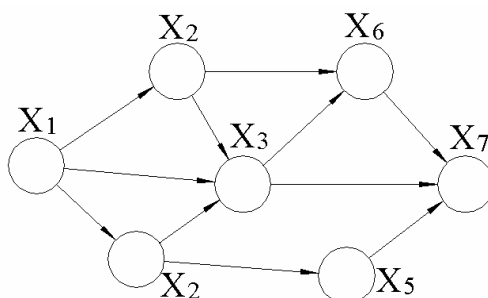

METODA ANALIZEI GRAFICULUI RETEA

Analiza graficului retea: termen general pentru tehnicile de planificare care considera proiectul ca:

- retea de activitati legate între ele;
- legaturile indica relatiile si succesiunea executiei activitatilor cu respectarea conditionarilor organizatorice sau tehnologice;
- prin adaugarea duratei de executie a fiecărei activitati, diagrama poate fi analizata numeric, putandu-se determina durata totala a proiectului.

Analiza graficului retea: metoda bazata pe teoria grafurilor, care utilizeaza în calcule planificarea lineara, statistica matematica si teoria probabilitatilor.

Graful este o aplicatie biunivoca a elementelor unei multimi pe ea însasi. Fie multimea de puncte $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, cu $n \in \mathbb{N}$. Elementele x_i ale multimii X sunt legate între ele cu arce orientate. Aceste legaturi reprezinta aplicatia Γ ; se obtine în acest fel graful $\Gamma = (G, X)$.



Nodurile rețelei, reprezentate prin cercuri sau dreptunghiuri, se numeroteaza secvential respectandu-se conditia ca arcul orientat, amplasat între doua noduri succesive, sa aiba numarul nodului de început mai mic decât numarul nodului de terminare.

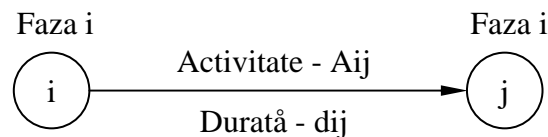
• *Istoricul metodelor*

- folosirea diagramelor, care sa reprezinte progresul unui proiect, apare in 1850
- George Boole, primul cercetator care a utilizat diagramele de tip retea;
- prusacii, în secolul XIX, au folosit diagramele de tip retea pentru a ilustra miscarile tactice pe câmpul de batalie;
- 1944, economistii foloseau diagramele cu sageti pentru a arata fluxul si relatiile dintre sistemele economice;
- 1957, inginerii de la Corporatia Sperry-Rand au aplicat diagrama retea si au folosit conceptul de “drum critic” pentru planificarea si coordonarea unui proiect de pod.

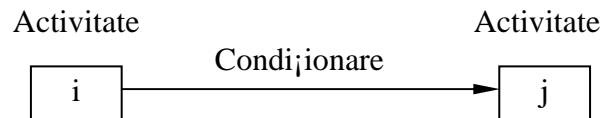
- Simultan, armata americana a dezvoltat un sistem de planificare si coordonare a 3000 contractori si agenti pentru programul rachetei Polaris.
- **Clasificarea metodelor analizei graficului retea**

a. *Dupa modul de reprezentare a activitatilor în grafice:*

- activitatile reprezentate pe arcele rețelei, nodurile reprezentând faze sau evenimente în ordinea desfasurarii activitatilor: forma de reprezentare caracteristica *metodei drumului critic* CPM (Critical Path Method)



- activitatile reprezentate pe nodurile rețelei, arcele fiind conditionari de succesiune ale activitatilor: forma de reprezentare caracteristica metodei potentialelor (Metra Potential Method)



b. *Dupa parametri care se analizeaza:*

- procedee în care se considera numai timpul;
- procedee în care se considera atât timpul cât si resursele;
- procedee în care se considera timpul, resursele, costurile.

c. *Dupa numarul proiectelor supuse simultan analizei:*

- procedee pentru analiza unui singur proiect;
- procedee pentru analiza unui multiproiect.

- **Elementele caracteristice graficului retea**

1. **activitatea:** orice actiune ce contribuie la realizarea proiectului:

- *efective*, reale consumatoare de timp si resurse;
- *de asteptare*, consumatoare numai de timp: conditionari tehnologice sau organizatorice;
- *fictive*, nu consuma timp sau resurse dar stabilesc conditionari de succesiune.

2. **faza sau evenimentul:** stadii de realizare a activitatilor.

