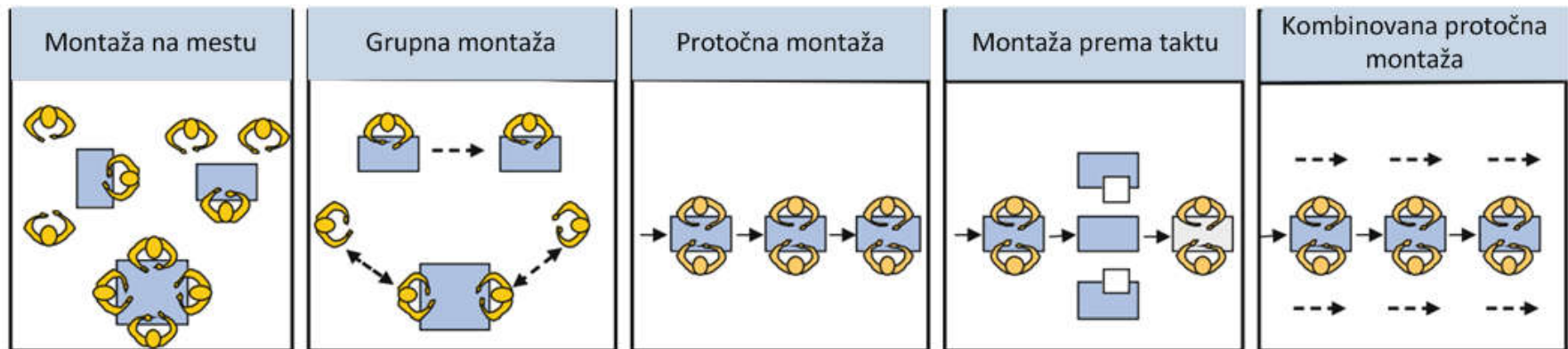




PROJEKTOVANJE PROIZVODNIH SISTEMA

LINIJE SA NEPREKIDNIM KRETANJEM
PREDMETA RADA

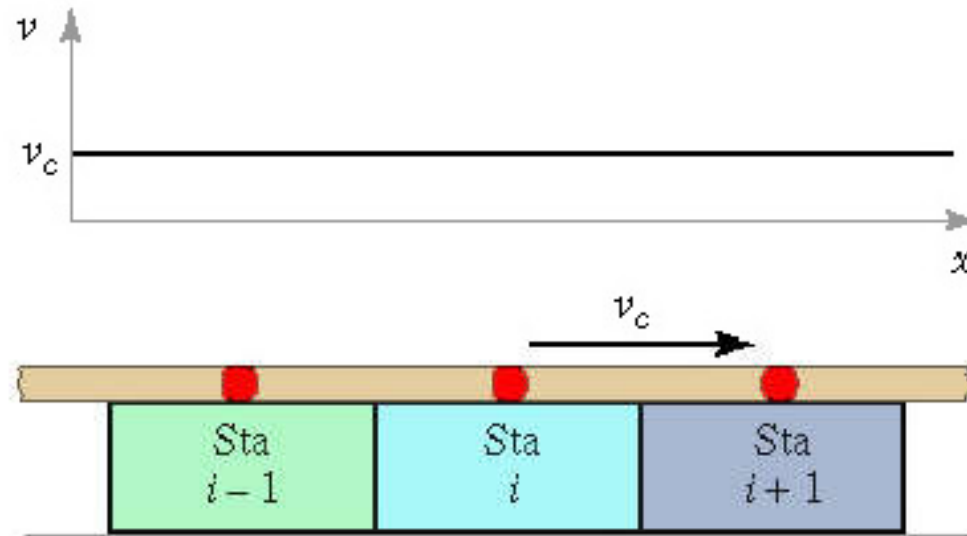
Organizacioni oblici montaže



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 > Kret. posla Periodično > Kret. posla	Aperiodično kretanje posla	Periodično > Kret. posla Kontinuirano > Kret. posla	Periodično > Kret. posla Kontinuirano > Kret. posla	Periodično > Kret. posla Kontinuirano > Kret. posla
		Neusaglašeno > Kretanje Usaglašeno > Kretanje	Usaglašeno kretanje		Usaglašeno kretanje	

Stanica montaže
 Radnik
 Kret. pred. rada
 Kretanje radnog mesta

Neprekidno kretanje predmeta rada



Predmet rada se kreće konstantnom brzinom



Kada koristiti linije sa neprekidnim kretanjem predmeta rada?

