

OPTIMIZACIJA GRUPNOG RASPOREDA RADNIH MESTA

Pored metoda karika, optimizacija grupnog rasporeda radnih mesta se može vršiti analitičkim putem, primenom sledećih unapred zadatih kriterijuma:

- *kvantitativni kriterijumi* (minimalni tok materijala, ljudi, sredstava unutrašnjeg transporta i slično),
- *kvalitativni* (poželjno – nepoželjno postojanje kontakta između pojedinih pogona ili radnih mesta usled buke, vibracija, itd.),
- *mešoviti kriterijumi*, gde na konačni raspored opreme podjednaki uticaj imaju kvantitativni ali i kvalitativni uticaji.

Kvantitativni kriterijumi su najčešće zasnovani na određenim funkcijama cilja, koje mogu biti definisane na sledeće načine:

- Transportni učinak definisan **protokom materijala**:

$$\min F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij} * l_{ij} \quad i, j = 1, 2, 3 \dots n$$

gde su:

F - ukupni transportni učinak,

q_{ij} (t, m³, kom) - količina materijala koja se kreće između radnih mesta i – j,

l_{ij} (m) - dužina transportnog puta između i-te i j-te lokacije radnih mesta.

- Transportni učinak definisan **brojem ciklusa**:

$$\min F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n N_{ij} * l_{ij} \quad i, j = 1, 2, 3 \dots n$$

gde je: N_{ij} - broj transportnih ciklusa između i-te i j-te lokacije radnih mesta. Ostali simboli su identični kao u prethodnom slučaju.

Industrijsko inženjerstvo – projektovanje i praksa

- Transportni učinak definisan **preko transportnih troškova:**

$$\min T = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij} * l_{ij} * c_{ij} \quad i, j = 1, 2, 3 \dots n$$

gde je: c_{ij} - (din/m kg) jedinični transportni troškovi.

Kvalitativni kriterijumi su najčešće definisani takozvanom matricom međuzavisnosti aktivnosti, koja pokazuje vrstu i poželjnost/nepoželjnost veza između podsistema, odnosno pojedinih lokacija radnih mesta, slika:

1									
2	U								
3		X							
4			A						
5				E					
6					A				
7						U			
8							U		
9								O	
10									X

Gde su:

A- apsolutno neophodna povezanost

E- veoma važno postojanje veze

I-važno postojanje veza

O-potrebno postojanje veza

U-nevažno

X-nepoželjno

XX-veoma nepoželjno

Razlozi:

1. Udaljenost od skladišta

2. Buka

3. Vibracije

4. Prašina

5. Protok dokumentacije

6. Step en komunikacije

7. Korišćenje iste opreme

8. Korišćenje zajedničke arhive

9. Protok materijala

Zadatak 1. U sledećoj tabeli dat je raspored transporta materijala između pojedinih proizvodnih mašina (radnih mesta), kao i količina materijala koju treba transportovati u tonama. Formirati grupni raspored mašina empirijskim putem (na osnovu intuitivne procene) a potom izvršiti korekciju na osnovu kvantitativnog kriterijuma (najkraća relacija za transport = najveća količina materijala). Usvojiti da je minimalno moguće horizontalno i vertikalno rastojanje između mašina, 10 m.

