

INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA"

T I M I S O A R A

FACULTATEA DE MECANICA

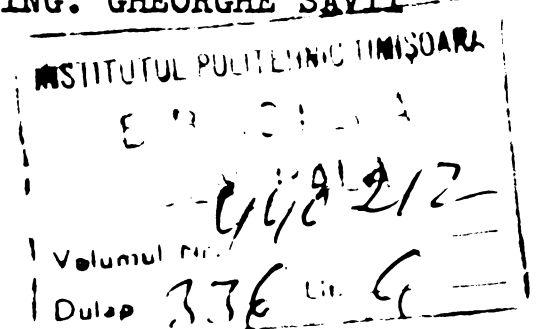
ING. GHEORGHE TACHE

CONTRIBUTII LA STUDIUL APLICARII METODEI DE DESERVIRE
A MAI MULTOR MASINI

T E Z A D E D O C T O R A T

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

CONDUCATOR ȘTIINȚIFIC,
PROF. DR. ING. GHEORGHE SAVII



- TIMIȘOARA 1979 -

I N T R O D U C E R E

Programul Partidului Comunist Român, adoptat de cel de-al XI-lea Congres, consfințind victoriile istorice obținute de poporul nostru în făurirea socialismului, stabilește obiectivele fundamentale ale actualei etape de dezvoltare a României, definește strategia generală a partidului de făurire a societății socialiste multilateral dezvoltate și de creare a condițiilor pentru edificarea comunismului în România.

În acest cadru, creșterea productivității muncii sociale, pe baza mecanizării, automatizării și organizării științifice a producției și a muncii, devine o cerință primordială a dezvoltării noastre economice.

Realizarea acestui deziderat impune ca o necesitate obiectivă organizarea dinamică a sistemului de producție, în condițiile revoluției tehnico-științifice contemporane, subordonată legilor de dezvoltare ale societății, care să asigure folosirea eficientă a mijloacelor materiale și a forței de muncă.

Este cunoscut faptul că schimbările structurale care s-au produs și se produc în România socialistă, ca urmare a aplicării consecvente a politicii generale a partidului, au condus la formarea și dezvoltarea unei înalte conștiințe socialiste a oamenilor muncii, reflectată direct printr-o nouă atitudine și comportare față de muncă. Asistăm la o puternică dezvoltare a personalității colectivelor de muncă și, în cadrul lor, a individului, evidențiată de o participare tot mai activă la activitățile de creativitate tehnică și științifică.

În același timp, creșterea gradului de tehnicitate a mașinilor și utilajelor, a automatizării acestora, ca urmare a aplicării pe scară tot mai largă a cuceririlor tehnico-științifice, conduce la schimbarea modului de participare a omului în procesul de producție, asistând la o creștere vertiginoasă a solicitării intelectuale în dauna componentei fizice.

Toate aceste schimbări calitative și cantitative impun studierea atentă a modalităților de organizare a muncii, care să

conducă la creșterea substanțială a productivității acesteia cât și a capacităților de producție. O asemenea modalitate o constituie și organizarea lucrului la mai multe mașini a unuia sau mai multor muncitori.

Problema organizării lucrului la mai multe mașini sau "a deservirii mai multor mașini" a constituit și constituie încă preocupări ale unui important număr de cercetători, obținându-se rezultate valoroase în multe ramuri ale economiei.

Aplicarea metodei lucrului la mai multe mașini, în cadrul unui sistem de producție, impune efectuarea unor cercetări prin care să se determine particularitățile și condițiile optime de aplicare a acesteia, studierea atentă a organizării procesului de producție în vederea stabilirii numărului optim de mașini ce se pot deservi, funcție de metoda folosită.

O altă latură a studiului trebuie să se refere la problemele de optimizare, luând în considerare maximizarea volumului de producție și a câștigului și minimizarea cheltuielilor sau a timpului de fabricație, în care scop sînt necesare studii asupra normelor și normativelor de timp.

Din punct de vedere al condițiilor de desfășurare a procesului de producție, se impun studii asupra condițiilor în care se desfășoară activitatea, probleme psiho-sociologice de ambianță, solicitări ale muncitorilor, ș.a.

Ținînd seama de faptul că timpii de oprire, condiționați de tehnologie și de organizarea muncii, sînt dependenți de funcționarea sistemului, în mod inevitabil vor apărea opriri ale mașinilor și utilajelor care pot fi limitate prin creșterea gradului de automatizare a acestora, prin perfecționarea organizării producției și a muncii.

Extinderea comenzilor numerice la mașini-unelte, mecanizarea și automatizarea fluxului de materiale și, deci, reducerea activităților de transport, conduce la diminuarea și chiar eliminarea timpilor auxiliari, ceea ce face disponibilă forța de muncă și, în consecință, posibilitatea conducerii și supravegherii unui număr mai mare de posturi de lucru.

În condițiile deservirii unor mașini-unelte automate, la care se necesită urmărirea parametrilor de lucru, se impune

ca aparatura de control să fie astfel amplasată încât să poată fi ușor supravegheată de către cel sau cei care deservesc mai multe mașini.

În vederea asigurării condițiilor organizatorice, se cere să fie luate în considerare necesitatea aprovizionării locului de muncă cu semifabricate, scule și dispozitive, să se realizeze la timp și corect reglarea mașinilor, înlocuirea sculelor uzate, etc.

În condițiile deservirii mai multor mașini de către o echipă de muncitori, un rol important îl are diviziunea muncii.

Este de remarcat faptul că în condițiile unei polideserviri se realizează o eficiență economică mai bună decât în cazul deservirii singulare, încărcarea mașinilor din sistem realizându-se la un coeficient mai mare concomitent cu o utilizare mai rațională a timpului de lucru al muncitorilor, fără o solicitare fizică suplimentară.

Caracteristica principală a deservirii sistemelor de muncă având mai multe posturi, sau, în general, o deservire multipozițională, prezintă o situație deterministă sau aleatoare pentru timpii de funcționare a mașinilor și timpii de utilizare a executanților.

Apreciind aportul pe care îl aduce polideservirea mașinilor-uncle în industria constructoare de mașini, în cadrul colectivului catedrei de Tehnologia Construcțiilor de Mașini a Facultății de Mecanică a Institutului Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, au fost abordate studii și cercetări în acest domeniu începând încă din anii 1964-1965.

Participând la aceste studii încă din prima fază, am considerat necesar a se acționa în direcția cunoașterii condițiilor concrete de aplicare a acestei metode în cadrul industriei noastre constructoare de mașini.

În acest sens, pe baza studiului materialelor bibliografice, de altfel destul de puțin cuprinzătoare pentru deservirea mai multor mașini în ramura construcțiilor de mașini, s-au efectuat cercetări la mai multe întreprinderi din țară, urmărindu-se posibilitățile de extindere pe baza unor analize științifice și tehnico-economice.

x

x

x

În lucrare autorul prezintă unele rezultate și constatări pe baza cercetărilor efectuate într-o perioadă de mai mulți ani. Menționez că aceste constatări, precum și analiza diferitelor aspecte caracteristice polideservirii se bazează pe observații și măsurări directe în producție.

Deoarece la baza acestor analize au stat datele și principiile teoretice și experimentale prezentate de mai mulți autori, în prima parte a lucrării se prezintă unele considerații generale privitoare la polideservire.

Din această analiză și din constatările concrete, în partea a doua a lucrării se prezintă o nouă formă de abordare și tratare a aspectelor tehnico-economice. Acest mod de abordare a problemei consider că poate conduce la o aplicare mai operativă a metodei de lucru în condiții de mai bună eficiență economică.

În acest context, lucrarea de față își propune să aducă unele contribuții la perfecționarea organizării deservirii mai multor mașini de către un muncitor în industria constructoare de mașini, prin folosirea rațională a forței de muncă în condițiile unei mai bune exploatare a capacităților de producție.

C A P I T O L U L 1

CONSIDERATIILE GENERALE PRIVIND APLICAREA METODEI DESERVIRII MAI MULTOR LOCURI DE MUNCA IN CADRUL UNUI SISTEM DE PRODUCTIE

Aplicarea metodei deservirii mai multor locuri de muncă, în cadrul unui sistem de producție, de către un muncitor sau de o echipă de muncitori, a preocupat și preocupă încă un număr mare de cercetători, luând în considerare avantajele pe care le prezintă metoda.

Din materialul bibliografic consultat s-a constatat abordarea și tratarea problemei sub diferite aspecte. Ținând seama de cazurile concrete luate în studiu, se constată că în majoritatea lor au fost studiate aspecte ale deservirii mai multor locuri de lucru în condițiile unui proces de producție omogen, mai ales din cadrul industriei ușoare și mai puțin din domeniul industriei constructoare de mașini.

Ținând seama de aceste considerente, pentru studiul problemei în cazul temei abordate am considerat necesar a preciza unele aspecte generale și, îndeosebi, acelea care se referă la industria constructoare de mașini.

1.1. Definierea noțiunii de deservire a mai multor locuri de muncă

În general, noțiunea de deservire a mai multor locuri de muncă se poate defini ca "un sistem de lucru în care locul de muncă al unui muncitor (sau al mai multor muncitori) este format din mai multe posturi la care el (sau ei) acționează simultan sau succesiv".

O definiție care să cuprindă toate laturile problemei este greu de dat. Considerăm însă că noțiunea de deservire a mai multor locuri de muncă poate fi conturată prin precizarea următoarelor aspecte care se referă în mod deosebit la probleme de organizare:

- după obiectul de uzinat, pot apărea situații când tre-

buic să se execute operații omogene (aceleași), sau neomogene (diferite);

- după regularizarea dosfășurării muncii, aceasta poate să decurgă într-o ordine determinată, sau într-o ordine nedeterminată, întâmplătoare, care se încadrează în condițiile unor evenimente stocastice;

- după numărul deservanților, putem avea cazul deservirii mai multor locuri de muncă de către un singur muncitor, sau de un grup de muncitori de aceeași profesie și calificare sau de profesii și calificări diferite;

- după felul mașinilor și locurilor de muncă deservite, pot fi cazuri de deservire a unor mașini de același fel sau diferite; cumularea lucrului la mașini dintr-un sector cu diferite munci manuale din alt sector; cumularea numai de munci manuale din diferite sectoare în intervale de timp diferite în cursul zilei de lucru, etc.

1.2. Definiția noțiunii de cumulare de noi profesii

Dacă deservirea locurilor de muncă de același fel nu e posibilă, duce în mod necesar la cumulare de alte funcții legate de alte profesii. Muncitorii care își însușesc o profesie suplimentară - dacă au întreruperi în procesul de muncă - pot să folosească în întregime timpul lor de muncă. Practica a creat numeroase cazuri de cumulare de mai multe profesii. De exemplu: funcția de operator la diferite mașini-unelte; executarea operației de strunjire, frezare găurire, etc.; lăcătușii din secția de ajustaj pot să cumuleze profesia de montator, etc.

1.3. Principii pentru alegerea operațiilor de executat simultan pe mai multe mașini

1.3.1. Apropierea teritorială a mașinilor

În întreprinderile constructoare de mașini se întâlnesc o varietate mare de operații dintre care se pot alege acelea care pot fi executate de un muncitor la mai multe mașini. Din experiența de până acum, în alegerea operațiilor un prim principiu mai important este acela al alegerii operațiilor după apropierea teritorială a mașinilor de deservit.

Micșorarea distanței dintre mașini are importanță nu numai în scopul reducerii timpului de trecere de la o mașină la alta, ci și în scopul asigurării controlului concomitent al ma-

șinilor repartizate muncitorului pentru deservire. În literatura consultată, în ramura industriei construcțiilor de mașini, se recomandă pentru tipurile mici de utilaje distanța de 2-4 m, iar pentru tipurile mari de utilaje de 5-7 m. În alte ramuri însă, în care se deservesc mai multe mașini cu timpi neegali și cu ciclu neregulat, zona de deservire poate fi de pînă la circa 20 m, și chiar mai mare. În cazul acesta mașinile trebuie să fie situate astfel ca muncitorul să poată vedea din orice punct al traseului său întregul sector ce i s-a încredințat, iar sistemul de comandă al mașinilor, manetele și butoanele de comandă, sertarele auxiliare și dulapurile pentru scule, etc. să fie astfel așezate încît muncitorul să aibă posibilitatea unei deserviri ușoare a mașinilor respective.

Practica a creat multe forme de amplasare a mașinilor în scopul deservirii lor, dintre acestea menționăm următoarele:

- așezarea în linie, în acest caz drumul parcurs de muncitor este foarte lung;

- așezarea paralelă, care reduce considerabil drumul muncitorului în cazul deservirii a două mașini ce stau față în față; situația este mai dificilă în cazul în care mașinile sînt paralele una față de alta, dar în unghi față de culoare, cum este cazul mașinilor care prelucrează bare lungi;

- așezarea în unghi, în acest caz muncitorul își întoarce doar puțin capul și are imediat în față mașina următoare pe care trebuie s-o deservescă;

- așezarea în cerc, care este convenabilă pentru muncitor, dar nu este practică pentru organizarea transportului și ocupă mult spațiu. (fig.1.1).

