METODE DE PROGRAMARE OPERATIVĂ A LUCRĂRILOR DE REPARAŢII

1. Fie o mulţime de lucrări de mentenanţă, necondiţionate din punct de vedere tehnologic şi atribuite unei singure formaţii de muncă.
Timpul total pentru realizarea ansamblului acestor lucrări va fi:

$$\theta = \sum_j T_j + \sum_j \sum_k t_{jk}$$

$$j, k, = 1..m \ , \quad j \neq k \qquad (1)$$

unde

θ reprezintă durata totală a lucrărilor - u.t. (unităţi de timp):;
T_j - durata lucrării L_j -u.t:;
t_{jk} - timpul de tranziţie de la operaţia terminată L_j la următoarea, L_k -u.t:.;
m - numărul lucrărilor .

Acest timp de trecere de la o lucrare terminată la următoarea ce succede în execuţie este impus în principal de:

- realizarea condiţiilor reclamate de lucrarea ce urmează a se efectua (asigurarea cu piese de schimb, scule, utilaje, materii, materiale, asistenţă tehnică, eventuale instructaje privind protecţia muncii, prevenirea şi stingerea incendii1or, analiza unor scheme, însuşirea unor instrucţiuni speciale etc.);
- adaptarea locului de muncă la noile condiţii de lucru necesitate de lucrarea ce succede în execuţie: îmbunătăţiri organizatorice, condiţii ergonomice diferite de cele impuse de lucrarea precedentă etc.

Dacă vom admite că durata T_j a oricărei lucrări reprezintă o mărime riguros determinată, deducem că minimizarea duratei totale a lucrărilor se poate realiza prin minimizarea sumei timpilor de tranzitie; acest fapt este posibil însă numai în cazul în care lucrările se efectuează după o succesiune – ordonanţare - optimă.

Rezolvarea unei astfel de probleme - cunoscută ca "problema comisvoiajorului" - este prezentată detaliat în literatură: (1), (2), (3).

În cele ce urmează vom face uz de o metodă euristică *) (4); aceasta, spre deosebire de metodele cunoscute: algoritmul Foulks, metoda înmulţirii latine, algoritmul Little (1), sau metoda tranziţiei minime, nu impune cunoaşterea duratelor interoperaţionale, t_{jk}.

Vom prezenta acest procedeu în cele ce urmează.

<u>Exemplul 1</u>. Unei echipe de întreţinere linii electrice aeriene de joasă tensiune îi sunt atribuite următoarele lucrări (necondiţionate tehnologic):
L_1 - verificarea inscripţionării stâlpilor;
L_2 - repararea, "căciulilor" fundaţiilor stâlpilor;

*) Metodele euristice nu prezintă un nivel de rigurozitate ridicat, dar conduc în mod operativ la o soluţie apropiată de cea optimă (penoptimă).

L_3 - montarea unor tăbliţe avertizoare;
L_4 - îndreptarea consolelor de susţinere;
L_5 - măsurarea rezistenţei prizelor de pământ;
L_6 - refacerea săgeţii panourilor;
L_7 - tăierea vegetaţiei.

Marcând prin stmbolurile <, >, = informaţiile furnizate de cadre tehnice de specialitate pe baza unor aprecieri cât mai obiective privind timpii interoperaţionali în sensul că: $t_{jk} < t_{kj}$, $t_{jk} > t_{kj}$ sau respectiv $t_{jk} = t_{kj}$, vom construi tabelul 1:

Tabelul 1

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7
L_1	-	<	<	>	>	<	<
L_2	>	-	>	<	<	>	>
L_3	>	<	-	>	<	<	>
L_4	<	>	<	-	=	>	<
L_5	<	>	>	=	-	<	<
L_6	>	<	>	<	>	-	<
L_7	>	<	<	>	>	>	-

Se întocmeşte o matrice în logica trivalentă - Lukasiewicz (5), ale cărei elemente 1, 1/2, 0 se vor asocia celor trei simboluri ale tabelului anterior, astfel:
1 corespunde simbolului <,
1/2 pentru simbolul =, dar şi pentru elementele diagonalei principale a matricei pătratice, iar 0 substituie nonpreferinţa, $t_{jk} > t_{kj}$.

Rezultă matricea:

Vom asocia fiecă

$$M = \begin{bmatrix} 1/2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1/2 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1/2 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1/2 & 1/2 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1/2 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1/2 \end{bmatrix}$$

Vom asocia fiecărei lucrări, Lj, o mărime denumită puterea iterată de ordinul 1, $p_j^{(l)}$ (6) obţinută prin însumarea elementelor liniei respective a matricei - tabelul 2.

Tabelul 2

	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7
$p_i^{(l)}$	4 1/2	2 1/2	3 1/2	4	4	3 1/2	2 1/2

Prioritatea în execuţie a lucrării este dată de criteriul, max $p^{(l)}$.

