



PARAMETRI LINIJA

KOEFICIJENT OBIMNOSTI

VREMENSKI GUBICI

MEĐUOPERACIONE ZALIHE



Tipovi proizvodnje

- Pojedinačna/maloserijska
- (Srednje)Serijska
- Velikoserijska
- Masovna



Pojedinačna/maloserijska proizvodnja

- Proizvodnja jednog ili nekoliko proizvoda, najčešće prema porudžbini;
- Osnovne karakteristike:
 - Lansira se jedan ili nekoliko komada po prijemu porudžbine;
 - Sredstva za rad su univerzalna i fleksibilna;
 - Standardizacija postupka rada je na niskom nivou;
 - Podela rada je na niskom nivou (često jedan izvršilac izvršava nekoliko operacija ili sve operacije);
 - Osposobljenost izvršilaca je na veoma visokom nivou.



(Srednje)Serijska proizvodnja

- Proizvodnja serije istih proizvoda (najčešće u desetinama i stotinama, nekada i hiljadama komada);
- Osnovne karakteristike:
 - Lansira se serija proizvoda, i serija prolazi kroz ceo tok proizvodnje;
 - Sredstva za rad dovoljno univerzalna i fleksibilna, ne moraju biti naročito produktivna;
 - Standardizacija postupka rada na višem nivou (proizvod i tehnologija osvojeni);
 - Podela rada na višem nivou (najčešće jedan radnik izvodi jednu operaciju ili skup sličnih operacija);
 - Podela rada na višem nivou;
 - Osposobljenost radnika na relativno visokom nivou;