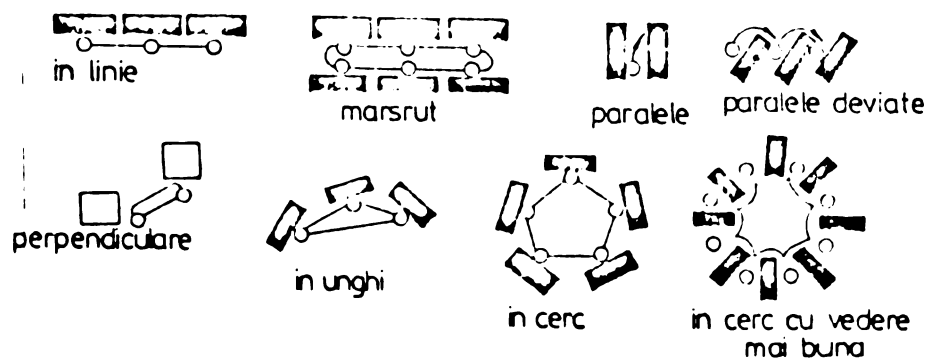


Fig. 1.1

1.3.2. Alegerea operațiilor după structura lor tehnologică

Pentru deservirea mai multor mașini de către un muncitor, trebuie să se ia în considerare: structura timpului manual în cadrul operațiilor, frecvența operațiilor, întreruperile timpului manual, adică structura tehnologică a operațiilor.

Din studiul proceselor de producție și mai ales a proceselor tehnologice este cunoscut faptul că o operație tehnologică se realizează cu consumuri de timp ale operatorului și ale utilajului de bază (mașina).

Consumul sau norma de timp a operatorului (t_e) pentru o operație cuprinde: timpul de intervenție (de acțiune manuală, manual-mecanizat), timpul de supraveghere, timpul de așteptare-condiționat de tehnologia de fabricație, precum și timpul de odihnă și necesități firești.

Timpul normat al operatorului în cazul deservirii mai multor mașini cuprinde de cele mai multe ori și timpul de interferență sau suprapunere care este definit ca fiind timpul de întrerupere a unor utilaje ca urmare a faptului că operatorul este ocupat la alte utilaje care s-au oprit.

Consumul sau norma de timp a mașinii (t_f) pentru o operație cuprinde: timpul de funcționare utilă a mașinii, timpii auxiliari (în care utilajul nu funcționează) și timpii de staționare (datorită întreruperilor reglementare sau nereglementare).

Deservirea mai multor mașini este posibilă atunci când operatorul are posibilitatea să execute activități auxiliare (manuale sau manual-mecanice) pentru o mașină, în timp ce celelalte mașini au o funcționare utilă fără supraveghere.

Rezultă că pentru a se putea organiza deservirea mai multor mașini trebuie satisfăcută condiția:

$$t_f \leq t_e \quad (1.1)$$

Numărul de mașini ce pot fi deservite de un singur operator poate fi determinat - ca regulă generală - cu ajutorul relației:

$$n = \frac{t_f}{t_e} \quad (1.2)$$

Dacă considerăm solicitarea completă a operatorului, respectiv 100% pe locul de muncă, atunci solicitarea pe un post va fi:

$$k = \frac{1}{n} = \frac{t_e}{t_f} \quad (1.3)$$

k - coeficientul de solicitare a operatorului pe un singur post.

Valorile coeficientului de solicitare k se determină pe bază de calcule și măsurători stabilindu-se normative de timpi.

Din analiza timpilor de mașină și a timpilor operatorului se pot desprinde următorii indicatori care conduc la aprecierea calității deservirii:

1. indicele de utilizare a mașinilor - care este dat de timpul de folosire a mașinii și norma de timp a mașinii:

$$k_M = \frac{t_{Mb} + t_{Ma}}{t_{Mb} + t_{Ma} + t_{Ms}} \quad (1.4)$$

t_{Mb} - timp de bază

t_{Ma} - timp auxiliar

t_{Ms} - timp de staționare

2. indicele de utilizare efectivă a mașinii definit ca fiind raportul dintre timpul de bază și norma de timp a mașinii:

$$\eta_u = \frac{t_{Mb}}{t_{Mb} + t_{Ma} + t_{Ms}} \quad (1.5)$$

Acest indicator arată de fapt gradul de utilizare a mașinilor. Tendința generală este ca acest indicator să fie cât mai apropiat de unitate, practic neputînd atinge valoarea 1.

Analiza polideservirii urmărește stabilirea numărului optim de mașini, astfel încît timpii de întrerupere ai activității executantului și mașinilor să fie minimi și se realizează, de regulă, după următoarele criterii:

a. Structura și durata operațiilor de realizare a produsului

- deservirea mașinilor care execută operații identice cu aceeași durată;
- deservirea mașinilor care execută operații diferite ca structură dar cu aceeași durată;
- deservirea mașinilor care execută operații multiple între ele;
- deservirea mașinilor care execută operații cu durate diferite (aleatoare).

Această clasificare corespunde cu recomandările Ministerului Muncii.

b. Regularitatea muncii

- munca regulată - după ordine prestabilită
- munca neregulată - după ordine "stocastică" (întâmplătoare)

c. Numărul deserventilor

- un executant deservește mai multe mașini (muncă singulară)
- mai mulți executanți deserveșc mai multe mașini (muncă în grup)

d. Tipul mașinilor

- deservirea mașinilor de același tip
- deservirea mașinilor de tipuri diferite.

1.3.3. Analiza deservirii mai multor mașini în funcție de structura și durata operațiilor tehnologice

Parametri ce caracterizează cazurile de polideservire sînt următorii:

- durata ciclului de lucru al fiecărei mașini (T_p);
- durata ciclului polideservirii (T^C);
- numărul optim de mașini ce pot fi deservite (n);
- timpul de așteptare al executanțului (T_e^a);
- timpul de interferență sau suprapunere (T_p^a).

Durata ciclului de lucru al unei mașini se determină cu relația:

$$T_p = t_p + t_e \quad (1.6)$$

T_p - ciclul de lucru al unei mașini;

t_p - timpul de mașină;

t_e - timpul operatorului.

$$t_e = t_d + t_{sf} + t_{pf} + t_{on} \quad (1.7)$$

t_d - timpul de deservire sau intervenție al operatorului;

În cele mai multe cazuri timpul de supraveghere este inclus în timpul de deservire.

t_{sf} - timpul de supraveghere a funcționării mașinii;

t_{pf} - timpul de pregătire - încheiere;

t_{on} - timpul de odihnă și necesități firești.

Durata ciclului polideservirii T^C - în cazul operațiilor identice cu aceeași durată - se determină cu relația:

$$T^C = t_p + t_e \quad (1.8)$$

Egalitatea relațiilor 1.6 și 1.8 este caracteristică acestui caz

(operații identice cu durata egală).

Numărul optim de mașini ce pot fi deservite:

$$n = \frac{t_f + t_e}{t_e} \quad \text{sau} \quad n = \frac{t_f}{t_e} + 1 \quad (1.9)$$

Dacă "n" este fracționar, se rotunjește în jos.

Apare evidentă necesitatea respectării condiției ca $t_f > t_e$, altfel nu poate avea loc deservirea mai multor mașini.

Timpul de așteptare (sau de acoperire) - T_e^a al executantului se poate determina cu o relație de forma:

$$T_e^a = T^c - \frac{n}{1} t_{ei} \quad \text{sau} \quad T_e^a = T^c - n t_f \quad (1.10)$$

În acest caz, în norma operatorului t_e se va include și timpul de deplasare de la un utilaj la altul.

Timpul de interferență (sau de suprapunere) - T_s

$$T_s = T^c - (t_f + t_e) \quad (1.11)$$

Timpul de interferență este egal cu zero atunci când timpul de utilizare al fiecărei mașini fără supraveghere este egal cu timpul consumat pentru deservirea altor mașini, adică atunci când este satisfăcută relația:

$$t_f = t_e (n - 1) \quad (1.12)$$

Pentru a se oferi posibilitatea realizării unei imagini sinoptice asupra procesului de polideservire, în practică sînt utilizate ciclograme.

În acest sens, în cele ce urmează se prezintă cîteva cazuri caracteristice care se pot întîlni practic.

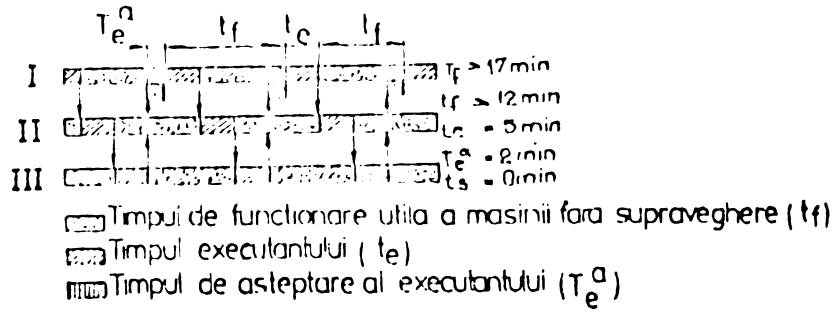
1.3.3.1. Mașinile execută operații identice cu aceeași durată

Dacă timpul de funcționare a mașinii fără supraveghere $t_f = 12'$ și timpul executantului $t_e = 5'$, pe baza relațiilor menționate se calculează durata ciclului de deservire $T^c = 17'$; numărul optim de mașini ce pot fi deservite $n = 3$; timpul de așteptare al executantului $T_e^a = 2'$ și timpul de interferență $T_s = 0$.

Intrucît $t_f^c > (n - 1) t_e$, rezultă că toate cele trei mașini vor lucra fără întrerupere.

În figura 1.2. este redată ciclograma deservirii de un singur operator al celor trei mașini care execută operații identice cu durată egală.

Masina



GRAFICUL DE LUCRU AL UNUI EXECUTANT CARE DESERVEȘTE TREI MASINI LA CARE EXECUTĂ OPERAȚII IDENTICE CU ACEEAȘI DURATA.

Fig. 12

1.3.3.2. Mașinile execută operații diferite, cu aceeași durată

În cazul în care operațiile ce se execută sînt diferite dar cu durată egală, fiecare mașină are un ciclu propriu de lucru. Adică:

$$T_1^c = t_{f1} + t_{e1}$$

$$T_2^c = t_{f2} + t_{e2}$$

$$T_n^c = t_{fn} + t_{en}$$

$$T_1^c = T_2^c = \dots = T_n^c$$

a. Întrucît durata operațiilor este egală, rezultă că și ciclul de deservire va fi:

$$T^c = T_1^c = T_2^c = \dots = T_n^c$$

Pentru trasarea ciclogramei se consideră următorul exemplu: (tabelul 1.1.):

Tabelul 1.1.

Numărul mașinii n	Timpul mașinii t_f (minute)	Timpul operatorului t_e (minute)
1	15	6
2	16	5
3	14	7

b. Durata ciclului polideservirii va fi $T^c = 21$ minute;

c. Numărul optim de mașini

$$n_1 = \frac{t_{f1}}{t_{e1}} + 1 = 3$$

$$n_2 = \frac{t_{f2}}{t_{e2}} + 1 = 4$$

$$n_3 = \frac{t_{f3}}{t_{e3}} + 1 = 5$$

S-a admis inițial $n = 3$ mașini,

d. Timpul de așteptare al operatorului

$$T_e = T^c - \sum t_{ei} = 21 - (6 + 5 + 7) = 3 \text{ minute}$$

e. Timpul de interferență va fi egal cu zero dacă sînt satisfăcute condițiile:

$$T_{s1} > (n_1 - 1) t_{e1} \quad \text{sau} \quad 15 > (3 - 1) 6$$

$$T_{s2} > (n_2 - 1) t_{e2} \quad \text{sau} \quad 16 > (4 - 1) 5$$

$$T_{s3} > (n_3 - 1) t_{e3} \quad \text{sau} \quad 14 > (3 - 1) 7$$

Fiind satisfăcute condițiile impuse, nu vor fi timpi de interferență (ciclurile sînt egale).

În figura 1.3. se prezintă ciclograma deservirii cazului considerat.

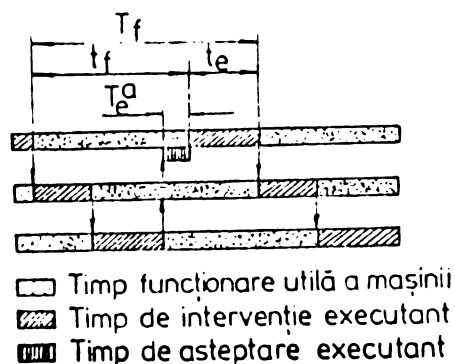


Fig 1.3

1.3.3.3. Mașinile execută operații cu durate multiple între ele

În acest caz fiecare mașină are un ciclu diferit dar între ele există un raport simplu (număr întreg).

Raporturile dintre ciclurile cu durată maximă și minimă se numește "raport de multiplitudine".

$$a = \frac{T_{\max}^c}{T_{\min}^c} = \frac{(t_f + t_e)_{\max}}{(t_f + t_e)_{\min}} \quad (1.13)$$

a. Ciclul polideservirii T^c va fi considerat ciclul cu durată maximă, adică:

$$T^c = T_{\max}^c = (t_f + t_e)_{\max} \quad (1.14)$$

b. Numărul de mașini ce pot fi deservite se calculează ca și în cazul anterior.

c. Timpul de așteptare al operatorului în interiorul ciclului se determină cu relația:

$$T_e^a = T^c - \left[t_{e \max.} + \left(\sum_1^n t_e - t_{e \max.} \right) a \right] \quad (1.15)$$

$t_{e \max.}$ - este timpul de deservire a mașinii care execută operația cu durata cea mai mare.

d. Timpul de interferență va fi egal cu zero dacă vor fi satisfăcute simultan următoarele două condiții:

$$t_f \min. \geq \sum_1^n t_e - t_e \min. \quad (1.16)$$

$$t_f \max. \geq \sum_1^n (a - 1) t_f \min. + t_e \min. \quad (1.17)$$

În cazul cînd nu sînt satisfăcute aceste relații, atunci timpul de interferență se determină cu relația:

$$T_s = T^c - (t_{fi} - t_{ei}) \quad (1.18)$$

În figura 1.4 este reprezentată ciclograma pentru cazul deservirii a trei mașini care execută operații multiple între ele.

