

# Analiza proizvoda u cilju definiranja montažnog proces<sup>\*</sup>

---

Jakša Galić

Brodosplit, Split, Hrvatska

## Product Analysis with a View to Determining the Mounting Process

A procedure aiming at the defining of assembly process of a product has been described. By the procedure and with help of part matrix the following can be defined: base part of a product, optimum assembly sequence of product parts, assembly units of a product, sequence of parts within units, and the lay-out of the product assembly process.

U radu je prikazan postupak s ciljem definiranja montažnog procesa jednog proizvoda. S pomoću matrice veza dijelova proizvoda, ovim je postupkom moguće determinirati: bazni dio proizvoda, optimalni redoslijed montaže dijelova, montažne sklopove proizvoda, redoslijed dijelova unutar sklopova te raspored montažnog procesa tog proizvoda.

## 1. Uvod

Uvođenjem automatizacije i robotizacije u proizvodnju znatno se skratio ciklus proizvodnje nekog proizvoda. Analizom proizvodnih procesa u suvremenoj industriji utvrdilo se da na poslovima montaže radi velik broj radnika. Također se pokazalo da na troškove montaže ide znatan dio ukupnih troškova proizvodnje (ponekad više od 50 %) [1], [2] i [3].

Ukupno je vrijeme montaže dijelova vrlo često mnogo kraće od ukupnog vremena njihove izrade, ali da bi se skratio ciklus proizvodnje, vrlo je važno već u prvoj fazi analize proizvodnog ciklusa definirati montažni proces stoga što je on posljednji u proizvodnoj fazi [4].

Da bi se odredilo optimalno vrijeme montaže, bilo da se to radi s pomoću ručnih, automatskih ili kombiniranih radnih mjesta, potrebno je u prvom redu poznavati bazni dio, redoslijed montaže pojedinačnih dijelova proizvoda, sklopove proizvoda, redoslijed dijelova u sklopu te redoslijed montaže sklopova [5].

Pod pojmom montaže razumijeva se spajanje određenog broja dijelova, a to mogu biti pojedinačni dijelovi ili već montirani sklopovi, čime se dobiva novi sklop.

Taj sklop može biti završni sklop ili podsklop koji ide kao dio u daljnju montažu.

Pri formiranju sklopa dijelovi se mogu međusobno povezivati na različite načine: zavarivanjem, lemljenjem, lijepljenjem, vijcima, zakovicama, različitim vrstama osigurača ili rascjepki, trenjem itd. [6].

## 2. Analiza proizvoda

Metoda za analizu proizvoda i određivanje optimalnog redoslijeda montaže u ovom radu bit će prikazana na jednom pojedinačnom proizvodu.

Algoritam će se postupka objašnjavati sukcesivno, analizirajući svaki korak posebno.

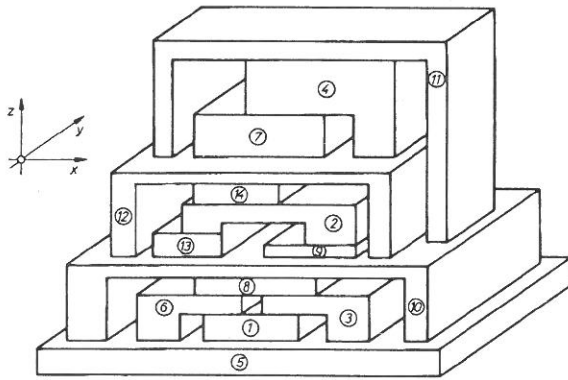
Treba međutim napomenuti da su proizvod i njegovi dijelovi nastali bez određene tehničke funkcionalnosti, pa su sami sebi svrha i služe isključivo za prikaz osnovne ideje ovog postupka.

Dijelovi se ovog proizvoda teoretski mogu spajati na različite načine i prepušteno je čitatelju ovog rada da odredi elemente spajanja te područje

\* U sklopu projektnog zadatka "Modeliranje organizacije pripreme proizvodnje u pomorskoj brodogradnji", pod brojem 2-09-366 što ga financira Ministarstvo znanosti i tehnologije Republike Hrvatske.

primjene (strojarstvo, brodogradnja, građevinarstvo i dr.).

Na slici 1 prikazan je proizvod koji se sastoji od 14 dijelova.



Slika 1. Proizvod koji se sastoji od 14 pojedinačnih dijelova

Da bi se odredili svi relevantni pojmovi radi definiranja optimalnog vremena montaže, potrebno je odrediti matricu sljedbenika dijelova proizvoda i u njoj definirati veze među dijelovima proizvoda.