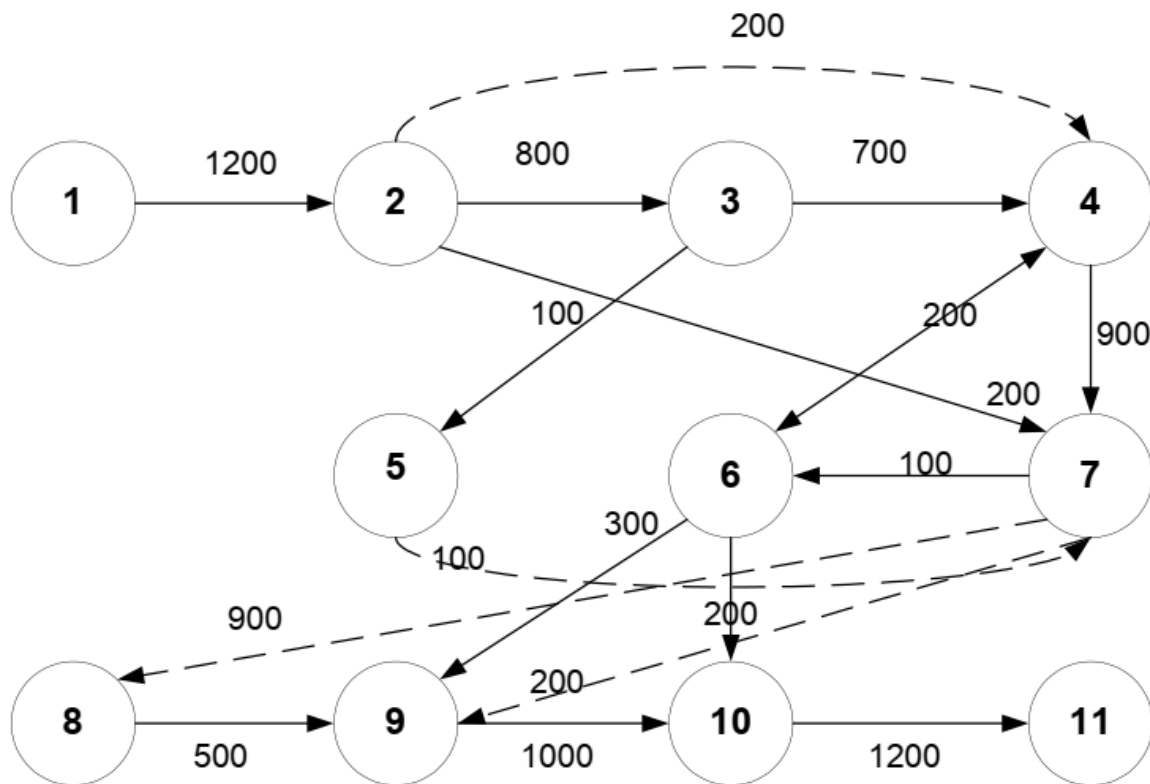
Raspored transporta materijala između pojedinih mašina:

Industrijsko inženjerstvo – projektovanje i praksa

Od		Mašine											Σ Od
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Mašine	1		1200										1200
	2			800	200			200					1200
	3				700	100							800
	4						200	900					1100
	5							100					100
	6				200					300	200		700
	7						100		900	200			1200
	8						400			500			900
	9										1000		1000
	10											1200	1200
	11												
Σ Do			1200	800	1100	100	700	1200	900	1000	1200	1200	

Rešenje:

Empirijski način rasporeda mašina je zasnovan na intuitivnom pronalaženju najpogodnijeg rešenja, te je zbog toga subjektivan i podložan velikom stepenu greške. Ukoliko je na primer ovim putem formiran sledeći raspored mašina, slika:



Da bi smo izvršili korekciju rasporeda mašina, upotrebom zadatog kriterijuma moramo formirati tabelu vrednosti transportnog učinka rasporeda mašina datog na prethodnoj slici. Transportni učinak se računa na osnovu obrasca:

$$\min F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij} * l_{ij} \quad i, j = 1, 2, 3 \dots n$$

gde su:

F - ukupni transportni učinak,

q_{ij} (t, m³, kom) - količina materijala koja se kreće između radnih mesta i – j,

l_{ij} (m) - dužina transportnog puta između i-te i j-te lokacije radnih mesta.

Industrijsko inženjerstvo – projektovanje i praksa

q_{ij}(t)	l_{ij}(m)	F_{ij}(mt)
q ₁₂ =1200	10	12000
q ₂₃ =800	10	8000
q ₂₄ =200	20	4000
q ₂₇ =200	22,4	4480
q ₃₄ =700	10	7000
q ₃₅ =100	14,14	1414
q ₄₆ =200	14,14	2828
q ₄₇ =900	10	9000
q ₅₇ =100	20	2000
q ₆₄ =200	14,14	2828
q ₆₉ =300	14,14	4242
q ₆₁₀ =200	10	2000
q ₇₆ =100	10	1000
q ₇₈ =900	31,62	28440
q ₇₉ =200	22,4	4480
q ₈₆ =400	22,4	8960
q ₈₉ =500	10	5000
q ₉₁₀ =1000	10	10000
q ₁₀₁₁ =1200	10	12000
Ukupno F=129672		