- **Visoka tražnja za proizvodima** – zahtevaju se veliki obimi proizvodnje
- **Stabilan dizajn proizvoda** – teško je promeniti redosled i sadržaj operacija
- **Dugačak životni ciklus proizvoda** – najmanje nekoliko godina
- **Proizvodnja/montaža zahteva više operacija** – različite operacije se dodeljuju radnim mestima na liniji



PROIZVODNE LINIJE SA NEPREKIDNIM KRETANJEM PREDMETA RADA

- **predmet rada se neprekidno kreće stalnom brzinom**
- rad u ovim proizvodnim linijama je rad na traci
- sredstvo ide celom dužinom montaže (ako je linija duga, moguća podela na segmente)
- predmet rada najčešće fiksiran za transportno sredstvo (teški predmeti, npr. automobili)
- proizvodne trake su najčešće jednolinijske i jednopredmetne, a uglavnom obradne ili montažne proizvodne linije
- velika proizvodna sposobnost
- najsporije radno mesto definiše brzinu proizvodnje



Transportna sredstva kod linija sa neprekidnim kretanjem predmeta rada

- Tračni konvejer <https://youtu.be/RE5s4O-3tSs>
- Pokretna traka ili viseći konvejer https://youtu.be/jLud5XYfY_c
- Roler konvejer https://youtu.be/t_7_8Rzif-o
- Konvejeri sa lančanom vučom <https://youtu.be/zF8Cg3GoKXo>

PROIZVODNE LINIJE SA NEPREKIDNIM KRETANJEM PREDMETA RADA

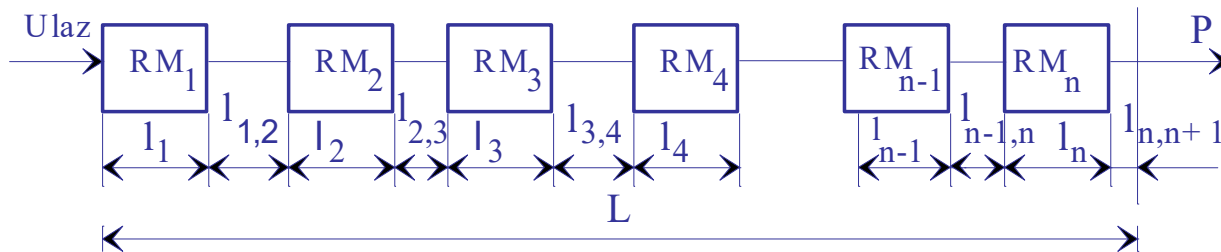
Neka je:

- L [m] – ukupna dužina proizvodne linije
- l_j – deo proizvodne linije na kome može da radi radnik na j -tom radnom mestu linije
- $j = 1, 2, \dots, n$ – broj radnih mesta linije
- l [m] – rastojanje između dva uzastopna komada na liniji
- $l_{j,j+1}$ [m] – deo proizvodne linije koji se nalazi između radnih mesta RM_j i RM_{j+1} , i na kome ne može raditi nijedan od radnika koji rade na ova dva radna mesta
- t [sec/kom] – takt linije
- v [m/sec] – brzina kretanja linije odnosno predmeta rada
- t_j [sec/kom] – vreme trajanja operacija na j -tom radnom mestu
- m [m] – broj proizvodnih linija u posmatranom proizvodnom procesu

ODREĐIVANJE TAKTA LINIJE

Pošto sredstva za rad na radnim mestima linije nisu ista i ne zahtevaju isti prostor, u opštem slučaju ovog oblika proizvodnih linija različite su dužine $l_{j,j+1}$ [m] i dužine l_j [m], $j=1,2,\dots,n$.

$l_{n,n+1}$ - dužina proizvodne trake između zadnjeg radnog mesta u liniji i preseka linije sa koga silaze gotovi proizvodi.