## 2.1. Matrica sljedbenika

Na slici 2 prikazana je matrica sljedbenika dijelova sa slike 1. Matrica ima redova odnosno stupaca toliko koliko ima dijelova u proizvodu. Na glavnoj dijagonali matrice nalaze se rasporedene točkice (•) zato što dijelovi ne mogu biti vlastiti sljedbenici [5].

Jedinice (1) u matrici sljedbenika predstavljaju sljedbenik nekog dijela, pa se tako, na primjer, u prvom redu nalazi dio 1, a njegovi su montažni sljedbenici dijelovi 3 i 6. Stoga se na lokacijama u matrici (1,3) i (1,6) nalaze jedinice (1). Treba međutim napomenuti da je matrica sljedbenika formirana tako da se dijelovi montiraju po osi z, i to od dna prema vrhu (slika 1).

Permutacijom stupaca i redaka matrice sljedbenika (slika 2) dobiva se gornje trokutasta matrica (slika 3.) i to na sljedeći način:

na lokaciji ( $i(5) = 5, j(1) = 1$ ) u matrici sljedbenika (slika 2) nalazi se oznaka jedinice (1) ispod glavne dijagonale pa će prvi i peti stupac odnosno redak u matrici zamijeniti mjesta i to ovako:  $i(1)=5, i(5)=1$  odnosno  $j(1)=5, j(5)=1$ .

Navedeni postupak permutacije redaka i stupaca u matrici sljedbenika treba napraviti za sve jedinice (1) koje se nalaze ispod glavne dijagonale.

	→ j													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	•		1			1								
2		•												1
3			•					1						
4				•						1				
5	1		1		•	1				1				
6						•		1						
7				1			•							
8								•		1				
9		1							•					
10										1	•	1	1	1
11											•			
12				1			1				1	•		
13		1											•	
14												1		•

Slika 2. Matrica sljedbenika dijelova sa slike 1

Na slici 2 takvih oznaka ima deset, ali to ne znači da će se u minimalno deset takvih iteracija dobiti gornje trokutasta matrica sa slike 3 [7].

Ova je matrica je karakteristična po tome što se oznake sljedbenika (1) nalaze iznad glavne dijagonale.

Redoslijed dijelova poredanih u zaglavlju stupaca odnosno redaka matrice (slika 3) ujedno je i redoslijed montaže dijelova: {5,1,6,3,8,10,9,13,2,14,12,7,4,11}.

	→ j													
	5	1	6	3	8	10	9	13	2	14	12	7	4	11
5	•	1	1	1		1								
1		•	1	1										
6			•		1									
3				•	1									
8					•	1								
10						•	1	1			1			1
9							•		1					
13								•	1					
2									•	1				
14										•	1			
12											•	1	1	1
7												•	1	
4													•	1
11														•

Slika 3. Gornje trokutasta matrica dobivena permutacijom redova i stupaca matrice sljedbenika sa slike 2

### 2.2. "Težina" dijelova proizvoda

Da bismo odredili koje od dijelova možemo istovremeno montirati, potrebno je izračunati entropiju odnosno razinu zavisnosti dijelova s obzirom na redoslijed montaže. Ti se podaci izračunavaju iz matrice (slika 3) na sljedeći način:

- za dio 5:  $h_5=0$
- za dio 1:  $h_1=h_5+1=1$
- za dio 6:  $h_6=h_5+1=1$ ;  $h_6=h_1+1=2$
- za dio 3:  $h_3=h_5+1=1$ ;  $h_3=h_1+1=2$
- za dio 8:  $h_8=h_6+1=3$ ;  $h_8=h_3+1=3$
- za dio 10:  $h_{10}=h_5+1=3$ ;  $h_{10}=h_8+1=4$
- za dio 9:  $h_9=h_{10}+1=5$
- za dio 13:  $h_{13}=h_{10}+1=5$
- za dio 2:  $h_2=h_9+1=6$ ;  $h_2=h_{13}+1=6$
- za dio 14:  $h_{14}=h_{12}+1=7$
- za dio 12:  $h_{12}=h_{10}+1=5$ ;  $h_{12}=h_{14}+1=8$
- za dio 7:  $h_7=h_{12}+1=9$
- za dio 4:  $h_4=h_{12}+1=9$ ;  $h_4=h_7+1=10$
- za dio 11:  $h_{11}=h_{10}+1=5$ ;  $h_{11}=h_{12}+1=9$ ;  
 $h_{11} = h_4 + 1 = 11$

Za svaki od dijelova potrebno je usvojiti maksimalnu vrijednost izračunane entropije. Svaki onaj dio/dijelovi kojemu je "težina"  $h=0$  jest bazni dio, a svi oni dijelovi kojima su "težine" jednake mogu se teoretski istovremeno montirati a da se time ne ometa montaža nekog od njihovih sljedbenika.