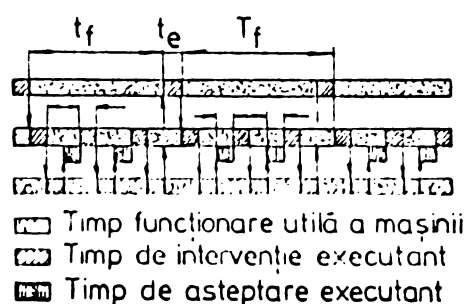


Fig 1.4

1.3.3.4. Mașinile execută operații diferite

În acest caz, fiecare mașină are un ciclu diferit și ca structură și ca durată.

Durata unui ciclu de deservire va fi determinată de ciclul maxim, adică relația (1.14).

Numărul optim de mașini ce pot fi deservite se determină prin două metode: analitic și grafic cu ajutorul ciclogramelor studiindu-se mai multe soluții, alegîndu-se în final cea optimă.

Determinarea numărului optim de mașini ce pot fi deservite prin metoda analitică se realizează în două faze. În prima fază se determină numărul de mașini ce pot fi deservite pentru fiecare ciclu în parte cu relația (1.9).

În faza a doua se trece la un calcul de optimizare, adică se stabilește numărul de mașini deservite pentru timpii cei mai mici de așteptare și de interferență. Acest lucru se realizează prin calculul timpilor de așteptare și de interferență pentru mașinile deservite într-o succesiune normală.

Din soluțiile multiple care apar se va alege soluția optimă.

Dacă timpii de interferență vor fi egali pentru mai multe soluții, atunci hotărâtor va fi timpul de așteptare minim și invers.

Timpul de așteptare al operatorului va apare atunci când suma timpilor de intervenție și supraveghere la toate mașinile va fi mai mică decât durata ciclului de deservire și se va determina cu ajutorul relației (1.10).

În cazul în care operațiile ce se execută vor fi diferite ca structură și timp, vor apare în mod inevitabil timpii de interferență în interiorul ciclului.

Ca exemplu am luat în considerare trei variante, deservirea a trei, patru sau cinci mașini. Calculele s-au efectuat pentru cele trei cazuri.

În tabelul 1.2. sînt prezentate numai rezultatele calculurilor pentru cazul deservirii a trei sau patru mașini.

Tabelul 1.2.

Timp	Cazul n=3 mașini					Cazul n=4 mașini				
	ordinea deservirii					ordinea deservirii				
	1-2-3	2-3-4	3-4-5	4-5-1	5-1-2	1-2-3-4	2-3-4-5	3-4-5-1	4-5-1-2	5-1-2-3
T_e^a min.	6	5	6	5	5	2	2	3	1	3
T_{s1}	3	3	3	0	4	3	6	5	4	6

Soluția de deservire a cinci mașini este incompatibilă pentru că toate mașinile trebuie să aștepte, T_e^a avînd valoarea 1.

Din analiza soluțiilor calculate se constată că soluția optimă este: n=4 mașini, iar ordinea de deservire 1, 2, 3, 4 pentru că:

$$T_s = 3 \text{ minute și } T_e^a = 2 \text{ minute}$$

În figura 1.5 este prezentată ciclograma pentru soluția optimă a deservirii de un singur operator a patru mașini care execută operații diferite.

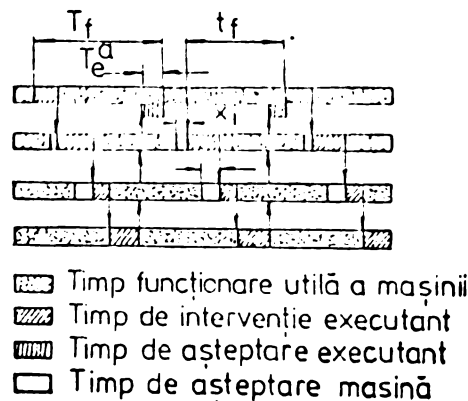


Fig 1.5

Organizarea corectă a deservirii mai multor mașini de către unul sau mai mulți operatori impune stabilirea unui asemenea itinerariu care să conducă la reducerea la maximum a timpilor de întrerupere mai ales a celor accidentali precum și la o bună observare a funcționalității mașinilor.

Stabilirea numărului de mașini ce pot fi deservite de un singur operator numai în funcție de structura și durata operațiilor nu conduce întotdeauna la soluțiile cele mai eficiente, motiv pentru care se impune o analiză a folosirii forței de muncă și a utilajului în funcție de coeficientul de utilizare a muncitorului și coeficientul de utilizare al mașinilor.

Este de reținut faptul că prin executarea ciclogramelor se poate efectua, pe lângă posibilitățile și modul de deservire, și o analiză în ceea ce privește succesiunea unei deserviri mai corespunzătoare. Pe baza acestei analize se va putea proiecta și modul de așezare în spațiu a posturilor de lucrări în vederea asigurării unei bune supravegheri și pentru a reduce timpul necesar deplasării operatorului (operatorilor).

Din exemplele prezentate se pot reține concluzii atât asupra eficienței aplicării metodei cât și asupra modului de organizare în vederea optimizării acesteia.

Tot din aceste exemple se poate reține că metoda de analiză prin ciclograme se poate aplica în cazuri mai simple, fie că este vorba de un număr mai mic de mașini, fie că parametri de lucru nu prezintă diferențe sau diversități mai mari. Aceasta se poate observa mai ales din exemplul considerat pentru deservirea a cinci mașini, din variantele analizate, reieșind că se obține

o deservire optimă pentru patru mașini, avînd o succesiune corespunzătoare în ordinea numerotării admise inițial.

Intrucît practic sînt condiții și posibilități de deservire a unui număr mai mare de locuri de muncă, pentru analiza condițiilor și posibilităților de aplicare a metodei este necesar a se folosi metode cunoscute din cercetarea operațională, cum ar fi programarea liniară, teoria firelor de așteptare, etc.

1.3.4. Stabilirea numărului de mașini deservite în funcție de coeficientul de utilizare al operatorului

Coeficientul de utilizare al operatorului K se poate defini ca fiind raportul dintre timpul operatorului și ciclul de lucru al unei mașini, adică:

$$K = \frac{t_e}{T^o} = \frac{t_e}{t_e + t_f} \quad (1.19)$$

Suma coeficienților de utilizare pentru toate mașinile deservite de un singur operator trebuie să fie de regulă mai mică decît unitatea, întrucît nu este posibil ca acesta să lucreze continuu. La limită se impune deci:

$$\sum_1^n K_i \leq 1$$

Analizînd și sub acest aspect ultimul caz de deservire considerat, constatăm că soluția $n=4$ cu ordinea de deservire 1, 2, 3, 4 este bună întrucît $K_i < 1$.

Pentru toate celelalte, soluția $K_i > 1$.

1.3.5. Stabilirea numărului de mașini deservite în funcție de coeficientul de utilizare al mașinilor

Coeficientul de utilizare al mașinilor a fost definit ca fiind raportul dintre timpul efectiv de folosirea mașinii și norma de timp a mașinii pentru ciclul de combinare.

$$K_M = \frac{t_e + t_f}{n T^c} \quad (1.20)$$

Considerentele de ordin economic ne indică un coeficient de folosire a utilajului cît mai ridicat.

Verificarea soluției admise în cazul anterior: dacă $n=4$

4,40 2/2
7765

ordinea deservirii 1, 2, 3, 4, atunci $K_M = 0,95$.

1.3.6. Limitele economice ale deservirii mai multor mașini

Stabilirea numărului optim de mașini ce pot fi deservite depinde, așa cum s-a văzut, de timpul de mașină și de timpul de deservire. La mașinile automate timpul de mașină pentru unitatea de produs sau pentru executarea unei operații se compune din timpul de bază t_{Mb} și timpul de mers în gol t_{MG} , iar timpul de deservire (timpul operatorului) este compus din timpul de alimentare t_{al} , timpul de scoatere a piesei prelucrate t_{sc} , timpul de evacuare a așchiilor t_{ev} și timpul de acoperire sau așteptare T_e^a , adică:

$$t_f = t_{Mb} + t_{MG} \quad (1.21)$$

$$t_e = t_{al} + t_{sc} + t_{ev} + T_e^a \quad (1.22)$$

Dacă numărul de mașini deservite este mare, pot apărea timpi de interferență (suprapunere) și deci una sau mai multe mașini stau. Dacă numărul de mașini este mic, apare un timp disponibil sau de așteptare al operatorului.

Tinând seama de aceste cazuri, timpul de deservire care revine unei singure mașini se poate scrie sub forma:

$$t_{en} = \frac{t_{el} + T_e^a}{n} \quad (1.23)$$

t_{en} - timpul de deservire pentru o mașină;

t_{el} - timpul de deservire în cazul lucrului la o singură mașină;

Dacă se analizează variația relației de mai sus în funcție de numărul de mașini deservite (n), se observă că odată cu creșterea acestuia valoarea timpului pe bucată va descrește pînă la o anumită limită și apoi începe să crească.

În funcție de această variație, relația se mai poate scrie:

$$t_{en} = \frac{t_{ol} + T_o^a}{n} \leq t_{el} \quad (1.24)$$

Reprezentarea grafică a acestei relații indică o curbă asimetrică întrucît scăderea valorii timpului de deservire a mai multor mașini are loc mai lent decît creșterea lui prin necesarul demajorare a timpului de acoperire.

În figura 1.6 este reprezentată variația timpului de deservire a mai multor mașini în raport cu numărul de mașini deservite. [45]

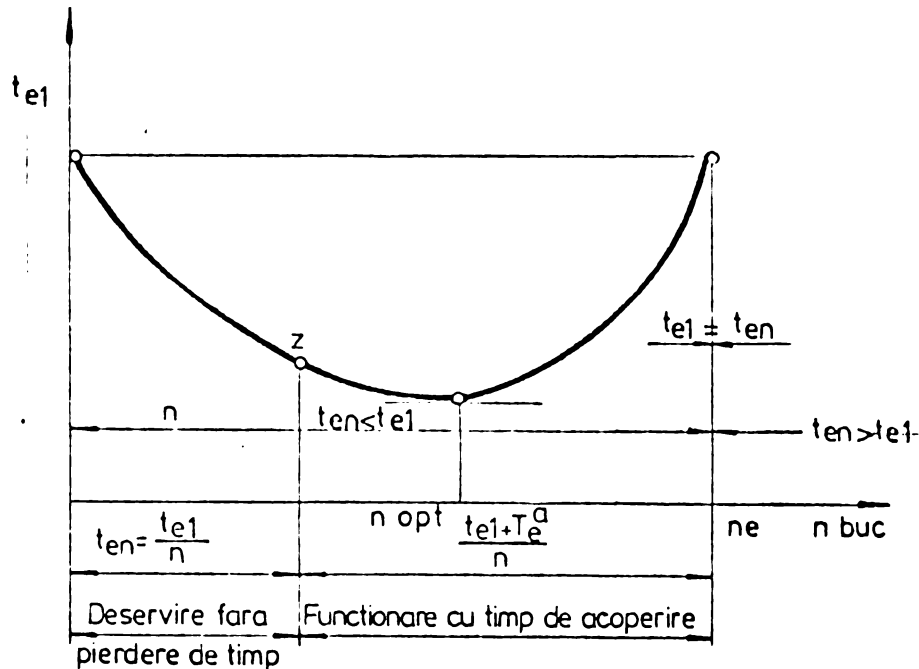


Fig. 1.6

Pe lângă faptul că atât relațiile analitice cât și graficele stabilite ne indică numărul optim de mașini ce pot fi deservite în condițiile unei staționări minime, ele servesc și la stabilirea eficienței economice a deservirii.

Eficiența economică a deservirii mai multor mașini rezultă din comparația costului de deservire cu cel al folosirii unei singure mașini. Pentru simplificarea calculelor cheltuielile constante pentru ambele cazuri se elimină.

Cheltuielile pentru deservirea unei singure mașini sînt exprimate cu ajutorul unei relații de forma:

$$C_{d1} = t_{e1} C_m + t_{m1} R \quad (.1.25)$$

unde:

t_{e1} - timpul de deservire în cazul lucrului la o singură mașină (minute);

C_m - retribuiția operatorului ce deservește mașina lei/min.;

R - cheltuielile de regie lei/min.;

Cheltuielile pentru deservirea mai multor mașini:

$$C_{an} = \frac{t_{e1} + T_e^a}{n} \cdot C_m + (t_{e1} + T_e^a)R \quad (1.26)$$

sau, punînd condiția variației timpului de deservire în funcție de numărul de mașini deservite:

$$t_{el} C_m + t_{el} R \leq \frac{t_{el} + T_e^a}{n} \cdot C_m + (t_{el} + T_e^a)R$$

Reprezentînd grafic această relație (fig.1.7) obținem curba de variație a cheltuielilor de deservire în funcție de numărul de mașini. Curba obținută va avea o formă asemănătoare cu cea a variației timpului de deservire.[45]

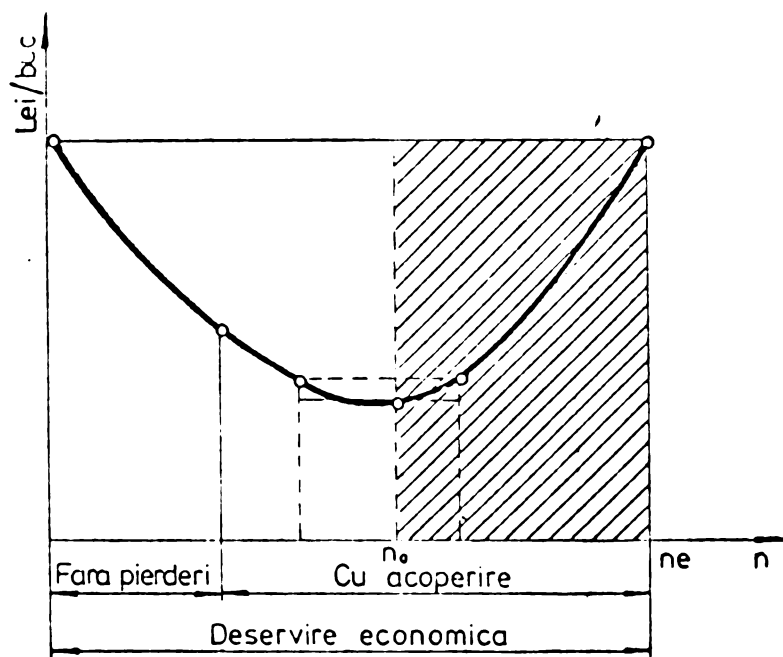


Fig.1.7

Concluziile desprinse pentru deservirea mai multor mașini automate se pot generaliza și pentru deservirea mașinilor universale.