Šematski prikaz proizvodne linije

ODREĐIVANJE TAKTA LINIJE

Kako predmeti rada moraju biti ravnomerno raspoređeni po proizvodnoj traci takt proizvodnje (takt jedne proizvodne trake) biće:

$$t = \frac{l}{v} \left[\frac{\text{sec}}{\text{kom}} \right]$$

Brzina kretanja predmeta rada zavisi od vremena trajanja operacija po radnim mestima i radnih dužina svih radnih mesta proizvodne linije.

Kako odrediti takvu brzinu predmeta rada, koja omogućava završetak svih operacija po radnim mestima trake?

1. Potrebno je odrediti odgovarajuće brzine predmeta rada za svako radno mesto trake a u zavisnosti od njegove radne dužine i vremena trajanja operacija koje se na njemu izvode

$$v_j = \frac{l_j}{t_j}; (j = 1, 2, \dots, n)$$

2. Od svih utvrđenih brzina odabrati najmanju i nju usvojiti za brzinu kretanja predmeta rada. Ovo iz razloga što najveća brzina predmeta rada ne sme biti veća od brzine koja omogućava završetak operacija na svim radnim mestima linije.

$$v_{\max} = \min_j v_j = \min_j \frac{l_j}{t_j}; (j = 1, 2, \dots, n)$$

ODREĐIVANJE TAKTA LINIJE

=> Brzina kretanja predmeta rada na proizvodnoj traci sa stalnim kretanjem predmeta rada:

$$v = v_{\max} = \min_j \frac{l_j}{t_j}; (j = 1, 2, \dots, n)$$

Pri utvrđivanju najveće brzine kretanja predmeta rada, s obzirom na radne dužine i vremena trajanja operacija po radnim mestima, treba imati u vidu da ona ne sme biti toliko velika da onemogućava normalno izvođenje operacija na radnim mestima trake.

Da bi radno mesto na svojoj radnoj dužini završilo svoj deo posla na svakom komadu rastojanje između dva uzastopna komada na traci mora zadovoljavati uslov:

$$l \geq \max_j (v * t_j)$$

ODREĐIVANJE STEPENA URAVNOTEŽENOSTI LINIJE

1. Stepen uravnoteženosti proizvodne trake s obzirom na takt predstavlja stepen približenja prosečnog vremena trajanja operacija taktu linije:

$$\eta_u = \frac{\sum_{j=1}^n t_j}{n \cdot t} 100 [\%] \Rightarrow \eta_u = \frac{v}{n \cdot l} \sum_{j=1}^n t_j 100 [\%]$$

Stepen uravnoteženosti proizvodne linije, s obzirom na takt će biti veći ukoliko je izjednačenost vremena trajanja operacija, a samim tim i radnih dužina radnih mesta, veća.

Potpuno uravnoteženje proizvodne linije sa neprekidnim kretanjem predmeta rada ($\eta_u = 100\%$) postiglo bi se onda kada bi vremena trajanja operacija i radne dužine na svim radnim mestima bile iste:

$$\begin{aligned} t_1 = t_2 = \dots = t_j = \dots = t_n &\Rightarrow v = \frac{l_1}{t_1} = \frac{l_2}{t_2} = \dots = \frac{l_j}{t_j} = \dots = \frac{l_n}{t_n} \Rightarrow \\ l_1 = l_2 = \dots = l_j = \dots = l_n &\Rightarrow l = v \cdot t_1 = v \cdot t_2 = \dots = v \cdot t_j = \dots = v \cdot t_n = l_1 = l_2 = \dots = l_j = \dots = l_n \Rightarrow \\ \Rightarrow t = t_1 = t_2 = \dots = t_j = \dots = t_n &\Rightarrow \sum_{j=1}^n t_j = n \cdot t \text{ tako da je} \end{aligned}$$

$$\eta_u = \frac{v}{n \cdot l} \sum_{j=1}^n t_j * 100 = \frac{v}{n \cdot l} n \cdot t * 100 = 100 [\%]$$

ODREĐIVANJE STEPENA URAVNOTEŽENOSTI LINIJE

2. Stepен uravnoteženosti radnih mesta proizvodne trake (η_u') predstavlja stepен približenja najkraćег vremena najdužем vremenu rada od svih radnih mesta linije.

$t_{\min} = \min t_j; j = 1, 2, \dots, n$ - najkraće vreme rada od svih vremena rada radnih mesta linije, i

$t_{\max} = \max t_j; j = 1, 2, \dots, n$ - najduže vreme rada od svih vremena rada radnih mesta linije.