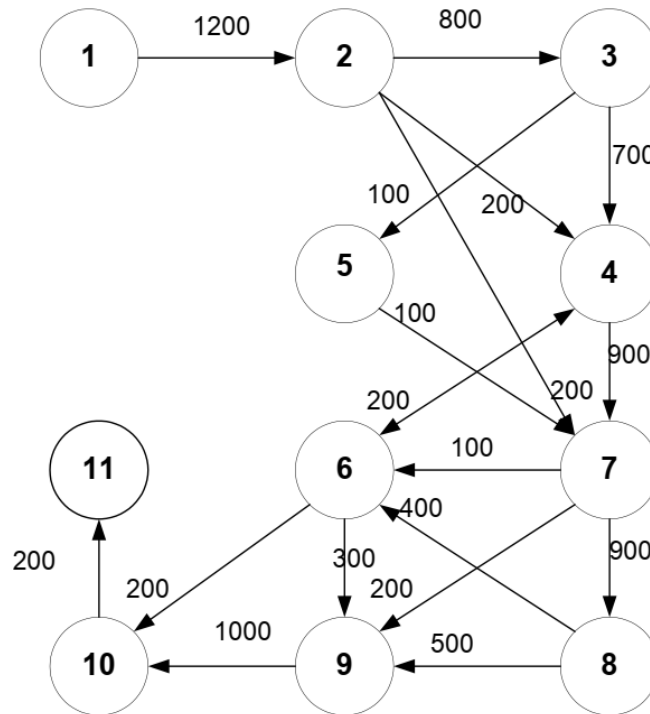
Sada je potrebno rasporediti podatke u tabeli rangirati prema q_{ij}, na taj način se dobija sledeća tabela:

q_{ij}(t)	l_{ij}(m)	F_{ij}(mt)
q ₁₂ =1200	10	12000
q ₁₀₁₁ =1200	10	12000
q ₉₁₀ =1000	10	10000
q ₄₇ =900	10	9000
q ₇₈ =900	31,62	28440
q ₂₃ =800	10	8000
q ₃₄ =700	10	7000
q ₈₉ =500	10	5000
q ₈₆ =400	22,4	8960
q ₆₉ =300	14,14	4242
q ₂₄ =200	20	4000
q ₂₇ =200	22,4	4480
q ₄₆ =200	14,14	2828
q ₆₄ =200	14,14	2828
q ₆₁₀ =200	10	2000
q ₇₉ =200	22,4	4480

Industrijsko inženjerstvo – projektovanje i praksa

$q_{35}=100$	14,14	1414
$q_{57}=100$	20	2000
$q_{76}=100$	10	1000
Ukupno $F=129672$		

Ukoliko se formira novi raspored, ali vodeći računa da radna mesta (mašine) koja imaju najveću međusobnu vrednost koeficijenta F budu što bliža jedna sa drugima, onda se dobija novi raspored:



Na osnovu dijagrama na prethodnoj slici ukupni transportni učinak je smanjen i ima sledeću vrednost:

$q_{ij}(t)$	$l_{ij}(m)$	$F_{ij}(mt)$
$q_{12}=1200$	10	12000
$q_{1011}=1200$	10	12000
$q_{910}=1000$	10	10000
$q_{47}=900$	10	9000
$q_{78}=900$	10	9000
$q_{23}=800$	10	8000
$q_{34}=700$	10	7000
$q_{89}=500$	10	5000
$q_{86}=400$	14,14	5656,85
$q_{69}=300$	10	3000
$q_{24}=200$	14,14	2828
$q_{27}=200$	22,4	4480

