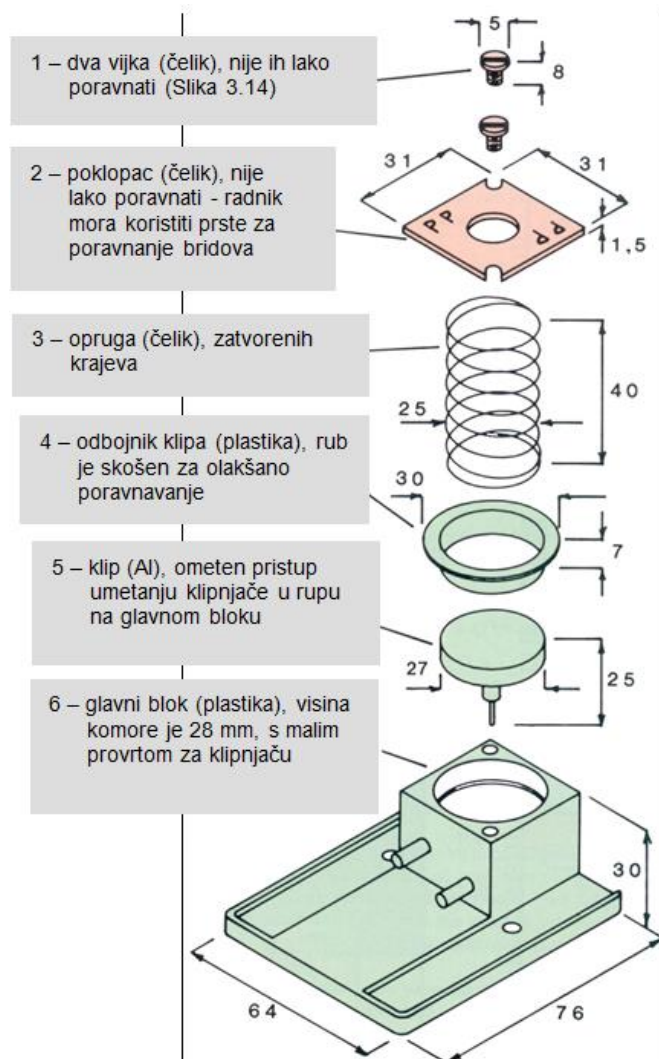
1. Rukovanje dvama ugradbenime elementima istodobno – skraćenje vremena za 1/3.

Metoda analize uzima da se dijelovi sklapaju jedan po jedan, kako bi se zasebno analizirao svaki dio i operacija montaže. Ipak, kod montaže na samostalnim stolovima i većine montažnih linija, radnici će često rukovati dvama dijelovima, dvjema rukama istodobno. Iskustvo pokazuje da se na taj način vrijeme sklapanja skraćuje za trećinu. Stoga, ako konstruktor želi dobiti točniju procjenu ukupnoga vremena sklapanja na samostalnom stolu, dobiveno se vrijeme treba podijeliti s 1,5 ($3/2 = 1,5$). To ipak ne mijenja efikasnost oblikovanja, budući da se idealno vrijeme sklapanja smanjuje u istome omjeru.

2. Slučaj da dijelovi nisu u gomili i stohastički orijentirani, već u magazinima.

U postupku analize pretpostavljeno je da su dijelovi u gomili i stohastičkih orijentacija. Ponekad su dijelovi međutim u magazinima ili posebnim spremnicima. U tome slučaju, ako konstruktor želi točniju procjenu vremena, treba i te činitelje uzeti u obzir tijekom analize.

Primjer analize proizvoda za ručno sklapanje (Slika 62., Tablica 8.)