1.3.7. Analiza tehnico-economică a locurilor de muncă la deservirea mai multor mașini

Interdependența între factorii care intervin la deservirea mai multor mașini poate fi stabilită printr-o atentă analiză a timpilor mașinii t_f și operatorului t_e raportați la unitatea de produs în funcție de variația numărului de mașini deservite.

Studiul întreprins în acest domeniu de cercetătorul german Wedeking conduce la următoarele concluzii:

- Timpul de mașină t_f se compune, așa cum s-a văzut, din:

$$t_f = t_{Mb} + t_{Ma} + t_{Ms}$$

În cazul unei producții omogene, timpul de bază t_{Mb} și

timpul auxiliar t_{MA} nu sînt influențați de creșterea numărului de mașini deservite. Timpul de staționare t_{MS} va crește odată cu creșterea numărului de mașini deservite întrucît crește timpul de supraveghere sau interferență al operatorului, adică acesta va fi ocupat din ce în ce mai mult cu activitatea efectivă și nu va putea să intervină imediat la mașina sau mașinile care s-au oprit.

- In ceea ce privește timpul folosit de operator, t_e , acesta are o variație inversă față de timpul de mașină, adică el crește odată cu scăderea numărului de mașini deservite întrucît indicele de încărcare "e" scade (apare încărcarea incompletă a operatorului) (fig.1.8.).[79]

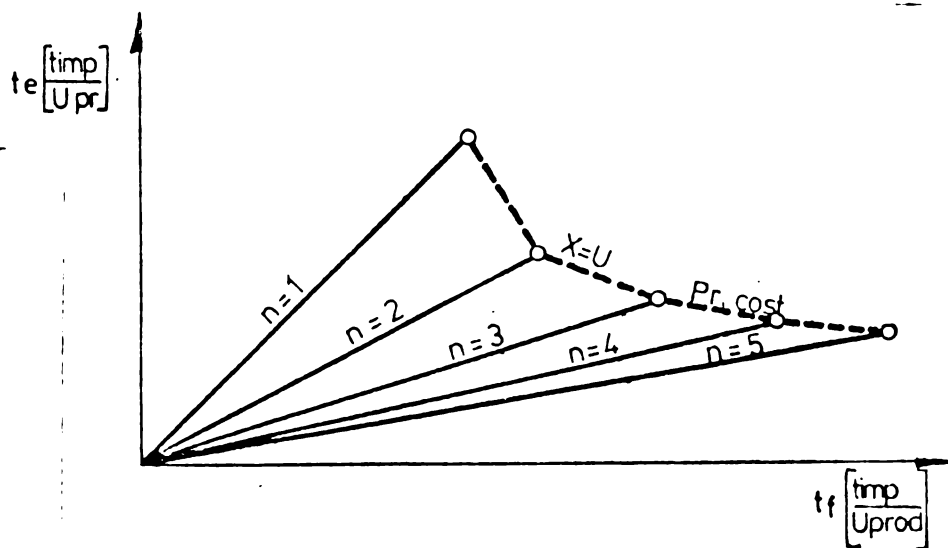


Fig.1.8

In diagramă s-a trasat cu linie punctată curba producției de volum constant ca fiind o isoquantă. Deoarece în cazul cel mai general $n = \frac{t_f}{t_e}$ este un număr întreg, isoquanta va fi o curbă continuă.

Isoquanta are o formă descrescătoare convexă, pornind de la punctul corespunzător unei singure mașini la care $t_f = t_e$ pînă la punctul corespunzător încărcării maxime a operatorului, adică atunci cînd $T_e^a = 0$.

Curba isoquantă ne indică și faptul că timpul total de fabricație scade odată cu scăderea timpului operatorului t_e .

Dacă se menține constant timpul de fabricație pe unitatea de produs și introducem ca variabilă numărul de mașini deservite, se obține o curbă care ne indică interdependența între această variabilă și volumul de producție pe unitatea de timp (fig.1.9)[79]

Pentru a se putea stabili condițiile optime de deservire a mai multor mașini, este necesară introducerea unor noțiuni noi cum sînt: procesul "input" și "output", precum și "Funcția de producție".

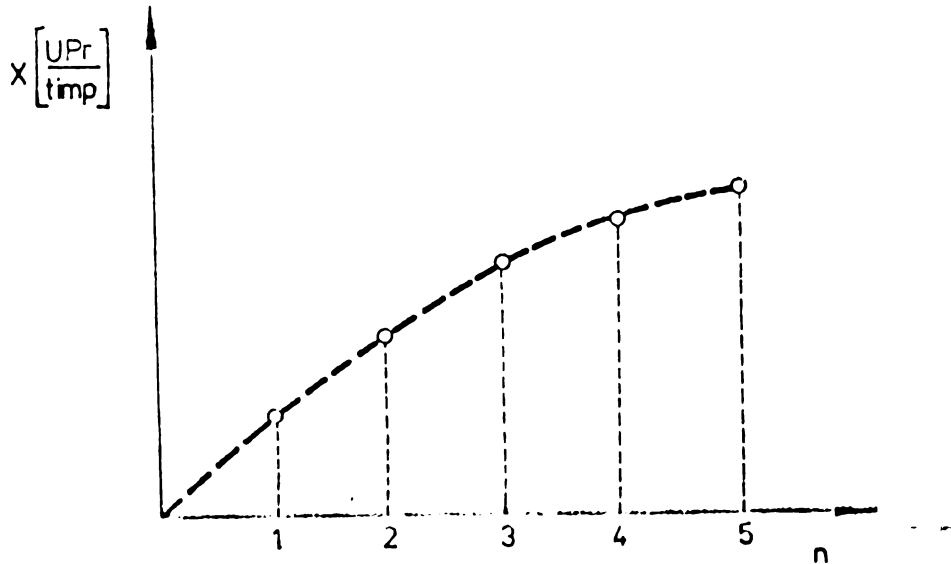


Fig. 1.9

Factorii de producție fiind considerați operatorul și mașina, se pot compara cantitativ prin timpul operatorului (t_o) și al mașinii (t_p). Ceilalți factori de producție, respectiv alte consumuri, cum ar fi energie electrică, lubrefianți, etc., nu se iau în considerare fiind factorii secundari ai studiului întreprins.

"Funcția de producție" este definită ca fiind legătura dintre factorii de producție ce intră în procesul de fabricație (procesul input) și rezultatele procesului de fabricație (procesul output).

Dacă se notează cantitățile de intrare ale factorilor cu r_1, r_2, \dots, r_j , iar rezultatele obținute cu q_1, q_2, \dots, q_k , atunci funcția de producție se poate scrie sub forma:

$$(q_1, q_2, \dots, q_k) = f(r_1, r_2, \dots, r_j) \quad (1.27)$$

Pentru deservirea mai multor mașini funcția de producție se poate scrie sub forma:

$$(q_1, q_2, \dots, q_k) = f(t_{en}, t_{fn}, t_{ou}, \dots) \quad (1.28)$$

în care:

t_{en} - timpul operatorului raportat la unitatea de produs;

t_{fn} - timpul mașină raportat la unitatea de produs;

t_{ou} - timpul obiectului de producție raportat la unitatea de produs;

t_{ou} se comportă identic cu t_{fn} .

Dacă se fabrică un singur produs (fabricație omogenă), atunci funcția de producție devine:

$$q = q_1 = f(r_1, r_2, \dots, r_j) \quad (1.29)$$

Din studiul interdependenței factorilor de producție și al dependenței lor de volumul producției, rezultă două categorii de factori și, în consecință, două categorii de funcții de producție, și anume:

1. factori de producție substituibili

și

2. factori de producție limitazionali.

1. Factorii de producție sînt substituibili cînd cantitățile de participare a factorilor se pot înlocui reciproc conducînd la același rezultat, adică la aceeași cantitate de producție.

În cazul dat, dacă r_1 este un factor substituibil, atunci funcția de producție se poate scrie sub forma:

$$r_i = f(q, r_{i-1}, r_{i-2}, \dots, r_{i+1}, r_{i+2}, \dots) \quad (1.30)$$

2. Factorii de producție sînt limitazionali cînd participarea cantitativă a unui factor depinde numai de cantitatea fabricată, adică:

$$r_i = f(q) \quad (1.31)$$

Din studiul diagramei interdependenței dintre timpul operatorului t_e și timpul de mașină t_f , în funcție de variația numărului de mașini deservite, se constată că timpii de așteptare ai operatorului se substituie cu timpii de staționare ai mașinii la o mîrire sau mîngorare a numărului de mașini deservite. Această substituie nu se face la un timp de fabricație constant. Așa cum am văzut însă, timpul de fabricație scade de-a lungul isoquantei concomitent cu timpul operator, în consecință factorii de producție (operator și mașină) nu pot fi factori substituționali.

În schimb, curba din figura 1.9 pune în evidență dependența volumului de producție față de numărul de mașini deservite, atunci cînd timpul de fabricație este constant. Funcția de producție poate fi exprimată cu relația:

$$q = f(n) = f\left(\frac{t_{fn}}{t_{en}}\right) \quad (1.32)$$

Funcția de producție astfel definită arată că pentru un timp de fabricație dat egal cu timpul operatorului se poate stabili timpul de mașină în funcție de volumul producției, adică factorii de producție sînt limitazionali.

Se impune așadar stabilirea pe cale analitică a unei relații pentru funcția de producție care să permită stabilirea con-

dițiilor de optim pentru deservirea mai multor mașini. În același scop va trebui să fie determinată și eficiența economică a deservirii, ținându-se seamă de costurile de fabricație care, după același autor, se împart în costuri cu personalul și costuri sau cheltuieli tehnice de fabricație.

C A P I T O L U L 2

ANALIZA UNOR PRINCIPII TEORETICE FOLOSITE LA APLICAREA METODEI DESERVIRII MAI MULTOR LOCURI DE MUNCA

Analiza sistemelor "loc de muncă multipozițional" și îndeosebi a timpilor de funcționare a mașinilor precum și a timpilor normalizați ai operatorilor (executanților) conduce la concluzia că acestea sînt de natură deterministă sau aleatoare.

Pentru un număr mic de mașini deservite, trasarea cicloграмelor de lucru oferă, de regulă, soluții de verificare a utilizării optime a mașinilor și a operatorilor.

În condițiile deservirii unui număr mai mare de mașini, folosind mai mulți executanți, procesul de prelucrare prezentînd o variabilitate și complexitate mai mare, folosirea cicloграмelor nu mai poate oferi posibilitatea obținerii unor soluții optime, în aceste situații fiind necesar a se folosi metode de analiză cu ajutorul unei modelări matematice.

În vederea stabilirii unei metode eficiente; consider necesară o analiză a cîtorva metode prezentate în literatura de specialitate precum și unele principii teoretice din cercetarea operațională. Este de reținut faptul că la folosirea acestor metode, pentru rezolvarea unor cazuri concrete, complexitatea proceselor de producție impune admiterea unor ipoteze simplificatoare ceea ce conduce de fapt la situația ca modelul matematic să nu reprezinte fenomenul real.

O tratare mai generală care să cuprindă aspectele fenomenelor se poate face folosind metoda stohastică, cazul determinist fiind tratat cu această metodă ca un caz particular al fenomenului general.

Problema modelării matematice pentru optimizarea deservirii mai multor mașini a preocupat mai mulți cercetători, literatura de specialitate prezentând îndeosebi tratarea problemei, ca fiind un fenomen stohastic. În aproape toate cazurile s-a pornit de la teoria firilor (șirurilor) de așteptare și nu de la considerarea fenomenului stohastic ca un proces Markov.

2.1. Stabilirea condițiilor optime de producție pentru deservirea mai multor mașini

Folosirea teoriei șirurilor de așteptare pentru studiul deservirii mai multor mașini

Trebuie precizat că prin definiție teoria șirurilor de așteptare, în cazul în care sosirile sînt considerate poissoniere, și timpul de servire exponențial presupune evenimente omogene. Apare deci evident că și în cazul studierii deservirii mai multor mașini cu ajutorul acestei teorii acestea trebuie să fie încărcate cu acelaș material și opririle mașinilor să fie statistic independente.

Cele trei elemente de bază ce caracterizează un șir de așteptare: sosirile, serviciul și modul de servire pot fi definite astfel:

1. Proces input - "Legea statistică a existenței unor evenimente ce-și așteaptă rezolvarea". În cazul deservirii mai multor mașini, oprirea întâmplătoare a mașinilor formînd un șir de așteptare.