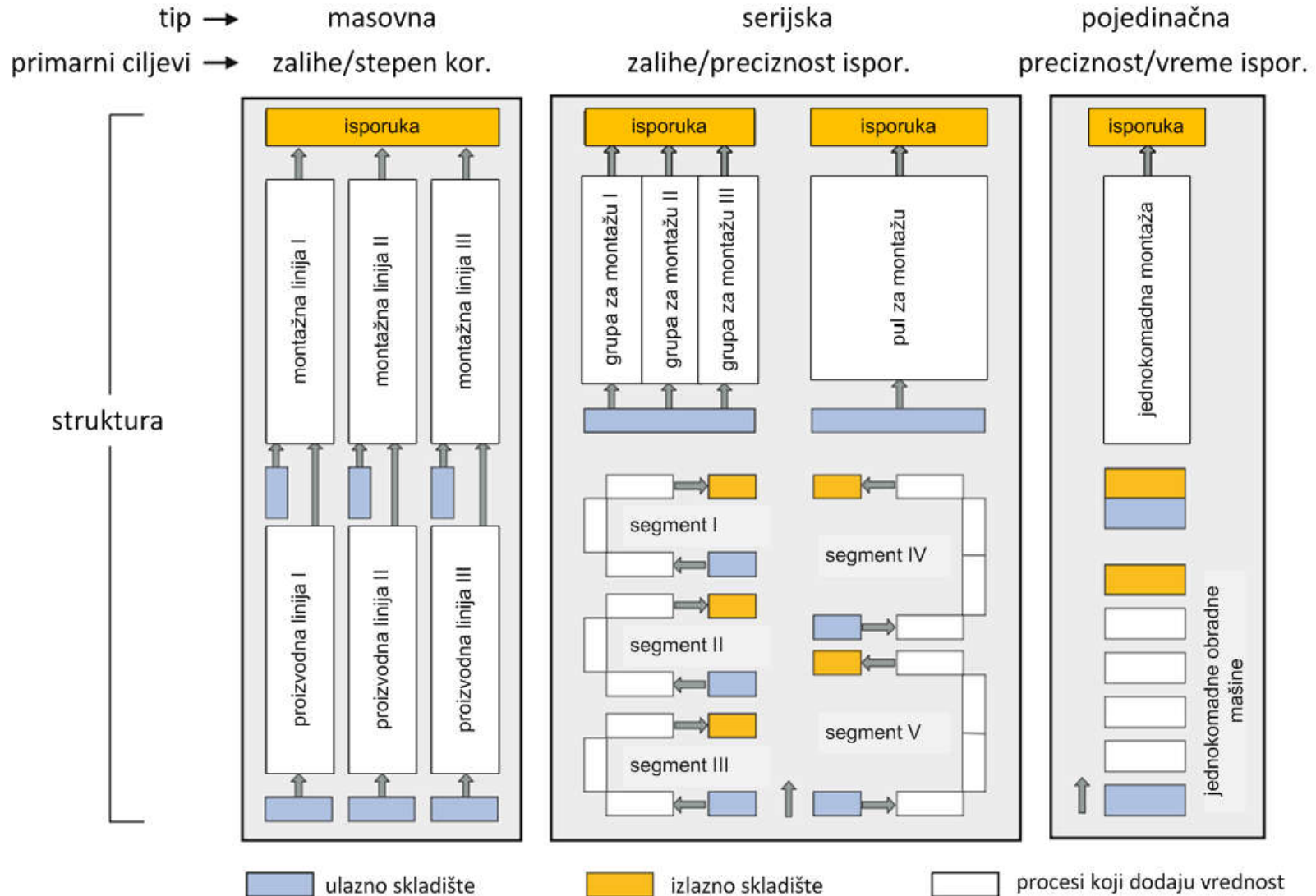
Velikoserijska proizvodnja

- Proizvodnja serije istih proizvoda (hiljade, desetine ili čak stotine hiljada);
- Osnovne karakteristike:
 - Lansira se serija proizvoda, i serija prolazi kroz ceo tok proizvodnje;
 - Sredstva za rad na visokom stepenu mehanizacije i automatizacije, i visoko produktivna;
 - Standardizacija postupka rada je na visokom nivou (proizvodna dokumentacija je detaljno razrađena);
 - Podela rada na visokom nivou (operacije raščlanjene na manje operacije, operacije uprošćene);
 - Osposobljenost izvršilaca na niskom nivou;

Masovna proizvodnja

- Proizvodnja u velikim količinama jednog ili manje grupe sličnih proizvoda;
- Osnovne karakteristike:
 - Proizvodnja je neprekidna, i proces najčešće traje 24h dnevno;
 - Sredstva za rad specijalizovana, sa veoma visokim stepenom automatizacije, i visoko produktivna;
 - Standardizacija postupka rada na veoma visokom nivou (proizvoda dokumentacija veoma detaljna, postoje detaljne procedure za rad);
 - Podela rada na veoma visokom nivou (operacije dalje raščlanjene kako bi se ostvario kratak takt proizvodnje);
 - Osposobljenost izvršilaca na niskom nivou;

Konfiguracija različitih tipova proizvodnje





Proizvodni sistemi sa manuelnim radom (montažne linije)

- Faktori koji favorizuju montažne linije:
 - Srednja ili velika tražnja;
 - Identični ili slični proizvodi;
 - Dugačak životni ciklus proizvoda;
 - Celokupan rad se može podeliti na sitne elemente;
 - Tehnološki je nemoguće ili ekonomski neopravdano automatizovati operacije montaže;
- Veliki deo proizvoda se montira iz različitih komponenti (automobili, teretna vozila, električni uređaji, kućni aparati, nameštaj, računari, ...).



Zašto su montažne linije tako efikasne?

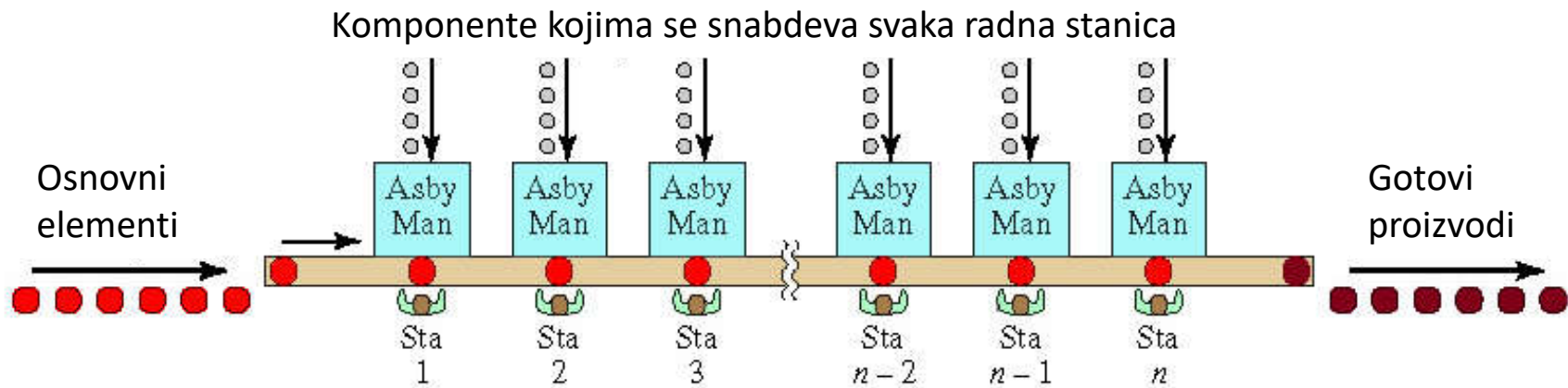
- Specijalizacija rada
 - Kriva učenja
- Izmenljivi delovi
 - Komponente napravljene prema malim tolerancijama
- Princip toka posla
 - Posao dolazi do izvršioca
- Takt linije
 - Radnici moraju da završe svoje zadatke u okviru definisanog vremenskog intervala