Slika 62. Primjer analize proizvoda za ručno sklapanje: pneumatski cilindar

Tablica 8. Obrazac analize pneumatskog cilindra

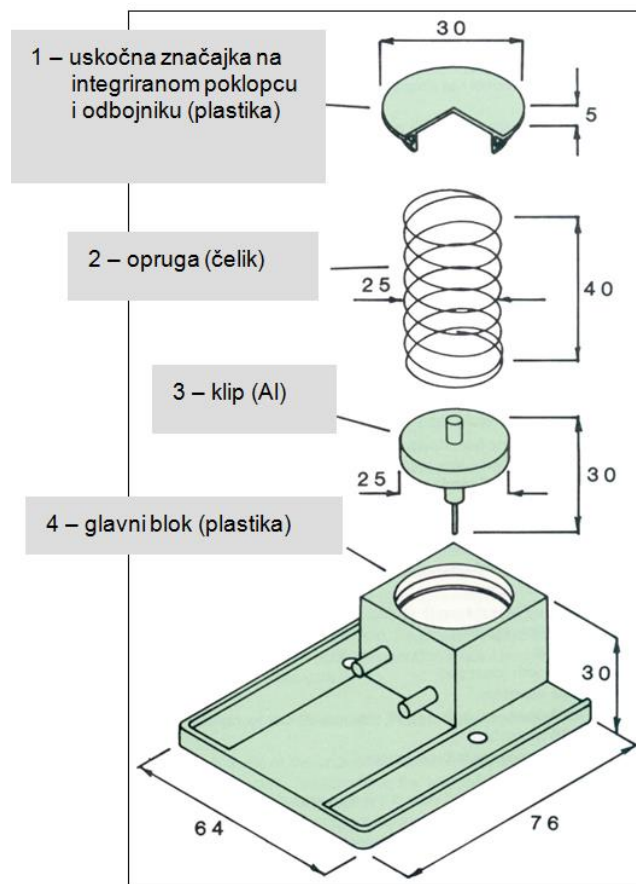
1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ime sklopa/dijela/operacije	
identifikacijski broj dijela	broj uzastopnih izvođenja operacije	2-obrojna oznaka rukovanja	vrijeme ručnog rukovanja, s/dio	2-obrojna oznaka ručnog umetanja	vrijeme ručnog umetanja, s/dio	vrijeme operacije, (2) x [(4)+(6)], s	cijena operacije, 0,4 x (7), cent/dio	broj zasebnih dijelova	PNEUMATSKI CILINDAR	
6	1	30	1,95	00	1,5	3,45	1,38	1	glavni blok	
5	1	10	1,5	10	4	5,50	2,20	1	klip	
4	1	10	1,5	00	1,5	3,00	1,20	1	odbojnik klipa	
3	1	05	1,84	00	1,5	3,34	1,34	1	opruga	
2	1	23	2,36	08	6,5	8,86	3,54	0	poklopac	
1	2	11	1,8	39	8	16,60*	6,64	0	vijak	
							40,75	16,3	4	0,29
* Vidjeti napomenu 6. uz Kartu 2.							TM	CM	NM	EM = 3 NM/TM

7.4.3. Preoblikovanje proizvoda za ručnu montažu i ponovna analiza

Preoblikovanje proizvoda je najkreativniji dio rada u primjeni metode DFA, no upravo stoga i ostaje izvan njenoga dosega jer ga je nemoguće (zasad) algoritmizirati. Ipak, korisnik metode se pri preoblikovanju može osloniti³¹ na metodu razmatranjem mogućnosti:

1. smanjenja broja dijelova (2. i 9. stupac obrasca; prijepori: ekonomičnost izradbe, nedostatak opreme, normiranje i atesti, otpor unutar tvrtke)
2. poboljšanja rukovanja i spajanja uočavanjem dugačkih vremena i nalaženjem njihovih uzroka (4. i 6. stupac obrasca; koristiti karte kao vodič).

Primjer preoblikovanja i ponovne analize proizvoda za ručnu montažu (Slika 63., Tablica 9.)