3. **drumul:** o succesiune de arce orientate între nodul initial si nodul final. Orice drum este caracterizat printr-o lungime care reprezinta suma duratelor care îl definesc.

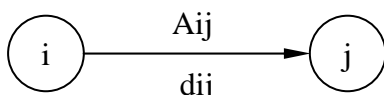
4. **drumul critic:** drumul cu lungimea cea mai mare între nodul inițial si nodul final. **Lungimea drumului critic reprezinta durata minima posibila de executare a întregului proiect.** Activitatile situate pe drumul critic se

numesc activitati critice, si se realizeaza strict la termenele planificate pentru a nu perturba durata totala a proiectului.

➤ **Metoda drumului critic - C.P.M.**

• **Reguli de trasare**

Caracteristica graficului retea trasat prin metoda C.P.M. este reprezentarea *activitatilor pe arcele retelei, nodurile reprezentând faze sau evenimente.*



A_{ij} = activitate;
 d_{ij} = durata activitatii;
 i, j = faze

Pentru a stabili corect succesiunea activitatilor, la trasarea graficului retea este necesar sa se cunoasca raspunsul la întrebările:

- ce activitati conditioneaza sau preced în mod necesar activitatea A_{ij} ?
- ce activitati încep în acelasi timp cu activitatea A_{ij} ?
- începutul caror activitati este determinat de încheierea activitatii A_{ij} ?

• **Termene caracteristice si rezerve de timp**

A. Calculul termenelor caracteristice

In graficul retea al metodei C.P.M., pentru fiecare faza se definesc **doua** termene caracteristice, în timp ce pentru fiecare activitate, **patru**.

- a) **Termenul minim al fazei j** - t_j^m - este termenul cel mai devreme la care se poate produce evenimentul j, sau timpul cel mai devreme la care se pot încheia toate activitatile care converg în nodul j.

$$t_j^m = (L_{0-j})_{\max}$$

unde:

$L_{0-j \max}$ este drumul de lungime maxima, considerat dintre toate drumurile posibile de la nodul initial, i la nodul final, j.

Sau:

$$t_j^m = \begin{cases} 0 & , \text{ pentru } j = 0 \\ \max (t_i + d_{ij}) & , \text{ pentru } i < j < n \end{cases}$$

b) **Termenul maxim al fazei i** - t_i^M - este termenul cel mai târziu la care se poate produce faza i fara a perturba durata generala a procesului, sau termenul cel mai târziu la care se pot termina activitatile convergente în nodul i , respectiv termenul cel mai târziu la care pot începe activitatile ce pornesc din nodul i .

$$t_i^M = L_{cr} - \max(L_{i-n}),$$

în care: L_{cr} = lungimea drumului critic;

L_{i-n} = durata de la nodul i la nodul n pe toate drumurile posibile.

Termenele maxime ale fazelor se calculeaza parcurgand graficul în sens invers, în mod succesiv, de la faza finala n către faza initiala, cu relatia:

$$t_i^M = \begin{cases} L_{cr} & , \text{ pentru } i=n \\ \min(t_j^M - d_{ij}) & , \text{ pentru } 0 < i < n \end{cases}$$

c) **Termenul minim de începere a activitatii** - t_{ij}^{mi} - este cel mai devreme termen la care poate începe activitatea A_{ij} , si este egal cu termenul minim al fazei i .

$$t_{ij}^{mi} = t_i^m$$

d) **Termenul minim de terminare a activitstii** - t_{ij}^{mt} - este cel mai devreme termen la care activitatea A_{ij} se poate termina si este egal cu suma dintre termenul minim de începere a activitstii si durata acesteia:

$$t_{ij}^{mt} = t_{ij}^{mi} + d_{ij} = t_i^m + d_{ij}$$

e) **Termenul maxim de terminare a activitstii** - t_{ij}^{Mt} - este cel mai târziu termen la care se poate încheia activitatea A_{ij} si este egal cu timpul maxim al fazei j :