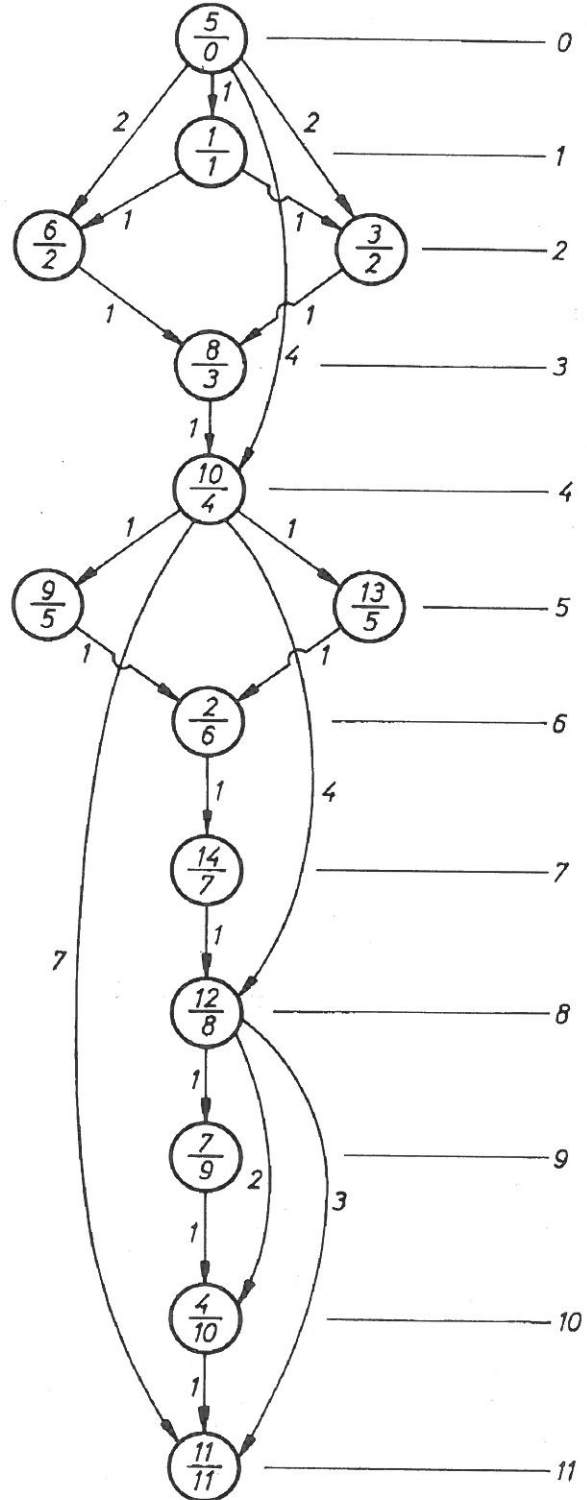
Tako se, na primjer, dijelovi 6 i 3 te 9 i 13, kojima su entropije:  $h_6 = h_3 = 2$  i  $h_9 = h_{13} = 5$ , mogu montirati istovremeno.

### 2.3. Graf montaže

S pomoću "težina" dijelova i matrice sljedbenika može se formirati graf montaže (slika 4). Graf se montaže formira tako da se dijelovi poredaju hijerarhijski prema njihovoj entropiji. Na vrhu se nalaze dijelovi s entropijom  $h=0$ , a na dnu dijelovi s maksimalnom vrijednosti entropije. Svi oni dijelovi koji imaju jednaku entropiju moraju se nalaziti na istoj razini [7].

"Vektori" koji spajaju dijelove u grafu montaže (kružići) definiraju se s pomoć podataka iz matrice sljedbenika. Sljedbenici dijela 5 jesu dijelovi 6, 1, 3 i 10, pa su i "vektori" usmjereni od dijela 5 prema dijelovima 6, 1, 3 i 10. Brojana vrijednost "vektora" izračunava se kao razlika "težina" dijelova koji su povezani tim "vektorom".

Svaki čvor u grafu montaže predložen je sa dva karakteristična broja (slika 4): gornji broj - oznaka dijela i donji broj - vrijednost "težine" dijela.



Slika 4. Graf montaže konstruiran s obzirom na izračunane vrijednosti "težine" dijelova i podatke sa slike 3

### 3. Određivanje sklopova

Da bismo iz grafa montaže odredili koji dijelovi tvore sklop, potrebno je da se ispuni prvi uvjet: Suma razlika "težina" dijelova u nekom sklopu kojih "vektori" opisuju isti smjer mora biti jednaka sumi svih ostalih razlika "težina" dijelova u tom istom sklopu kojih "vektori" opisuju suprotni smjer.