Datorită egalităţilor: $p_2^{(l)} = p_7^{(l)}$; $p_3^{(1)} = p_6^{(1)}$ şi $p_4^{(1)} = p_5^{(1)}$, deducem următoarele succesiuni:

S_1:	L_1	L_4	L_5	L_3	L_6	L_2	L_7
S_2:	L_1	L_4	L_5	L_3	L_6	L_7	L_2
S_3:	L_1	L_4	L_5	L_6	L_3	L_2	L_7
S_4:	L_1	L_4	L_5	L_6	L_3	L_7	L_2
S_5:	L_1	L_5	L_4	L_3	L_6	L_2	L_7
S_6:	L_1	L_5	L_4	L_3	L_6	L_7	L_2
S_7:	L_1	L_5	L_4	L_6	L_3	L_2	L_7
S_8:	L_1	L_5	L_4	L_6	L_3	L_7	L_2

Pentru a elimina variantele logic redondante (false), rezultate din egalitatea unor puteri iterate, vom proceda la analiza perechilor timpilor interoperaţionali:

$t_{45} - t_{54}$; $t_{36} - t_{63}$; $t_{27} - t_{72}$

Duratele t_{45} şi t_{54} fiind egale se vor menţine ambele succesiuni parţiale:
$L_1 - L_4 - L_5$, $L_1 - L_5 - L_4$, dar se vor elimina alternativele $L_6 - L_3$ şi $L_2 - L_7$, întrucât $t_{63} > t_{36}$, respectiv $t_{27} > t_{72}$.

Rezultă succesiunile optime de programe în execuţie a celor şapte lucrări:

S' optim = S_2 : $L_1 - L_4 - L_5 - L_3 - L_6 - L_7 - L_2$;
S"optim = S6 : $L_1 - L_5 - L_4 - L_3 - L_6 - L_7 - L_2$.

Metoda euristică prezentată poate constitui un instrument util pentru personalul tehnic operativ din activitatea de programare şi urmărire a execuţiei lucrărilor de mentenanţă.

Precizăm, de asemenea, că în situaţia în care informaţiile privind timpii interoperaţionali nu sunt concludente şi deci nu se poate pune problema fundamentării unei ordonanţări optime, grupul de executanţi poate avea în vedere alte elemente preferenţiale, de natură diversă: comoditatea lucrului, dispoziţia pentru o anumită ordine de efectuare a lucrărilor, precum şi alte argumente, mai mult ori mai puţin obiective, impuse de factorul decident.

Vom obţine, astfel, pe baza aprecierilor colective - relaţii de forma: L_J **P** L_k, sau L_J **F** L_k, în care operatorul "**P**" exprimă preferinţa în execuţie a lucrării L_j în raport cu lucrarea L_k, respectiv indiferenţa în ordonanţarea celor două lucrări redată prin operatorul "**F**" .

Realizarea unui consens al grupului executant în ceea ce priveşte stabilirea unei cât mai raţionale succesiuni de execuţie a lucrărilor atribuite unei formaţii de muncăa îşi dovedeşte în acest fel pe deplin eficienţa, al cărei scop este, nu rareori, diminuarea duratei totale de execuţie a lucrărilor.

Cooperarea, ca atribut al capacităţii sinergetice a componenţilor echipei, reprezintă o reală posibilitate de stabilire a unor soluţii performante şi care pot surclasa diversele alternative decizionale stabilite arbitrar.

Rapiditatea convergenţei acestora spre varianta optimă este sensibil influenţată atât de omogenitatea grupului, cât şi de competenţa profesională a componenţilor săi.

2. Fie un număr de **m** lucrări ce urmează a fi executate de un număr egal de formaţii de muncă.
În cazul în care cardinalul mulţimii lucrărilor nu este mare, soluţionarea atacării simultane a lucrărilor devine dificilă. Este posibil chiar, la o repartizare arbitrară a operaţiilor ce urmează a se efectua, să nu se poată realiza o variantă de afectare echipe-lucrări.

Literatura recomandă pentru rezolvarea unei astfel de probleme algoritmul Ford-Foulkerson (1), funcţia de optimum fiind:

$$\phi = \max \sum_i \sum_j a_{ij}, \quad i,j = 1..m \qquad (2)$$

unde:

a_{ij} exprimă posibilitatea ca lucrarea **i** să fie realizată de formaţia de muncă **j**:

a_{ij} =
- **1**, dacă executantul are capacitatea profesională de a executa lucrarea;
- **0**, în caz contrar (fie că nu o poate executa, fie nu o realizează la termenul impus şi la nivelul calitativ dorit).

În cele ce urmează vom face uz de o metodă euristică operativă de afectare optimă a echipelor executante, astfel încât realizarea lucrărilor să afecteze o durată totală minimă.