Montažna linija sa manuelnim radom

- Niz radnih stanica na kojima ljudi obavljaju zadatke montaže dok se proizvod kreće duž linije;
- Organizovanje za proizvodnju jednog proizvoda (jednopedmetne) ili ograničenog skupa proizvoda (višepredmetne);
- Svaki proizvod se sastoji od niza komponenti koje se spajaju raznim operacijama montaže;
- Ukupni sadržaj rada – suma svih elemenata rada neophodnih da se montira jedna jedinica proizvoda na liniji.

Montažna linija sa manuelnim radom



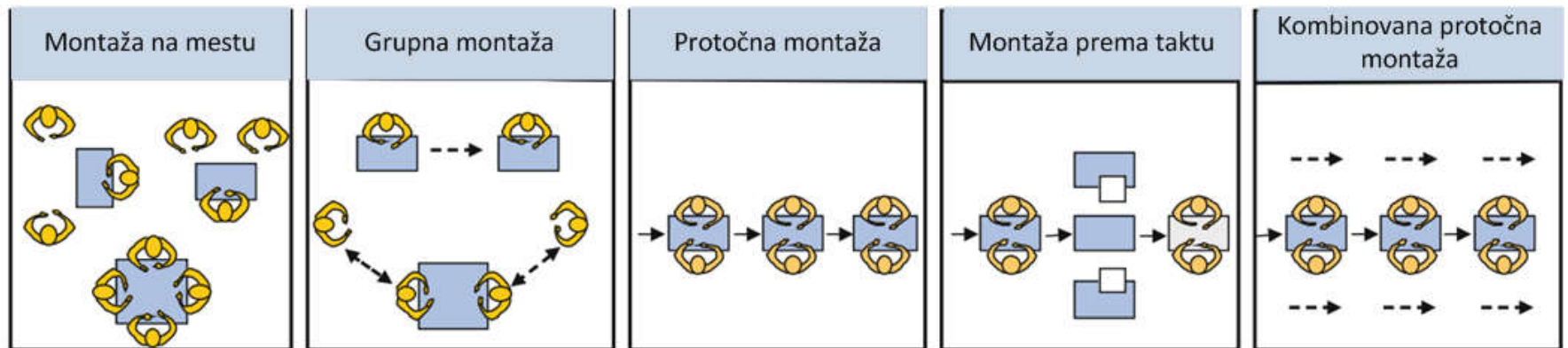
Konfiguracija montažne linije sa n radnih stanica sa manuelnim radom



Montažna linija sa manuelnim radom

- Proizvodi se montiraju dok se kreću linijom;
- Na svakoj radnoj stanici se izvodi deo ukupnog sadržaja rada;
- Osnovni elementi dolaze na početak linije u pravilnim intervalima;
- Radnici dodaju komponente i progresivno formiraju proizvod;
- Tipične operacije koje se izvode na radnom mestu (radnoj stanici):
 - Lepljenje
 - Zaptivanje
 - Zavarivanje
 - Spajanje električnih provodnika
 - Ubacivanje komponenti
 - Spajanje pritiskom
 - Spajanje žabicama
 - Lemljenje
 - Nitnovanje
 - Spajanje

Organizacioni oblici montaže







Objekat koji se kreće	Fiksiran predmet rada		Pokretni predmet rada		Pokretni predmet rada	
	Stacionarna radna mesta	Pokretna radna mesta	Stacionarna radna mesta		Pokretna radna mesta	
Tip kretanja	—		Aperiodično kretanje posla	Periodično > Kret. posla	Periodično > Kret. posla	Periodično > Kret. posla
	—		Usaglašeno kretanje		Usaglašeno kretanje	

Stanica montaže
 Radnik
 Kret. pred. rada
 Kretanje radnog mesta

Projektovanje linijskih proizvodnih sistema

Osnovni parametri linija:

-  Ritam proizvodnje
-  Takt proizvodnje
-  Stepen uravnoteženosti linije
-  Stepen iskorišćenja kapaciteta linije

1. Ritam proizvodnje

- Broj puta ponavljanja proizvodnog ciklusa u jedinici vremena

$$R = \frac{n}{T} \left[\frac{\text{ciklusa}}{\text{jed.vremena}} \right]$$

n – broj proizvodnih ciklusa u posmatranom periodu vremena

T – vremenski period u kome se ritam i takt ponavljaju

(Proizvodni ciklus – vreme koje protekne od početka prve do završetka poslednje operacije u procesu izrade jednog proizvoda)