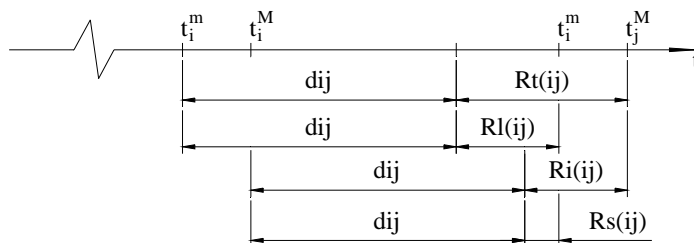
$$t_{ij}^{Mt} = t_j^M$$

f) **Termenul maxim de începere a activitatii** - t_{ij}^{Mi} - este cel mai târziu termen la care poate începe activitatea A_{ij} fara a perturba durata totala. Se calculeaza prin diferenta dintre termenul maxim de terminare si durata activitatii.

$$t_{ij}^{Mi} = t_{ij}^{Mt} - d_{ij} = t_j^M - d_{ij}$$

B. Calculul rezervelor de timp

Rezervele de timp: posibilitati ale activitatilor de pozitionare pe scara timpului, între termenul minim de începere și maxim de terminare în vederea adaptării la noi condiții de lucru.



a) **Rezerva totala a activitatii** - $R_{t(ij)}$ - este intervalul de timp cu care se poate întârzia începerea activitatii A_{ij} sau, cu care se poate mări durata d_{ij} a activitatii, fara a influența desfășurarea activitatilor de pe drumul critic.

$$R_{t(ij)} = t_j^M - t_i^m - d_{ij}$$

Activitățile a căror rezerva totală $R_{t(ij)} = 0$ sunt activități critice. Ele nu pot fi nici glisate, nici majorate ca durata de execuție, fara a perturba drumul critic.

b) **Rezerva libera a activitatii** - $R_{l(ij)}$ - este intervalul de timp cu care poate fi decalată începerea activitatii A_{ij} , sau cu care durata acesteia poate fi majorată, fara a influența activitățile următoare ce pornesc din faza j .

$$R_{l(ij)} = t_j^m - t_i^M - d_{ij}$$

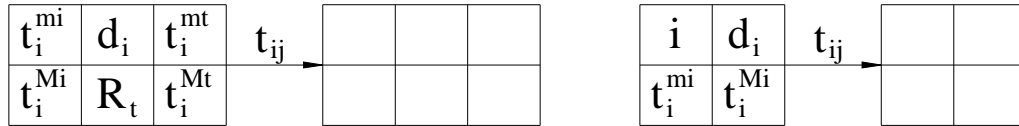
• Calculul graficului rețea

- consta în determinarea pentru fiecare nod a termenelor minime și maxime ale fazei, valori ce vor fi înscrise în dreptunghiuri atasate nodurilor;
- calculul termenului minim corespunzător fiecărui nod al rețelei se face pornind de la nodul initial către nodul final, prin însumarea duratelor activitatilor ce converg în nodul respectiv: valorile se compară, se alege întotdeauna cea mai mare, care se va înscrie în caseta din stânga.
- calculul termenului maxim corespunzător fiecărui nod se efectuează pornind de la nodul final, al cărui termen minim se egalează cu cel maxim, către nodul initial prin scăderea duratelor activitatilor ce diverg din nodul respectiv: valorile se compară și se va înscrie în caseta din dreapta, valoarea cea mai mică.
- calculul graficului se poate considera corect dacă termenele minim și maxim de începere ale nodului initial, au valoarea 0.

➤ **Metoda potentialelor - M.P.M.**

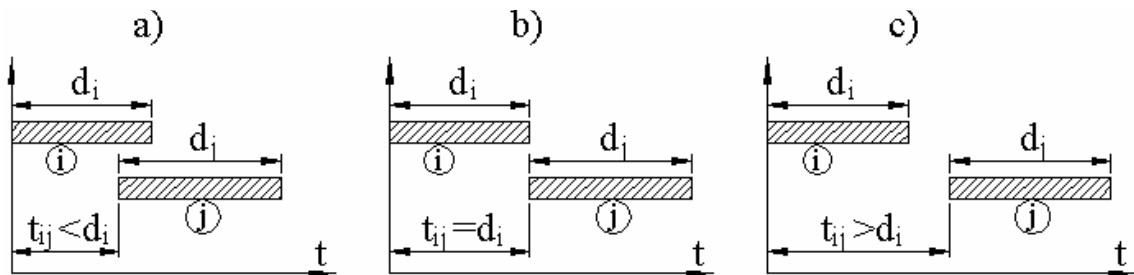
• **Reguli de trasare**

Activitatile sunt reprezentate pe nodurile rețelei iar arcele reprezinta conditionarile tehnologice sau organizatorice dintre activitati.