2. Mecanismul de deservire - "Legea căreia i se supun pentru rezolvare evenimentele procesului input". Mecanismul de deservire se referă la numărul stațiilor în cazul de față al muncitorilor care deserveșc mașinile precum și la durata deservirii. Este foarte important să se cunoască timpul de deservire și mai ales structura sa.

3. Felul și modalitatea deservirii - Ordinea în care sînt rezolvate problemele procesului input. În cazul de față ordinea deservirii mașinilor oprite. Sînt cunoscute două modalități: prim venit, prim deservit și deservirea în turo.

2.2. Aplicarea teoriei "lanțurilor Markov" în cazul deservirii mai multor mașini

Privită din punct de vedere statistic se poate constata cu

uşurinţă că deservirea mai multor maşini este un proces stohastic în care schimbările de stări legate prin legi de probabilitate se succed la intervale aleatorii sau determinate.

După cum se cunoaşte, în teoria "lanţurilor Markov" se consideră că rezultatul oricărei încercări depinde direct şi numai de rezultatul încercării precedente.

Se impune întrebarea dacă se poate aplica această teorie şi în cazul deservirii mai multor maşini sau a locurilor de muncă multipoziţionale (denumire foarte des întâlnită în literatura de specialitate).

Dacă un sistem poate lua 'n' stări se va nota cu $\tilde{\pi}_i$ ($i = 1, 2, \dots, m$) probabilitatea ca acest sistem să se afle în starea 'i'. Această probabilitate poartă denumirea de probabilitate de stare.

Tinând seama de concluziile desprinse din teoria lanţurilor Markov, probabilitatea ca sistemul să treacă din starea 'i' în starea 'j' va fi P_{ij} numită probabilitate de trecere.

În cazul deservirii mai multor maşini, starea sistemului "muncitor-maşini" este determinată de numărul maşinilor care merg respectiv, stau. Dacă în sistem avem 'n' maşini, sistemul poate parcurge n+1 stări de la "toate maşinile merg" la "toate maşinile stau", probabilitatea ca sistemul să se afle în starea 'x' va fi "probabilitatea de stare" $\tilde{\pi}_x$ ($x = 0, 1, 2, n$).

Probabilităţile de trecere a sistemului se pot defini astfel:

$P_{x,x}$ - probabilitatea ca într-un interval de timp dat starea x (x maşini merg) să se menţină;

$P_{x,x+1}$ - probabilitatea ca în acelaşi interval o maşină să fie pusă în funcţiune;

$P_{x,x-1}$ - probabilitatea ca în acelaşi interval o maşină să se oprească;

Pentru a se putea analiza sistemul trebuie să îndeplinite în plus următoarele condiţii:

1. intervalul de timp trebuie astfel ales încât să nu poată apărea decît o singură pornire sau oprire;

2. legea de probabilitate a procesului imput să fie de natură poissoniană;

3. mecanismul de deservire să se supună unei legi de distribuţie exponenţială.

Dacă toate aceste cerinţe sînt satisfăcute, procesul deservirii mai multor maşini este un proces Markov.

2.2.1. Analiza procesului input (opririle mașinilor)

Măsurătorile efectuate la locurile de muncă multipoziționale în special de Palm, au dovedit că fenomenul de oprire a mașinilor se poate reda cu o bună exactitate printr-o distribuție exponențială. [44]

Se ia una din cele 'n' mașini și i se studiază comportarea în intervalul de timp (0,t).

$$\frac{P_0(t)}{t} \cdot \lambda dt$$

- Notăm cu $P_0(t)$ probabilitatea ca în intervalul (0,t) mașina să nu se oprească;

- Dacă λ este frecvența opririlor (numărul de opriri într-o unitate de timp dată), atunci probabilitatea ca în intervalul de timp dt adăugat să apară o oprire va fi λdt ;

- Probabilitatea ca în intervalul dt să nu apară nici o oprire va fi $1 - \lambda dt$;

Intervalul de timp dt este ales în așa fel încât să nu poată apare mai mult de o oprire sau o pornire a mașinii.

Presupunem de asemenea că evenimentele sînt independente în tot intervalul (0,t) și, deci, probabilitatea opririi mașinii în intervalul dt nu este influențată de lungimea intervalului (0,t).

Cu acestea, probabilitatea ca în intervalul (0,t + dt) să nu apară nici o oprire a mașinii va fi:

$$P_0(t + dt) = P_0(t)(1 - \lambda dt) \quad (2.1.)$$

Prin integrare, soluția ecuației diferențiale (1) va fi:

$$P_0(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.2.)$$

Probabilitatea opusă, adică în intervalul (0,t) să apară una sau mai multe opriri, va fi:

$$P_0(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.3.)$$

Extinzînd raționamentul pentru x mașini, probabilitatea ca în intervalul (0,t) x mașini să nu se oprească va fi:

$$P_0(t) = e^{-\lambda xt} \quad (2.4.)$$

Frecvența opririlor λ poate fi interpretată ca fiind valoarea inversă a timpului mediu de mers a unei mașini de la o oprire

la alta. Aceasta rezultă din integrarea în funcție de timp a relației (2.2.)

$$T_{fn} = \int_0^{\infty} t \frac{dP_0}{dt} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (2.5.)$$

Extinzând pentru x mașini:

$$T_{fx} = \frac{1}{\lambda x} \quad (2.6.)$$

2.2.2. Analiza mecanismului de deservire

Datorită structurii complicate a timpului muncitor (t_e), distribuția exponențială a timpilor de deservire este mai greu de dedus.

Pentru a simplifica calculele și mai ales pentru a reduce volumul de muncă necesar calculării distribuțiilor care guvernează acest timp, majoritatea cercetărilor admit și pentru timpul de deservire o distribuție exponențială.

Notînd cu μ frecvența deservirii într-o unitate de timp dat și raționînd analog procesului imput, vom putea determina probabilitatea ca în intervalul $(0, t + dt)$ operația de deservire să nu se oprească: va fi:

$$P_0(t) = e^{-\mu t} \quad (2.7.)$$

Timpul mediu de deservire va fi:

$$T_{en} = \int_0^{\infty} t \frac{dP_0}{dt} dt = \frac{1}{\mu} \quad (2.8.)$$

2.2.3. Aspectul analitic al problemei

Admițînd că atît procesul imput cît și mecanismul de deservire se supune unor distribuții exponențiale, procesul deservirii mai multor mașini este un proces Markov.

Procesul Markov - așa cum s-a stabilit - permite cunoașterea sistemului în prezent pentru a ști comportarea lui în viitor fără a avea nevoie de informații din trecut.

Stabilim ca modalitatea de deservire "prim-venit - prim-deservit".

Starea cu x ($x = 1, 2, \dots, n$) mașini să meargă după intervalul dt va rezulta din următoarele trei stări:

1. Starea $x-1$ - în intervalul dt se pune în funcțiune o mașină;

2. Starea $x+1$ - în intervalul dt o mașină se oprește;
 3. Starea x - în intervalul dt nici o mașină nu pornește și nici o mașină nu se oprește;

P e baza independenței statistice se poate scrie:

$$\tilde{\pi}_x(dt) = \tilde{\pi}_{x-1}(t) \cdot P_{x-1,x} + \tilde{\pi}_{x+1}(t) \cdot P_{x+1,x} + \tilde{\pi}_x(t) \cdot P_{x,x} \quad (2.9.)$$

$$x = 1, 2, 3 \dots n - 1$$

Stările extreme: $x = n$, $x = 0$, toate mașinile merg, respectiv stau, se obține pentru $x = n$:

$$\tilde{\pi}_x(dt) = \tilde{\pi}_{(x-1)}(t) \cdot P_{x-1,x} + \tilde{\pi}_x(t) \cdot P_{x,x} \quad (2.10)$$

iar pentru $x = 0$:

$$\tilde{\pi}_x(dt) = \tilde{\pi}_{x+1}(t) \cdot P_{x-1,x} + \tilde{\pi}_x(t) \cdot P_{x,x} \quad (2.11)$$

Probabilitățile de trecere, ținând seama de distribuția exponențială a opririlor și serviciilor, vor fi pentru relația (2.9.):

- $P_{x-1,x} = \mu dt$ - se pune în funcție o mașină;
 $P_{x+1,x} = x \cdot \lambda dt$ - o mașină din cele x care merg se oprește;
 $P_{x,x} = 1 - (x \lambda dt + \mu dt) = 1 - (x \lambda + \mu) dt$
 - nici o mașină nu funcționează;
 - nici o mașină nu se oprește;

Pentru relația (2.10) ($x = n$):

- $P_{x-1,x} = \mu dt$ - singura mașină ce stă se pornește;
 $P_{x,x} = 1 - \lambda dt$ - toate mașinile merg nici una nu stă;

Pentru relația (2.11) ($x = 0$):

- $P_{x-1,x} = \mu dt$ - singura mașină care funcționează se oprește;
 $P_{x,x} = 1 - \lambda dt$ - toate mașinile stau.

Probabilitățile de stare din relațiile (2.9), (2.10) și (2.11) sînt dependente de timp cîtă vreme probabilitățile de trecere sînt independente de timp.

O teoremă a "lanțurilor Markov" dovedește că probabilitățile de stare $\tilde{\pi}_x(t)$ devin egale cînd t tinde la infinit.

Deci:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{\pi}_x(t) = \tilde{\pi}_x$$

În timp ce $\widetilde{\pi}_x(dt) \rightarrow \widetilde{\pi}_x$ procesul de convergență spre starea staționară se desfășoară repede.

Dacă la începutul schimbului muncitorul pornește toate mașinile, sistemul începe $\widetilde{\pi}_{x=0}(0) = 1$, toate celelalte posibilități de stare sînt zero $\widetilde{\pi}_x = 0$.

Pe baza teoremei amintite după un timp infinit de mare, probabilitățile $\widetilde{\pi}_x$ nu se schimbă. S-a dovedit în practică că starea staționară se produce după un timp relativ scurt.

În această situație, relațiile (2.9), (2.10) și (2.11) devin:

$$\widetilde{\pi}_x = \widetilde{\pi}_{x-1} \cdot \lambda + \widetilde{\pi}_{x+1} \cdot \lambda + \widetilde{\pi}_x [1 - (x\lambda + \mu)] \quad (2.12)$$

pentru $x = 1, 2, 3, \dots, n-1$;

$$\widetilde{\pi}_x = \widetilde{\pi}_{x-1} \cdot \mu + \widetilde{\pi}_x (1 - \lambda) \quad (2.13)$$

pentru $x = n$

$$\widetilde{\pi}_x = \widetilde{\pi}_{x+1} \cdot \lambda + \widetilde{\pi}_x (1 - \mu) \quad (2.14)$$

pentru $x = 0$.

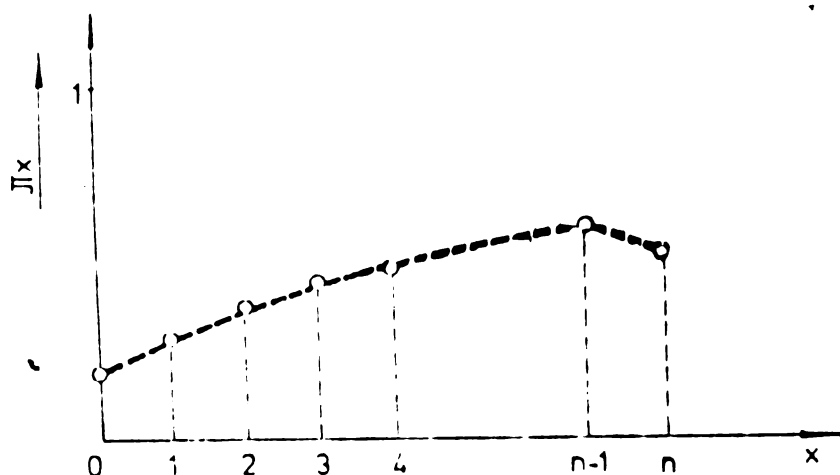
Rezultă, deci, noi ecuații cu noi necunoscute $\widetilde{\pi}_x (x=0, 1, \dots)$. Cum una din relații este reductibilă se poate folosi în locul ei condiția ca suma probabilităților de stare să fie egală cu 1

$$\sum_{x=0}^n \widetilde{\pi}_x = 1 \quad (2.15)$$

O soluție compactă pentru acest sistem de ecuații a fost dată de Morse, Bharucha-Reid:

$$\widetilde{\pi}_x = \frac{\left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^x}{\sum_{x=0}^n \frac{\left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{n-x}}{(n-x)!}} \quad x = 0, 1, 2, \dots, n \quad (2.16)$$

Această relație stabilește distribuția probabilităților de stare al cărui aspect calitativ este redat în fig.2.1.



Problema fundamentală a unui fenomen de așteptare și anume determinarea legii de probabilitate a unităților din sistem, fiind soluționată se poate trece la stabilirea condițiilor de optim pentru locul de muncă multipozițional.

2.3. Stabilirea funcției producției și cheltuielilor

2.3.1. Indicele de producție al mașinii

Indicele de producție al mașinii este definit ca fiind raportul dintre timpul de bază (t_{Mb}) și timpul total (t_M). În cazul deservirii mai multor mașini privite ca un sistem de așteptare, indicele de producție este dat de raportul dintre numărul mediu al mașinilor în mers și numărul de mașini din sistem.

Luând în considerare timpul total (t_M) al celor 'n' mașini în cazul polideservirii, se poate determina timpul de mașină al unui post:

$$t'_M = \frac{t_M}{n}$$

Dacă numărul mediu de posturi în mers este 1, se poate obține timpul principal (de bază) al sistemului $t_{Mb} = t'_M \cdot 1$.