2. Takt proizvodnje

- Vremenski period koji protekne između dva uzastopna izlaska gotovih komada iz linije

$$t = \frac{1}{R} = \frac{T}{n} \left[\frac{\text{vrem. jedinica}}{\text{jed. proizvoda}} \right]$$

n – broj proizvodnih ciklusa u posmatranom periodu vremena

T – vremenski period u kome se ritam i takt ponavljaju

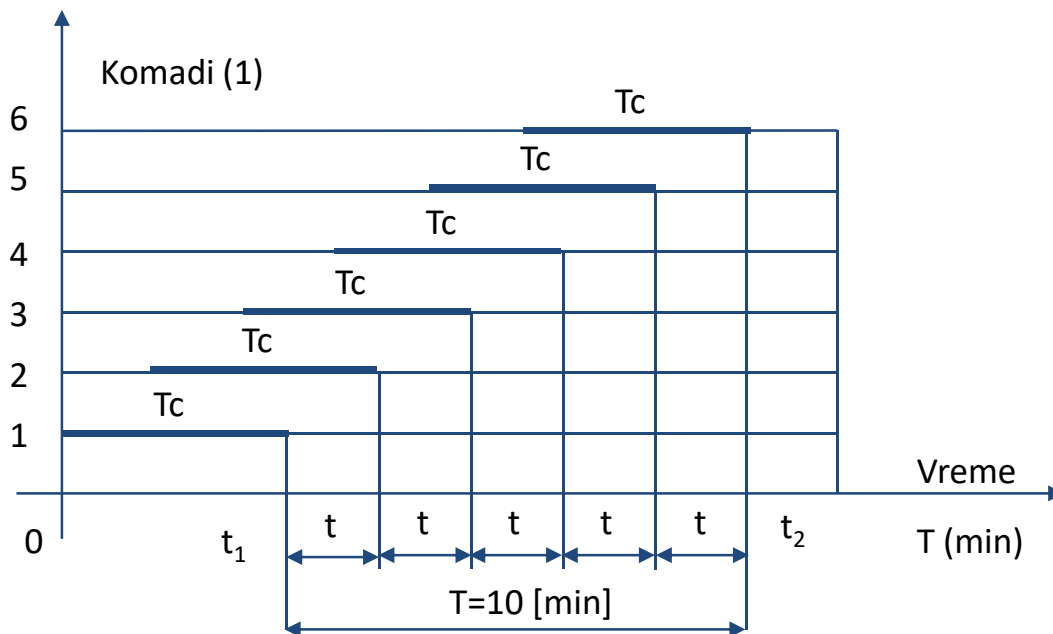
- **Ritam proizvodnje** postoji uvek, **takt** proizvodnje postoji samo u slučaju kada se proizvodni ciklusi dva uzastopna komada preklapaju.

Primer

$T = 10$ [min], $n = 5$ [kom],
 T_c – dužina proizvodnog ciklusa, $T_c = \text{const.}$

t_1 [min] – vreme završetka proizvodnog ciklusa onog komada u odnosu na koga se prate ponovljeni proizvodni ciklusi,

t_2 [min] – vreme završetka poslednjeg ponovljenog proizvodnog ciklusa u posmatranom periodu



$$R = \frac{n}{T} = \frac{5}{10} = 0,5 \left[\frac{\text{ciklusa}}{\text{min}} \right]$$

$$t = \frac{T}{n} = \frac{10}{5} = 2 \left[\frac{\text{min}}{\text{kom}} \right]$$

3. Stepen uravnoveženosti linije

1. Stepen uravnoveženosti cele linije s obzirom na takt

$$\eta_u = \frac{t_s}{t} 100 = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{t \cdot n} 100 [\%]$$

η_u [%] – stepen uravnoveženosti linije s obzirom na takt

t_s [min/kom] – prosečno vreme trajanja operacija na jednom RM

t [min/kom] – takt linije

t_i [min/kom] – vreme trajanja i -te operacije

$i=1,2,\dots,m$ – broj operacija

n [1] – broj radnih mesta linije

3. Stepen uravnoveženosti linije

2. Stepen uravnoveženosti radnih mesta linije

$$\eta'_u = \frac{t_{\min}}{t_{\max}} 100 = \frac{\min_j \sum_{i=1}^m t_{ij}}{\max_j \sum_{i=1}^m t_{ij}} 100 [\%]$$