Slika 63. Preoblikovani pneumatski cilindar

³¹ Korištenje bilo koje metode u inženjerskom radu podrazumijeva i racionalan-kritički odnos prema njenim ograničenjima tj. dosezima. U tome smislu, metode su, u najmanju ruku, oslonac za postizanje rješenja.

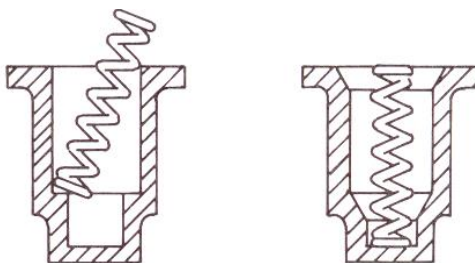
Tablica 9. Obrazac analize preoblikovanog pneumatskog cilindra

1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ime sklopa/dijela/operacije
identifikacijski broj dijela	broj uzastopnih izvođenja operacije	2-obrojna oznaka ručnog rukovanja	vrijeme ručnog rukovanja, s/dio	2-obrojna oznaka ručnog umetanja	vrijeme ručnog umetanja, s/dio	vrijeme operacije, (2) x [(4)+(6)], s	cijena operacije, 0,4 x (7), cent/dio	broj zasebnih dijelova	PNEUMATSKI CILINDAR PREOBLIKOVANI
4	1	30	1,95	00	1,5	3,45	1,38	1	glavni blok
3	1	10	1,5	00	1,5	3,00	1,20	1	klip
2	1	05	1,84	00	1,5	3,34	1,34	1	opruga
1	1	10	1,5	30	2,0	3,50	1,40	1	poklopac i odbojnik klipa
						13,29	5,32	4	0,9
						TM	CM	NM	EM = 3 NM/TM

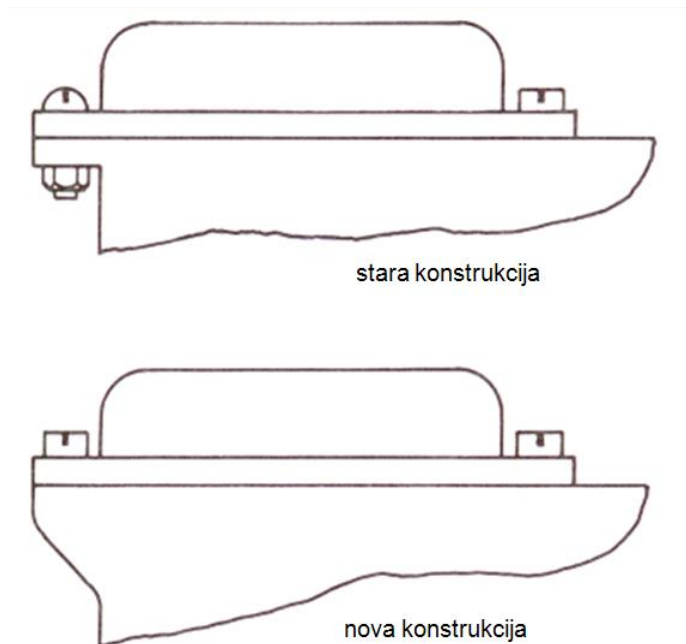
7.4.4. Načela za oblikovanje proizvoda za ručnu montažu

U ovoj će se točki prikazati načela oblikovanje proizvoda za ručnu montažu (kojih je dio već iznijet u točki 7.2.) – slike 64. do 74.:

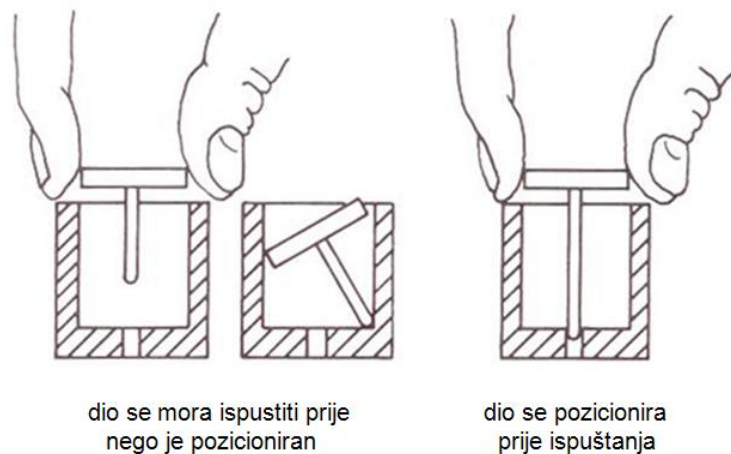
- smanjiti broj i različitost ugradbenih elemenata
- nastojati izbjeći podešavanje (ugađanje)
- oblikovati dijelove da se sami pozicioniraju i poravnaju
- osigurati pristup i neograničen pogled mjestu montaže
- oblikovati dijelove za lako hvatanje iz hrpe
- minimirati potrebu za preorijentiranjem dijelova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



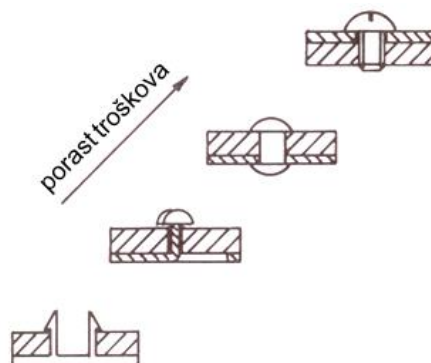
Slika 64. Skošenje (desno) za lako umetanje



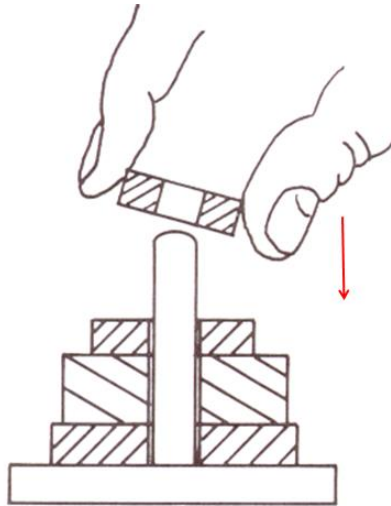
Slika 65. Primjer standardizacije dijelova



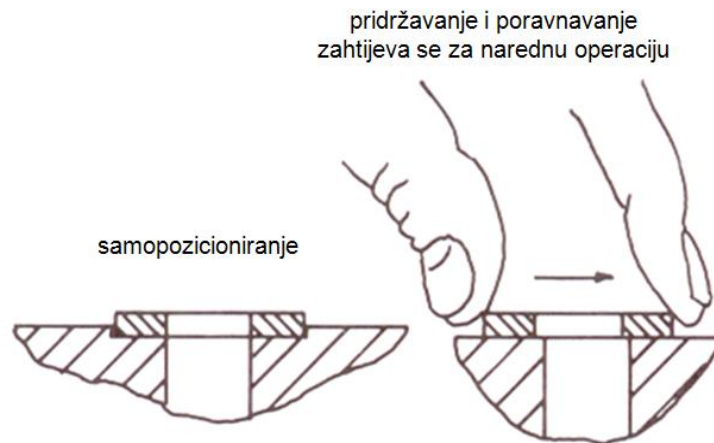
Slika 66. Oblikovanje da se potpomogne umetanje



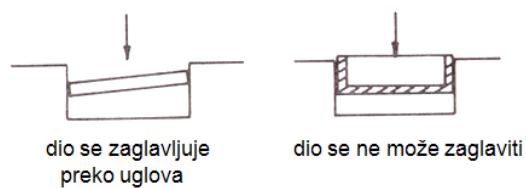
Slika 67. Odnos troškova između uobičajenih postupaka spajanja