O caracteristica a metodei este introducerea notiunii de *distanța critică* - t_{ij} - care reprezinta intervalul de timp minim între activitatea i și activitatea j .

Distanța critică: poate reprezenta o conditionare de tip *început-început*, *terminare-început*, *terminare-terminare*, *început-terminare*: cel mai folosit mod de conditionare este cel de tip *început-început*:



- $t_{ij} < d_i$, sugereaza faptul ca activitatea j poate începe înainte de terminarea activitatii i ;
- $t_{ij} = d_i$, activitatea j poate începe imediat dupa activitatea i ;
- $t_{ij} > d_i$, activitatea j va începe cu un decalaj tehnologic sau organizatoric fata de terminarea activitatii i .

• **Termene caracteristice si rezerve de timp**

A. Calculul termenelor caracteristice

a) **Termenul minim de începere a activității j** - t_j^{mi} - este momentul cel mai devreme la care poate începe activitatea j , reprezentând drumul cel mai lung dintre activitatea inițială și activitatea j .

$$t_j^{mi} = \begin{cases} 0 & \text{pentru } j=0 \\ \max(t_i^{mi} + t_{ij}) & \text{pentru } 0 < j < n \end{cases}$$

unde t_{ij} este distanța critică definită ca o condiționare de tip *început-început*.

b) **Termenul minim de terminare a activității j** - t_j^{mt} - este momentul cel mai devreme la care se poate termina activitatea j , și se calculează cu ajutorul relației:

$$t_j^{mt} = t_j^{mi} + d_j$$

unde d_j este durata activității j .

c) **Termenul maxim de începere a activității i** - t_i^{Mi} - este definit ca termenul cel mai târziu la care poate începe activitatea i fără a perturba celelalte activități din graficul rețea. Se determină cu relația:

$$t_i^{Mi} = \begin{cases} L_{cr} & , \text{ pentru } i=n \\ \min(t_j^{Mi} - t_{ij}) & , \text{ pentru } 0 < i < n \end{cases}$$

d) **Termenul maxim de terminare a activității i** - t_i^{Mt} - se determină prin însumarea termenului maxim de începere a activității i și durata acesteia, reprezentând momentul cel mai târziu de terminare a activității i :

$$t_i^{Mt} = t_i^{Mi} + d_i$$

B. Calculul rezervelor de timp

Rezervele de timp au rolul de a evidenția intervalul de timp cu care se poate face glisarea unei activități, sau mărirea duratei ei, fără a afecta durata totală a proiectului.

a) **Rezerva totală a activității** - $R_{t(i)}$ - este diferența dintre termenul maxim de începere și termenul minim de începere a activității i , adică:

$$R_{t(i)} = t_i^{Mi} - t_i^{mi}$$

b) **Rezerva liberă a activității** $R_{l(i)}$ - este timpul cu care se poate amâna începerea activității i , față de termenul minim de începere al său, fără a împiedica începerea altor activități la termenul minim:

$$R_{l(i)} = \min(t_j^{mi}) - t_i^{mi} - t_{ij}$$

➤ *Etapele planificarii cu metoda drumului critic*

1. *Etapa de analiza (calitativa):*

- *analiza structurii lucrarilor de executat:* pe baza documentatiei existente se stabileste ordinea tehnologica si organizatorica cu interconditionarile ce se impun;
- *elaborarea topologiei graficului retea în functie de metoda aleasa:* C.P.M. sau M.P.M.

2. *Etapa de calcul (cantitativa):*

- *determinarea cantitatilor de lucrari corespunzatoare activitatilor definite în cadrul proiectului;*
- *stabilirea duratelor de executie pentru activitatile cuprinse în graficul retea, utilizând metoda determinista sau probabilista;*
- *stabilirea duratei conditionarilor tehnologice sau organizatorice dintre activitati;*
- *calculul termenelor caracteristice ale fazelor si ale activitatilor;*
- *calculul rezervelor de timp;*
- *determinarea activitatilor critice, a drumului critic si stabilirea duratei totale de executie.*

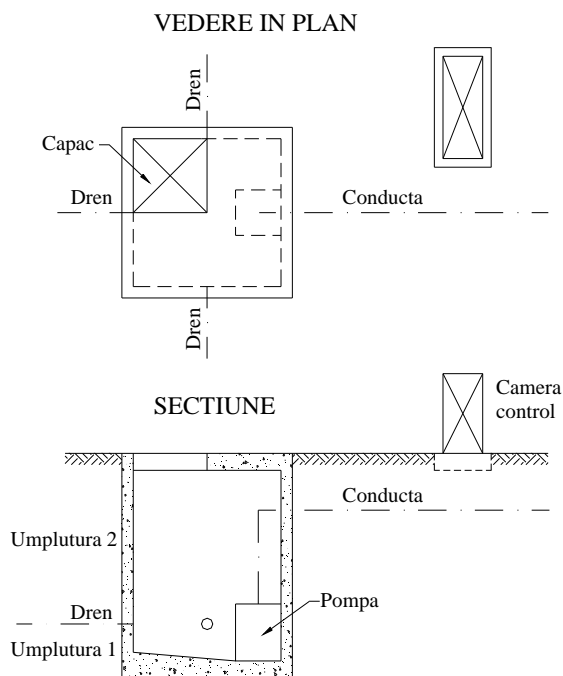
Se compara durata de executie determinata pe baza analizei drumului critic cu durata de realizare impusa prin contract.

Daca:

- *durata rezultata este mai mare ca durata impusa prin contract, se reia algoritmul de programare expus:*
 - a. reanalizand activitatile situate pe drumul critic (scurtarea lor prin atribuire de resurse suplimentare);
 - b. revizuind conditionarile tehnologice;
 - c. marind numarul de sectoare fapt ce ar permite scurtarea intervalului de timp necesar intrarii în lucru a muncitorilor;
 - d. divizand activitatile critice în subactivitati care sa se desfasoare în paralel.
- *durata rezultata este mult mai mica decât cea contractuală, se reia algoritmul de programare: ar putea exista perturbări în modul de folosire rationala a resurselor.*

EXEMPLU:

Se considera executia unei camere de pompare necesara drenarii pamanturilor.



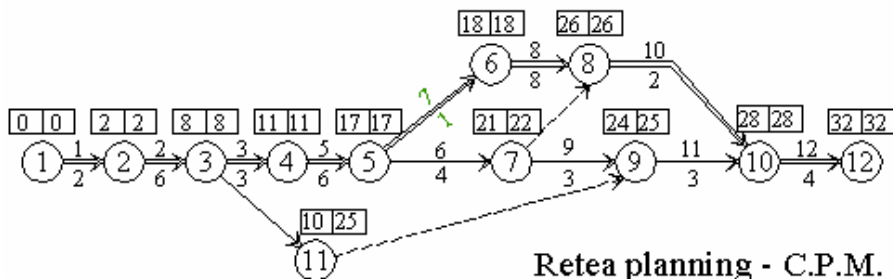
Etapele de elaborare a planificarii sunt:

i. Stabilirea activitatilor necesare realizarii proiectului si calculul duratelor acestora.

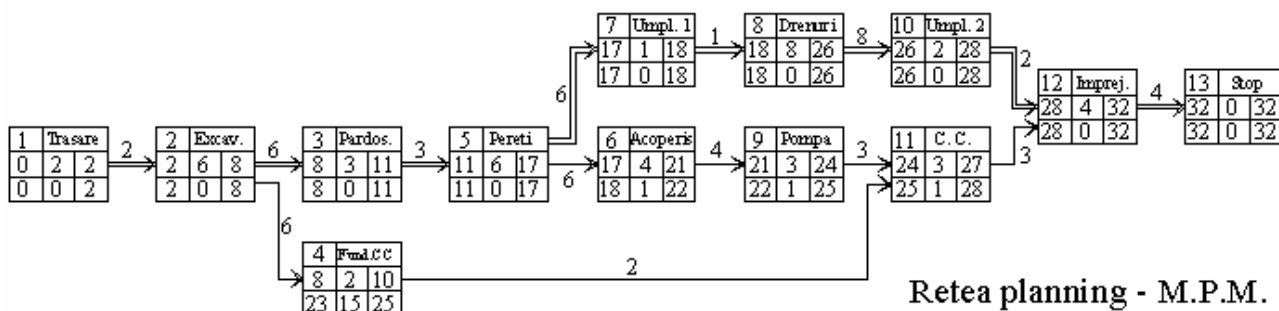
Activitate	Procese incluse	Durată	Activitatea care conditioneaza începerea
1. Batare piloți	Batare piloți pe contur pentru sprijinire excavatie	2	
2. Excavare	Sapare pâna la cota	6	1
3. Radier groapa	Cofrare, armare, betonare	3	2
4. Fundatie camera control	Amenajare fundatie camera control	2	2
5. Pereti	Cofrare, armare, betonare	6	3
6. Planseu	Cofrare, armare, betonare inclusiv capac	4	5
7. Umplutura 1	Umplutura sub dren	1	5
8. Drenuri	Montare drenuri	8	7
9. Pompa	Instalare pomps si conectare la conducta	3	6
10. Umplutura 2	Completare umplutura	2	6, 8
11. Camera control	Instalarea echipamentului si racordare la rețeaua electrica	3	4, 9
12. Imprejmuire	Montare gard si nivelare teren	4	10, 11

ii. Trasarea graficului retea (topologia)

Pe baza listei de activitati, a conditionarilor tehnologice si organizatorice, se vor întocmi graficele retea cu ajutorul celor doua metode prezentate, C.P.M., M.P.M.



Retea planning - C.P.M.



Retea planning - M.P.M.

iii. Calculul termenelor

Scopul calculului termenelor caracteristice este de a determina:

- *durata proiectului*: va fi calculata pornind de la duratele activitatilor individuale si a interrelatiilor lor;
- *cel mai devreme timp (minim) de începere* al fiecărei activitati;
- *cel mai târziu timp (maxim) de începere* al fiecărei activitati;
- *rezervele de timp*.

Calculul se va face considerând ca data de început a proiectului ziua 0.

Stabilirea *termenelor de început* si *de sfârșit* pentru fiecare activitate, se va face direct pe graf, prin parcurgerea acestuia în doua sensuri: START - FINISH (se stabilesc termenele minime de început si de sfârșit) si FINISH – START (se vor stabili termenele maxime de început si de sfârșit pentru fiecare activitate).

iiii. Determinarea rezervelor de timp si a drumului critic

Graful construit contine trei drumuri complete: $D_1 = \{1,2,4,11,12,13\}$;

$D_2 = \{1,2,3,5,6,9,11,12,13\}$; $D_3 = \{1,2,3,5,7,8,10,12,13\}$.

Lungimile acestor drumuri (L_{Di}):

$$L_{D1} = 2+6+2+3+4+0 = 17 \text{ zile}$$

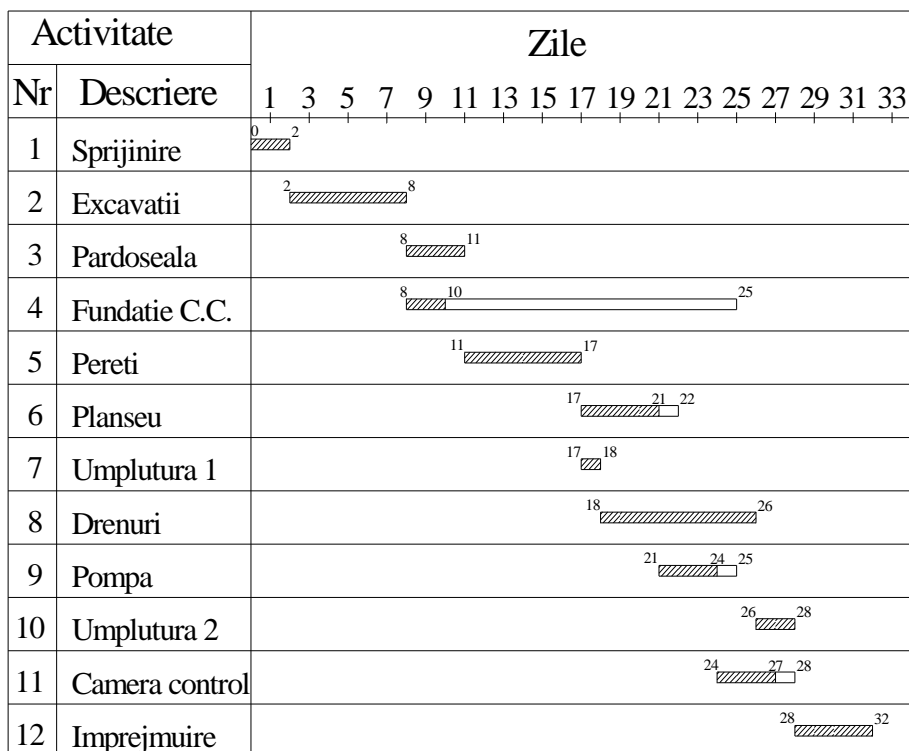
$$L_{D2} = 2+6+3+6+4+3+3+4+0 = 31 \text{ zile}$$

$$D_{cr} = \max\{L_{Di}\} = \max\{17,31,31\} = 32 \text{ zile}$$

$$L_{D3} = 2+6+3+6+1+8+2+4+0 = 32 \text{ zile}$$

Calculul rezervelor de timp pentru toate activitatile necesare realizarii proiectului:

NR. CRT.	ACTIVITATE	DURATA	REZERV A TOTALA	REZERVA LIBERA
1.	Batere piloți (trasare)	2	2-0-2=0	2-0-2=0
2.	Excavare	6	8-2-6=0	8-2-6=0
3.	Radier groapa	3	11-8-3=0	11-8-3=0
4.	Fundatie camera control	2	25-8-2=15	24-8-2=14
5.	Pereti	6	17-11-6=0	17-11-6=0
6.	Planseu	4	22-17-4=1	22-17-4=1
7.	Umplutura 1	1	18-17-1=0	18-17-1=0
8.	Drenuri	8	26-18-8=0	26-18-8=0
9.	Pompa	3	25-21-3=1	24-21-3=0
10.	Umplutura 2	2	28-26-2	28-26-2=0
11.	Camera control	3	28-24-3=1	28-24-3=1
12.	Imprejmuire	4	32-28-4=0	32-28-4=0



- **ANALIZA RESURSELOR**

Un beneficiu major al planificarii: posibilitatea unui control eficient al resurselor.

Cele mai folosite resurse în constructii sunt:

- *oamenii,*
- *utilajele,*
- *materialele,*
- *timpul,*
- *banii,*
- *terenul pe care se va construi,*
- *vremea, o resursa fara valoare de altfel, ce se ia însa în considerare la nivelul planificarii strategice.*

Industria constructiilor opereaza adesea la un nivel scazut al valorii profitului net (2- 4%) \implies *este greu sa se tolereze ineficienta în folosirea resurselor.*

Exemplu de folosire a resurselor la un proiect tipic de inginerie civila:

Resurse	Procent din valoarea proiectului	Ineficientă	Efect asupra proiectului
Materiale	40	5% datorata pierderilor la furnizare	40% x 5%=2% pierdere
Subcontractori	20	10% datorata neconcordantei între constructori, asteptarii materialelor, instructiunilor	20% x 10%=2% pierdere
Manopera	18	7% datorata planificarii necorespunzatoare	28% x 7%=2% pierdere
Utilaje	10		
Beneficiu	10	20% datorata depasirii termenului proiectului, inflatiei, erorilor în estimarea valorilor	10% x 20%=2% pierdere
Profit net	2		

- **Stabilirea necesarului de resurse**

Formula de stabilire a cantitatii unui tip p de resursă, R_i^p , (p poate lua valori de la 1 la n și reprezintă numărul resurselor analizate), necesară activității i este:

$$R_i^p = Q_i \times N_i^p,$$

unde:

Q_i , reprezintă cantitatea de lucrare corespunzătoare activității i ;

N_i^p , reprezintă norma de consum pentru activitatea i și resursa p .

- **Analiza resurselor**

Analiza resurselor se face considerând cea mai bună folosință a lor pe parcursul desfășurării proiectului:

Exemplu: resursele necesare pentru fiecare activitate din cadrul proiectului: “camera de pompare”: (stabilite pe baza cantitatilor de lucrare și a normelor de consum) sunt:

Activitate	Muncitori	Dulgheri	Echipament pentru batere piloti	Incarcator	Echipament pentru turnare beton	Pompa
1. Sprijinire	3	-	1	1	-	-
2. Excavare	3	-	1	1	-	1
3. Pardoseala	3	2	1	-	-	1
4. Fundație CC	1	2	-	-	-	-
5. Pereti	3	2	1	-	1	1
6. Planseu	3	2	1	-	-	1
7. Umplutura 1	2	-	1	1	-	1
8. Drenuri	2	-	1	1	-	1
9. Pompa	1	-	1	-	-	-
10. Umplutura 2	2	-	1	1	-	-
11. Camera control	-	-	-	-	-	-
12. Imprejmuire	2	-	-	-	-	-

* Instalată de un contractor specializat

Exista trei moduri de analiza a resurselor: *cumularea resurselor, nivelarea resurselor, alocarea resurselor.*