η'_u [%] – stepen uravnoveženosti linije s obzirom na takt

t_{\min} [min/kom] – najkraće vreme rada od svih vremena rada radnih mesta linije

t_{\max} [min/kom] – najduže vreme rada od svih vremena rada radnih mesta linije

t_{ij} [min/kom] – vreme trajanja svih operacija koje izvodi j-to radno mesto

$j=1,2,\dots, n$ - broj radnih mesta

$i=1,2,\dots,m$ – broj operacija

4. Stepen iskorišćenja kapaciteta linije

$$\eta = \frac{K_i}{K_r} 100 = \frac{Q \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m t_{ij}}{n \cdot k_r} 100 [\%]$$

K_i [min/int] – ukupni iskorišćeni kapacitet

K_r [min/int] – Ukupni raspoloživi kapacitet linije

Q [kom/int] – količina proizvodne linije u posmatranom vremenskom intervalu

k_r [min/int] – raspoloživi kapacitet jednog radnog mesta linije

t_{ij} [min/kom] – vreme trajanja svih operacija koje izvodi j -to radno mesto

$j=1,2,\dots, n$ - broj radnih mesta

$i=1,2,\dots,m$ – broj operacija

4. Stepen iskorišćenja kapaciteta linije

Kako je:

$$Q = \frac{k_r}{t} \left[\frac{\text{kom}}{\text{int}} \right] \quad \text{i} \quad \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m t_{ij} = \sum_{i=1}^m t_i$$

$$\Rightarrow \eta = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{n \cdot t} 100 \quad [\%] = \eta_u$$

Do maksimalnog uravnoteženja cele linije, s obzirom na takt linije, dolazi se na isti način kao i do maksimalnog stepena korišćenja raspoloživog kapaciteta linije, a to se postiže optimalnom podelom rada u liniji odnosno određivanjem optimalnog rasporeda operacija po radnim mestima linije.



Razvrstavanje proizvodnje pomoću koeficijenta obimnosti

Parametri proizvodnog programa:

- struktura, asortiman programa, i
- količina, obim programa

Proizvodni procesi mogu biti:

- **PREKIDNOG TOKA** – zbir vremena trajanja operacija obrade je **MANJI** od vremenskog perioda koji protekne između dva uzastopna izlaska gotovih komada
- **NEPREKIDNOG TOKA** - zbir vremena trajanja operacija obrade **NIJE MANJI** od vremenskog perioda koji protekne između dva uzastopna izlaska gotovih komada

Razvrstavanje proizvodnje pomoću koeficijenta obimnosti

KOEFICIJENT OBIMNOSTI (k_o) – odnos između zbira vremena trajanja operacija obrade i vremenskog perioda između dva uzastopna izlaska gotovih komada

$$k_o = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{t} [1]$$

Razvrstavanje proizvodnje pomoću koeficijenta obimnosti

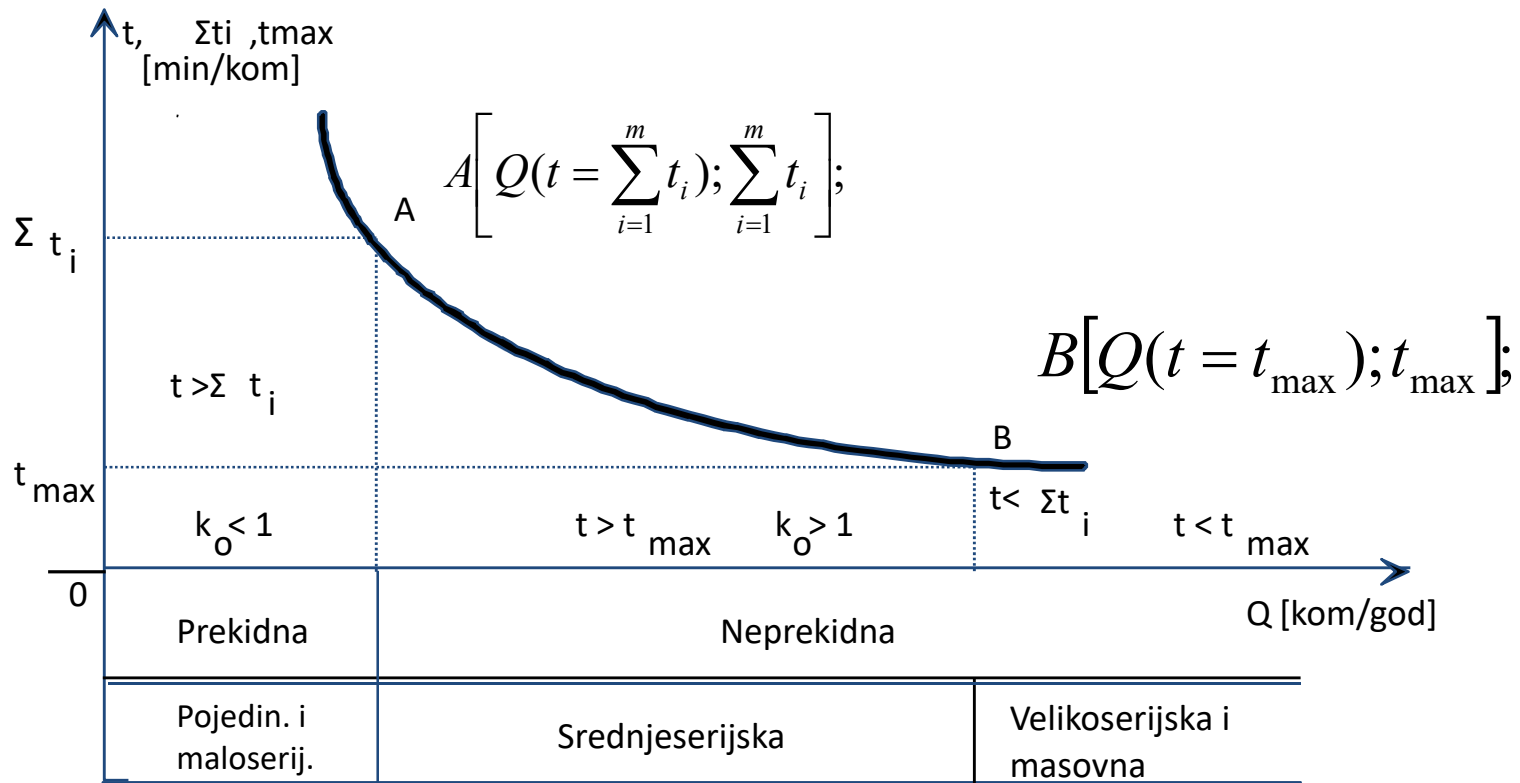
1. Ako je $t > \sum_{i=1}^m t_i \Rightarrow k_o < 1 \Rightarrow$ **prekidna proizvodnja** (pojedinačna i maloserijska)