Indicele capacității de producție al sistemului la un moment dat va fi atunci:

$$\eta_P = \frac{t_{Mb}}{t_M} = \frac{t'_M \cdot 1}{t'_M \cdot n} = \frac{1}{n} \quad (2.17)$$

Numărul mediu al mașinilor în mers rezultă din media aritmetică a distribuțiilor probabilităților de stare:

$$1 = \sum_{x=0}^n x \cdot \pi_x \quad (2.18)$$

Cu aceasta:

$$\eta_P = \frac{1}{n} = \frac{\sum_{x=0}^n x \cdot \pi_x}{n}$$

sau:

$$\eta_P = \frac{\sum_{x=0}^n x \frac{\left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^x}{x! \sum_{x=0}^n \frac{\left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^x}{(n-x)!}}{n}$$

$$\eta_P = \frac{\mu}{\lambda \cdot n} \frac{\sum_{x=0}^{n-1} \frac{(\frac{\mu}{\lambda})^{n-x}}{(n-x)!}}{\sum_{x=0}^n \frac{(\frac{\mu}{\lambda})^{n-x}}{(n-x)!}} \quad (2.19.)$$

Reprezentarea grafică a relației (2.19.) pentru diferite valori a raportului $\frac{\mu}{\lambda}$ ne dă o imagine a variației indicelui capacității de producție funcție de numărul mașinilor din sistem. η_P scade cu creșterea lui 'n', întrucât crește timpul de așteptare a mașinii (fig.2.2.)

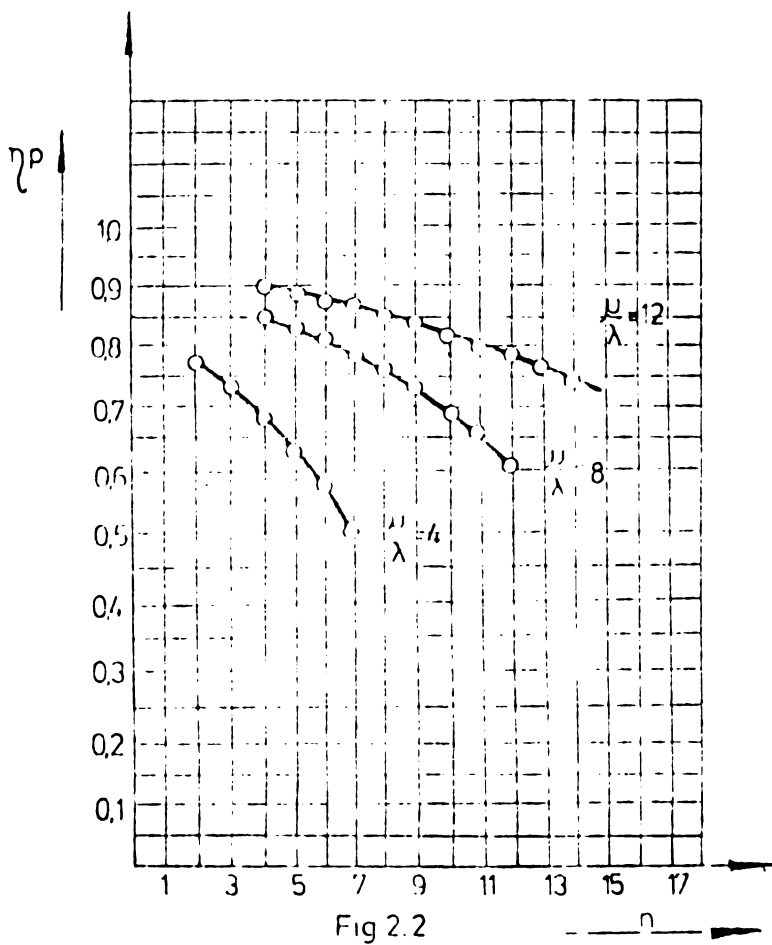


Fig 2.2

Scăderea indicelui de productivitate este cu atât mai pregnantă cu cât crește λ față de μ .

2.3.2. Funcția de producție

Funcția de producție este definită ca fiind legătura dintre factorii de producție ce intră în procesul de fabricație și rezultatele acestui proces.

Ca factori de producție principali pentru studiul întreprins sînt considerați operatorul (muncitorul) și mașina, fiind comparați cantitativ prin timpii (t_e) și (t_f).

Factorii de producție fiind limitazionali, participarea cantitativă a unui factor depinde numai de cantitatea fabricată. S-a arătat (1.32) că funcția:

$$q = f\left(\frac{t_f}{t_e}\right)$$

Cantitatea produsă în unitatea de timp a unui loc de muncă multipozițional se poate determina cu relația:

$$q = \frac{1}{t_{M_b}} \cdot \eta_P \cdot n \quad (2.20.)$$

în care:

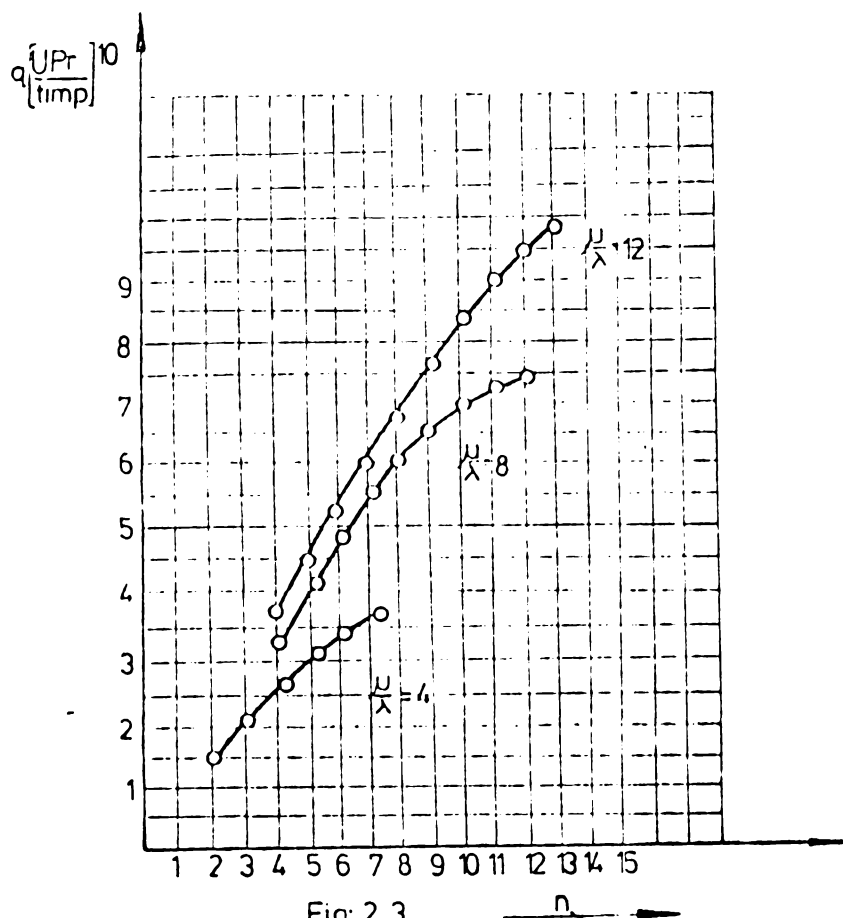
- $\frac{1}{t_{M_b}}$ - cantitatea produsă în unitatea de timp a unei mașini cu funcționarea neîntreruptă;
- η_P - indicele capacității de producție al mașinii;
- n - numărul de mașini deservite.

Folosind pentru η_P relația (2.19.) se obține:

$$q = \frac{1}{t_{M_b}} \cdot \frac{\mu}{\lambda} \cdot \frac{\sum_{x=0}^{n-1} \frac{(\frac{\mu}{\lambda})^{n-x}}{(n-x)!}}{\sum_{x=0}^n \frac{(\frac{\mu}{\lambda})^{n-x}}{(n-x)!}} \quad (2.21.)$$

Relația (2.21.) ne indică faptul că producția în unitatea de timp (q) este o funcție a numărului de posturi 'n' și prin λ și μ o funcție a factorilor de producție-om-mașină.

În figura 2.3. este reprezentată grafic relația (2.21.) pentru diferitele valori ale parametrului $\frac{\mu}{\lambda}$ funcție de 'n'.



2.3.3. Cheltuielile limită în cazul deservirii mai multor mașini

Pentru calculul costurilor în cadrul deservirii mai multor mașini se pot considera două categorii de cheltuieli, și anume:

- cheltuieli cu personalul
- cheltuieli tehnice de fabricație.

Unele din aceste cheltuieli sînt dependente de timp iar altele de cantitățile de produse realizate. Cheltuielile dependente de cantitatea de produse sînt constante în raport cu unitatea de produs și deci nu vor avea influență asupra optimizării factorilor de producție.

Numărul optim de mașini deservite poate fi stabilit ținînd seama de variația cheltuielilor dependente de timp (calculate sub formă de norme sau cote orare).

$$C = C_M \cdot t_M + C_m \cdot T_{en} \quad (2.22)$$

în care:

C - cheltuielile totale în cazul deservirii mai multor mașini;

C_M - cheltuielile pentru mașină;

C_m - cheltuielile cu personalul.

Ținînd seama că:

$$t_M = \frac{t_{M_b}}{P} \quad \text{și} \quad T_{on} = \frac{t_{M_b}}{P \cdot n},$$

relația (2.22.) se poate scrie sub forma:

$$C = C_M \frac{t_{M_b}}{P} + C_m \frac{t_{M_b}}{P \cdot n} = \frac{t_{M_b}}{P \cdot n} (C_M \cdot n + C_m) \quad (2.23.)$$

sau:

$$C = \frac{t_{M_b}}{n} \cdot \frac{C_M n + C_m}{\sum_{x=0}^{n-1} \frac{\left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{n-x}}{(n-x)!}}$$

$$\frac{\mu}{\lambda \cdot n} \cdot \frac{n}{\sum_{x=0}^n \frac{\left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{n-x}}{(n-x)!}}$$

se obține:

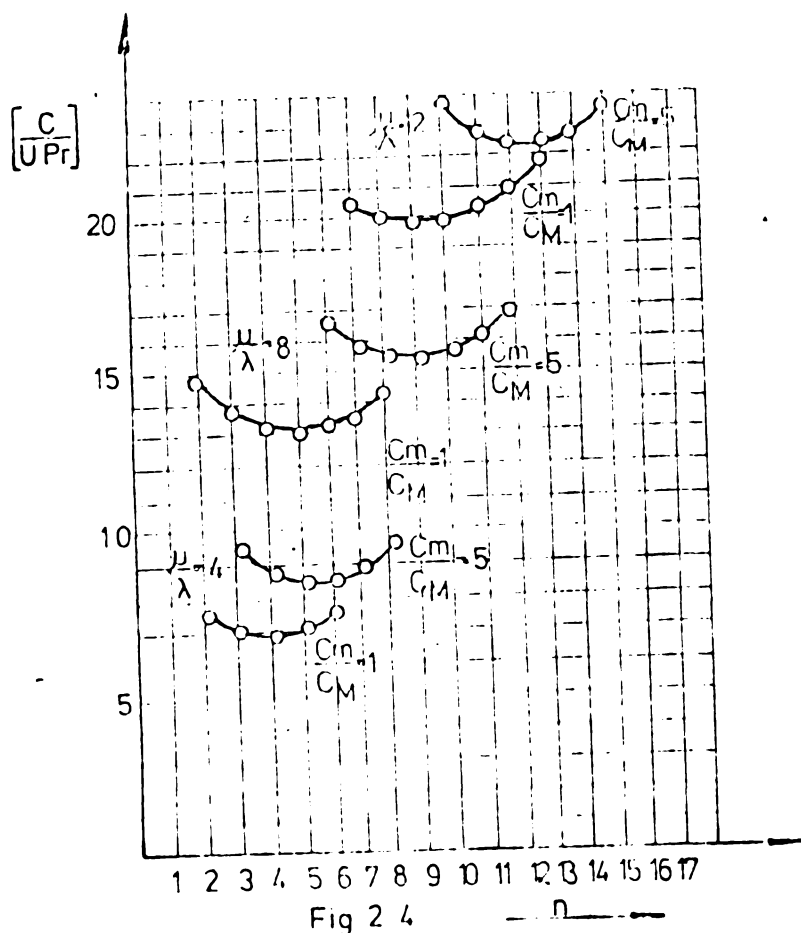
$$C = t_{M_b} \frac{\lambda}{\mu} \frac{\sum_{x=0}^n \frac{\left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{n-x}}{(n-x)!}}{\sum_{x=0}^{n-1} \frac{\left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{n-x}}{(n-x)!}} (C_M \cdot n + C_m) \quad (2.24.)$$

Pentru a pune mai ușor în evidență variația cheltuielilor funcție de n, λ, μ precum și a cotelor părți din costuri, reprezentarea grafică se face pentru diferite valori ale raportului

$$\frac{C_m}{C_M}.$$

Se observă că pentru valori mai mari ale cotelor orare de mașină, numărul optim de posturi repartizate este mai mic. (fig.2.4).

Inscamnă că la cheltuieli mari de mașină trebuie să reduci timpul de staționare, iar la cheltuieli ridicate cu personalul trebuie micșorat timpul de deservire.



2.3.4. Solicitarea (temporară) a muncitorului

În cazul deservirii mai multor mașini, timpii muncitor și timpii de mașină măsurați la locul de muncă sînt de regulă valori statistice medii.