Stepен uravnoteženosti radnih mesta linije:

$$\eta_u' = \frac{t_{\min}}{t_{\max}} 100[\%]$$

KOJI JE OSNOVNI ZADATAK PRI RAZMATRANJU PROIZVODNIH LINIJA SA- NEPREKIDNIM KRETANJEM PREDMETA RADA?

- da se odredi najpovoljniji naćin izvođenja operacija sa stanovišta racionalizacije i humanizacije rada;
- da se izvrši takva podela rada u liniji koja će omogućiti, ako ne izjednaćavanje, bar što veće približavanje vremena trajanja operacija po radnim mestima linije;
- da se radne dužine linije projektuju tako da odgovaraju vremenima trajanja operacija po radnim mestima linije;
- da se odredi najduže dozvoljeno vreme rada istog radnika na jednom radnom mestu i razmotri mogućnost promene radnih mesta za svakog radnika u liniji, kako bi se izbegle ili bar ublažile negativne posledice koje prouzrokuje rad u proizvodnoj traci.



ODREĐIVANJE PROIZVODNE SPOSOBNOSTI LINIJE

Proizvodna sposobnost linije - određeni nivo tehničko-tehnoloških, organizacionih, psiholoških i drugih karakteristika linije koji omogućava da se u jednom vremenskom intervalu proizvede određena količina proizvoda.

Pokazatelji proizvodne sposobnosti linije:

- Brzina proizvodnje
- Obim proizvodnje
- Gubici u vremenu

ODREĐIVANJE BRZINE PROIZVODNJE

Neka linijski proizvodni proces čini m proizvodnih traka sa istim osnovnim svojstvima.

Vreme potrebno za proizvodnju jedne jedinice posmatranog proizvoda je:

$$t_m = \frac{l}{v * m} \left[\frac{\text{sec}}{\text{kom}} \right]$$

t_m - takt sistema od m proizvodnih traka.

$q \left[\frac{\text{kom}}{\text{sec}} \right]$ - **brzina proizvodnje** - broj gotovih komada, koji u jedinici vremena izađe sa trake

$$q = \frac{1}{t_m} = \frac{v * m}{l} \left[\frac{\text{kom}}{\text{sec}} \right]$$

q predstavlja i ritam procesa ili ritam sistema od m proizvodnih traka.

ODREĐIVANJE OBIMA PROIZVODNJE

$$Q = \frac{T}{t_m} \left[\frac{\text{kom}}{\text{int}} \right]$$

t_m - takt sistema

$T \left[\frac{\text{sec}}{\text{int}} \right]$ - efektivna dužina posmatranog vremenskog intervala

=>

$$Q = \frac{T}{l} v \cdot m \left[\frac{\text{kom}}{\text{int}} \right]$$

ODREĐIVANJE GUBITAKA U VREMENU

Brzina kretanja predmeta rada određena je na osnovu najmanjeg količnika

$$\frac{l_j}{t_j}; j = 1, 2, \dots, n$$

=> neće biti međuoperacionih zaliha.

=> pojaviće se gubici u vremenu na onim radnim mestima kod kojih je projektovana radna dužina veća od potrebne, odnosno kod kojih važi sledeća relacija:

$$v \quad t_j < l; j = 1, 2, \dots, n$$

Zadatak 1

- Montaža jednog proizvoda vrši se na traci sa 5 radnih mesta. Proizvod je po obliku i težini takav da se, za vreme izvođenja operacija montaže, ne pomera sa trake koja se neprekidno kreće konstantnom brzinom. Svako radno mesto koristi odgovarajuća sredstva za rad koja zahtevaju određeni prostor i omogućavaju da se operacije montaže izvode na određenim radnim dužinama. Postojeći način rada trake je takav da ne omogućava ostvarenje onog obima proizvodnje koji mogu da propuste faze koje prethode montaži. Postojeća podela rada, vremena trajanja operacija i projektovane radne dužine date su u sledećoj tabeli:

l_j [m]	1.5	1.5	2	1.5	1	Vreme trajanja operacija [sec/kom]
Radna mesta	RM ₁	RM ₂	RM ₃	RM ₄	RM ₅	
Operacije	RM ₁	RM ₂	RM ₃	RM ₄	RM ₅	
O ₁	5					5
O ₂	20					20
O ₃		4				4
O ₄			10			10
O ₅			20			20
O ₆		16				16
O ₇				10		10
O ₈					18	18
t_j [sec/kom]	25	20	30	10	18	103

