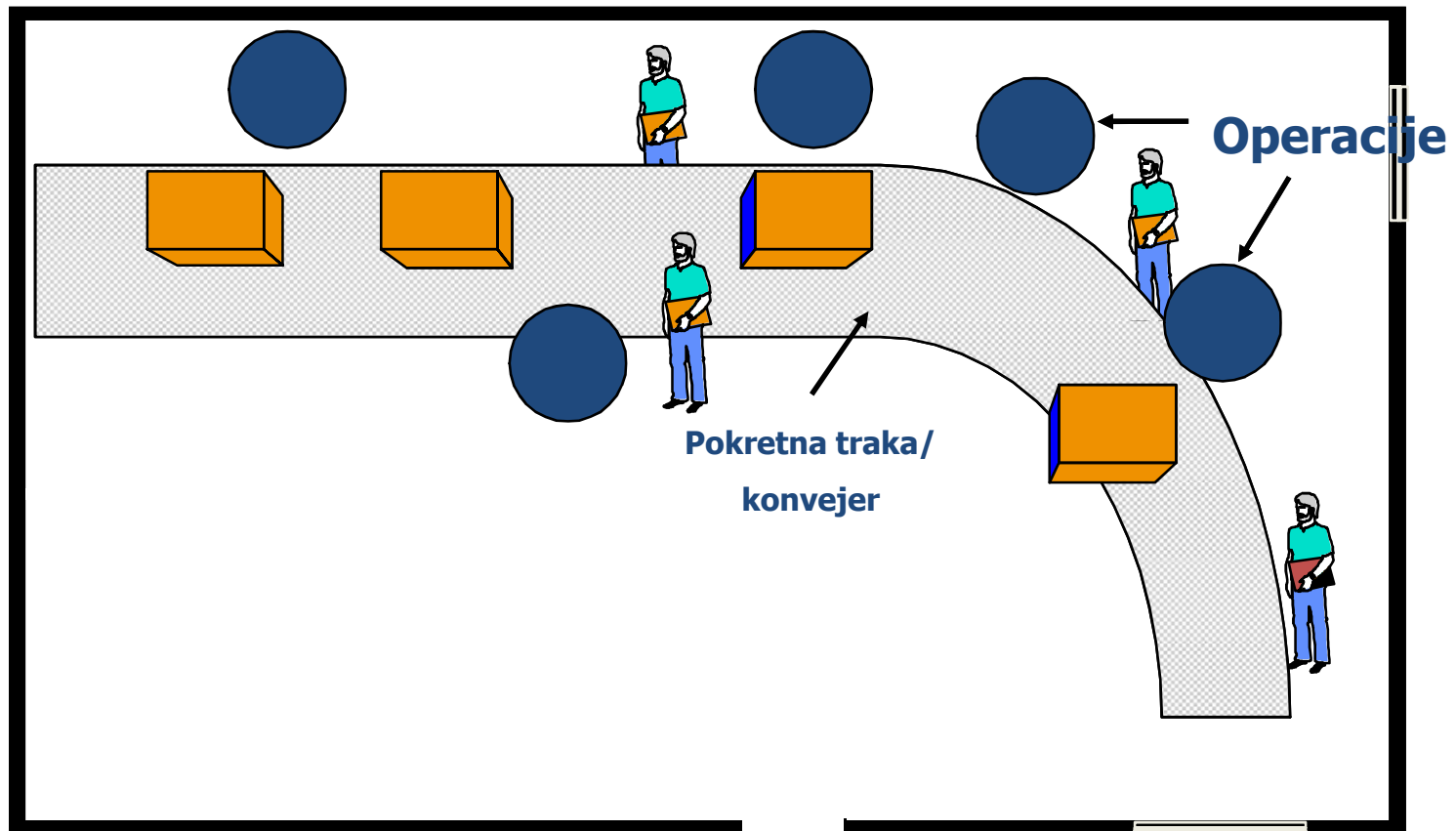




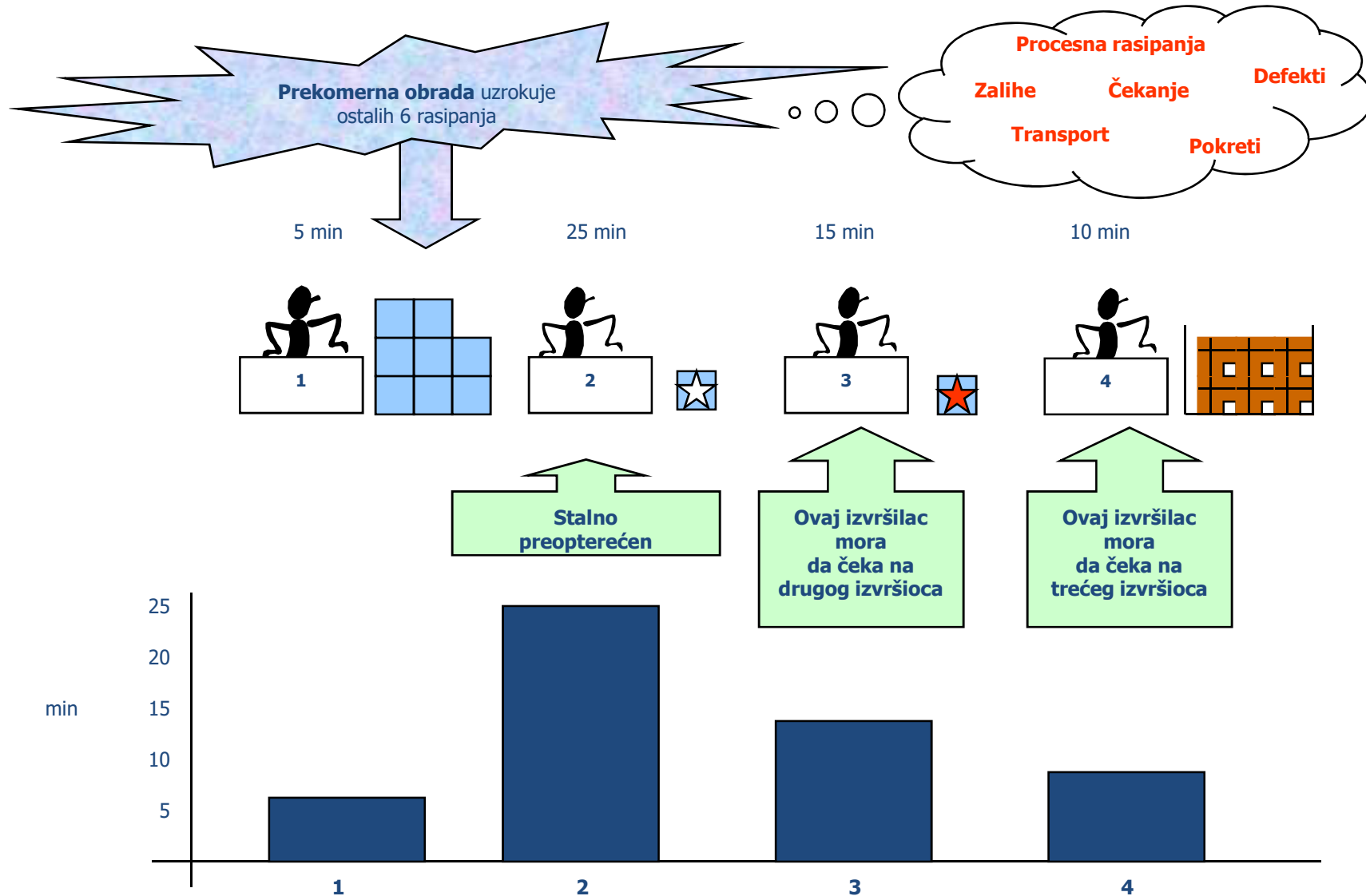
PROJEKTOVANJE PROIZVODNIH SISTEMA

URAVNOTEŽENJE PROIZVODNIH LINIJA (1/2)

Predmetno orijentisani proizvodni sistemi



Zašto uravnoteženje?