Industrijsko inženjerstvo – projektovanje i praksa

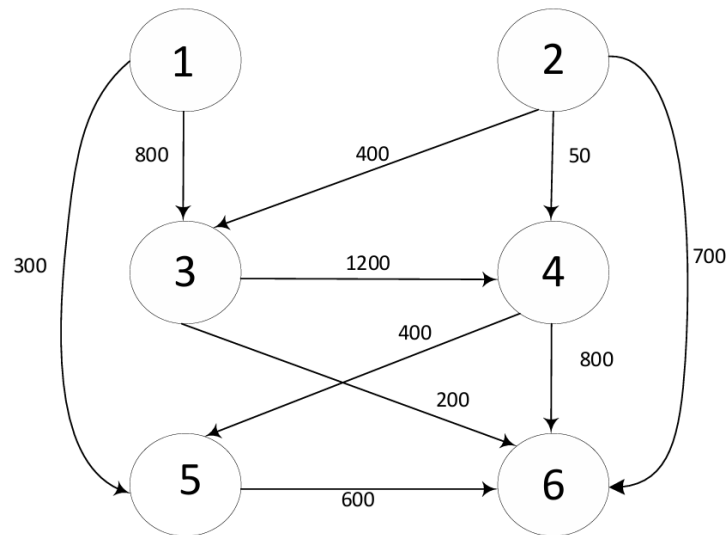
$q_{46}=200$	14,14	2828
$q_{64}=200$	14,14	2828
$q_{610}=200$	14,14	2828
$q_{79}=200$	14,14	2828
$q_{35}=100$	14,14	1414
$q_{57}=100$	14,14	1414
$q_{76}=100$	10	1000
Ukupno $F=95796,85$		

Zadatak 2. U sledećoj tabeli dat je raspored transporta materijala između pojedinih radnih mesta kao i količina materijala koju treba transportovati (u tonama). Formirati grupni raspored mašina, empirijskim putem, a potom izvršiti korekciju na osnovu transportnog učinka („najveća količina materijala se kreće najkraćom relacijom“). Usvojiti da je minimalno moguće rastojanje između radnih mesta (horizontalno i vertikalno) jednako 5m.

Od Do	1	2	3	4	5	6
1			800		300	
2			400	50		700
3				1200		200
4					400	800
5						600
6						

Rešenje:

Industrijsko inženjerstvo – projektovanje i praksa



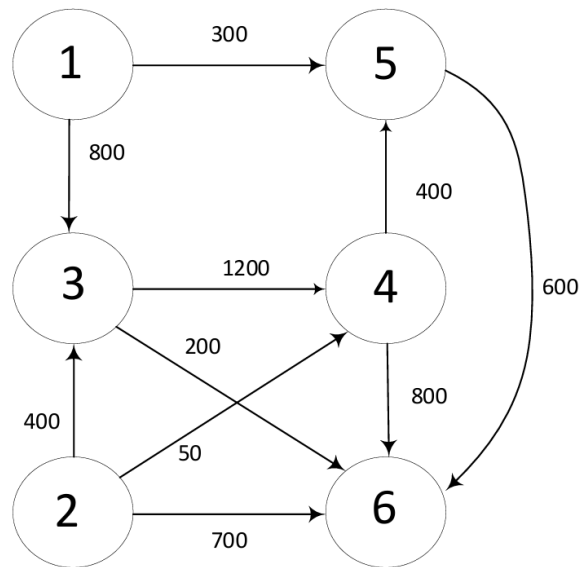
$q_{ij}(t)$	$l_{ij}(m)$	$F_{ij}(mt)$
$q_{13}=800$	5	4000
$q_{15}=300$	10	3000
$q_{23}=400$	7,1	2840
$q_{24}=50$	5	250
$q_{26}=700$	10	7000
$q_{34}=1200$	5	6000
$q_{36}=200$	7,1	1420
$q_{45}=400$	7,1	2840
$q_{46}=800$	5	4000
$q_{56}=600$	5	3000

Sada je potrebno rasporediti podatke u tabeli rangirati prema q_{ij} , na taj način se dobija sledeća tabela:

$q_{ij}(t)$	$l_{ij}(m)$	$F_{ij}(mt)$
$q_{34}=1200$	5	6000
$q_{46}=800$	5	4000
$q_{13}=800$	5	4000
$q_{26}=700$	10	7000
$q_{56}=600$	5	3000
$q_{23}=400$	7,1	2840
$q_{45}=400$	7,1	2840
$q_{15}=300$	10	3000
$q_{36}=200$	7,1	1420
$q_{24}=50$	5	250
Ukupno $F=34350$		

Industrijsko inženjerstvo – projektovanje i praksa

Ukoliko se formira novi raspored, ali vodeći računa da radna mesta (mašine) koja imaju najveću međusobnu vrednost koeficijenta **F** budu što bliža jedna sa drugima, onda se dobija novi raspored:



Na osnovu dijagrama na prethodnoj slici ukupni transportni učinak je smanjen i ima sledeću vrednost:

$q_{ij}(t)$	$l_{ij}(m)$	$F_{ij}(mt)$
$q_{34}=1200$	5	6000
$q_{46}=800$	5	4000
$q_{13}=800$	5	4000
$q_{26}=700$	5	3500
$q_{56}=600$	10	6000
$q_{23}=400$	5	2000
$q_{45}=400$	5	2000
$q_{15}=300$	5	1500
$q_{36}=200$	7,1	1420
$q_{24}=50$	7,1	355
Ukupno $F=30775$		

Industrijsko inženjerstvo – projektovanje i praksa

Zadatak 3. Za proizvodni sistem koj se sastoji od 7 mašina, i za koji je protok materijala između pojedinih mašina dat u tabeli, odrediti optimalni raspored mašina na osnovu kvantitativne metode, uz istovremeno korišćenje sledećih kriterijuma:

- najkraća relacija za transport = najveća količina proizvoda (pri minimalnom mogućem rastojanju u horizontalnom i vertikalnom pravcu od 10 m).
- najprometnije odeljenje, po frekvenciji i količini locirati u sredini.

Do		Mašina							Σ Od	Σ frekvencija
Od		1	2	3	4	5	6	7		
Mašina	1		4000	1000			1000		6000	3
	2			3200	500				3700	2
	3				700	100			800	2
	4						200	600	800	2
	5							100	100	1
	6								200	1
	7								100	1
Σ Do			4000	4200	1400	100	1300	700		
Σ frekvencija		/	1	2	3	1	3	2		
$\Sigma\Sigma$ frekvencija		3	3	4	5	2	4	3		

Rešenje:

$q_{ij}(t)$
$q_{12}=4000$
$q_{13}=1000$
$q_{16}=1000$
$q_{23}=3200$
$q_{24}=500$
$q_{34}=700$
$q_{35}=100$
$q_{46}=200$
$q_{47}=600$
$q_{57}=100$
$q_{64}=200$
$q_{76}=100$

Industijsko inženjerstvo – projektovanje i praksa

Sada je potrebno rasporediti podatke u tabeli rangirati prema q_{ij} , na taj način se dobija sledeća tabela:

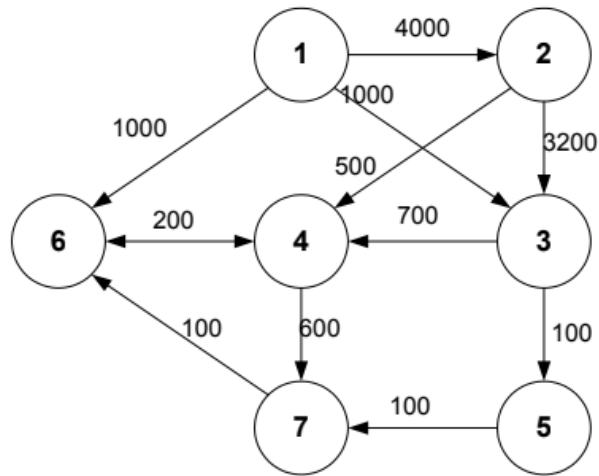
$q_{ij}(t)$
$q_{12}=4000$
$q_{23}=3200$
$q_{13}=1000$
$q_{16}=1000$
$q_{34}=700$
$q_{47}=600$
$q_{24}=500$
$q_{46}=200$
$q_{64}=200$
$q_{35}=100$
$q_{57}=100$
$q_{76}=100$

Takođe je potrebno mašine rangirati prema ukupnoj frekvenci što je i prikazano u sledećoj tabeli.

Mašina	Frekvencija
4	5
3	4
6	4
1	3
2	3
7	3
5	2

Na osnovu gornje tabele je očigledno da je najfrekventnija mašina 4, te nju treba smestiti u sredinu a sve ostale mašine treba postaviti oko nje prema kriterijumu: najkraća relacija za transport = najveća količina proizvoda.

Na taj način dobija se raspored mašina kao na sledećoj slici.