Zadatak 1

- U cilju analize postojećeg, projektovanja i postavljanja novog načina rada u proizvodnoj liniji potrebno je:
- odrediti brzinu kretanja trake, takt linije, stepen korišćenja kapaciteta linije, stepen uravnoteženosti radnih mesta linije, obim proizvodnje i ukupne gubitke u vremenu linije ako je korisni kapacitet 6000 [čas/god];

Zadatak 1

l_j [m]	1.5	1.5	2	1.5	1	Vreme trajanja operacija [sec/kom]
Radna mesta Operacije	RM ₁	RM ₂	RM ₃	RM ₄	RM ₅	
O ₁	5					5
O ₂	20					20
O ₃		4				4
O ₄			10			10
O ₅			20			20
O ₆		16				16
O ₇				10		10
O ₈					18	18
t_j [sec/kom]	25	20	30	10	18	103

$$t = \frac{l}{v} \left[\frac{\text{sec}}{\text{kom}} \right]$$

$$v_j = \frac{l_j}{t_j}; (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$v_{\max} = \min_j v_j = \min_j \frac{l_j}{t_j}; (j = 1, 2, \dots, n)$$

$$\frac{l_1}{t_1} = \frac{1.5}{25} = 0.06 \text{ [m/sec]}; \frac{l_2}{t_2} = \frac{1.5}{20} = 0.075 \frac{\text{m}}{\text{sec}}; \quad v = v_{\max} = \min v_j = \min \frac{l_j}{t_j} = \frac{l_5}{t_5} = 0.056 \frac{\text{m}}{\text{sec}}$$

$$\frac{l_3}{t_3} = \frac{2}{30} = 0.067 \text{ [m/sec]}; \frac{l_4}{t_4} = \frac{1.5}{10} = 0.15 \frac{\text{m}}{\text{sec}};$$

$$\frac{l_5}{t_5} = \frac{1}{18} = 0.056 \left[\frac{\text{m}}{\text{sec}} \right];$$

$$l \geq \max v \cdot t_j = \max 0.056 [25; 20; 30; 10; 18]$$

$$l = \max [1.4; 1.12; 1.68; 0.56; 1]$$

$$l = 1.68 \text{ [m]}$$

Zadatak 1

l_j [m]	1.5	1.5	2	1.5	1	Vreme trajanja operacija [sec/kom]
Radna mesta Operacije	RM ₁	RM ₂	RM ₃	RM ₄	RM ₅	
O ₁	5					5
O ₂	20					20
O ₃		4				4
O ₄			10			10
O ₅			20			20
O ₆		16				16
O ₇				10		10
O ₈					18	18
t_j [sec/kom]	25	20	30	10	18	103

$$t = \frac{l}{v} = \frac{1.68}{0.056} = 30 \frac{\text{sec}}{\text{kom}}$$

$$\eta = \eta_u = \frac{v}{n * l} \sum_{j=1}^5 t_j * 100 = \frac{0.056}{5 * 1.68} 103 * 100 = 68.67[\%]$$

$$Q = \frac{T}{l} v = \frac{T}{t} = \frac{6000 * 3600}{30} = 720000 \frac{\text{kom}}{\text{int}}$$

Kolika bi bila proizvodna sposobnost ukoliko bi se radilo na dve paralelne linije?

$$\Delta T = \frac{T}{l} v \sum_{j=1}^5 \left(\frac{l}{v} - t_j \right) = \frac{T}{t} \sum_{j=1}^5 (t - t_j) = 720000 * (5 + 10 + 20 + 12) = 33840000 \frac{\text{sec}}{\text{int}} = 9400 \frac{\text{čas}}{\text{int}}$$