Uravnotežena linija

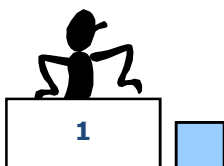
Omoгућава
jednokomadni tok

Sprečava
prekomernu
proizvodnju

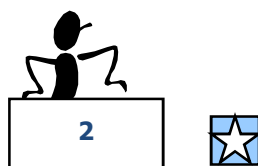
Minimizira
rasipanja

Smanjuje
varijacije

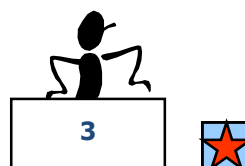
15 min



15 min



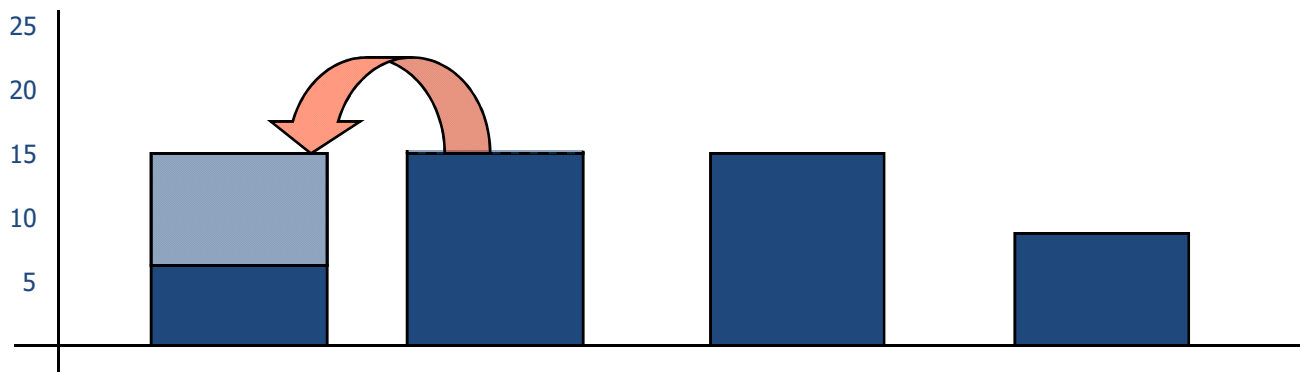
15 min



10 min



Preraspodeliti posao





Ciljevi uravnoteženja

- Uravnoteženje količine posla po radnim mestima
- Usaglašavanje količine posla sa zahtevima korisnika (određivanje brzine proizvodnje)
- Identifikacija uskih grla
- Smanjenje troškova proizvodnje
- Uravnoteženje toka predmeta rada
- Utvrđivanje potrebnog broja radnih mesta
- Projektovanje prostornog rasporeda
- ...

URAVNOTEŽENJE PROIZVODNIH LINIJA

- U praksi se javljaju dva slučaja:
 - Uravnoteženje kod fiksnog redosleda operacija – sve aktivnosti se moraju izvesti u tačno definisanom redosledu;
 - Uravnoteženje bez fiksnog redosleda poslova – postoji fleksibilnost u redosledu izvođenja poslova (ovi problemi su lakši za rešavanje).
- Metode za rešavanje problema:
 - Empirijske – široko rasprostranjeni postupci koji ne daju mogućnost utvrđivanja konačnog kvaliteta rešenja, već samo mogućnost ocene najbolje od ponuđenih alternativa;
 - Heuristike – analitički postupci protkani logičkim razmatranjima, koji daju zadovoljavajuće rešenje sa stanovišta praktičnih potreba;
 - Matematičke – grupisanje nedeljivih elemenata rada koji zadovoljavaju uslov $t_i < t$



URAVNOTEŽENJE PROIZVODNIH LINIJA

Uravnoteženje proizvodne linije – određivanje takve podele rada po radnim mestima linije koja će omogućiti da se određeni, unapred postavljeni, cilj ostvari, gde radne stanice imaju ujednačene zahteve za radom.

Cilj – najmanji ukupni gubici linije => najveći stepen iskorišćenja kapaciteta linije

U zavisnosti od vrste problema:

- 1. uravnoteženje postojeće proizvodne linije, i**
- 2. postavljanje nove proizvodne linije**

Dve pristupa rešavanju:

- 1. određuje se takva podela rada u liniji, kojoj, za dati broj radnih mesta i promenljivi takt linije, odgovaraju najmanji gubici u vremenu.**
- 2. određuje se takva podela rada u liniji, kojoj, za dati takt linije, odgovara minimalni broj radnih mesta.**

Ograničenja

- Tehnološki redosled operacija
- Pravilo prethođenja
 - Neke operacije se moraju obaviti u tačno određenom redosledu
 - Operacija i \longrightarrow Operacija j
- Zoniranje
 - Neke operacije se ne mogu obavljati na istom radnom mestu
 - Neke operacije se moraju obavljati na istom radnom mestu
- Postojeća tražnja / takt
- TEŠKO PROJEKTOVATI SAVRŠENO URAVNOTEŽENU LINIJU!