Na osnovu dijagrama na prethodnoj slici ukupni transportni učinak ima sledeću vrednost:

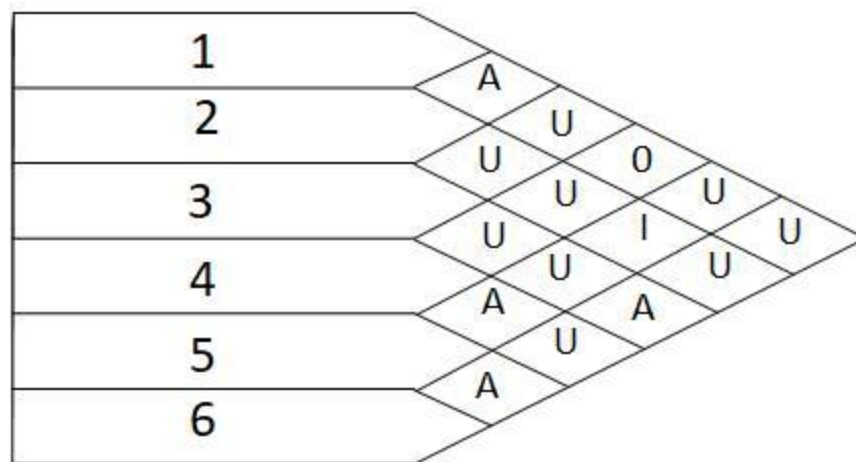
$q_{ij}(t)$	$l_{ij}(m)$	$F_{ij}(mt)$
$q_{12}=4000$	10	40000
$q_{23}=3200$	10	32000
$q_{13}=1000$	14,14	14140
$q_{16}=1000$	14,14	14140
$q_{34}=700$	10	7000
$q_{47}=600$	10	6000
$q_{24}=500$	14,14	7070
$q_{46}=200$	10	2000
$q_{64}=200$	10	2000
$q_{35}=100$	10	1000
$q_{57}=100$	10	1000
$q_{76}=100$	14,14	1414
Ukupno $F=127764$		

Industrijsko inženjerstvo – projektovanje i praksa

Zadatak 4. Za proizvodnu liniju, koja se sastoji od šest odeljenja, formirati najpovoljniji raspored postrojenja koristeći kvantitativno - kvalitativnu metodu. Pri čemu je kvantitativna metoda zasnovana na kriterijumu: najkraća relacija za transport = najveća količina proizvoda, a kvalitativna na matrici međuzavisnosti aktivnosti. Usvojiti oa je odnos između kvalitativnih i kvantitativnih uticaja 50 : 50.

Količina materijala koja se kreće između pojedinih radnih mesta, data je u tabeli:

Od Do	1	2	3	4	5	6
1		170	12	90		13
2			25	200	120	
3				13	40	
4					12	200
5						90
6						



Industrijsko inženjerstvo – projektovanje i praksa

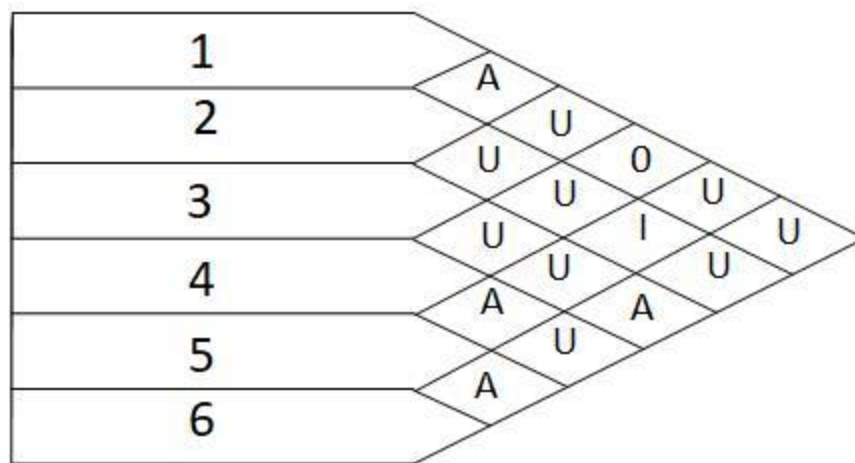
Rešenje:

Kako je već rečeno, kvantitativna metoda je zasnovana na konkretnom kriterijumu. Na primer ukoliko je kriterijum: „*najveća količina materijala se kreće najkraćom relacijom za transport proizvoda*“