<u>Exemplul 2.</u>
Celor şase formaţii de muncă de reparaţii termomecanice le sunt repartizate următoarele lucrări:
L1 - revizia lagărelor unei pompe de alimentare;
L2 - revizia unor armături de înaltă presiune;
L3 - revizia circuitului de ulei al unei turbine cu abur;
L4 - revizia circuitului de apă de răcire;
L5 - echilibrarea rotorului turbinei avariate;
L6 - revizia sistemului de reglaj al acestei turbine.

Potenţialul echipelor de reparaţii este prezentat în tabelul 3 prin indicarea pentru fiecare lucrare în parte a cifrelor 1 sau 0.

Tabelul 3

Ej\Li	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6
E_1	1	1	0	0	1	1
E_2	0	0	1	1	0	0
E_3	1	1	1	0	0	0
E_4	0	0	0	0	1	1
E_5	1	1	1	1	0	0
E_6	1	0	1	0	1	0

Metoda de afectare propusă parcurge iterativ următoarele faze:

- se calculează puterea iterată de ordinul 1, pentru fiecare echipă şi lucrare, prin însumarea elementelor $a_{ij} \in \{1; 0\}$:

$$p_j^{(1)} = \sum_j a_{ij}; \qquad p_j^{(1)} = \sum_i a_{ij}, \qquad i, j = 1..n \qquad (3)$$

- se încadrează o singură cifră **1** - deci se realizează cuplajul Li - Ej - potrivit condiţiei disjunctive:

$$\min [p_j^{(1)} \vee p_j^{(1)}], \quad p_j^{(1)}, \; p_j^{(1)} \neq 0 \qquad (4)$$

- se anulează celelalte cifre **1** din linia şi coloana care includ elementul încadrat;
- se recalculează puterea iterată de ordinul 1 pentru celelalte linii şi coloane; procedeul se repetă până se obţine afectarea totală.

Fie matricea Boole a potenţialului echipelor şi valorile $p_i^{(1)}$, $p_j^{(1)}$, corespunzatoare iteraţiilor respective - tabelul 4:

Tabelul 4

$$\begin{array}{c} \text{Li} \rightarrow \\ \text{Ej} \downarrow \end{array}
\begin{bmatrix}
\cancel{1} & \cancel{1} & 0 & 0 & 1 & \cancel{1} \\
0 & 0 & \cancel{1} & 1 & 0 & 0 \\
\cancel{1} & \cancel{1} & 1 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & \cancel{1} & 1 \\
\cancel{1} & 1 & \cancel{1} & \cancel{1} & 0 & 0 \\
1 & 0 & \cancel{1} & 0 & \cancel{1} & 0
\end{bmatrix}$$

I	II	III	IV	V	VI
4	3	3	0	0	0
2	2	0	0	0	0
3	3	3	3	2	0
2	0	0	0	0	0
4	4	3	3	2	0
3	3	3	2	0	0

I	4	3	4	2	3	2
II	4	3	4	2	2	0
III	4	3	3	0	2	0
IV	3	2	3	0	0	0
V	0	2	2	0	0	0
VI	0	0	0	0	0	0

Afectarea este terminată în momentul când matricea Boole nu mai conţine cifre de valoare **1** neîncadrate sau nebarate.

Precizăm că operaţia de afectare este independentă de alegerea valorilor $p_i^{(1)}$, $p_j^{(1)}$, minime, în cazul în care mai multe linii şi/sau coloane au puteri minime egale.

Pentru astfel de situaţii vor rezulta mai multe variante optime de afectare. Parcurgând fazele procedeului menţionat, una din soluţiile optime de afectare - cuplajul maxim al celor două mulţimi:
$E = \{E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6\}$ şi
$L = \{L_1, L_2, L_3, L_4, L_5, L_6\}$ - este redată în graful bipartit (4) din figura 1.

O repartizare arbitrară a lucrărilor ne-ar putea conduce la o soluţie de afectare imposibilă. Prezentăm în figura 2 graful bipartit pentru un astfel de caz. Se constată că echipei E_3 nu i se poate repartiza lucrarea L_6 întrucât această formaţie de muncă nu are capacitatea profesională de a o realiza.