URAVNOTEŽENJE PROIZVODNIH LINIJA PRIMENOM METODA ELIMINACIJE

Metod eliminacije je opšti metod za uravnoteženje proizvodnih linija, sa ciljem da se ostvare najmanji vremenski gubici linije, uz minimalan broj radnih mesta i maksimalni stepen uravnoteženja proizvodne linije.

- Do optimalnog rešenja dolazi postupnom eliminacijom operacija iz razmatranja u daljem postupku uravnoteženja linije.

Pre utvrđivanja opšteg modela za uravnoteženje linija potrebno je sprovesti prvu fazu celovitog postupka uravnoteženja na sledeći način:

1. proizvodni ciklus treba izdeliti na tehnološki zaokružene celine; operacije, zahvate, pokrete i mikropokrete;
2. razmatrati načine izvođenja svakog dela proizvodnog ciklusa u cilju humanizacije i racionalizacije rada u liniji;
3. odrediti tehnološki zaokružene celine, ili njihove grupe, koje čine operacije;
4. odrediti tehnološku međuzavisnost redosleda izvršenja operacija, i
5. utvrditi vremena trajanja operacija.



URAVNOTEŽENJE PROIZVODNIH LINIJA PRIMENOM METODA ELIMINACIJE

Posmatrajmo predmet rada čija izrada zahteva izvođenje m operacija čija su vremena trajanja i tehnološka međuzavisnost redosleda izvođenja poznati.

Operacije – O_i , $i = 1, 2, \dots, m$

Vremena operacija - t_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m$.

Takt – $t = \text{const}$.

Funkcija cilja - ukupni vremenski gubici linije – $G(t_{ij})$ [v.j.]

Operacije $i = 1, 2, \dots, m$ se izvode na n radnih mesta, $j = 1, 2, \dots, n$.

URAVNOTEŽENJE PROIZVODNIH LINIJA PRIMENOM METODA ELIMINACIJE

RM Operacije	<i>RM1</i>	<i>RM2</i>	...	<i>RMj</i>	...	<i>RMn</i>	$t_i \left[\frac{vr.jed.}{jed.pr.} \right]$
<i>O1</i>	<i>t11</i>	<i>t12</i>		<i>t1j</i>		<i>t1n</i>	<i>t1</i>
<i>O2</i>	<i>t21</i>	<i>t22</i>		<i>t2j</i>		<i>t2n</i>	<i>t2</i>
...							
<i>Oi</i>	<i>ti1</i>	<i>ti2</i>		<i>tij</i>		<i>tin</i>	<i>ti</i>
...							
<i>Om</i>	<i>tm1</i>	<i>tm2</i>		<i>tmj</i>		<i>tmn</i>	<i>tm</i>
$t - \sum_{i=1}^m t_{ij}$	$t - \sum_{i=1}^m t_{i1}$	$t - \sum_{i=1}^m t_{i2}$		$t - \sum_{i=1}^m t_{ij}$		$t - \sum_{i=1}^m t_{in}$	$\sum_{i=1}^m t_i$

$i = 1, 2, \dots, m$ - broj operacija; $j = 1, 2, \dots, n$ - broj radnih mesta u liniji.

$t_{ij} \left[\frac{vr.jed.}{jed.pr.} \right]$ - vreme trajanja i -te operacije na j -tom radnom mestu.

URAVNOTEŽENJE PROIZVODNIH LINIJA PRIMENOM METODA ELIMINACIJE

$t_{ij} = 0$ ako se i -ta operacija ne izvodi na j -tom radnom mestu i

$t_{ij} = t_i$ ako se i -ta operacija izvodi na j -tom radnom mestu;

Ukupni gubici u vremenu linije za jedan određeni vremenski interval:

$$(\min) : G(t_{ij}) = Q \sum_{j=1}^n [t - \sum_{i=1}^m t_{ij}] \left[\frac{\text{vr.jed.}}{\text{int.}} \right]$$

$$Q = \frac{K_k}{t} \left[\frac{\text{kom}}{\text{int}} \right] - \text{količina proizvodnje posmatranog proizvoda u određenom intervalu}$$

Pored ukupnih gubitaka linije kao kriterijuma optimalnosti i minimalnog broja radnih mesta može se posmatrati i treći kriterijum optimalnosti, a to je stepen uravnoteženosti proizvodne linije.