Din analiza relației (2.16.) rezultă că pentru $\frac{\lambda \cdot n}{\mu} = 1$ probabilitatea $\tilde{\pi}_n$ (toate mașinile merg) ia o valoare foarte mică și atunci solicitarea (temporară) a muncitorului este completă dacă coeficientul de încărcare $K = \frac{\lambda \cdot n}{\mu} = 1$, sau solicitarea este completă cînd timpul mediu de mers al mașinilor deservite este egal cu timpul mediu de deservire, adică:

$$T_{fn} = T_{en} = \frac{1}{n \cdot \lambda} = \frac{1}{\mu}$$

de unde:

$$\frac{n \cdot \lambda}{\mu} = 1 \quad (2.24.)$$

Pentru a analiza mai riguros, trebuie să se țină seama că muncitorul nu va mai avea "timp" de așteptare dacă în afara mașinii la care el lucrează toate celelalte (n - 1) merg și timpul mediu de mers al acestora este egal cu timpul mediu de deservire. Aceste considerații presupun deci că:

$$T_F(n - 1) = T_{en}$$

Ceea ce conduce la:

$$\frac{\lambda (n - 1)}{\mu} = 1 \quad (2.25.)$$

Deci la $\frac{\lambda \cdot n}{\mu} = 1$, muncitorul nu va fi solicitat complet. Diferența de timp poate fi socotită timp de supraveghere.

Din analiza succint prezentată reiese că problema optimizării polideservirii prin aceste metode este destul de greoaie, solicită operații complexe, ceea ce face ca rezultatele obținute să nu fie în concordanță cu posibilitățile reale de aplicat. În afară de această nu se stabilesc care ar fi de fapt succesiunea optimă ceea ce este foarte important, pentru deservirea numărului de mașini stabilite.

Pornind de la premisa că în cadrul polideservirii se cere optimizarea în condiții generale a cazului cel mai complex, adică acela al operațiilor cu durate diferite între ele, s-a studiat posibilitatea de optimizare prin modelare matematică pornindu-se de la condiții de minimizare a timpului de interferență, respectiv de așteptare a mașinilor (Cap.4).

C A P I T O L U L 3

STUDIUL UNOR CAZURI CONCRETE

3.1. STUDII PRIVIND APLICAREA METODEI DESERVIRII MAI MULTE MAȘINI-UNELTE ÎN CADRUL UNOR ÎNȚEPRINDERI CONSTRUCTOARE DE MAȘINI

Studiul deservirii mai multor mașini-unelte a fost început de mai bine de 10 ani și s-a efectuat la mai multe întreprinderi.

În cadrul acestor analize s-a urmărit în principal dacă aplicarea metodei s-a făcut empiric sau pe baza unor studii de optimizare, dacă considerentele teoretice și aplicative corespund condițiilor concrete de aplicare particularităților întreprinderilor respective.

S-a urmărit, de asemenea, stabilirea posibilităților și modalităților de aplicare și extindere în contextul evidențierii eficienței tehnico-economice.

Studiile efectuate sînt concretizate prin cîteva exemple, din care se pot reține unele considerații de ordin general, pozitive sau negative, care vor permite dezvoltarea principiilor teoretice și aplicative precum și lărgirea posibilităților de aplicare.

3.1.1. EXPERIMENTARI SI APLICATII PRACTICE

Cercetările care au cuprins un câmp mai larg de probleme privitoare la studiul metodei, a modalităților și posibilităților de aplicare s-au efectuat la uzina A, uzină la care au fost și

sînt preocupări în această direcție.

Pentru studiul fiecărui loc de muncă unde se aplică metoda s-au efectuat pînă la 25 observații instantanee, măsurările făcîndu-se în mod deosebit asupra timpului de mașină, a timpului folosit de executant și a timpului de staționare a mașinilor în așteptarea muncitorului pentru a le deservi.

În ceea ce privește timpul de mașină și timpul de deservire, au fost luate în considerare și valorile normate cuprinse în documentația tehnologică.

3.1.1.1. CAZUL DESERVIRII DE CATRE DOI MUNCITORI-A NOUA MASINI-UNELTE

Pentru efectuarea studiului s-a admis situația concretă din întreprindere.

În fig.3.1. se prezintă modul de amplasare a mașinilor-unelte. Durata observațiilor a fost de 10 zile consecutive, periodică în care s-a urmărit și cronometrat în primul rînd timpii de mașină și cei de intervenție a muncitorului.

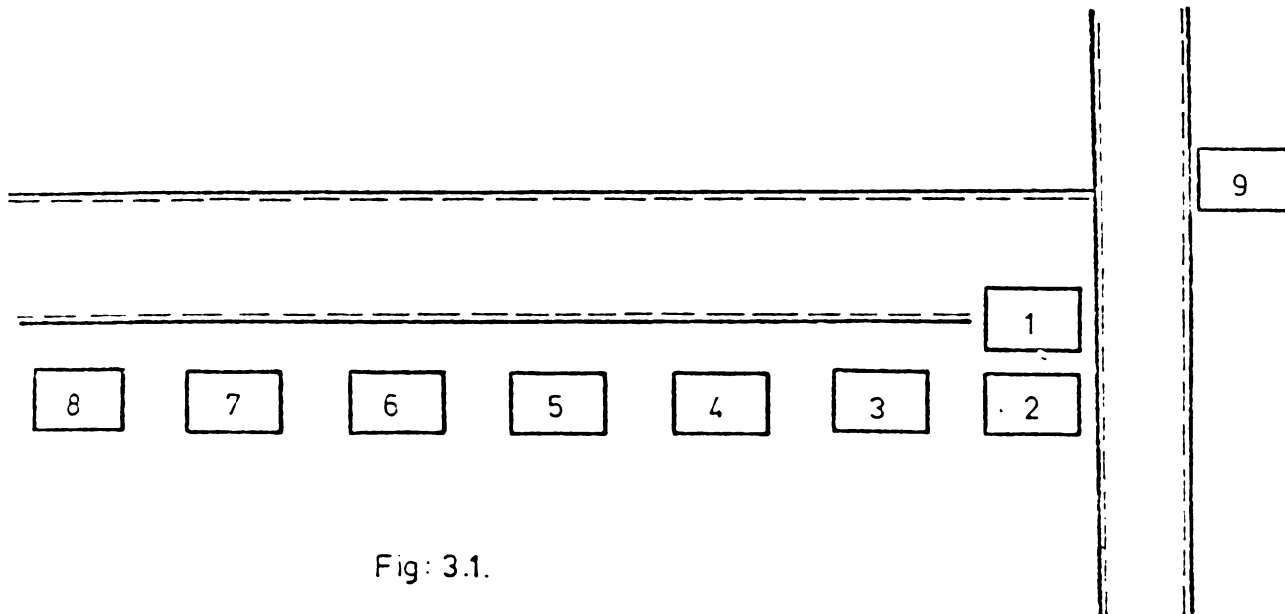


Fig: 3.1.

Pe mașini s-au prelucrat 4 repere diferite. Timpii înregistrați sînt înscrși în tabelul 3.1.

În tabel sînt prezentați și timpii din documentația tehnologică pentru a se putea realiza o comparație cu timpii măsurați.

Tabelul 3.1.

Mașina	Valori cronometrate		Valori normate	
	t_{Ma} (min)	t_m (min)	t_{Ma} (min)	t_m (min)
1.	12,5	0,5	24,54	3,0
2.	12,5	0,5	24,54	3,0
3.	5,0	0,5	8,96	1,25
4.	12,5	0,5	24,54	3,0
5.	5,0	0,5	8,96	1,25
6.	5,0	0,5	8,96	1,25
7.	6,0	0,5	10,9	1,5
8.	5,0	0,5	8,96	1,25
9.	11,0	0,75	13,78	2,87
	74,5	4,75	134,14	18,37

Analiza modului de desfășurare a deservirii mașinilor-unelte și a procesului de prelucrare s-a făcut pe baza luării în considerare a gradului de mecanizare și a timpului de suprapunere.

Gradul provizoriu de mecanizare calculat pe baza valorilor măsurate (tabelul 3.1):

$$\varphi' = \frac{\sum t_{Ma}}{\sum t_m} = \frac{74,5}{4,75} = 15,7$$

Din curbele de variație $\varphi' = f(t_{sp})$, fig.3.2, pentru acest caz corespunzând curba 2, se obține pentru o valoare $\varphi' = 16$, un timp de suprapunere de 21,5% iar din curba 1, trasată pe baza studiilor efectuate de I.G.O.M.^x, numai 4%.

Diferența mare se datorește condițiilor foarte diferite în care s-au stabilit valorile considerate ca etalon și acelea în care s-au efectuat cercetările.

O analiză atentă a condițiilor concrete scoate în evidență existența unor cauze subiective și obiective. Intre cauzele subiective se amintesc acelea privind măsuri organizatorice necorespunzătoare, lipsa unei dotări a mașinilor-unelte cu echipamente adecvate, folosirea de regimuri de așchiere neoptimizate, **timpuri normă necorespunzători.**

Pentru a se putea aplica această metodă într-o situație diferită de cea optimă se recomandă stabilirea unui coeficient

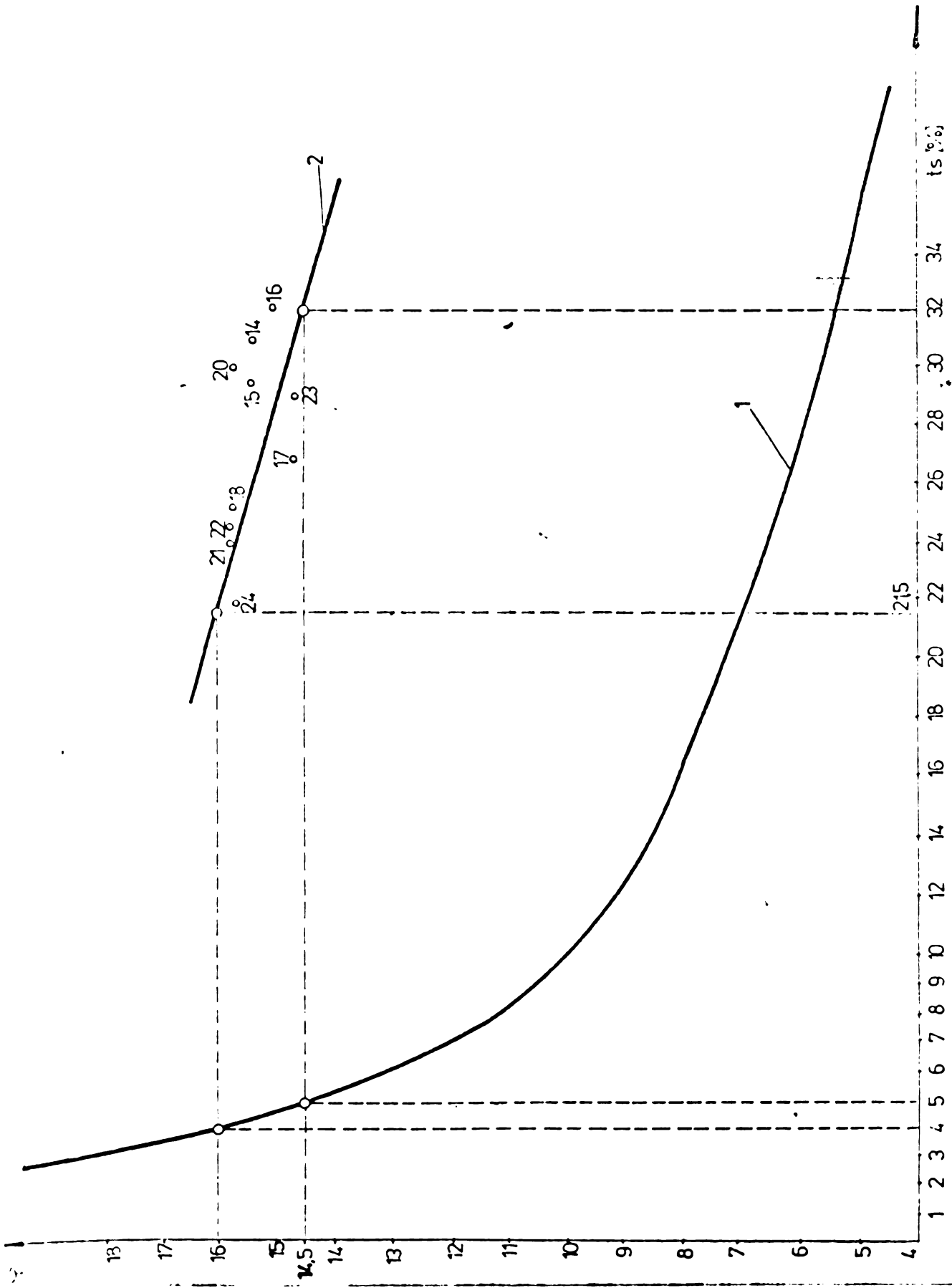


Fig. 3.2 CURBELE $\varphi = f(ts)$



Fig 3.3

de corecție calculat din media a două sau mai multe citiri comparate ale celor două curbe.

În cazul considerat (fig.3.2):

$$K = \left(\frac{21,5}{4} + \frac{32}{4} \right) : 2 = 5,89$$

În fig.3.3. se prezintă variația coeficientului de încărcare al mașinilor-unelte pentru o perioadă de 10 zile. Se constată că, în general, acest coeficient este bun, cu observația că în intervalul dat două mașini au staționat câte o zi iar una a staționat 3 zile.

Coeficientul mediu pentru grupul de mașini-unelte, fig. 3.4, are o scădere foarte importantă urmare a perioadei de staționare a unor mașini-unelte.