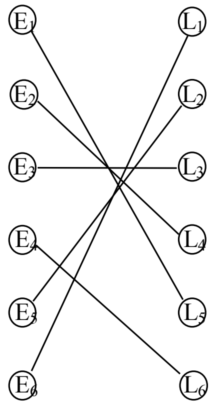

Figura 1 - Graful bipartit al afectării optime a echipelor

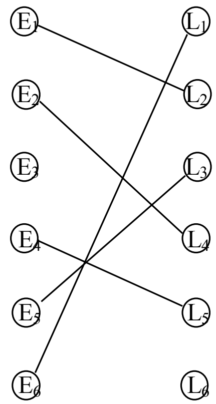

Figura 2 - Graful bipartit al unei afectări imposibile

Problema repartizării lucrărilor unui număr egal de echipe executante are cel puţin o soluţie optimă dacă există un grup de minimum **m** executanţi (Ej) calificaţi pentru efectuarea simultană a celor **m** lucrări (Li), nefiind însă obligatoriu ca fiecare echipă să posede calificarea corespunzătoare pentru oricare lucrare.
Această restricţie este cunoscută sub denumirea de *condiţia de diversitate* (7) şi poate fi exprimată prin relaţia:

$$Li = \Gamma(Ej) \neq \Phi \qquad (5)$$

În caz contrar - dacă nu se respectă condiţia de diversitate - afectarea este imposibilă.
Diverse alte modalităţi de programare a lucrărilor şi de alocare a resurselor umane sunt prezentate detaliat în literatura: (l), (2), (3), (8).
Această soluţie optimă se poate obţine şi dacă se consideră - pornind de la matricea iniţială -matricele parţiale rezultate în urma eliminării cuplului afectat Li -Ej, conform criteriului (4):

$$\begin{array}{c|cccccc|c}
 & L_1 & L_2 & L_3 & L_4 & L_5 & L_6 & p_i^{(1)} \\ \hline
E_1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & \mathbf{4} \\
E_2 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & \mathbf{2} \\
E_3 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & \mathbf{3} \\
E_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & \mathbf{2} \\
E_5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & \mathbf{4} \\
E_6 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \mathbf{3} \\ \hline
p_i^{(1)} & \mathbf{4} & \mathbf{3} & \mathbf{4} & \mathbf{2} & \mathbf{3} & \mathbf{2} &
\end{array}$$

$$\Downarrow$$

$$\begin{array}{c|ccccc|c}
 & L_1 & L_2 & L_3 & L_5 & L_6 & p_i^{(1)} \\ \hline
E_1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & \mathbf{4} \\
E_3 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & \mathbf{3} \\
E_4 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & \mathbf{2} \\
E_5 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & \mathbf{3} \\
E_6 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & \mathbf{3} \\ \hline
p_i^{(1)} & \mathbf{4} & \mathbf{3} & \mathbf{3} & \mathbf{3} & \mathbf{2} &
\end{array}$$

$$\Downarrow$$

$$\begin{array}{c|cccc|c}
 & L_1 & L_2 & L_3 & L_5 & p_i^{(1)} \\ \hline
E_1 & 1 & 1 & 0 & 1 & \mathbf{3} \\
E_3 & 1 & 1 & 1 & 0 & \mathbf{3} \\
E_5 & 1 & 1 & 1 & 0 & \mathbf{3} \\
E_6 & 1 & 0 & 1 & 1 & \mathbf{3} \\ \hline
p_i^{(1)} & \mathbf{4} & \mathbf{3} & \mathbf{3} & \mathbf{2} &
\end{array}
\Rightarrow
\begin{array}{c|ccc|c}
 & L_1 & L_2 & L_3 & p_i^{(1)} \\ \hline
E_3 & 1 & 1 & 1 & \mathbf{3} \\
E_5 & 1 & 1 & 1 & \mathbf{3} \\
E_6 & 1 & 0 & 1 & \mathbf{2} \\ \hline
p_i^{(1)} & \mathbf{3} & \mathbf{2} & \mathbf{3} &
\end{array}
\Rightarrow
\begin{array}{c|cc|c}
 & L_2 & L_3 & p_i^{(1)} \\ \hline
E_3 & 1 & 1 & \mathbf{2} \\
E_5 & 1 & 1 & \mathbf{2} \\ \hline
p_i^{(1)} & \mathbf{2} & \mathbf{2} &
\end{array}$$

BIBLIOGRAFIE

1. A. Kaufmann — Metode şi modele ale cercetării operaţionale, vol.1-2. Ed. Ştiinţifică, Bucureşti, 1968.
2. A. Kaufmann — Des point et des f1eches ...la theorie des graphes. Ed. Dunod, Paris, 1968.
3. Gh. Vranceanu, St. Mititelu — Probleme de cercetare operaţională. Ed. Tehnică, Bucureşti, 1978.
4. A. Măcriş, A. Gheorghe, M. Cârlan — Optimizări în ingineria energetică. Ed. Tehnică, Bucureşti, 1983.
5. C. Negoiţă, A. Ralescu — Mulţimi vagi şi aplicaţiile lor. Ed. Tehnică, Bucureşti, 1974.
6. Cl. Berge — Theorie des graphes et ses aplications. Ed. Dunod, Paris, 1966.
7. O. Oystein — Grafele şi aplicaţiile lor. Ed. Ştiinţifică, Bucureşti, 1968.
8. G. Cullmann — Recherche operationnelle. Ed. Eyrolles, Paris, 1970.