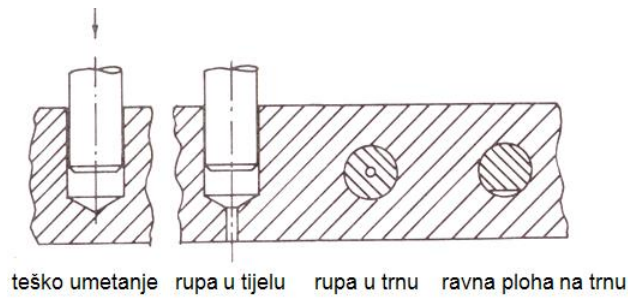
Slika 68. Jednostavno sklapanje odozgo-nadolje



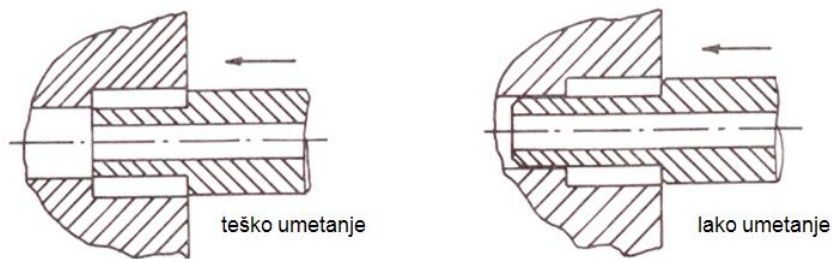
Slika 69. Osiguranje obilježja za samopozicioniranje da se izbjegne pridržavanje i poravnavanje



Slika 70. Nepravilna geometrija može uzrokovati zaglavljivanje dijela za vrijeme umetanja



Slika 71. Poboljšanje umetanja u slijepe rupe osiguranjem prolaza za zrak



Slika 72. Oblikovanje za lako umetanje: stupnjevani dio – stupnjevano umetanje



Slika 73. Geometrijska obilježja koja utječu na rukovanje dijelovima



Slika 74. Neka druga obilježja koja utječu na rukovanje dijelovima

8. BIBLIOGRAFIJA

- [1] G. Boothroyd; P. Dewhurst; W. Knight, *Product Design for Manufacture and Assembly*, CRC Press, 2011.
- [2] G. Boothroyd, *Assembly Automation and Product Design*, Marcel Dekker, New York, 1991.
- [3] J. A. Speck, *Mechanical Fastening, Joining, and Assembly*, Marcel Dekker, New York, 1997.
- [4] B. Vranješ, B. Jerbić, Z. Kunica, *2.14 Montaža, Inženjerski priručnik*, Školska knjiga, Zagreb (u tisku)
- [5] Z. Kunica, *Oblikovanje proizvoda za sklapanje Boothroyda i Dewhursta* (Prijevod knjige G. Boothroyda i P. Dewhursta *Product Design for Assembly*, Boothroyd Dewhurst Inc., Wakefield, March 1991), Rukopis, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2000.
- [6] B. Jerbić, G. Nikolić, B. Vranješ, Z. Kunica: *Projektiranje automatskih montažnih sustava*, Kigen, Zagreb, 2009.
- [7] W. Stadler, *Analytical Robotics and Mechatronics*, McGraw-Hill, New York, 1995.
- [8] B. Prasad, *Concurrent Engineering Fundamentals – Integrated Product Development Vol. II*, Prentice-Hall, Upper Saddle River 1996.
- [9] V. Braitenberg, *Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology*, MIT Press, Cambridge (MA) 1984.
- [10] ISO 10303-1 *Industrial automation systems and integration – Product data representation and exchange – Part 1: Overview and fundamental principles*, 1994.
- [11] *Internet* (razni proizvođači opreme i softvera, katalozi i cad modeli)
- [12] http://titan.fsb.hr/~zkunica/conf/MOTSP2010%20Kunica%20Invited_Lecture.pps