2. Ako je $t \leq \sum_{i=1}^m t_i \Rightarrow k_o > 1 \Rightarrow$ **neprekidna proizvodnja** (srednjeserijska ili velikoserijska ili masovna proizvodnja)

2.1. Ako je $t \geq t_{\max} \Rightarrow$ **srednjeserijska proizvodnja**

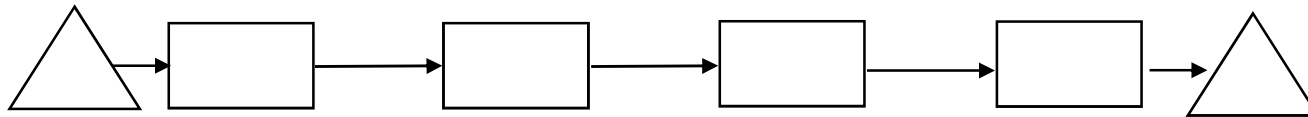
2.2. Ako je $t < t_{\max} \Rightarrow$ **velikoserijska ili masovna proizvodnja**

Grafički prikaz razvrstavanja proizvodnje pomoću koeficijenta obimnosti

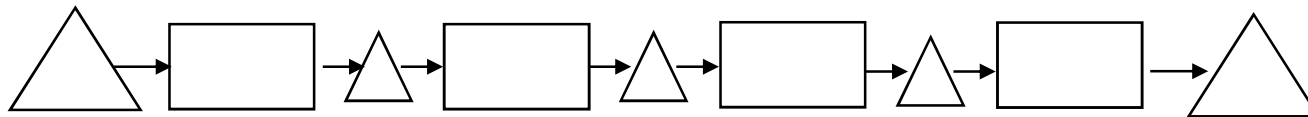


Određivanje potrebnog broja radnih mesta i međuoperacionih zaliha u liniji

- **Koje su karakteristike neprekidne proizvodnje?**
 - velika podela rada;
 - manja međuoperaciona vremena, predmet rada se između mesta izvođenja uzastopnih operacija prenosi najkraćim putem.
- **TAKT** – osnovni parametar neprekidne proizvodnje
 - **Prinudni takt** – postoji vremenska sinhronizovanost svih operacija jer se svi predmeti rada, čija je proizvodnja u toku, pomeraju istovremeno sa jednog RM na drugo.



- **Slobodan takt** – kod proizvodnih linija kod kojih su vremena trajanja pojedinih operacija različita, uz aperiodično kretanje predmeta rada.