METOD ELIMINACIJE

Pretpostavke

1. $t = const.$, takt proizvodnje je unapred određen i konstantna je veličina;
2. $t_i = const.$ ($i = 1, 2, \dots, m$), -vreme trajanja operacija je deterministička veličina i njegova vrednost je konstantna;

3.
$$t_{\max} = \max_i t_i \leq t;$$

vreme trajanja najduže operacije nije veće od takta proizvodnje.

METOD ELIMINACIJE

Opšti oblik modela problema

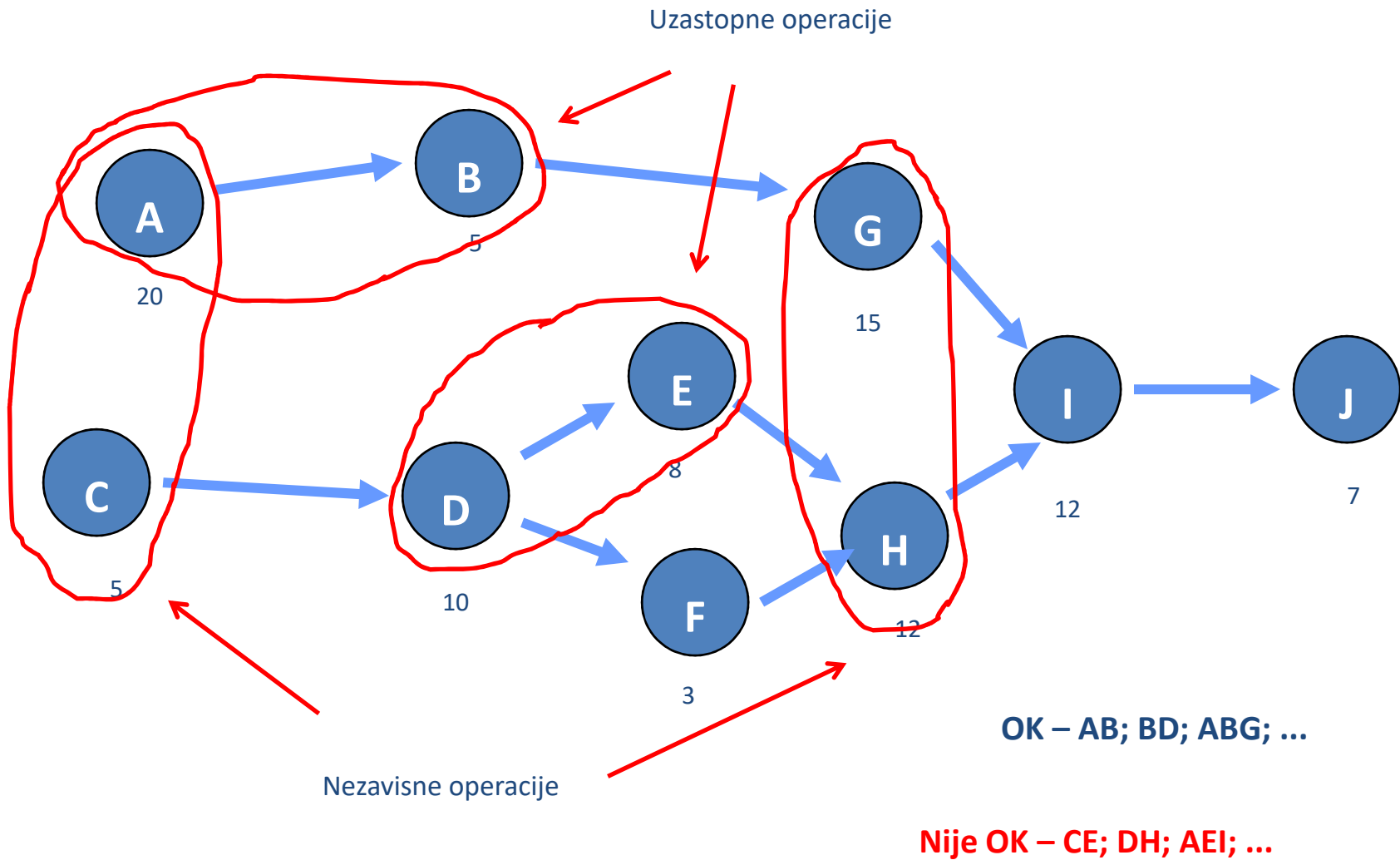
$(\min): G(t_{ij}) = Q \sum_{j=1}^n [t - \sum_{i=1}^m t_{ij}]$	Funkcija cilja
$(\max): \eta_u = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{n \cdot t}$	
$(\min): n = n$	
$\sum_{i=1}^m t_{ij} \leq t \quad (j=1, 2, \dots, n)$	Ograničavajući činioci
-Tehnološka međuzavisnost redosleda izvođenja operacija	
$n \leq m$	
$n \geq 0$ i ceo broj	