Drugi važan uvjet za formiranje montažnog sklopa jest: Nijedan dio nekoga sklopa ne smije imati nikakvih "smetnji" od nekoga drugog dijela što se tiče redoslijeda montaže dijelova.

Tako, na primjer, sklop S:

$$S = 5,1(1) + 1,6(1) + 6,8(1) + 8,10(1) = 5,10(4),$$

uz redoslijed {5, 1, 6, 8, 10},

ne može biti montažni sklop zbog toga što prije montaže dijela 8 treba montirati dio 3 ("vektor" 3,8(1)) koji ima istu entropiju kao i dio 6 (slika 4) te se može s njim istovremeno montirati.

S obzirom na gore navedene preduvjete, iz grafa montaže (slika 4) mogu se determinirati montažni sklopovi proizvoda i odrediti redoslijed montaže dijelova u sklopu:

$$S1 = 5,1(1) + 1,6(1) + 6,8(1) = 5,3(2) + 3,8(1)$$

{5,1,6/3,8}

$$S2 = 10,9(1) + 9,2(1) = 10,13(1) + 13,2(1)$$

{10,9/13,2}

$$S3 = 14 \quad \{14\}$$

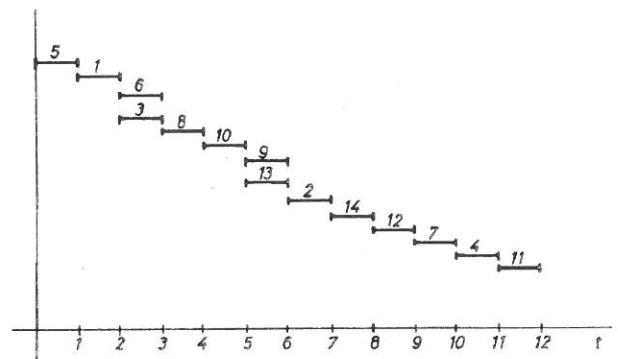
$$S4 = 12,7(1) + 7,4(1) + 4,11(1) = 12,11(3)$$

{12,7,4,11}

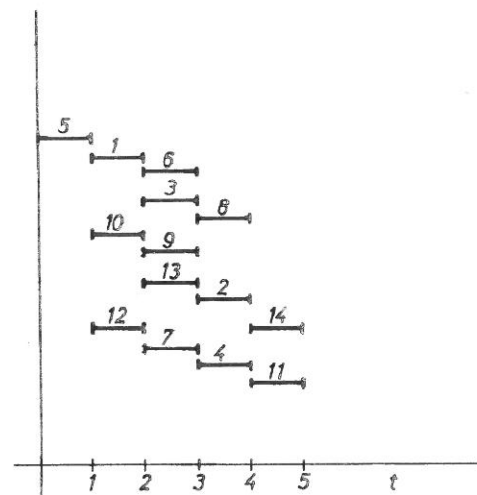
Ovdje treba napomenuti da dio 14 teoretski može pripadati i sklopu S2, međutim to ne utječe na skraćenje vremena montaže ovog proizvoda jer je to dio koji se u grafu montaže nalazi u linijskoj strukturi, za razliku od cikličkih struktura koje su nezavisne cjeline, što je u skladu sa prvim uvjetom.

### 4. Gantogram montaže

Na slikama 5 i 6 prikazani su gantogrami montaže dijelova sa slike 1. Na slici 5 nalazi se gantogram pojedinačne montaže dijelova proizvoda uzimajući u obzir dijelove koji se istovremeno montiraju, a na slici 6 gantogram montaže sklopova proizvoda. Vremena montaže svakog dijela prikazana su kao jedinična.



Slika 5. Gantogram montaže dijelova sa slike 1 montiranih pojedinačnih dijelova

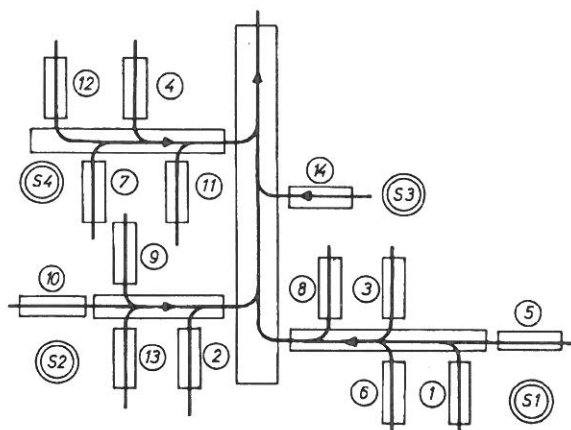


Slika 6. Gantogram montaže dijelova sa slike 1 montiranih uz pomoć sklopova definiranih iz grafa montaže slika 4

Iz slika 5 i 6 može se zaključiti da je ukupno vrijeme montaže proizvoda sa slike 1 kraće za 7 terminskih jedinica montaže kad se proizvod montira s pomoću sklopova nego kad se dijelovi montiraju pojedinačno. To skraćenje iznosi 58 % od ukupnog vremena montaže.