Određivanje potrebnog broja radnih mesta i međuooperacionih zaliha u liniji

$t=t_{min}$ => međuooperacione zalihe

$t=t_{max}$ => neiskorišćena vremena (gubici) na RM

Kod jednopredmetnih linija:

$$t = \frac{Kk}{Q} \left[\frac{vr.jed.}{jed.pr.} \right]$$

Ako se ne žele međuooperacione zalihe onda je dovoljna jedna proizvodna linija sve dok važi uslov:

$$t \geq t_{max}$$

U ovom slučaju bi se javili gubici na radnim mestima. U suprotnom, biće potrebno uvesti drugu liniju ili povećati broj radnih mesta za izvođenje onih operacija čije je vreme trajanja duže od takta.



Određivanje potrebnog broja radnih mesta i međuoperacionih zaliha u liniji

Ako bi se proizvodnja organizovala tako da se javljaju međuoperacione zalihe, onda bi se planirani program mogao ostvariti sa jednom linijom sve dok je ispunjen uslov:

$$t \geq t_{\min}$$

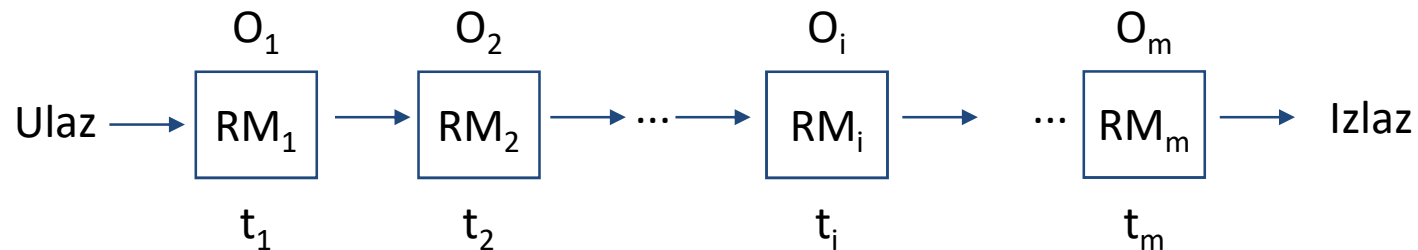
$t_{\min} = \min t_i (i = 1, 2, \dots, m)$ - vreme trajanja najkraće operacije.

Određivanje potrebnog broja radnih mesta i međuoperacionih zaliha u liniji

Posmatrajmo jednu proizvodnu liniju sa m radnih mesta na kojima se izvodi m operacija redosledom:

$$O_1 \rightarrow O_2 \rightarrow \dots \rightarrow O_i \rightarrow \dots \rightarrow O_m$$

$t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_m$ [$\frac{\text{vr. jed.}}{\text{jed. pr.}}$] - vremena trajanja operacija



Takt proizvodnje je poznat.

Određivanje potrebnog broja radnih mesta i međuoperacionih zaliha u liniji

- Koji su mogući slučajevi pri organizaciji ovakve proizvodnje?

$$1. \quad t \geq t_{\max} = \max_i t_i \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

U ovom slučaju će se javiti vremenski gubici na svim radnim mestima.

Jedinični vremenski gubitak radnog mesta: $t_{gi} = t - t_i \left[\frac{\text{vr.jed.}}{\text{jed.pr.}} \right]; \quad (i = 1, 2, \dots, m)$

Ukupni gubitak radnog mesta u posmatranom vremenskom intervalu:

$$T_{gi} = (t - t_i) Q \left[\frac{\text{vr.jed.}}{\text{interval}} \right]; \quad (i = 1, 2, \dots, m)$$

Ukupno neiskorišćeno vreme linije u posmatranom intervalu:

$$T_g = Q \sum_{i=1}^m (t - t_i) = Q \left(mt - \sum_{i=1}^m t_i \right) \left[\frac{\text{vr.jed.}}{\text{int.}} \right]$$

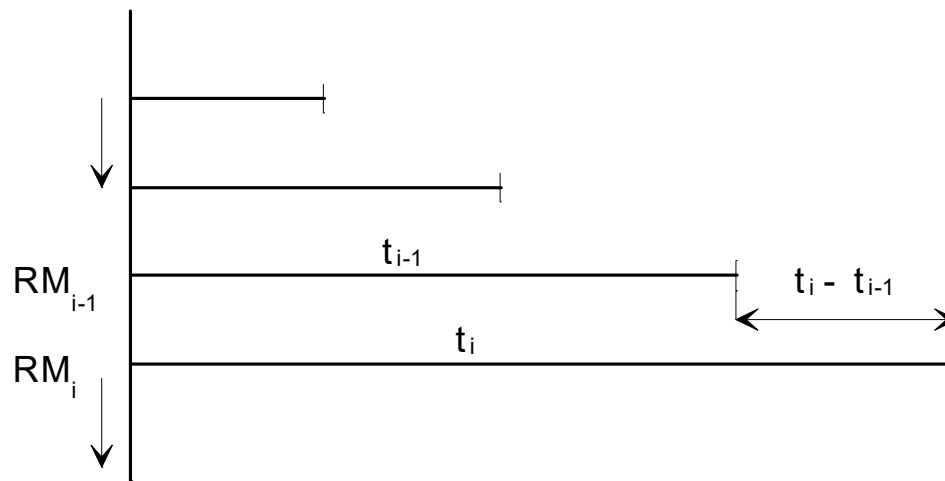
Određivanje potrebnog broja radnih mesta i međuoperacionih zaliha u liniji