U tom slučaju, funkcija cilja je:

$$\min F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij} * l_{ij} \quad i, j = 1, 2, 3 \dots n$$

Kvalitativni kriterijum je baziran na matrici međuzavisnosti aktivnosti, slika:



Kvantifikacija oznaka iz matrice međuzavisnosti aktivnosti:

Oznaka	Kvantitativni analog
A	4
E	3
I	2
0	1
U	0
X	-2
XX	-10

Industrijsko inženjerstvo – projektovanje i praksa

Takođe, radi pojednostavljenja proračuna, vrši se rangiranje količine materijala, koja se kreće između pojedinih radnih mesta, na način predstavljen u tabeli:

Količina materijala (t)	Rang
0-40	0
41-80	1
81-120	2
121-160	3
161-200	4

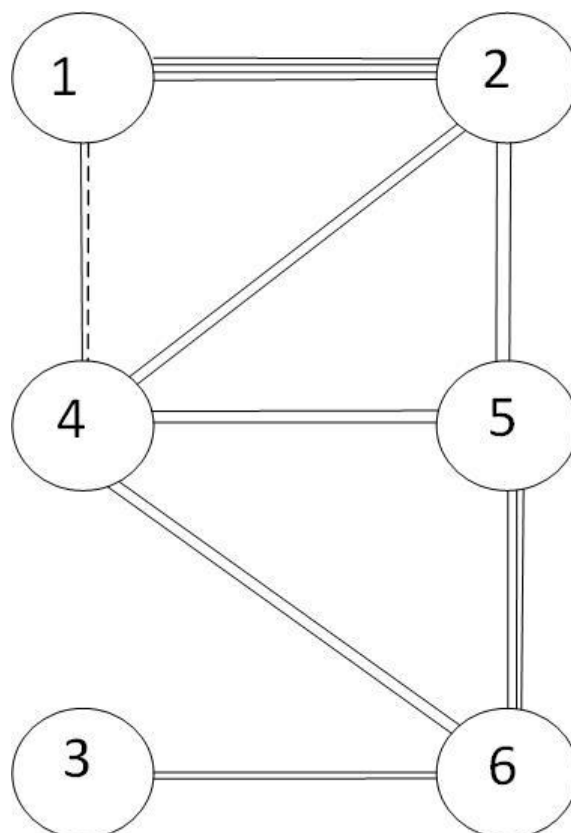
Na taj način je moguće formirati tabelu kvantitativno-kvalitativnog ranga (pri odnosu značaja 50:50):

	<i>A(4)</i>	<i>E(3)</i>	<i>I(2)</i>	<i>0(1)</i>	<i>U(0)</i>	<i>X(-2)</i>	<i>XX(-10)</i>
<i>4(161-200)</i>	4	3,5	3	2,5	2	1	/
<i>3(121-160)</i>	3,5	3	2,5	2	1,5	0,5	/
<i>2(81-120)</i>	3	2,5	2	1,5	1	0	/
<i>1(41-80)</i>	2,5	2	1,5	1	0,5	-0,5	/
<i>0 (0-40)</i>	2	1,5	1	0,5	0	-1	/

Za slučaj definisan uslovima navedenog primera, može se formirati zajednička matrica međuzavisnosti, zasnovana na mešovitom kvalitativno-kvantitativnom kriterijumu, slika:

1	4					
2		0				
3	0		1.5			
4		2		0		
5	0	0	2		0	
6	2			2		
		2				
	3					

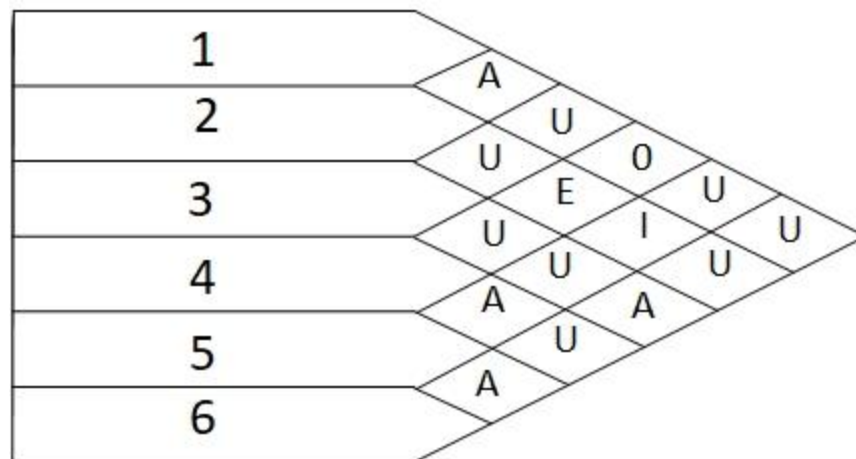
Prema tome, rezultujući raspored odeljenja/radnih mesta, navedenog primera, dat je na slici:



Industrijsko inženjerstvo – projektovanje i praksa

Zadatak 5. Za proizvodnu liniju, koja se sastoji od šest odeljenja, formirati najpovoljniji raspored postrojenja koristeći kvantitativno - kvalitativnu metodu. Pri čemu je kvantitativna metoda zasnovana na kriterijumu: najkraća relacija za transport = najveća količina proizvoda, a kvalitativna na matrici međuzavisnosti aktivnosti. Usvojiti da je odnos između kvalitativnih i kvantitativnih uticaja 50 : 50.

Od Do	1	2	3	4	5	6
1		110	28		200	150
2			30	125	240	
3				110	86	160
4					25	150
5						120
6						



Rešenje:

Kvantifikacija oznaka iz matrice međuzavisnosti aktivnosti:

Industrijsko inženjerstvo – projektovanje i praksa

Oznaka	Kvantitativni analog
A	4
E	3
I	2
0	1
U	0
X	-2
XX	-10

Takođe, radi pojednostavljenja proračuna, vrši se rangiranje količine materijala, koja se kreće između pojedinih radnih mesta, na način predstavljen u tabeli:

Količina materijala (t)	Rang
0-50	0
51-100	1
101-150	2
151-200	3
201-250	4

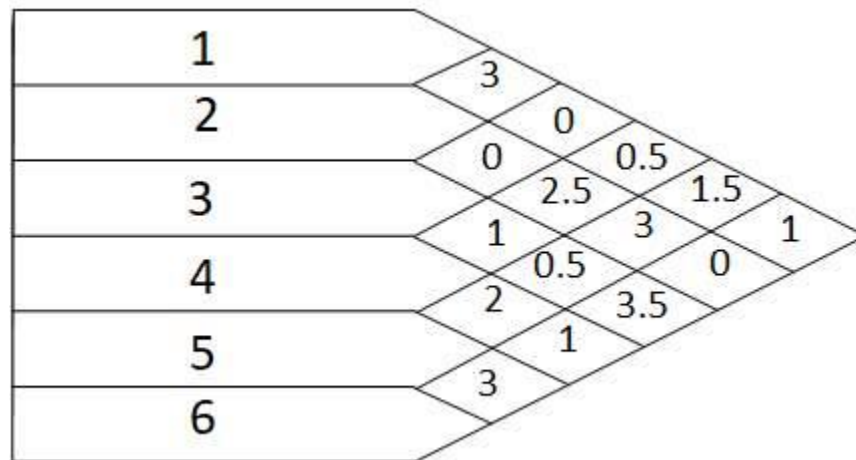
Na taj način je moguće formirati tabelu kvantitativno-kvalitativnog ranga (pri odnosu značaja 50:50):

	<i>A(4)</i>	<i>E(3)</i>	<i>I(2)</i>	<i>0(1)</i>	<i>U(0)</i>	<i>X(-2)</i>	<i>XX(-10)</i>
4(201-250)	4	3,5	3	2,5	2	1	/
3(151-200)	3,5	3	2,5	2	1,5	0,5	/

Industrijsko inženjerstvo – projektovanje i praksa

2(101-150)	3	2,5	2	1,5	1	0	/
1(51-100)	2,5	2	1,5	1	0,5	-0,5	/
0 (0-40)	2	1,5	1	0,5	0	-1	/

Za slučaj definisan uslovima navedenog primera, može se formirati zajednička matrica međuzavisnosti, zasnovana na mešovitom kvalitativno - kvantitativnom kriterijumu, slika:



Prema tome, rezultujući raspored odeljenja/radnih mesta, navedenog primera, dat je na slici:

