

# TEMA II

## MANAGEMENTUL PROIECTELOR COMPLEXE

Cursurile 3-4-5

ANALIZA DRUMULUI CRITIC = A D C =

---

- 1 Introducere
- 2 Conceptul de proiect
- 3 Structura unui proiect
- 4 Reprezentarea AoA a unui proiect (Facultativ)
- 5 Reprezentarea AoN a structurii unui proiect
  - 5.1 Instrucțiuni de reprezentare AoN
  - 5.2 Calculul termenelor activităților. Drumul critic
- 6 Alocarea resurselor
  - 6.1 Preliminarii
  - 6.2 Rezolvarea unui conflict de resurse
  - 6.3 O euristică de alocare a resurselor
- 7 Probleme propuse

\* \* \*

### 1 Introducere

**DEF 1.** Un proiect este o acțiune complexă, cu caracter de unicat (nerepetabilă), compusă dintr-un mare număr de activități și la care participă diverse unități productive, institute sau persoane fizice. Unele activități pot fi executate **simultan** (sunt **independente**), în timp ce altele nu se pot desfășura decât într-o **anumită ordine**. Fiecare activitate are o anumită **durată de execuție**, necesită diferite **resurse** (ca de exemplu forță de muncă specializată) și implică anumite **costuri**. Întreaga acțiune are drept **scop** realizarea unui anumit **obiectiv**.

**Exemple de acțiuni complexe:**

- construirea unui obiectiv civil (un hotel, un complex de locuințe), economic (o fabrică, o hală industrială, un depozit, o autostradă) sau militar (proiectarea, construirea și testarea unui nou avion, navă, rachetă);
- cercetarea și dezvoltarea de noi produse și servicii;

- un program de îmbunătățiri funciare;
- revizia și reparația unei instalații industriale.

Acțiunile complexe de genul celor amintite pot avea sute și chiar mii de activități și utilizează o mare varietate de resurse (consumabile, forță de muncă, bani)

#### **Probleme concrete de rezolvat :**

- care este **durata minimă de execuție** a proiectului dacă se au în vedere **duratele** activităților și **condiționările** dintre acestea;
- în ce **interval de timp** trebuie executată o anumită activitate;
- care dintre **activitățile** proiectului sunt **critice** în sensul că **trebuie executate exact la termen** în vederea menținerii întregii lucrări în orarul stabilit;
- dacă se au în vedere și **resursele** necesare executării activităților, disponibile de regulă în cantități limitate, cum trebuie făcută programarea activităților astfel încât
- în orice moment **necesarul de resurse să se încadreze în disponibil;**

sau

- anumite resurse, cum ar fi forța de muncă să fie **utilizate cât mai uniform.**
- dacă se au în vedere **costurile implicate** se pune problema menținerii acestora în **limitele unui plafon dat**, prin stabilirea judicioasă a duratelor și a termenelor de execuție ale activităților.

## **2 Conceptul de proiect**

**DEF 2. Un proiect este o colecție de entități interdependente, denumite activități. Fiecare activitate este o parte bine definită și delimitată a proiectului, care necesită timp și eventual resurse.**

**Exemplul 1** În construirea unui imobil

- escavarea fundațiilor;
- turnarea betonului în fundații;
- întărirea betonului.

sunt exemple de activități; primele două necesită timp, utilaje și personal calificat, ultima are nevoie doar de timp.

**Divizarea unui proiect în activități este o chestiune foarte importantă și de mare răspundere deoarece ea trebuie realizată de așa manieră încât să permită corelarea logică și tehnologică a părților rezultate din diviziune.**

**Exemplul 2** Acțiunea „turnarea betonului în fundații” din exemplul 1 presupune executarea următoarelor activități de talie mai mică:

- A ≡ aducerea materialelor lemnoase și feroase în șantier;
- B ≡ confecționarea cofrajelor;
- C ≡ confecționarea armăturilor;
- D ≡ montarea cofrajelor;
- E ≡ montarea armăturilor;
- F ≡ prepararea betonului;
- G ≡ aducerea și turnarea betonului în cofraje.

**Detalierea unui proiect nu se face dintr-o dată ci progresiv, funcție de etapa de studiu a proiectului sau de necesități: pentru conducerea strategică sau pentru conducerea operativă.**

### **3 Structura unui proiect**

Considerăm un proiect compus din activitățile notate cu A , B , C ...

**DEF 3.** Vom spune că:

- activitatea A **precede** activitatea B dacă B nu poate începe decât după terminarea activității A;
- activitatea A **precede direct** activitatea B dacă A precede B și B poate începe **imediat** după terminarea lui A.

Se constată ușor următoarele:

- **relația de precedență este o relație de ordine** în mulțimea activităților în sensul că este tranzitivă:

Dacă A precede B și B precede C atunci A precede C.

- precedența este numai o relație de ordine **parțială** întrucât pot exista activități ce se pot executa simultan;
- **precedența directă nu este o relație de ordine**: dacă B poate începe imediat după terminarea lui A și C poate începe imediat după terminarea lui B atunci este clar că A precede C dar nu direct, între ele fiind B!
- în schimb, **precedențele directe determină toate relațiile de precedență dintre activitățile unui proiect.**

**Exemplul 3** Considerăm proiectul reprezentând acțiunea de turnare a betonului în fundații din exemplul 2 și compus din activitățile A , B , ..., G. Între aceste activități există următoarele precedente directe:

- A precede direct B și C;
- B precede direct D;
- C precede direct E;
- D , E , F preced direct G.

În continuare considerăm un proiect P pentru care s-au identificat **activitățile** componente corespunzătoare unui grad de detaliere convenit și s-au precizat toate **relațiile de precedență directă** dintre ele. De asemenea, presupunem cunoscute **duratele** activităților. Toate aceste elemente se regăsesc în așa numita **listă/fișier de activități a proiectului**.

Nr. Crt.	Descrierea activității	Codul activității	Activități direct precedente	Durata activității

Se pune problema reprezentării structurii unui proiect, **structura însemnând cuplul (activități ;precedențe directe).**

Cel mai bun mod de reprezentare a structurii unui proiect s-a dovedit a fi **rețeaua coordonatoare**; în esență, aceasta este un **graf orientat**, adică un desen compus din puncte (numite și **noduri**) și linii orientate (numite și **arce**) care unesc unele puncte.

Există două posibilități de reprezentare:

- **Reprezentarea activitate – arc** (abreviat AoA) în care activitățile proiectului corespund arcelor rețelei coordonatoare;
- **Reprezentarea activitate – nod** (abreviat AoN) în care activitățile proiectului se identifică cu nodurile rețelei coordonatoare.

#### Exemplul 4

O companie specializată în fabricarea țevilor a decis construirea unei hale industriale în orașul X. În vederea stabilirii **duratei de execuție, a bugetului și a resurselor necesare** conducerea a cerut departamentului de planificare elaborarea unei schițe de proiect care să includă principalele activități, condiționările dintre acestea și o estimare a duratelor de realizare (tabelul 1)

Nr. Crt.	Descrierea activității	Codul activității	Activități direct precedente	Durata (luni)
1	Proiectarea halei	P	–	7
2	Obținerea avizelor de execuție	A	P	2
3	Comenzi utilaje	CU	P	3
4	Organizare de șantier	OS	P	3
5	Livrări utilaje	LU	CU	6
6	Execuție rețele tehnice	R	A , OS	10
7	Execuție drumuri interioare	D	R	5
8	Lucrări de construcții montaj	C	LU , R	14
9	Instruirea personalului	E	P	10

**Tabelul 1**

## 4 Reprezentarea AoA a structurii unui proiect

În reprezentarea AoA:

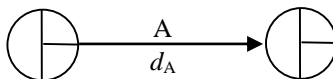
- **arcele** rețelei corespund **activităților** proiectului;
- **nodurile** rețelei au semnificația unor **momente de timp** (numite și **evenimente**) de începere și/sau de terminare a unei activități sau a mai multora.

### 4.1 Instrucțiuni de reprezentare

- Un **nod (eveniment)** va fi reprezentat prin sigla

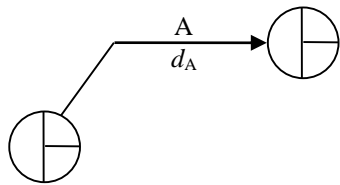


- O **activitate A** cu durata  $d_A$  va fi reprezentată printr-un arc orizontal ca în figura 1.1:

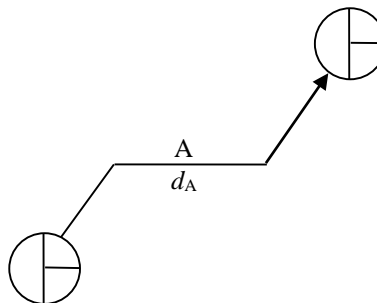


**Figura 1.1**

sau cu o porțiune orizontală ca în figurile 1.2 sau 1.3:

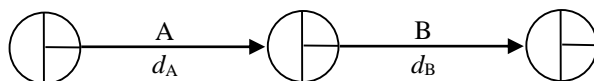


**Figura 1.2**



**Figura 1.3**

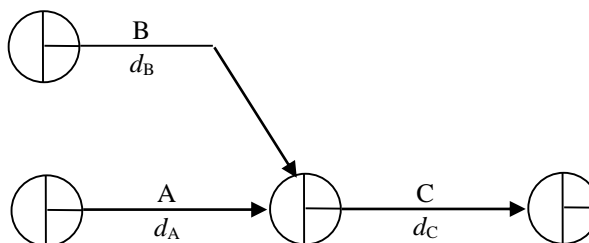
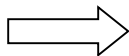
- **Regula fundamentală.** Situația „activitatea A precede direct activitatea B” va fi reprezentată prin diagrama din figura 2:



**Figura 2**

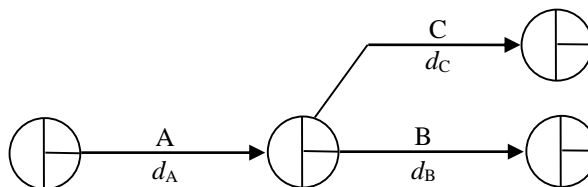
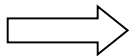
Din regula fundamentală rezultă variantele de reprezentare din figurile 3.1 și 3.2:

**Activitățile A , B preced direct activitatea C**



**Figura 3.1**

**Activitatea A precede direct activitățile B ,C**



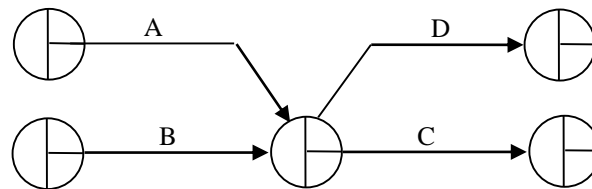
**Figura 3.2**

- **Regula de evitare a falsei precedențe**

Deseori apar situații în care reprezentarea corectă a unor precedente directe necesită introducerea unor „extra activități”. Se consideră situația:

$$\begin{cases} A, B \text{ preced direct } C \\ A \text{ precede direct } D \end{cases}$$

Reprezentând mai întâi primul rând de precedente și apoi pe al doilea se ajunge la diagrama din figura 4.1.



**Figura 4.1**

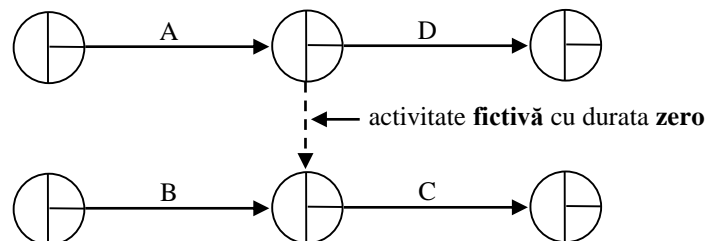
**incorectă**, deoarece activitatea D nu este condiționată de către B. Pentru evitarea acestei greșeli vom vizualiza mai întâi condiționările:

$$\begin{cases} A \text{ precede direct } D \\ B \text{ precede direct } C \end{cases}$$

după care, prin intermediul unei **activități fictive cu durata zero**, vom reprezenta și relația:

A precede direct C

Reprezentarea corectă a situației date apare în figura 4.2:

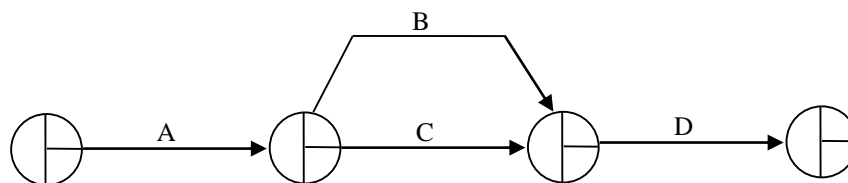


**Figura 4.2**

- **Regula de reprezentare a activităților paralele.** Conform regulei fundamentale, situația

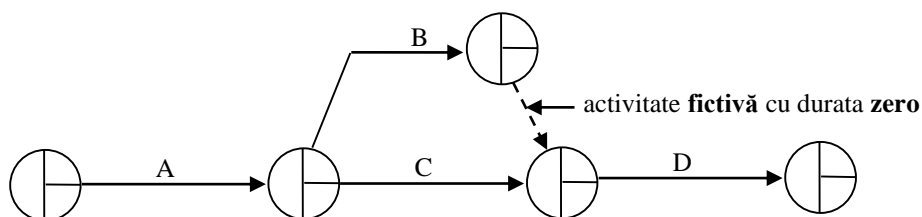
$$\begin{cases} A \text{ precede direct } B, C \\ B, C \text{ preced direct } D \end{cases}$$

se reprezintă prin diagrama:



**Figura 5.1**

**corectă** din punct de vedere logic **însă nesatisfăcătoare** deoarece nu permite identificarea unui arc prin perechea de noduri extremități (arcele B și C au aceleași extremități). Pentru reprezentarea **paralelismului** activităților B și C în raport cu A și D, utilizăm din nou o activitate fictivă cu durata zero ca în figura 5.2:



**Figura 5.2**

## 4.2 Cum se trasează o rețea AoA

1) Se începe prin fixarea unui nod cu semnificația de **începere a execuției proiectului**. Din acest nod vor pleca toate arcele corespunzătoare activităților **inițiale** ale proiectului adică a acelor **activități neprecedate** de altele.

2) La introducerea unui nou arc în desen se va avea în vedere reprezentarea corectă a precedentelor directe dintre activitatea introdusă și activitățile deja reprezentate.

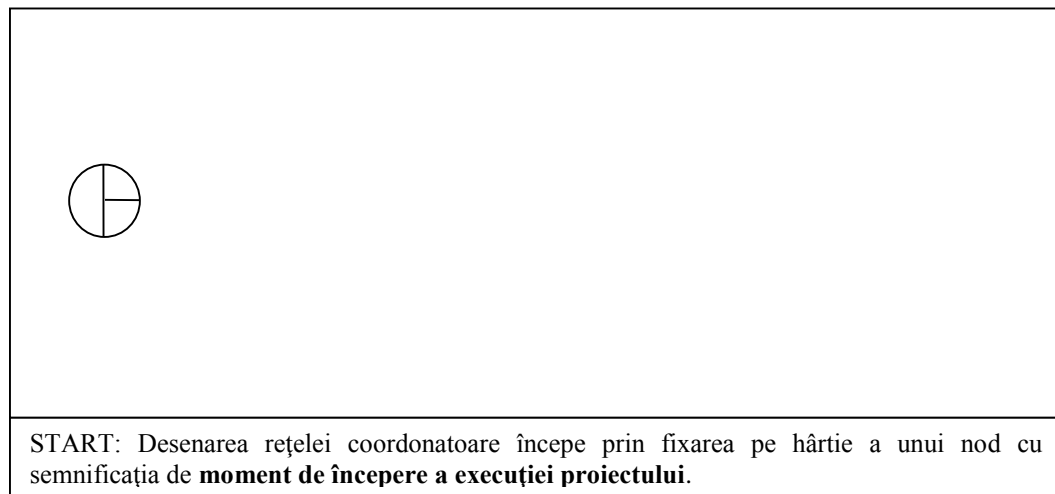
3) **Se recomandă ca în momentul inserării unei noi activități în rețea să nu se deseneze și nodul final al arcului corespunzător**. Acesta poate fi nod final și pentru alte arce corespunzătoare unor activități încă nereprezentate.

4) La epuizarea listei de activități se va constata că unul sau mai multe arce nu au încă nod final. Aceste arce corespund **activităților finale** din proiect adică acelor activități care nu mai

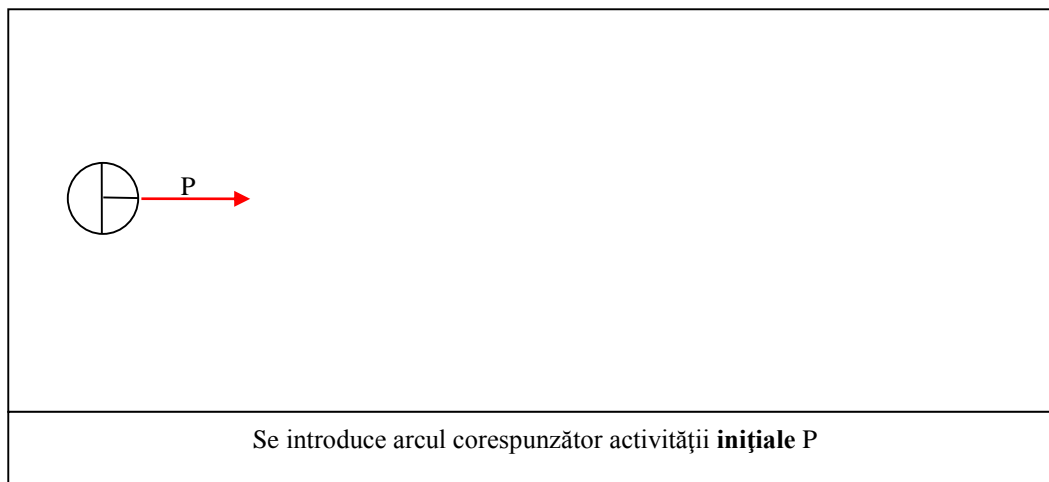
preced nici o altă activitate. Tuturor acestor arce li se va asigura un **același nod final** cu semnificația de moment de terminare a proiectului.

5) După desenarea rețelei se recomandă ca nodurile să fie **numerotate** în vederea identificării activităților prin perechea de noduri extremități. Nodul care semnifică începerea proiectului se numește de obicei cu **zero**. Numerotarea trebuie astfel făcută încât pentru orice arc numărul de ordine al extremității inițiale să fie mai mic decât numărul de ordine al extremității finale (chiar și pentru activitățile fictive).

**Exemplul 5** Diagramele din figurile 6.1 – 6.8 redau reprezentarea „în dinamică” a proiectului din exemplul 4

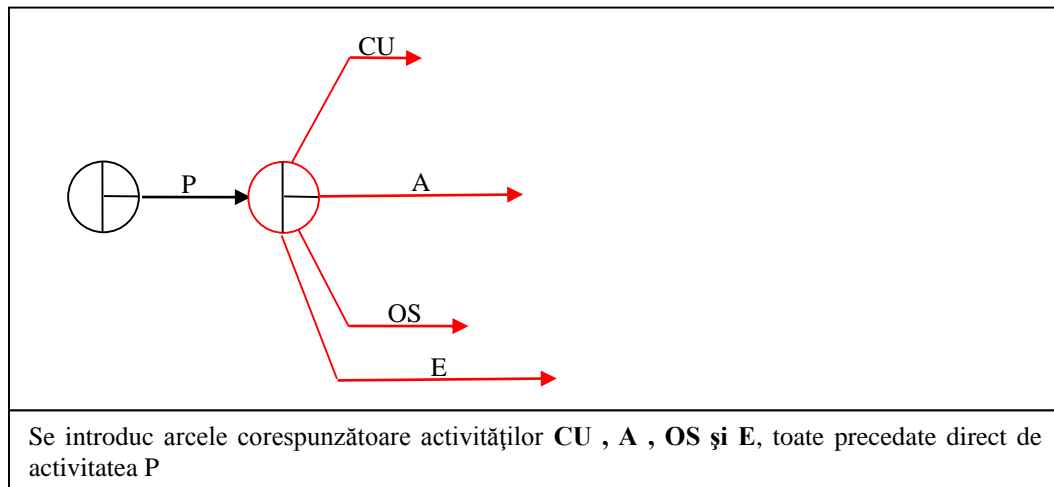


**Figura 6.1**

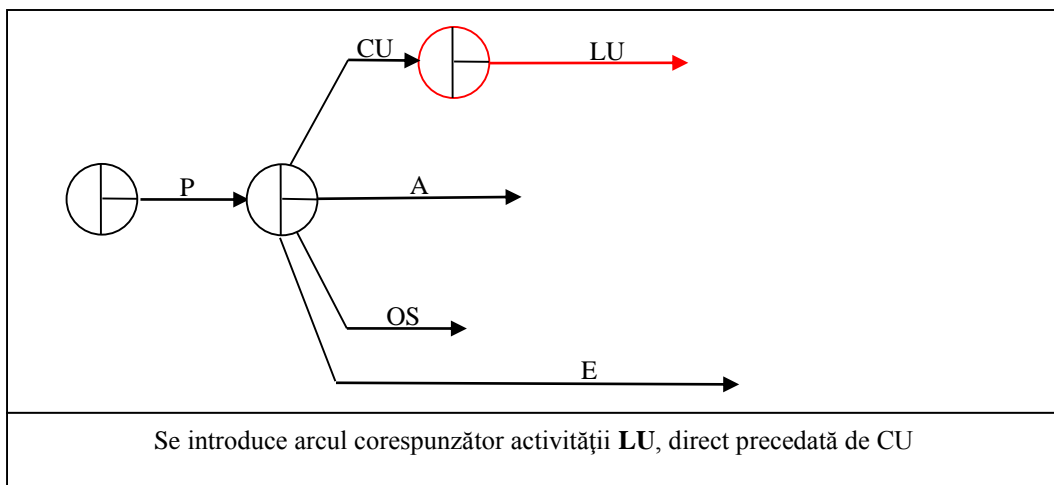


**Figura 6.2**

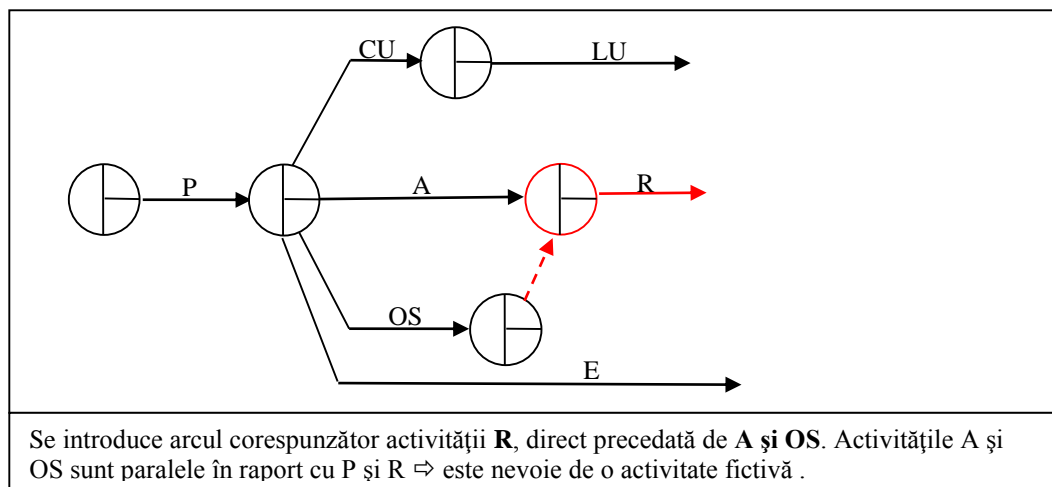




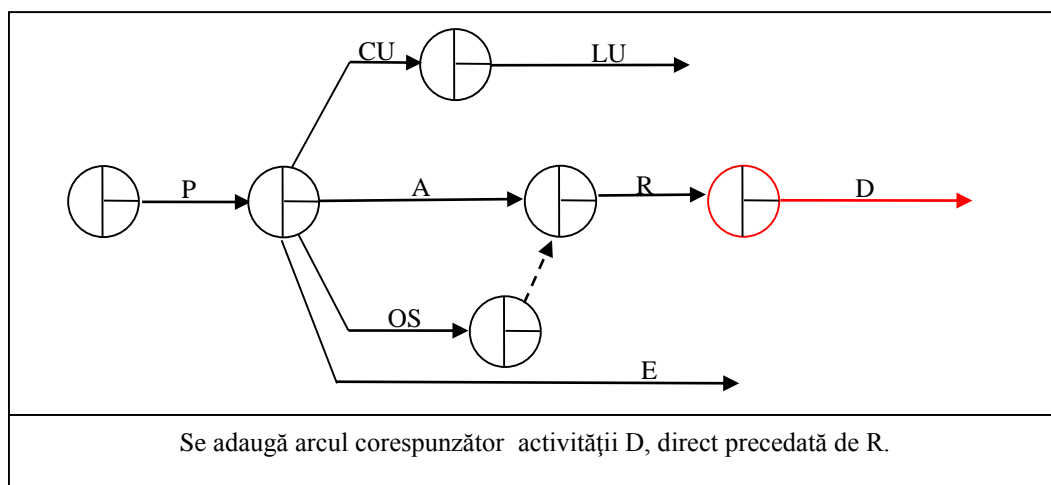
**Figura 6.3**



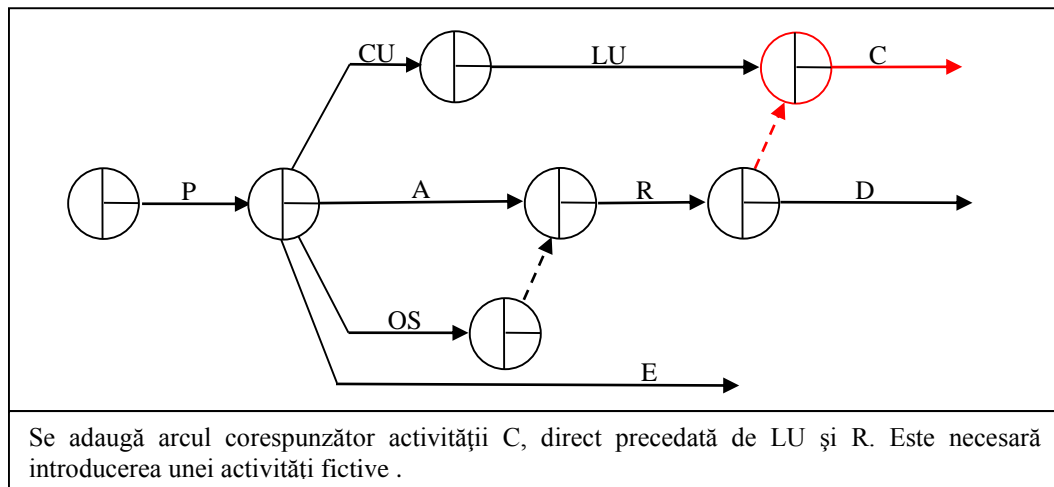
**Figura 6.4**



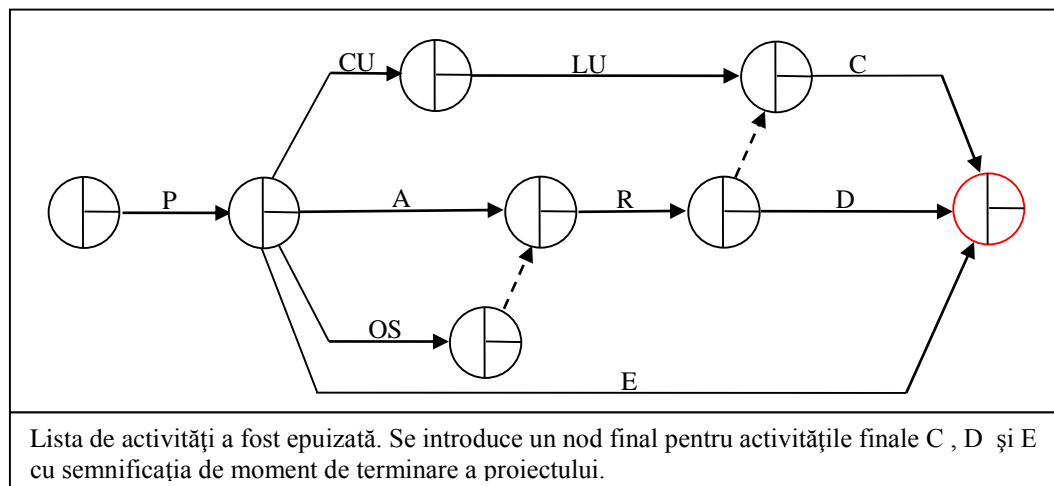
**Figura 6.5**



**Figura 6.6**

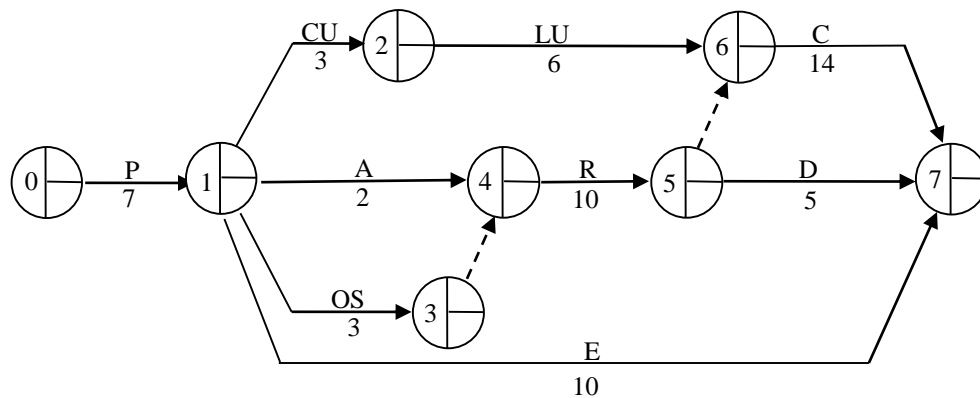


**Figura 6.7**



**Figura 6.8**

În final numerotăm nodurile și adăugăm duratele activităților - vezi figura 7



**Figura 7**

### 4.3. Analiza rețelei coordonatoare AoA

#### Obiective și notații

Analiza rețelei coordonatoare este un **proces de calcul** prin care se obțin următoarele **rezultate**:

- **Durata minimă de execuție a proiectului** ținând cont numai de duratele activităților și de precedentele directe dintre ele;

- **Activitățile critice și termenele de începere și terminare ale acestora.** Activitățile critice sunt acele activități care condiționează nemijlocit realizarea proiectului la termenul minim stabilit;

- **Termenele extreme și rezerva totală** pentru fiecare activitate necritică. Termenele extreme sunt **termenul cel mai devreme/timpuriu de începere** și respectiv **termenul cel mai târziu de terminare** al unei activități.

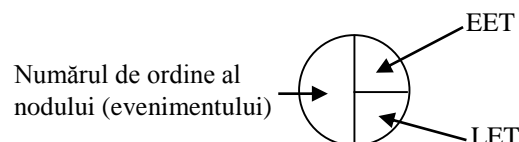
- **Rezerva totală** este diferența dintre cele două termene extreme din care se scade durata activității.

Fiecărui **nod**  $i$  se atașează două termene:

**EET**  $\equiv$  termenul timpuriu de producere (Earliest Event Time)

**LET**  $\equiv$  termenul târziu de producere (Latest Event Time)

Aceste termene se înscriu în sigla nodului respectiv:



**Figura 8**

Durata unei activități reprezentate în rețea prin arc  $(i, j)$  va fi notată cu  $d_{ij}$ .

Calculul termenelor asociate nodurilor se face în doi pași.

### Pasul înainte (forward step)

În pasul înainte – de la nodul inițial către cel final – se calculează termenele timpurii de producere EET după următoarea schemă iterativă:

- pentru nodul inițial (care semnifică începerea proiectului) se ia **EET = 0**.
- pentru celelalte noduri se aplică judecata rezultată din următorul exemplu (figura 9.1):

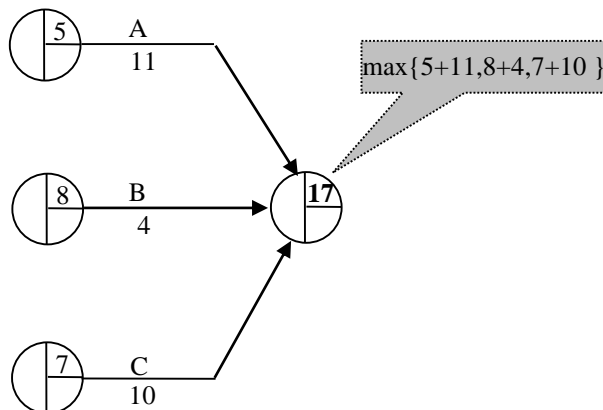


Figura 9.1

și anume: **un eveniment nu se poate produce mai devreme de terminarea unei activități, căreia îi servește drept moment de încheiere.**

Formal, pentru orice nod  $j \neq 0$

$$EET(j) = \max \{ EET(i) + d_{ij} \}$$

(1)

maximul fiind luat după toate activitățile  $(i, j)$  al căror nod final este  $j$ .

**Concluzia 1:** termenul timpuriu de producere **EET(j)** reprezintă durata celei mai lungi secvențe de activități succesive care începe din nodul 0 și sfârșește în nodul  $j$ . În particular, **termenul timpuriu de producere al evenimentului care semnifică terminarea proiectului reprezintă durata celei mai lungi/complete secvențe de activități succesive existente în proiect și în consecință indică durata minimă de execuție a proiectului.**

**Exemplul 6** După efectuarea pasului înainte în rețeaua coordonatoare a proiectului de construire a unei hale industriale (figura 7) putem concluziona că lucrarea – așa cum a fost concepută și structurată în tabelul 1 – s-ar termina în **34 de luni**, cu condiția respectării duratelor stabilite. Pentru identificarea activităților care **condiționează nemijlocit termenul final** vom efectua:

### Pasul înapoi (backward step)

În acest pas – executat de la nodul final către cel inițial – se calculează termenele târzii de producere **LET** după următoarea schemă iterativă:

- pentru nodul final se ia **LET**  $\equiv$  **EET** (EET este calculat în finalul pasului înainte)
- pentru celelalte noduri se aplică judecata rezultată din următorul exemplu:

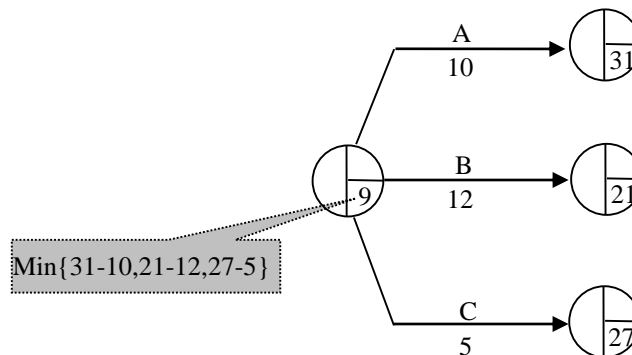


Figura 9.2

și anume: **un eveniment nu se poate produce mai târziu de începerea unei activități careia îi sevește drept moment de start.**

Formal, pentru orice nod  $i \neq$  nodul final:

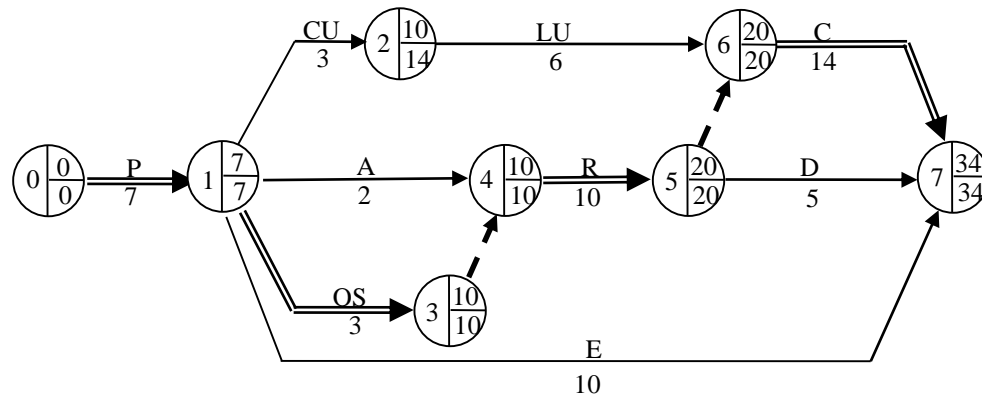
$$LET(i) = \min \{LET(j) - d_{ij}\} \quad (2)$$

Minimul fiind luat după toate activitățile  $(i, j)$  al căror nod inițial este  $i$ .

**Concluzia 2 :** dacă se notează cu  $T^*$  durata execuției proiectului (deja calculată în pasul înainte) atunci  $T^* - LET(i)$  reprezintă **durata celei mai lungi secvențe** de activități succesive care începe din nodul  $i$  și sfârșește în nodul final al rețelei coordonatoare.

### Activități critice. Drumul critic

**Exemplul 7** După executarea celor doi pași în rețeaua AoA din exemplul 5 rezultă termenele din figura 10.



**Figura 10**

Nodurile rețelei coordonatoare se împart în două categorii (pentru ilustrare, vezi figura 10):

- **noduri critice**, caracterizate de egalitatea celor două termene de producere a evenimentului respectiv. În cazul analizat nodurile 0,1,3,4,5,6,7 sunt critice.
- **noduri necritice** pentru care  $EET < LET$ , cum este nodul 2.

**DEF 4.** Se numește **activitate critică** o activitate cu proprietățile:

- **arcul reprezentativ** este plasat între două noduri critice;
- **diferența dintre termenele de producere ale evenimentelor extremități este egală cu durata activității.**

Se observă că **suma duratelor activităților critice este egală cu durata (minimă) de execuție a proiectului**. Dacă includem și eventualele activități fictive, arcele asociate activităților critice constituie un drum de la nodul inițial (începerea proiectului) la cel final (terminarea proiectului). Acest drum se numește **drum critic** și este dat de **mulțimea de activități succesive cu cea mai mare durată totală de execuție (concluzia 1)**

### Termenele activităților. Rezerva totală

Fiecărei activități  $i$  se asociază două **termene extreme** care rezultă direct din calculele efectuate în cei doi pași:

- **Termenul cel mai devreme /timpuriu de începere/start**, abreviat **EST**  $\equiv$  Earliest Starting Time, este egal cu termenul timpuriu de producere a evenimentului **sursă**;

- **Termenul cel mai târziu de terminare**, abreviat **LFT**  $\equiv$  Latest Finishing Time, egal cu termenul târziu de producere al evenimentului **adresă**.

Pe baza acestor termene, putem calcula:

- **Termenul cel mai devreme/timpuriu de terminare**, abreviat **EFT**  $\equiv$  Earliest Finishing Time

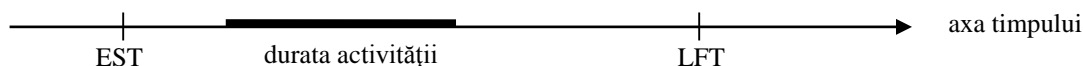
$$\text{EFT} = \text{EST} + \text{durata activității}$$

- **Termenul cel mai târziu de începere**, abreviat **LST**  $\equiv$  Latest Starting Time

$$\text{LST} = \text{LFT} - \text{durata activității}$$

Pentru activitățile critice termenele de începere – timpuriu și târziu – ca și cele de terminare, timpuriu și târziu, coincid.

Deci, fiecărei activități i s-a determinat un interval de timp în care se poate realiza fără a încălca precedențele sau termenul final al proiectului



**Figura 11.1**

În acest cadru definim:

$$\begin{aligned} \text{Rezerva totală} \\ \text{a unei activități} &= \text{LFT} - \text{EST} - \text{durata activității} = \begin{cases} \text{LFT} - \text{EFT} \\ \text{sau} \\ \text{LST} - \text{EST} \end{cases} \end{aligned}$$

**Figura 11.2**

**DEF.** Rezerva totală este intervalul maxim de timp cu care poate fi amânată o activitate de la termenul ei timpuriu de începere fără ca amânarea să afecteze termenul final al proiectului.

**OBSERVATIE.** Rezerva unei activități critice este zero și ca urmare, orice abatere (întârzieri, întreruperi) de la termenele ei de începere și terminare stabilite are ca efect nerespectarea termenului final al proiectului.

**Exemplul 8** În tabelul 2 au fost calculate termenele și rezervele totale ale activităților proiectului din exemplul 4 pe baza termenelor evenimentelor rețelei coordonatoare din figura 10



Activitate	Durata	Termene de începere		Termene de terminare		Rezerva totală
		EST	LST	EFT	LFT	
<b>P</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>0</b>
A	2	7	8	9	10	1
CU	3	7	11	10	14	4
<b>OS</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>0</b>
LU	6	10	14	16	20	4
<b>R</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>0</b>
D	5	20	29	25	34	9
<b>C</b>	<b>14</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	<b>0</b>
E	10	7	24	17	34	17

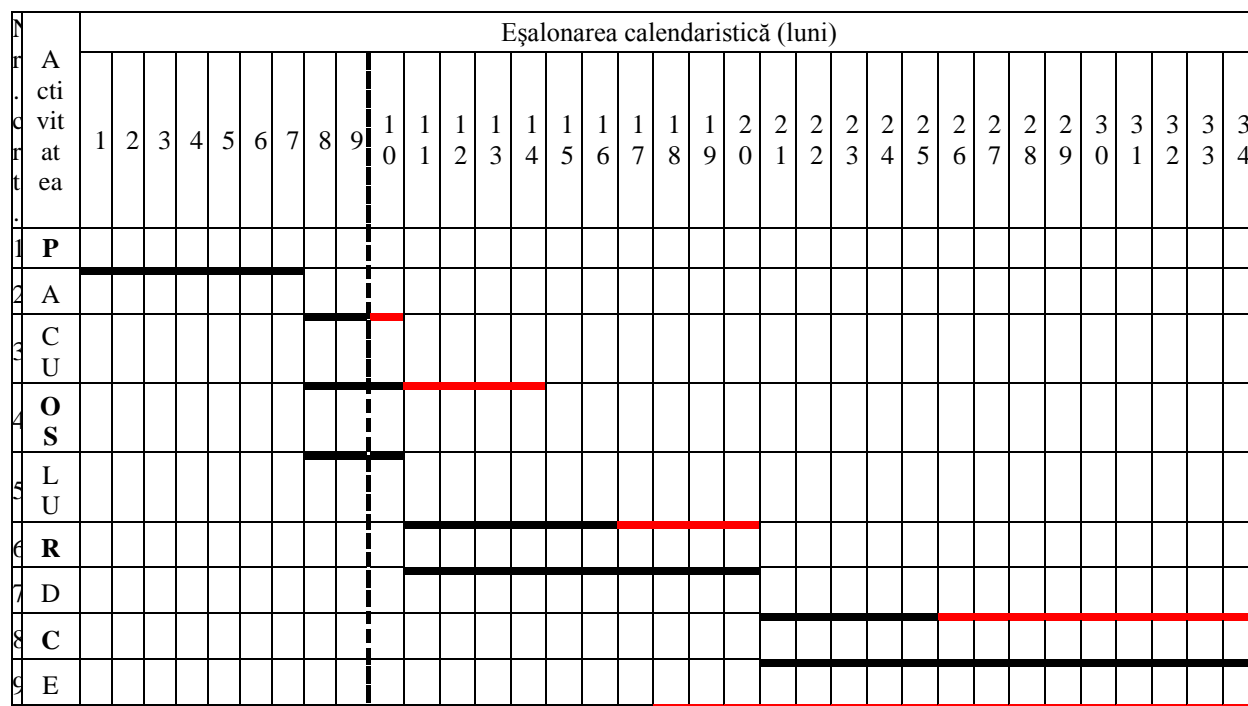
**Tabelul 2**

#### 4.4. Diagrama Gantt

**Diagrama Gantt** –autor Henry Gantt (1861 – 1918) - **este o modalitate sugestivă de reprezentare a rezultatelor analizei rețelei coordonatoare a unui proiect**, utilă atât în faza de **planificare** cât mai ales în cea de **urmărire** a executării acestuia. În esență, ea este un „calendar” menit să arate la un moment dat „ce s-a făcut, ce este în curs de execuție și ce ar mai trebui făcut”.

**Exemplul 7** În figura 5 este dată diagrama Gantt pentru proiectul din exemplul 4. Fiecare activitate a fost reprezentată printr-un segment orizontal (în negru) a cărui lungime este proporțională cu durata ei. **Plasarea segmentului pe axa timpului s-a făcut la termenul cel mai devreme de începere al activității (EST)**, rezultat din calcule și asta pentru a putea beneficia – la nevoie – de întreaga rezervă totală, evidențiată de segmentul roșu alăturat.

O secțiune „verticală” în diagramă evidențiază stadiul „virtual” al lucrărilor. Astfel, la 9 luni de la începerea construcției halei, „proiectarea  $\equiv P$ ” și „obținerea avizelor de execuție  $\equiv A$ ” ar trebui încheiate în timp ce „emiterea comenzilor pentru utilaje  $\equiv CU$ ”, „organizarea de șantier  $\equiv OS$ ” și „instruirea personalului  $\equiv E$ ” s-ar afla în diferite stadii de realizare.



**Figura 5**

**Prioritară** ar fi menținerea activității critice OS în orarul stabilit, în timp ce o eventuală amânare sau întrerupere a derulării activităților necritice CU și E – bineînțeles în limite rezonabile (adică ale rezervelor totale) – nu ar afecta termenul final al lucrării.

## 5 Reprezentarea pe noduri (AoN) a structurii unui proiect

În reprezentarea AoN activitățile proiectului se identifică cu nodurile rețelei coordonatoare. Arcele acestea pun în evidență precedențele directe dintre activități.

**Exemplul 1.** Compania X, deținătoarea unui mare complex comercial, a luat în studiu un proiect de extindere a complexului prin care se speră atragerea noi clienți interesați în dezvoltarea unor afaceri comerciale. În tabelul 1 este dată lista principalelor **activități** ce compun acțiunea de extindere împreună cu **duratele estimate** (în săptămâni) și precedențele directe.

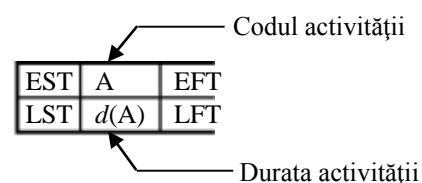
Nr. crt.	Descrierea activității	Codul activității	Activități direct precedente	Durata (săptămâni)
1	Elaborarea schițelor și a planurilor de construcție pentru extindere	A	–	5
2	Identificarea potențialilor clienți care vor închiria noile spații construite	B	–	6
3	Elaborarea ofertei către noii clienți	C	A	4
4	Alegerea constructorului	D	A	3
5	Elaborarea avizelor pentru construcție	E	A	3
6	Obținerea aprobărilor pentru construcție din partea autorităților	F	E	4
7	Construcția propriu zisă	G	D , F	14
8	Finalizarea contractelor de închiriere cu noii clienți	H	B , C	12
9	Instalarea noilor clienți în spațiile închiriate	I	G , H	2

**Tabelul 1**

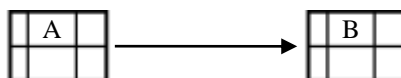
### 5.1 Instrucțiuni de reprezentare AoN

- O activitate A este reprezentată printr-un dreptunghi compartimentat ca în diagrama din figura 1

Faptul că activitatea A precede direct activitatea B va fi reprezentat prin diagrama din figura 2:



**Figura 1**



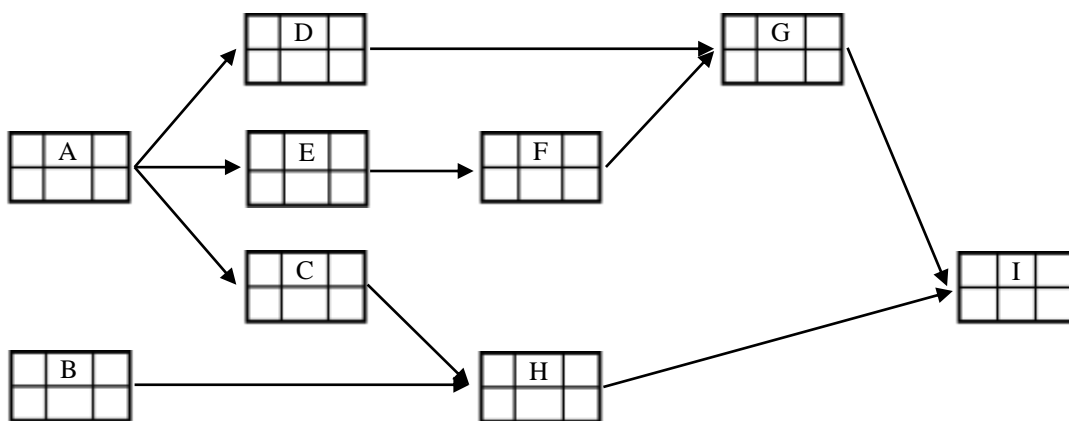
**Figura 2**

Folosirea **reprezentării AoN** cere :

- **Existența unei singure activități inițiale** (adică fără activități predecesoare). Dacă în proiect există mai multe activități inițiale se va adăuga o **activitate fictivă cu durata zero și notată cu \***, care precede toate activitățile inițiale reale.

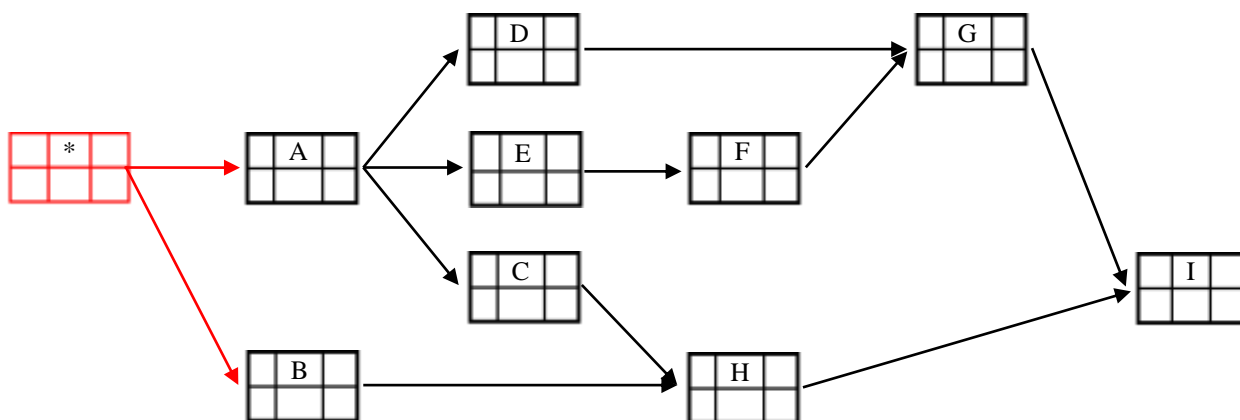
- **Existența unei singure activități finale** (adică fără activități succesoare). Dacă în proiect există mai multe activități finale se va adăuga o **activitate fictivă cu durata zero și notată cu \*\***, direct precedată de toate activitățile finale reale.

**Exemplul 2** Reprezentarea AoN a structurii proiectului din exemplul 1 este dată în figura 3



**Figura 3**

Proiectul are două activități inițiale A și B și o singură activitate finală, I. Completăm desenul cu încă o activitate, fictivă cu durata zero care precede direct activitățile inițiale reale A și B. Obținem rețeaua coordonatoare AoN din figura 4



**Figura 4**

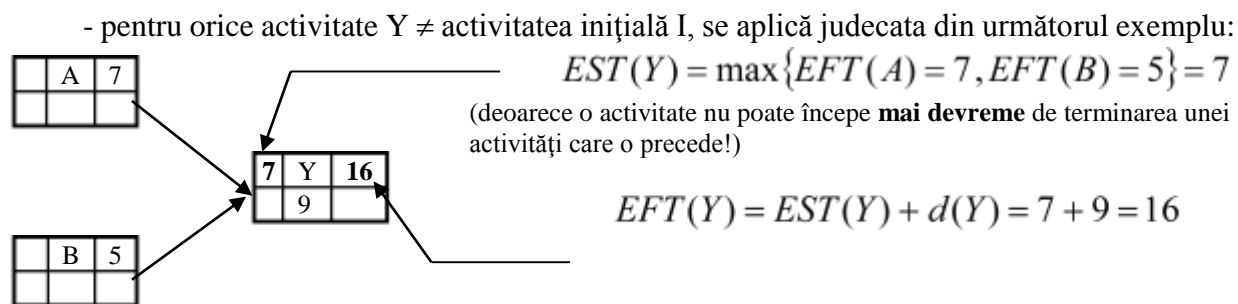
## 5.2 Calculul termenelor activităților. Drumul critic

Analiza rețelei coordonatoare AoN a unui proiect coincide cu cea a rețelei AoA corespunzătoare, diferă numai forma de prezentare. Astfel:

**I) În pasul înainte, de la nodul inițial către cel final, se calculează termenele timpurii de începere și terminare ale activităților, după schema iterativă:**

- pentru (unica) activitate inițială I – reală sau fictivă – se va lua:

$EST(I) = 0$  ,  $EFT(I) = EST(I) + d(I) = d(I)$  - am notat cu  $d(X)$  durata activității X.



**Figura 5**

La terminarea pasului înainte, vom cunoaște durata minimă de execuție a proiectului; ea este dată de termenul timpuriu de terminare al (unicei) activități finale.

II) În pasul înapoi, de la nodul final către cel inițial, se calculează termenele târzii de începere și terminare ale activităților, după schema iterativă:

- pentru (unica) activitate finală F – reală sau fictivă – se va lua:

$$LFT(F) = EFT(F) \quad , \quad LST(F) = LFT(F) - d(F)$$

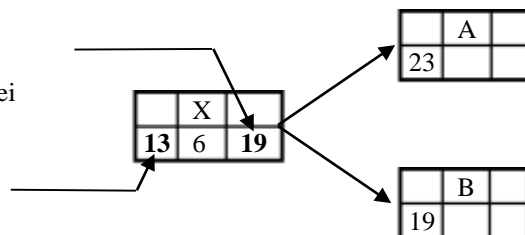
- pentru o activitate oarecare X, diferită de activitatea finală F, se aplică judecata din exemplul următor:

**Figura 6**

La terminarea pasului înapoi vom cunoaște activitățile care condiționează nemijlocit

$LFT(X) = \min\{LST(A) = 23, LST(B) = 19\} = 19$   
 (deoarece o activitate nu se poate termina **mai târziu** de momentul începerii unei activități pe care o precede )

$$LST(X) = LFT(X) - d(X) = 19 - 6 = 13$$



termenul final al proiectului. Este vorba de activitățile critice, caracterizate prin aceea că termenele lor de începere sau de terminare, timpuriu și târziu, coincid.

**Exemplul 3** Calculele termenelor activităților proiectului din exemplul 1 sunt date în figura 7.

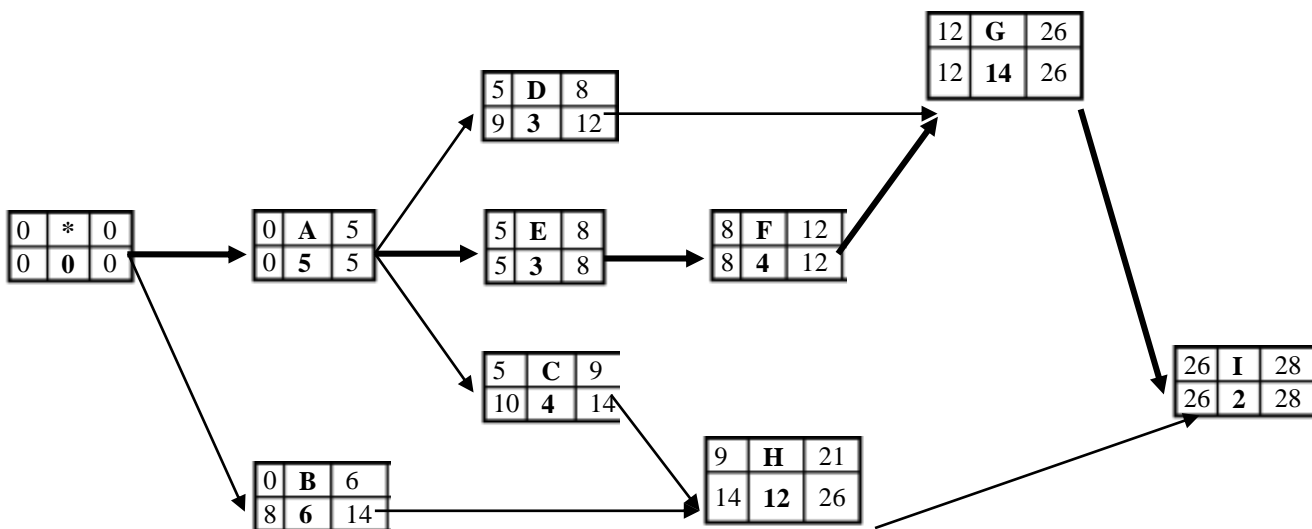


Figura 7

### Concluzii:

**Durata minimă** de execuție a proiectului este de 28 de săptămâni. **Activitățile critice** (reale) sunt A , E , F , G și I.

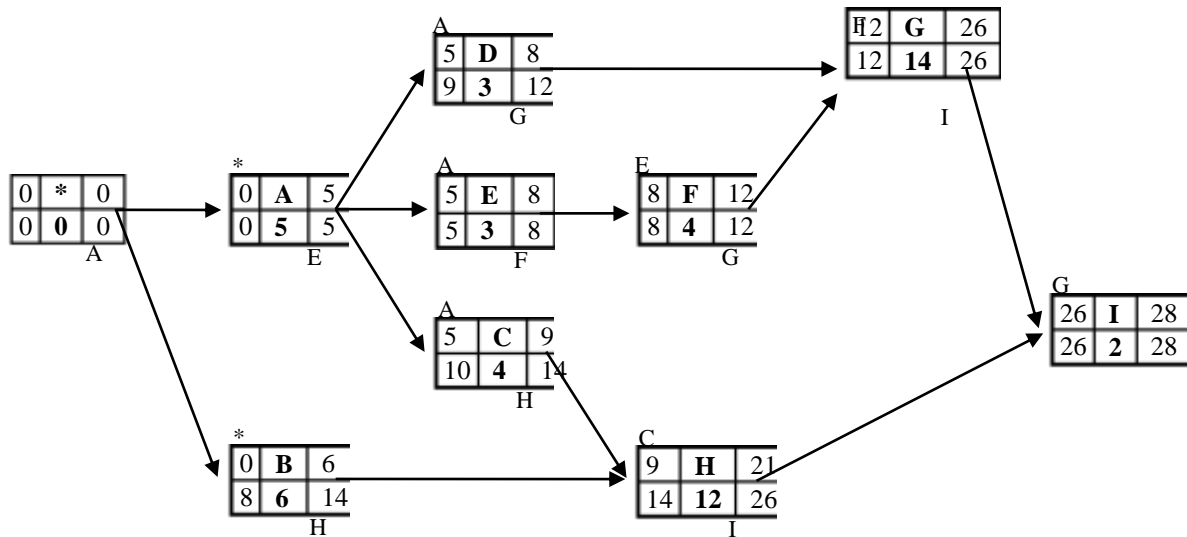
**Rezerva totală a unei activități se citește din rețea ca diferență a termenelor de începere, timpuriu și târziu – egală și cu diferența termenelor de terminare, timpuriu și târziu.**

De exemplu, rezerva activității C este de  $10 - 5 = 14 - 9 = 5$  săptămâni.

**Identificarea secvențelor maxime** asociate activităților proiectului se face cu un procedeu de etichetare , adaptat specificului reprezentării AoN:

- **etichetele „superioare”** se pun la **pasul înainte** – în colțul din stânga sus – și rețin activitățile în care se realizează maximul formulei din figura 5
- **etichetele „inferioare”** se pun la **pasul înapoi** – în colțul din dreapta jos – și rețin activitățile în care se realizează minimul formulei din figura 6

În figura 8 s-a reluat calculul termenelor activităților proiectului de referință (făcut deja în figura 7) aplicându-se totodată și procedeu de etichetare.



**Figura 8**

În tabelul 2 sunt date secvențele maximale asociate tuturor activităților proiectului de referință, duratele secvențelor și rezervele totale ale activităților.

Activitate	Secvența maximală asociată	Durata secvenței	Rezerva totală a activității
A , E , F , G , I	* → A → E → F → G → I	28	0
D	* → A → D → G → I	24	4
C , H	* → A → C → H → I	23	5
B	* → B → H → I	20	8

**Tabelul 2**

## 6 Alocarea resurselor

Executarea activităților unui proiect implică utilizarea unor mijloace cum ar fi **forța de muncă** – cu diferite calificări – și **utilajele specializate**, denumite generic **resurse**.

În general, aceste resurse sunt **disponibile**, la un moment sau altul, în **cantități limitate** astfel că planificarea activităților trebuie să țină seama nu numai de **condiționările** dintre ele și de **duratele** lor dar și de **necesitatea încadrării necesarului de resurse în disponibilități pe tot parcursul derulării proiectului**. Aceasta este în esență **problema alocării resurselor**.

### 6.1. Preliminarii

**Ipoteze de lucru :**

- **Disponibilul oricărei resurse este constant pe tot parcursul execuției proiectului** (în vederea ridicării unui imobil, constructorul are la dispoziție 6 fierari- betoniști, 10 zidari, 8 tâmplari, 15 muncitori necalificați, un escavator...)

- **Necesarul dintr-o resursă în vederea executării unei activități este constant pe toată durata activității** (în proiectul ridicării unui imobil, activitatea „cofraje și armături” cu durata de 3 zile are nevoie – în fiecare zi – de 6 fierari betoniști, 4 tâmplari și 8 muncitori necalificați).

În continuare folosim **notațiile**:

$H \equiv$  mulțimea resurselor considerate;

$b_h \equiv$  disponibilul din resursa  $h \in H$  asigurat și constant pe toată durata de realizare a proiectului;

$r_{ih} \equiv$  necesarul din resursa  $h \in H$  pentru activitatea  $i$  presupus constant pe toată durata executării activității.

În mod firesc vom presupune că  $r_{ih} \leq b_h$  pentru orice resursă  $h$  și orice activitate  $i$ .

**Exemplul 1** În tabelul 1 este dată lista de activități a unui proiect de reorganizare a unui flux tehnologic.

Activitatea	Activități direct precedente	Durata (zile)	Necesar resurse	
			R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>
A	–	1	2	2
B	–	3	2	3
C	B	5	1	3
D	A	4	1	2
E	A	5	1	1
F	C, D, E	3	<b>2</b>	<b>3</b>
G	C	1	1	2

**Tabelul 1**

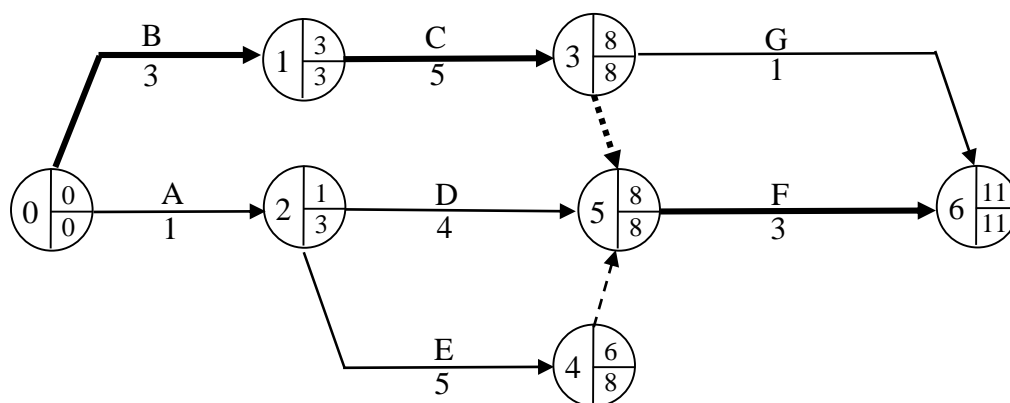


La realizarea proiectului se utilizează două categorii/calificări de forță de muncă **R<sub>1</sub>** și **R<sub>2</sub>**. **De exemplu**, pentru executarea activității F sunt necesari – în fiecare din cele trei zile ale duratei sale – 2 muncitori R<sub>1</sub> și 3 muncitori R<sub>2</sub>. Zilnic sunt **disponibili 3 muncitori R<sub>1</sub> și 5 muncitori R<sub>2</sub>**.

**DEFINIȚIE.** Alocarea resurselor înseamnă stabilirea duratei minime de execuție a proiectului și planificarea în timp a activităților astfel încât:

- să fie respectate duratele activităților și precedențele dintre ele;
- necesarul de resurse să se încadreze în disponibilele limitate date.

- Realizăm o **primă planificare a lucrării fără a ține seama de resurse**, fiind posibil ca rezultatul să satisfacă și condiția încadrării necesarului de resurse în disponibile. Rețeaua coordonatoare AoA este dată în figura 1



**Figura 1**

Dacă am avea resurse suficiente întreaga lucrare s-ar termina în **11 zile**. Disponibilele  $b_1 = 3$  și  $b_2 = 5$  permit acest lucru?

- Pentru răspuns, vom trasa **profilul necesarului din fiecare resursă** și îl vom compara cu **profilul disponibilului din resursa respectivă**, considerând că **toate activitățile încep la termenul timpuriu** rezultat din analiza rețelei coordonatoare – Figurile 2 și 3

Termenele timpurii de începere EST sunt date în tabelul 2

Activitatea	A	B	C	D	E	F	G
EST	0	0	3	1	1	8	8

**Tabelul 2**

Se constată că disponibilul resursei R<sub>1</sub> este depășit în primele trei zile(figura 2); disponibilul din R<sub>2</sub> este depășit din ziua 2 până în ziua 5 (figura 3).

În **concluzie**, cu resursele existente proiectul nu poate fi terminat în 11 zile.

În continuare, o depășire a disponibilului dintr-o resursă sau alta se va numi **conflict de resurse**.

În exemplul de față avem un conflict de resurse în primele cinci zile de la începerea – ipotetică – a execuției proiectului.

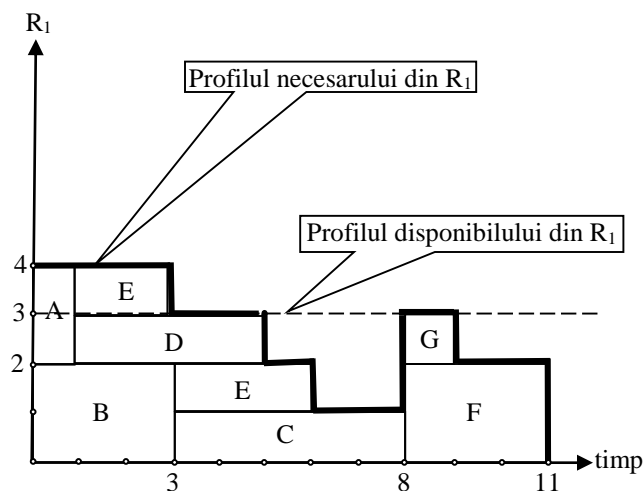


Figura 2

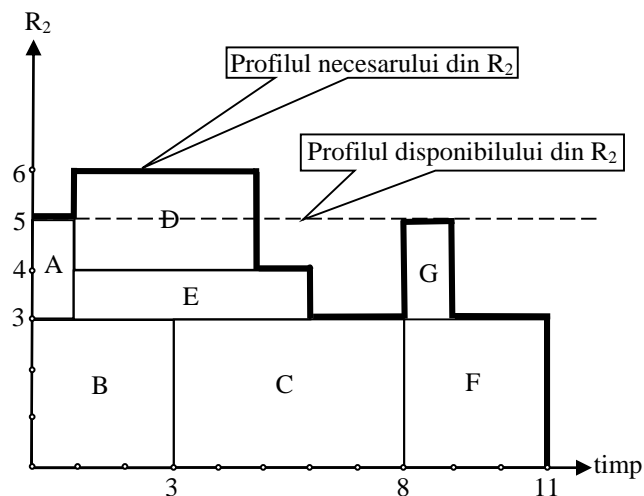


Figura 3

## 6.2. Rezolvarea unui conflict de resurse

În cazul în care, la un moment dat, apare o depășire a necesarului față de disponibil la una sau mai multe resurse, singura cale de rezolvare a conflictului constă în **amânarea** unei activități sau a mai multora care pot începe la momentul respectiv.

**Operația de amânare** este delicată din mai multe motive:

- amânarea unor activități poate antrena amânarea altor activități care depind direct sau indirect de primele;
- rezolvarea unui conflict de resurse la un anumit moment poate modifica conflictele ulterioare în sensul acutizării sau diminuării lor sau poate determina apariția altora noi

Pentru a rezolva problema vom determina o soluție, nu neapărat optimă, dar care:

- este **satisfăcătoare, acceptabilă**;
- se obține **relativ ușor** și în timp **util**.

Un procedeu care conduce la o asemenea soluție se numește **euristică**. O **euristică** pentru rezolvarea unei probleme de optimizare (P) este un **procedeu iterativ** care, în căutarea unei soluții a problemei (P), încearcă să facă, la fiecare pas, **cea mai bună alegere**. În general, **optimizarea locală nu conduce decât în anumite cazuri către soluția optimă**, astfel că rezultatul aplicării unei euristici este de regulă o soluție **suboptimală**, dar destul de apropiată de soluția optimă căutată.

### 6.3. O euristică de alocare a resurselor

Caracteristic euristicilor de alocare a resurselor este faptul că, în rezolvarea unui conflict de **resurse nu se examinează toate alternativele de amânare** ci **numai una** dintre ele, construită pe baza unui **criteriu de prioritate la amânare**, cum ar fi:

- se amână cu prioritate activitatea cu cea mai mare **rezervă actualizată** sau **activitatea cu durata cea mai mică** (**rezerva actualizată** – la un anumit moment - a unei activități este diferența dintre rezerva totală și numărul unităților de timp cu care activitatea a fost amânată în momentele anterioare);

- activitățile amânate se aleg în așa fel încât cele rămase să asigure o **utilizare cât mai bună a resurselor**.

În practică, aceste criterii se utilizează fie separat fie în combinație.

#### Notații și termeni:

- fiecare activitate va avea atașat un **termen potențial de începere** (abreviat **TPI**) care se poate modifica pe parcurs. La start, **TPI** se inițializează cu termenul timpuriu de începere **EST** al activității.

- pe parcursul derulării algoritmului, activitățile proiectului se împart în:

- activități **programate** (cu resursele necesare asigurate);
- activități (încă) **neprogramate**.

În momentul în care o activitate este declarată programată, termenul ei potențial de începere devine **termen definitiv de începere** și nu va mai putea fi modificat în etapele ulterioare ale algoritmului. La **start**, toate activitățile proiectului sunt neprogramate.

- programarea activităților, cu luarea în considerare și a asigurării resurselor necesare, se face la anumite momente de timp. **Momentul curent**, notat **t**, este **minimul** termenelor potențiale de începere **ale activităților (încă) neprogramate**. La start **t = 0**.

- în raport cu momentul curent de programare **t** activitățile programate pot fi

- **terminate**  $\equiv$  termenul definitiv de terminare  $\leq t$ ;

sau

- **în curs de desfășurare**  $\equiv$  termenul definitiv de terminare  $> t$ .

Printre activitățile (încă) neprogramate vom distinge **activitățile candidate la programare**: este vorba de activitățile al căror termen potențial de începere este egal cu **t**.

Vom nota cu  $\mathcal{A}$  mulțimea de **activități în curs de desfășurare sau candidate** la programare la momentul **t**

- la fiecare moment de programare **t** vom compara disponibilul de resurse cu necesarul pentru susținerea activităților din  $\mathcal{A}$ . Diferența:

$$\Delta_h = b_h - \sum_{i \in \mathcal{A}} r_{ih}$$

se numește **indicator de amânare**. Dacă  $\Delta_h \geq 0$ ,  $(\forall) h \in H$  există suficiente resurse pentru susținerea simultană a tuturor activităților din  $\mathcal{A}$ . În caz contrar unele activități din  $\mathcal{A}$ , evident dintre cele candidate, vor fi amânate. Modul în care se aleg activitățile ce vor fi amânate – a căror mulțime se va nota cu  $\mathcal{D}$  - depinde de criteriul de prioritate la amânare adoptat. În ceea ce privește

noul termen potențial de începere al activităților amânate, acesta se va fixa cel mai devreme cu putință dar, în așa fel, încât să nu afecteze „susținerea cu resurse” a activităților programate.

### Schema generală a euristicilor de alocare a resurselor:

#### START

- trasăm **rețeaua coordonatoare** (AoA sau AoN ) și **calculăm termenele timpurii de începere ale activităților luând în considerare numai duratele și condiționările dintre activități.**

- trasăm **profilul necesarului din fiecare resursă considerând că toate activitățile încep la termenele timpurii.**

- dacă pentru fiecare resursă profilul necesarului nu depășește profilul disponibilului **STOP:** prin programarea făcută sunt asigurate și resursele necesare susținerii tuturor activităților din proiect.

În caz contrar:

- pentru fiecare activitate inițializăm:

**Termenul potențial de începere**  $TPI = EST \equiv$  termenul timpuriu de începere, calculat mai înainte

- **toate activitățile proiectului se declară neprogramate**

- se fixează **criteriul de prioritate** care va fi folosit în rezolvarea conflictelor de resurse.

Notă: în principiu, se pot utiliza mai multe criterii de prioritate, fie separat fie în combinație.

#### Conținutul unei iterații

**Pasul 1** Dacă toate activitățile proiectului au fost declarate programate **STOP.** În caz contrar:

Se determină:

- momentul curent de programare **t** = minimul termenelor potențiale de începere ale activităților neprogramate.

- se formează mulțimea  $\mathcal{A}$  compusă din:

- activitățile **în curs** de desfășurare la momentul **t**;

- activitățile **candidate** la programare la momentul **t**.

- se calculează indicatorii de amânare:

$$\Delta_h = b_h - \sum_{i \in \mathcal{A}} r_{ih}, h \in H$$

**Pasul 2** Dacă  $\Delta_h \geq 0, h \in H$  se pune  $\mathcal{A}' = \mathcal{A}, \mathcal{D} = \emptyset$  și se trece la **pasul 4.** Dacă pentru cel puțin o resursă avem  $\Delta_h < 0$  se trece la **pasul 3.**

**Pasul 3.** Se formează mulțimea  $\mathcal{D}$ , compusă din activitățile candidate din  $\mathcal{A}$  ce urmează a fi amânate pe baza criteriilor de prioritate la amânare avute în vedere. Se pune  $\mathcal{A}' = \mathcal{A} - \mathcal{D}$ .

Notă: **Este de dorit ca  $\mathcal{D}$  să fie cât mai „mică” deoarece activitățile candidate din  $\mathcal{A}$  și neincluse în  $\mathcal{D}$  vor putea fi programate.**

**Pasul 4** Se programează activitățile **candidate** din  $\mathcal{A}'$  - dacă sunt - să înceapă, **definitiv**, la momentul **t**. Aceste activități se declară **programate**.

Dacă  $\mathcal{D} = \emptyset$  se revine la **pasul 1**. Dacă  $\mathcal{D} \neq \emptyset$  se trece la **pasul 5**

**Pasul 5** Tuturor activităților din  $\mathcal{D}$  li se fixează un nou **TPI** egal cu **minimul termenelor definitive de terminare ale activităților din  $\mathcal{A}'$** . Dacă este cazul se vor modifica și TPI ale activităților care depind direct sau indirect de activitățile amânate.

Se revine la **pasul 1** în cadrul unei noi iterații.

\*\*\*

**Exemplul 2** Euristică descrisă va fi aplicată proiectului din exemplul dat anterior. În operațiile de amânare se va folosi **criteriul rezervei actualizate combinat cu criteriul utilizării eficiente a resurselor**.

Reamintim că rezerva actualizată a unei activități candidate la programare la momentul **t** este rezerva totală inițială diminuată cu numărul unităților de timp cu care activitatea a fost amânată la momentele de programare anterioare lui **t**. Obținem imediat formula:

$$R^{\text{act}} = LFT - t - \text{durata activității} = LST - t$$

unde LST și LFT sunt termenele târzii de începere, respectiv de terminare ale activității în cauză. Atenție: **o rezervă actualizată negativă indică depășirea duratei de execuție a proiectului stabilită inițial, fără a ține seama de resurse.**

Rezultatele aplicării procedurii au fost înscrise progresiv în tabelul 3

**Start** Etapele premergătoare au fost parcurse în exemplul 3 de unde a rezultat necesitatea aplicării euristicii de alocare a resurselor.

Termenele timpurii de începere ale activităților au fost înscrise în coloana „start” a tabelului ca termene potențiale de începere.

### Iterația 1

**Pasul 1**  $t = 0$

$$\mathcal{A} = \{A, B\}$$

$$\Delta_1 = 3 - (2 + 2) < 0 \quad \Delta_2 = 5 - (2 + 3) = 0$$

**Pasul 2** Resursa  $R_1$  nu este suficientă pentru susținerea simultană a activităților A și B.

**Pasul 3** Se observă ușor că pentru rezolvarea conflictului de resurse apărut la momentul 0 este suficientă amânarea uneia dintre activitățile A, sau B. Conform celor convenite din start, are prioritate activitatea cu rezerva mai mare:

$$R(A) = 3 - 0 - 1 = 2 \quad R(B) = 3 - 0 - 3 = 0 \rightarrow \text{se amână A.}$$

În notațiile generale:  $\mathcal{D} = \{A\}$ ,  $\mathcal{A}' = \mathcal{A} - \mathcal{D} = \{B\}$

**Pasul 4** Se programează B să înceapă, definitiv, la momentul 0. Trecem acest termen în coloana „termene definitive de începere” a tabelului după care notăm și termenul definitiv de terminare. În coloana „Iterația 1” trecem un \* în dreptul activității B, semn că aceasta a fost declarată programată.

**Pasul 5** Pentru activitatea amânată A fixăm un nou TPI egal cu termenul definitiv de terminare al activității programate B:  $TPI(A) = 3$ , Trecem acest termen în coloana „Iterația 1”  
 Rețeaua coordonatoare arată că activitățile D și E nu pot începe acum mai devreme de termenul  $3 + 1 = 4$ . Completăm coloana „Iterația 1” cu  $TPI(D) = 4$ ,  $TPI(E) = 4$ .

Amânarea activității E implică și amânarea începerii activității F la termenul  $TPI(F) = 4 + 5 = 9$ .  
 Activitățile C și G își mențin TPI, nefiind condiționate de activitățile amânate.

**Coloana „Iterația 1” este acum completă.** Se poate trece la:

## Iterația 2

**Pasul 1**  $t = 3$

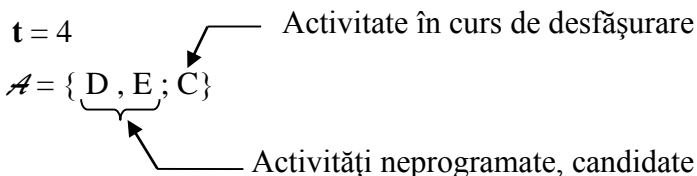
$$\mathcal{A} = \{A, C\}$$

$$\Delta_1 = 3 - (2 + 1) = 0 \quad \Delta_2 = 5 - (2 + 3) = 0$$

**Pasul 2** Resursele sunt suficiente pentru susținerea simultană a activităților A și C

**Pasul 4** Se programează A și C să înceapă, definitiv, la momentul 3. Celelalte activități își mențin termenele potențiale de începere curente. (vezi coloana „Iterația 2” din tabelul 3 )

## Iterația 3



$$\Delta_1 = 3 - (1 + 1 + 1) = 0 \quad \Delta_2 = 5 - (2 + 1 + 3) < 0$$

Va trebui să amânăm una dintre activitățile candidate D sau E.

- după criteriul rezervei, actualizate la momentul  $t = 4$ :

$$R^{\text{act}}(D) = 8 - 4 - 4 = 0$$

$$R^{\text{act}}(E) = 8 - 4 - 5 = -1$$

→ ar trebui amânată D.

- după criteriul utilizării eficiente a resurselor ar trebui să amânăm activitatea E, deoarece, în acest fel s-ar asigura utilizarea integrală a resursei  $R_2$ .

Deoarece urmărim să terminăm proiectul cât mai repede preferăm să amânăm activitatea D .

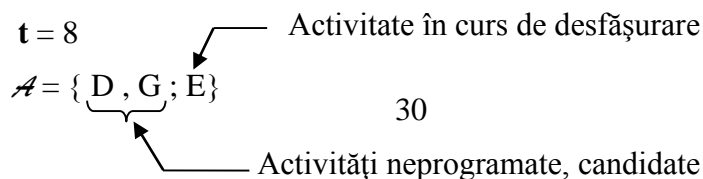
Deci:

$$\mathcal{D} = \{D\} , \mathcal{A}' = \mathcal{A} - \mathcal{D} = \{E, C\}$$

Programăm E să înceapă la momentul 4. Pentru D fixăm un nou TPI egal cu minimul termenelor (definitive) de terminare ale activităților programate E și C:  $TPI(D) = \min \{8, 9\} = 8$

În mod necesar, F se amână la termenul  $8 + 4 = 12$ .

## Iterația 4



$$\Delta_1 = 3 - (1 + 1 + 1) = 0 \quad \Delta_2 = 5 - (2 + 2 + 1) = 0$$

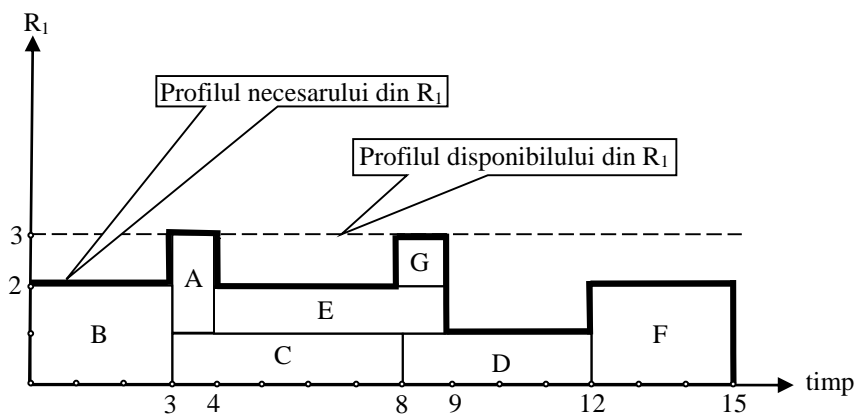
Declarăm D și G activități programate cu termenul definitiv de începere 8.

### Iterația 5

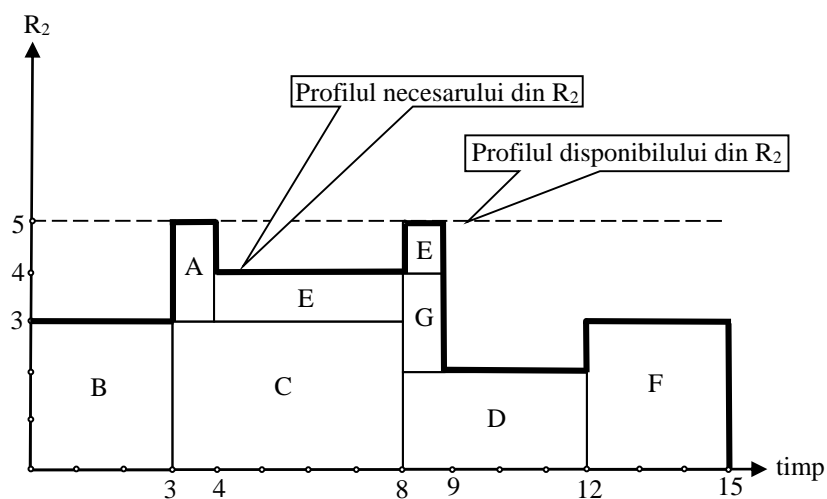
Activitatea F se programează să înceapă la momentul  $t = 12$ .

Activitatea	Durata	Termen definitiv de începere	Termen definitiv de terminare	Termene potențiale de începere					
				Start	Iterația 1	Iterația 2	Iterația 3	Iterația 4	Iterația 5
A	1	3	4	0	3	*	*	*	*
B	3	0	3	0	*	*	*	*	*
C	5	3	8	3	3	*	*	*	*
D	4	8	12	1	4	4	8	*	*
E	5	4	9	1	4	4	*	*	*
F	3	12	15	8	9	9	12	12	*
G	1	8	9	8	8	8	8	*	*

**Tabelul 3**



**Figura 4**



**Figura 5**

**Concluzii:** Euristică descrisă a condus la o programare a activităților proiectului pe o durată de 15 zile cu patru mai mult decât durată minimă stabilită fără a ține seama de resurse. Figurile 4 și 5 arată clar încadrarea necesarului de resurse în disponibilele date.

## 7 Probleme propuse

1. Desenați rețeaua AoA pentru fiecare dintre proiectele ale căror liste sunt date în tabelul 5

a)

Codul activității	Activități direct precedente
A	–
B	–
C	A
D	A , B
E	A , B
F	C
G	D , F
H	E , G

b)

Codul activității	Activități direct precedente
A	–
B	–
C	A
D	A
E	B , C
F	B , C
G	D , E

c)

Codul activității	Activități direct precedente
A	–
B	–
C	–
D	B
E	A
F	B
G	C , D
H	B , E
I	F , G
J	H

**Tabelul 5**



2. Pentru proiectele ale căror liste de activități sunt date în tabelul 6:  
 Desenați rețeaua coordonatoare AoA;  
 Determinați durata minimă de execuție și drumul critic;  
 Calculați termenele activităților și rezervele totale ale acestora.

a)

Codul activității	Activități direct precedente	Durata (luni)
A	–	3
B	A	3
C	A	3
D	C	5
E	B, C	6
F	D, E	9
G	E	5
H	G	3
I	G, F	5
J	I, H	10

b)

Codul activității	Activități direct precedente	Durata (luni)
A	–	4
B	–	3
C	–	5
D	A	7
E	A, B	2
F	D	2
G	C, D	6
H	E	4
J	E	9
K	E	12
L	G, H	4
M	J, K	8
N	F, J, K	3

c)

Codul activității	Activități direct precedente	Durata (luni)
A	–	3
B	–	5
C	–	2
D	B	6
E	A	4
F	B	4
G	C, D	7
H	B, E	3
I	F, G	4
J	H	1

**Tabelul 6**

3. Pentru proiectele ale căror liste sunt date în tabelul 6
- trasați rețeaua AoN;
  - calculați termenele activităților și drumul critic.
4. Pentru realizarea proiectului dat în tabelul 4 s-au prevăzut 6 muncitori necalificați. În ultima coloană a tabelului este indicat numărul de muncitori necesari zilnic fiecărei activități.

Codul activității	Activități direct precedente	Durata (zile)	Necesar muncă Necalificată (persoane/zi)
A	–	2	1
B	–	3	2
C	–	5	3
D	–	4	2
E	A	2	2
F	E	6	1
G	B	6	1

**Tabelul 4**

i) Trasați rețeaua coordonatoare AoA. Determinați durata minimă de execuție a proiectului luând în considerare numai duratele activităților și precedențele dintre ele. Desenați profilul necesarului de forță de muncă necalificată corespunzător planificării rezultate.

ii) Aplicați algoritmul de alocare pentru a obține o durată de execuție cât mai mică cu respectarea încadrării necesarului de forță de muncă în disponibilul dat.

**2.** Să se determine o durată cât mai mică de execuție a proiectului dat prin lista de activități din tabelul 5 în cazul în care sunt utilizate două resurse  $R_1$  și  $R_2$  fără a depăși disponibilele  $b_1 = 6$  și respectiv  $b_2 = 8$ .

- i) Trasați rețeaua coordonatoare (AoA sau AoN după dorință) și stabiliți durata minimă de realizare a proiectului fără a ține seama de resurse;
- ii) Pentru fiecare resursă desenați profilul necesarului și comparați-l cu disponibilul;
- iii) Aplicați euristica de alocare, luând drept criteriu de prioritate la amânare, criteriul rezervei actualizate (în exclusivitate!);
- iv) Reluați aplicarea euristicii de alocare în situația în care, în rezolvarea conflictelor de resurse, se va avea în vedere în primul rând criteriul utilizării cât mai bune a celor două resurse și numai dacă este cazul se va apela și la criteriul rezervei actualizate;
- v) Comparați rezultatele obținute la iii) și iv).

Activitatea	Act. direct precedente	Durata (zile)	Necesar resurse	
			$R_1$	$R_2$
A	-	2	4	6
B	A	1	2	4
C	A	5	4	2
D	A	3	4	6
E	B	1	2	2
F	B	4	2	2
G	C	8	3	4
H	D	2	2	4
I	E	3	2	4
J	F, G, H	8	2	2
K	I, J	2	2	6

**Tabelul 5**

## Bibliografie

**Boldur, G., Săcuiu, I., Țigănescu, E.,** Cercetare operațională cu aplicații în economie, Editura didactică și pedagogică, București, 1979

**Ciobanu, Gh., Nica, V. T., Mustață, Fl., Mărăcine, V.,** Cercetări Operaționale cu aplicații în economie. Teoria grafurilor și Analiza Drumului Critic, Ed. Matrix Rom, București, 1996

**Ciobanu, Gh., Nica, V. T., Mustață, Fl., Mărăcine, V.,** Cercetări Operaționale. Optimizări în rețele. Teorie și aplicații economice, Ed. Matrix Rom, București, 2002

[www.asecib.ase.ro](http://www.asecib.ase.ro)