2. $t = t_{\min} = \min_i t_i;$

Posmatrajmo specijalan slučaj: $t_1 \leq t_2 \leq t_3 \leq \dots \leq t_i \leq \dots \leq t_m; \quad t = t_1$

Međuoperacione zalihe će se javiti samo na onim radnim mestima čije je vreme trajanja operacije duže od prethodne ($t_i < t_{i+1}$).

($i = 1, 2, \dots, m$)



ODREĐIVANJE POTREBNOG BROJA RADNIH MESTA I MEĐUOPERACIONIH ZALIHA U LINIJI

Kako odrediti ukupne zalihe koje će se javiti na radnim mestima?

Količina proizvoda koja "prolazi" kroz radno mesto R_{Mi-1}:

$$Q_{i-1} = \frac{K_k}{t_{i-1}}$$

Količina proizvoda koja "prolazi" kroz radno mesto R_{Mi}:

$$Q_i = \frac{K_k}{t_i}$$

$$\Rightarrow Z_i = \frac{t_i - t_{i-1}}{t_{i-1}} \frac{K_k}{t_i} \left[\frac{\text{jed.pr.}}{\text{int.}} \right]$$

Međuoperacione zalihe na radnom mestu R_{Mi}:

$$Z_i = Q_{i-1} - Q_i = \frac{K_k}{t_{i-1}} - \frac{K_k}{t_i}$$

Ukupna nedovršena proizvodnja na celoj liniji biće:

$$Z = \sum_{i=2}^m Z_i = K_k \sum_{i=2}^m \frac{t_i - t_{i-1}}{t_{i-1} \cdot t_i} \left[\frac{\text{jed.pr.}}{\text{int.}} \right]$$

Određivanje potrebnog broja radnih mesta i međuoperacionih zaliha u liniji

3. $t_{\min} < t < t_{\max}$

U ovom slučaju će se na nekim radnim mestima javiti gubici u vremenu a na nekim međuoperacione zalihe. Potrebno je izvršiti detaljnu analizu svih radnih mesta.

Zadatak

Na jednoj jednopredmetnoj liniji se vrši montaža električnih aparata za brijanje. Režim rada posmatrane linije je sledeći:

- 266 radnih dana u godini;
- 3 smene u jednom radnom danu;
- 8 sati u jednoj smeni;
- Korišćenje raspoloživog kapaciteta od 80%;

Podela rada je izvršena tako da se na proizvodu izvodi 6 operacija čija su vremena trajanja data u tabeli:

O _j	O1	O2	O3	O4	O5	O6
T	1	2	2	3,5	3,5	4

Svaka operacija se izvodi na jednom radnom mestu. U cilju analize proizvodne sposobnosti proizvodne linije, potrebno je:

- Šematski prikazati proces rada linije i izračunati njen korisni kapacitet u minutima godišnje;
- Izračunati obim proizvodnje koji odgovara taktu koji je jednak najkraćem vremenu trajanja operacije, i međuoperacione zalihe na radnim mestima RM2 i RM4, kao i ukupnu nedovršenu proizvodnju za godinu dana;
- Ako takt linije odgovara najdužem vremenu trajanja operacije, izračunati obim proizvodnje, vremenske gubitke radnih mesta RM3 i RM6, i ukupne vremenske gubitke linije za godinu dana;
- Izračunati koeficijent obimnosti za liniju pod b i odrediti o kom tipu proizvodnje je reč, i grafički prikazati postupak određivanja tipa proizvodnje. Izračunati koeficijent obimnosti i zaključiti o kom tipu proizvodnje je reč na liniju pod c.
- Šematski prikazati liniju ukoliko je godišnja tražnja za električnim aparatima za brijanje 153216 komada, ukoliko operacije O4 i O5 mogu da se dele na manje delove, a operacija O6 ne može da se deli na manje delove. Koliki je stepen uravnoteženosti radnih mesta ovakve linije, i stepen uravnoteženosti s obzirom na takt?