METOD ELIMINACIJE

Algoritam

R.br.	Korak	Zaključak	Postupak	Ograda
1	$SO = \{O_i\};$ $O_i \subset SO \forall i$ za koje je $t_i + t_{\min} > t;$ gde je $t_{\min} = \min_i t_i; (i = 1, 2, \dots, m)$	Za sve O_i iz $SO \Rightarrow$ po 1 RM	U šematski prikazanu liniju upisati po 1 RM za sve operacije iz SO	Ako je $SO = \emptyset \Rightarrow$ odmah preći na korak 2.
2	$S_2 = \{O_i\}; O_i \notin SO;$ $S_2 \cup SO = S.$ $n_2 < 2 \Rightarrow$ OR je pronađeno. $n_2 \geq 2 \Rightarrow S_{pq} = \{O_p, O_q\}$ a) $O_p \subset S_2; O_q \subset S_2$ b) $(t - t_{\min}) < (t_p + t_q) \leq t$ c) O_p i O_q su nezavisne ili uzastopne operacije	Za sve parove operacija iz $S_{pq} \Rightarrow$ po 1 RM	U šematski prikazanu liniju upisati po 1 RM za svaki par operacija iz S_{pq}	Ako je $S_{pq} = \emptyset \Rightarrow$ odmah preći na korak 3.

Nezavisne i uzastopne operacije



METOD ELIMINACIJE

Algoritam

R.br.	Korak	Zaključak	Postupak	Ograda
3	$S_3 = \{O_i\}; O_i \notin SO \cup S_{pq}$ $S_3 \cup SO \cup S_{pq} = S.$ $n_3 < 3 \Rightarrow$ OR je pronađeno $n_3 \geq 3 \Rightarrow S_{rst} = \{O_r, O_s, O_t\}$ a) $O_r \subset S_3; O_s \subset S_3; O_t \subset S_3$ b) $(t - t_{\min}) < (t_r + t_s + t_t) \leq t$ c) O_r, O_s i O_t su nezavisne ili uzastopne operacije	Za sve grupe operacija iz $S_{rst} \Rightarrow$ po 1 RM	U šematski prikazanu liniju upisati po 1 RM za svaku grupu operacija iz S_{rst}	Ako je $S_{rst} = \emptyset \Rightarrow$ odmah preći na korak 4.
...
$k-1$				Ako je $S_{1,2,\dots,k-1} = \emptyset \Rightarrow$ odmah preći na korak k .

METOD ELIMINACIJE

Algoritam

R.br.	Korak	Zaključak	Postupak	Ograda
k	$S_k = \{O_i\}; O_i \notin SO \cup S_{pq}$ $\cup S_{rst} \cup \dots \cup S_{1,2,\dots,k-1};$ $S_k \cup SO \cup S_{pq} \cup S_{rst}$ $\cup \dots \cup S_{1,2,\dots,k-1} = S.$ $n_k < k \Rightarrow$ OR je pronađeno $n_k \geq k \Rightarrow$ $S_{1,2,\dots,k} = \{O_1, O_2, \dots, O_k\}$ a) $O_1 \subset S_k; O_2 \subset S_k; \dots; O_k \subset S_k$ b) $(t - t_{\min}) < (t_1 + t_2 + \dots + t_k) \leq t$ c) O_1, O_2, \dots, O_k su nezavisne ili grupa uzastopnih operacija.	Za sve <i>podskupove</i> <i>operacija</i> iz $S_{1,2,\dots,k} \Rightarrow$ po 1 RM	U šematski prikazanu liniju upisati po 1 RM za svaki podskup operacija iz $S_{1,2,\dots,k}$	Ako je $S_{1,2,\dots,k} = \emptyset$ \Rightarrow odmah preći na korak $k+1$.
...
m	$k = 4, 5, \dots, m$			

Pitanja