Zadatak 1

- primenom odgovarajućih metoda proučavanja i merenja rada radnih mesta i uravnoteženjem linije došlo se do racionalnijeg i bržeg rada radnih mesta u liniji. Novi način rada od postojećeg razlikuje se u sledećem:
 - operacija O_8 traje 15 [sec/kom],
 - operaciju O_1 izvodi radno mesto RM_5 ,
 - operaciju O_4 izvodi radno mesto RM_4 ,
 - radna dužina radnog mesta RM_5 je 1.5 [m].
- Uzimajući u obzir poboljšanja načina rada treba izračunati da li će se, i za koliko, promeniti proizvodna sposobnost (obim) linije;

l_j [m]	1.5	1.5	2	1.5	1.5	Vreme trajanja operacija [sec/kom]
Radna mesta	RM_1	RM_2	RM_3	RM_4	RM_5	
Operacije						
O_1					5	5
O_2	20					20
O_3		4				4
O_4				10		10
O_5			20			20
O_6		16				16
O_7				10		10
O_8					15	15
t_j [sec/kom]	20	20	20	20	20	100

Zadatak 1

l_j [m]	1.5	1.5	2	1.5	1.5	Vreme trajanja operacija [sec/kom]
Radna mesta Operacije	RM ₁	RM ₂	RM ₃	RM ₄	RM ₅	
O ₁					5	5
O ₂	20					20
O ₃		4				4
O ₄				10		10
O ₅			20			20
O ₆		16				16
O ₇				10		10
O ₈					15	15
t_j [sec/kom]	20	20	20	20	20	100

$$\frac{l_1}{t_1} = \frac{1.5}{20} = 0.075 \text{ [m/sec]}; \frac{l_2}{t_2} = \frac{1.5}{20} = 0.075 \frac{m}{\text{sec}}$$

$$\frac{l_3}{t_3} = \frac{2}{20} = 0.1 \text{ [m/sec]}; \frac{l_4}{t_4} = \frac{1.5}{20} = 0.075 \frac{m}{\text{sec}}$$

$$\frac{l_5}{t_5} = \frac{1.5}{20} = 0.075 \text{ [m/sec]};$$

$$v = v_{\max} = \min v_j = \min \frac{l_j}{t_j} = \frac{l_1}{t_1} = \frac{l_2}{t_2} = \frac{l_4}{t_4} = \frac{l_5}{t_5} = 0.075 \frac{m}{\text{sec}}$$

$$l \geq \max v \cdot t_j = \max 0.075 [20 ; 20 ; 20 ; 20 ; 20]$$

$$l = \max [1.5 ; 1.5 ; 1.5 ; 1.5 ; 1.5]$$

$$l = 1.5 \text{ [m]}$$

Zadatak 1

l_j [m]	1.5	1.5	2	1.5	1.5	Vreme trajanja operacija [sec/kom]
Radna mesta	RM ₁	RM ₂	RM ₃	RM ₄	RM ₅	
Operacije						
O ₁					5	5
O ₂	20					20
O ₃		4				4
O ₄				10		10
O ₅			20			20
O ₆		16				16
O ₇				10		10
O ₈					15	15
t_j [sec/kom]	20	20	20	20	20	100

$$t = \frac{l}{v} = \frac{1.5}{0.075} = 20 \frac{\text{sec}}{\text{kom}}$$

$$Q = \frac{T}{l} v = \frac{T}{t} = \frac{6000 * 3600}{20} = 1080000 \frac{\text{kom}}{\text{int}}$$

- Stari obim proizvodnje 720000 kom/int
- Novi obim proizvodnje 1080000 kom/int

Obim će se povećati za $1080000 - 720000 = 360000$ kom/int

Za koliko će se povećati obim proizvodnje ukoliko se za novo stanje uvede još jedna identična proizvodna linija?

Zadatak 1

- Menadžment je doneo odluku da se umesto pokretne montažne trake proizvodnja organizuje po principima prekidnog kretanja predmeta rada. Podela rada i korisni kapacitet je kao u zahtevu pod a). Utvrđeno je da je, zbog gubitaka u vremenu, neophodan dodatak od 10% u odnosu na najduže vreme trajanja operacija na radnim mestima, sa ciljem da se obezbedi završetak svih operacija. Vreme pokretanja, kretanja od jednog do drugog radnog mesta i zaustavljanja predmeta rada je 3 [sec]. Izračunati da li će se (i ako da, za koliko) promeniti vreme potrebno za proizvodnju jednog proizvoda (takt) uvođenjem novog načina proizvodnje;
- Kolika će biti proizvodna sposobnost ovakve linije, a kolika ukoliko se proizvodnja organizuje na dve paralelne linije?