### 5. Raspored montažnog procesa

Poznajući gantogram montaže dijelova i sklopove proizvoda, moguće je definirati montažni proces, pripadna radna mjesta i strojeve potrebne za montažu. Na slici 7 prikazan je raspored montaže dijelova proizvoda sa slike 1.



Slika 7. Raspored montaže proizvoda sa slike 1 uvažavajući gantogram montaže slika 6 i graf montaže slika 4

## 6. Zaključak

S pomoću postupka koji je prikazan u ovom radu moguće je precizno i temeljito analizirati određeni proizvod radi definiranja montaže dijelova tog proizvoda i svih parametara koji su potrebni da bi se dobilo optimalno vrijeme montaže. Ovom metodologijom moguće je odrediti bazni dio/bazne dijelove proizvoda, redoslijed montaže dijelova, dijelove koji se istovremeno montiraju, sklopove proizvoda, redoslijed montaže dijelova unutar sklopa i redoslijed montaže sklopova. Na osnovi tih podataka može se definirati raspored montažnog procesa proizvoda.

S pomoću navedenih uvjeta u ovom radu može se egzaktno iz grafa montaže determinirati koji sklop od teoretski mogućih sklopova može biti montažni sklop.

**Jakša Galić** rođen je u Splitu 10.05.1953. godine, gdje je pohađao osnovnu školu i klasičnu gimnaziju. Godine 1972. upisao je studij iz područja strojarstva na FESB-Split, a 1975. godine nastavlja studiranje iz istog područja na FSB-Zagreb. Na istom fakultetu diplomirao je u travnju 1978. godine na katedri za Teoriju konstrukcija sa radom "Torziona krutost složenog štapa". Od 1978. godine radi u SOUR Brodograđevna industrija-Split.

Godine 1988. obranio je magistarski rad pod naslovom "Definiranje redoslijeda sklapanja ugradbenih elemenata determinističkim postupkom" na katedri za Tehnologiju u strojarskoj proizvodnji fakulteta FSB-Zagreb.

Godine 1989. prelazi u RO institut koja je u sklopu SOUR-a Brodosplit. Do danas je objavio nekoliko znanstveno-stručnih radova te sudjelovao u izradi projekta financiranog od Ministarstva znanosti i tehnologije Republike Hrvatske.

## Simboli

- 1 – oznaka za funkcionalnu vezu i-tog dijela
- { } sa j-tim dijelom u matrici sljedbenika
- oznaka za skup dijelova proizvoda u kojem su dijelovi poredani po redoslijedu montaže
- h – "težina" dijelova proizvoda
- S – sklop dijelova proizvoda
- ( ) – skalarna vrijednost "vektora"

## Literatura

- [1] K. Richter, H. Zachau, "Rationalisierung der technologischen der Montagevorbereitung", Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, 30(1981) Heft 2/3
- [2] H. Sekiguchi, T. Kojima, K. Inoue, T. Honda, "Study on Automatic Determination of Assembly Sequence", Annals of the CIRP 32(1983)1, 371–374
- [3] R. Weill, G. Spur, W. Eversheim, "Survey of Computer Aided Process Planning Systems", Annals of the CIRP 31(1982)2, 539–542
- [4] H. Neerland, "Workplace organization in flexible automated assembly systems", Int. J. Prod. Res. 24(1986)4, 851–857
- [5] A. Gariola, "Design analysis for automatic assembly", Int. J. Prod. Res. 24(1986)4, 839–849
- [6] M. Anderson, S. Kahler, T. Lund, "Design for assembly", IFS (Publications) Ltd, U. K. 1983
- [7] J. Galić, "Određivanje redoslijeda montaže determinističkim postupkom", 18. simpozij Upravljanje proizvodnjom u preradi metala, Cavtat 1989, 19–25

Received: June, 1993  
Accepted: September, 1993

Contact address:  
Mr. Jakša Galić, dipl. ing.  
Brodosplit-Institut  
Put Supavla 19  
58000 Split