Zadatak 1

$$\alpha = 10\% \Rightarrow 1.1$$

$$t_0 = 3 \text{ [sec]}$$

$$t_{\max} = 30 \text{ [sec]}$$

$$m = 1 \text{ linija}$$

$$t = \frac{t_{\max} * \alpha + t_0}{m} \left[\frac{\text{vr.jed}}{\text{jed.pr.}} \right]$$

$$t = \frac{30 * 1.1 + 3}{1} = 36 \left[\frac{\text{sec}}{\text{kom}} \right]$$

Takt sa neprekidnim kretanjem PR 30 sec/kom

Takt sa prekidnim kretanjem PR 36 sec/kom

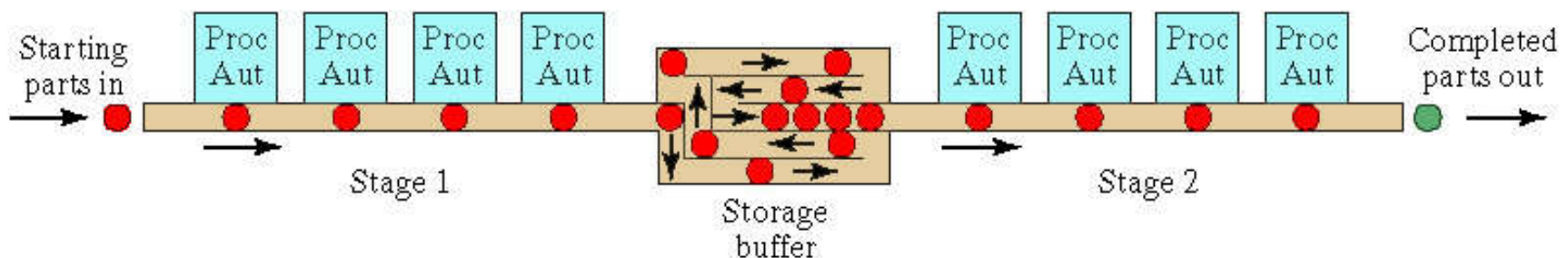
Takt će se povećati

za 6 sekundi

Kako će se promeniti takt ukoliko se kod prekidnog kretanja predmeta rada uvede još jedna identična proizvodna linija?

Međufazne zalihe u linijskim proizvodnim sistemima

- Lokacija u redosledu radnih mesta gde se delovi ili poluproizvodi privremeno skladište pre nego što nastave ka narednim radnim mestima
- Razlozi za korišćenje međufaznih zaliha:
 - Smanjenje uticaj kvarova opreme;
 - Formiranje rezerve za snabdevanje linije;
 - Formiranje privremenog prihvata gotovih proizvoda;
 - Omogućavanje obrade u seriji ili drugih zahtevanih čekanja (npr. termička obrada ili hlađenje/sušenje) ;
 - Kompenzovanje varijacija u vremenu obrade;
 - Odvajanje dva dela proizvodnje koji imaju različitu brzinu proizvodnje.





Fleksibilnost linija sa prekidnim i neprekidnim kretanjem predmeta rada

- Jednopedmetne linije
 - Svaki predmet rada je identičan;
 - Vreme za izvođenje operacija za svaki predmet rada je isto;
- Linije za proizvodnju u serijama:
 - Proizvodi su slični, kao i operacije koje se na njima izvode;
 - Ipak, razlike su dovoljno velike da je potrebno rekonfigurisati liniju nakon završetka proizvodnje jedne serije jedne vrste proizvoda, a pre prelaska na drugu vrstu proizvoda (usporavanje/ubrzavanje linije zbog dužeg/kraćeg trajanja operacija na pojedinim radnim mestima, promena alata, ...);
- Višepredmetne linije (mixed-model lines)
 - Više sličnih proizvoda se proizvodi simultano;
 - Nema gubitka vremena kod promene proizvoda, manje zalihe u odnosu na linije za proizvodnju u serijama, veća mogućnost da svako radno mesto prilagodi svoju brzinu zahtevima, ...

Pitanja