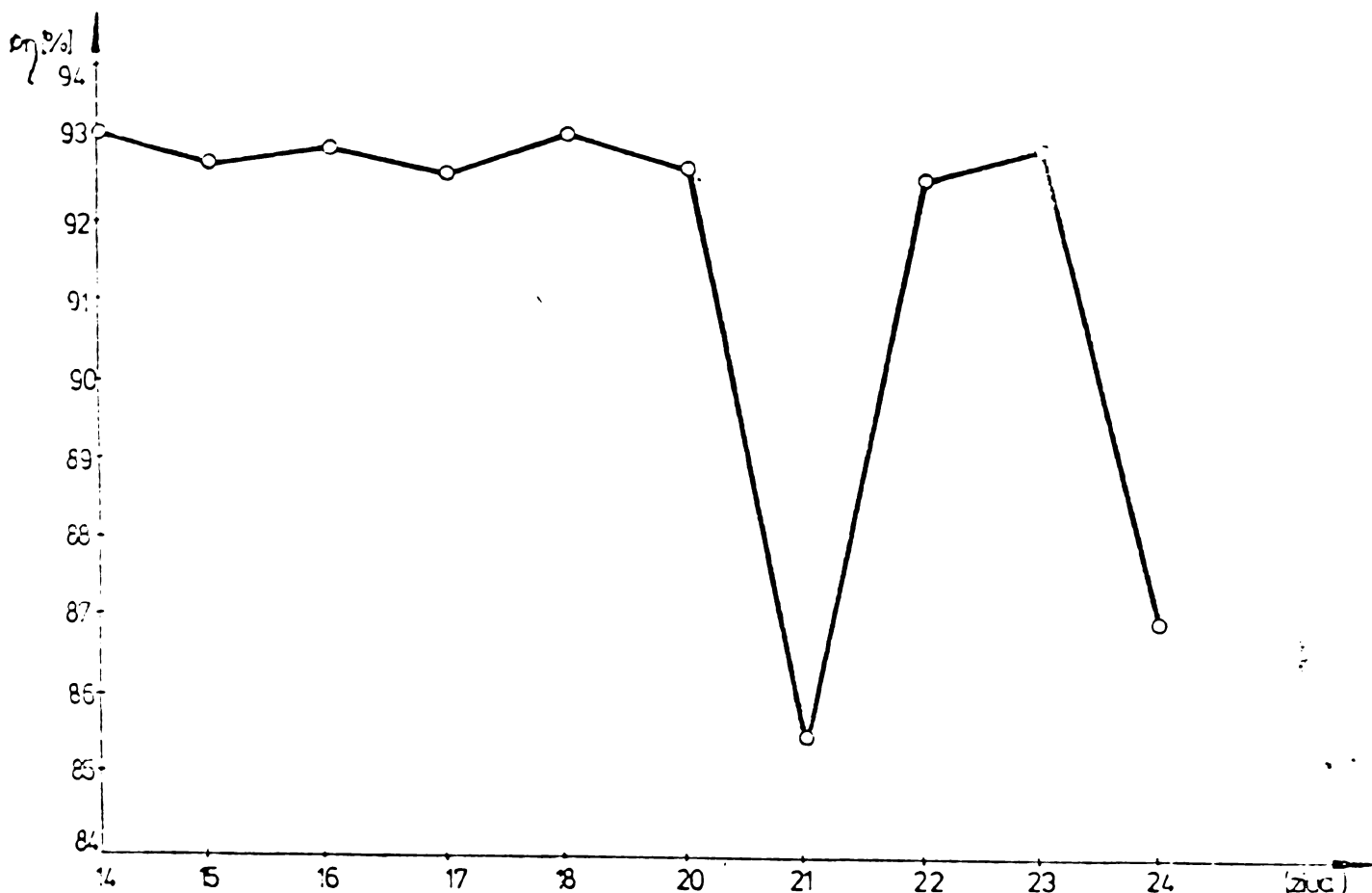


Fig. 3. 4

În cadrul măsurilor organizatorice, interesează pe lângă încărcarea mașinilor și gradul de solicitare al muncitorilor sau muncitorului care deservește mai multe mașini. Gradul de solicitare al muncitorului se poate exprima luând în considerare elementele componente ale timpului în care se necesită în-

tervenția la mașină, timpul de deservire propriu-zis t_d , timpul de deplasare t_t și timpul de așteptare T_e^a , adică:

$$G_s = \frac{\sum (t_d + t_t)}{\sum (t_d + t_t) + \sum T_e^a} \quad (3.1)$$

Așa cum se poate constata în expresia gradului de solicitare a muncitorului intră, în afara timpului de așteptare, și timpul folosit pentru deplasarea t_t . Deoarece ambii sînt timpi neproductivi și influențează folosirea eficientă a forței de muncă, se impune a se determina coeficientul prin care se pune în evidență de fapt timpul folosit de muncitor pentru deplasarea de la o mașină la alta în cadrul unui ciclu de deservire. Acest coeficient se poate exprima sub forma:

$$K_d = \frac{\sum t_t}{\sum (t_d + t_t) + \sum T_e^a} \quad (3.2)$$

Coeficientul este direct influențat de timpul de deplasare, care, la rîndul său, depinde de modul de amplasare al mașinilor-unelte și de succesiunea în care se efectuează deservirea.

Din matricea de timp (tabelul 3.2) se observă valorile, în secunde, folosite de muncitori pentru deplasări de la o mașină la alta, în cazul dat.

Tabelul 3.2.

Mașina	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	0	4	6	8	10	12	14	16	5
2.	4	0	4	6	8	10	10	14	7
3.	6	4	0	4	6	8	10	12	9
4.	8	6	4	0	4	6	8	10	11
5.	10	8	6	4	0	4	6	8	13
6.	12	10	8	6	4	0	4	6	15
7.	14	12	10	8	6	4	0	4	17
8.	16	14	12	10	8	6	4	0	20
9.	5	7	9	11	13	15	17	20	

Iuind în considerare valorile minime, r de 4 și 20 sec., se poate calcula coeficientul timpului muncitorului. Calculele s-au efectuat și de faptul că, în cazul studiului efectuat din

unele zile 1, 2 și chiar 3 au stagnat.

Rezultatele obținute sînt prezentate în tabelul 3.3.

Tabelul 3.3

Ziua	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Utilizare timp %	81,4	83,7	84,0	80,8	60,5	75,3	59,1	66,1	83,8	55,7

Limitele valorice ale coeficientului de utilizare a timpului disponibil între 55,7% și 83,8% ne indică o folosire nerațională a acestuia, situîndu-se sub cerințele și posibilitățile reală. De regulă, acest coeficient tinde spre valori de 90%.

Timpul de așteptare trebuie să tindă spre valori cît mai mici, valori ce se vor obține luînd în considerare și condițiile ergonomice și de protecție în care se desfășoară munca.

Pentru determinarea numărului optim de mașini-unelte ce se pot deservi, luînd în considerare economicitatea procesului de prelucrare în condițiile concrete pe baza economiei realizate, respectiv a evaluării cheltuielilor cu retribuția muncitorilor și cheltuielilor pentru mașinile-unelte, se va folosi relația (3.3)

$$E_c = \frac{100}{100 + T_s} \left(\frac{n-1}{n} \right) - \left(\frac{T_s}{100 - T_s} \right) Q_c \quad (3.3)$$

în care:

$$Q_c = \frac{C_M}{C_m}$$

C_M - cheltuieli aferente utilajelor;

C_m - cheltuieli retribuția muncitorilor;

Pentru aceasta se efectuează calculul pentru mai multe variante a numărului de mașini și se admite ca optim numărul pentru care se obține economia mai mare.

În cazul studiat s-a obținut din evidențele întreprinderii o valoare a raportului C_M/C_m egală cu 5,4. Pe baza coeficientului propriu-zis de mecanizare calculat $f' \approx 16$, se obțin timpii de suprapunere din tabelele întocmite de IGB.

Tabelul 3.4

număr de	8	9	10	12	14
T_s %	0,031	0,043	0,095	0,154	0,430

Calculînd cu aceste valori economia ce se poate realiza se obțin rezultatele din tabelul 3.5.

Tabelul 3.5

M	T_g /%/	E_c	Observații
8	0,031	0,87	
9	0,043	0,88	
10	0,095	0,89	economia
12	0,154	0,90	maximă
14	0,430	0,89	

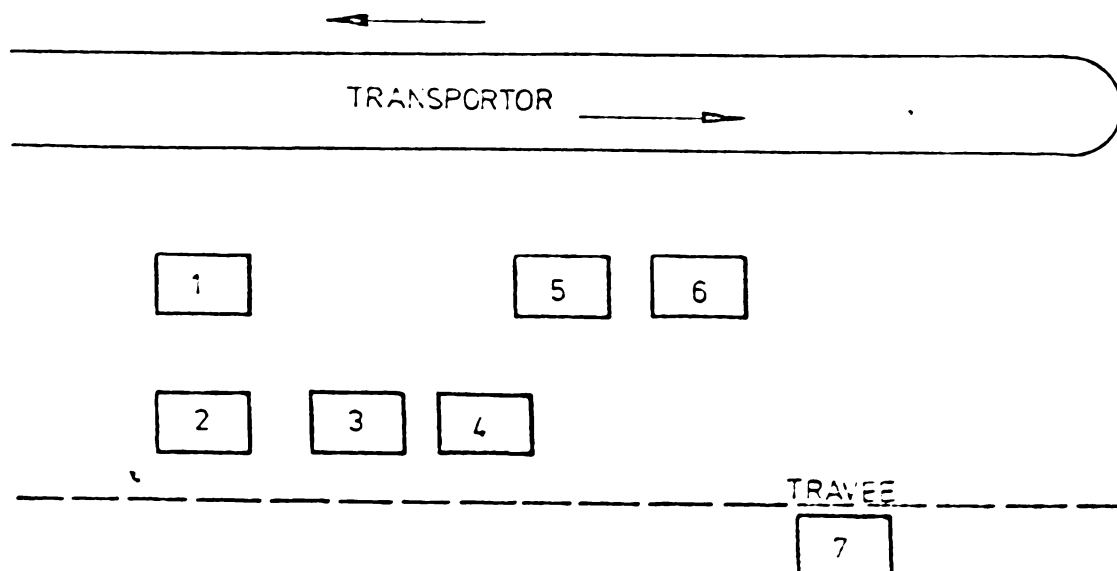
Calcululele arată că numărul optim de mașini-unelte care se pot deservi cu eficiență maximă este de 12.

Din analiza condițiilor concrete din întreprindere se constată că timpii de suprapunere sînt mai mari, impunîndu-se deci recalcularea eficienței, după care rezultă că numărul optim de mașini-unelte deservite este de 10.

Se poate trage concluzia că situația existentă în întreprindere (2 muncitori deservesc 9 mașini) este apropiată de optim. Se impune însă o mai mare atenție pentru asigurarea unui grad de utilizare a mașinilor corespunzător pentru toate perioadele.

3.1.1.2. CAZUL DESERVIRII UNUI GRUP DE 7 MASINI DE DAN- TURAT DE CATRE UN SINGUR MUNCITOR

Analiza atentă a acestui caz ne indică faptul că la așezarea grupului de mașini nu s-au luat în considerare nici aspectele deplasării de la o mașină la alta și nici posibilitățile unei bune supravegheri și a unei alimentări raționale. Schema de amplasare a mașinilor se prezintă în fig.3.5.



Matricea timpilor cronometrați necesari pentru deplasare este redată mai jos:

Tabelul 3.6

Mașina	1	2	3	4	5	6	7
1.	0	1	3	4	7	6	9
2.	1	0	3	3	6	5	10
3.	3	3	0	2	4	4	9
4.	4	3	2	0	2	3	11
5.	7	6	4	2	0	3	17
6.	6	5	4	3	3	0	15
7.	9	10	9	11	17	15	0

Se constată de asemenea că la amplasarea mașinilor nu s-a ținut seama de succesiunea operațiilor, respectiv de asigurarea ca ciclul de deservire să se efectueze într-un timp minim.

În vederea calculului coeficientului de mecanizare provizoriu s-au cronometrat timpii de mașină și de deservire. În tabelul 3.7 se prezintă media valorilor cronometrate:

Tabelul 3.7

Mașina	Valori cronometrate	
	t_{MA} (min)	t_m (min)
1.	7,0	0,5
2.	7,0	0,5
3.	12,5	2,5
4.	9,5	1,0
5.	8,0	1,5
6.	8,0	1,5
7.	20,0	2,0
	72,5	9,5

Coeficientul provizoriu de mecanizare calculat are valoarea $f' = 7,66$.

Raportul C_M/C_m este egal cu 1,5.

Luând în considerare aceste valori, se obțin timpii de suprapunere din tabelele ICMA, având valorile date în tabelul 3.8.

Tabelul 3.8

număr de	5	6	7	8	9
T_p %	6,22	8,46	11,05	14,0	17,3

Cu aceste valori se pot calcula economiile în vederea determinării numărului optim de mașini.

Din calculele efectuate s-au obținut valorile din tabelul 3.9.

Tabelul 3.9

n	$T_s\%$	E_c	Observații
5	6,22	0,454	
6	8,46	0,531	
7	11,05	0,584	
8	14,0	0,593	economia maximă
9	17,3	0,445	

Se observă că numărul optim de mașini-unelte, chiar în condițiile concrete în care s-a organizat deservirea, este de 8 mașini. Trebuie remarcat însă că deficiențele constatate în modul de organizare și desfășurare a procesului de prelucrare, atât din punct de vedere al amplasării mașinilor, cât și pe ansamblu, face imposibilă organizarea unei deserviri în condiții de economicitate maximă.

Pentru crearea de condiții mai favorabile, în vederea deservirii grupului de mașini, în afara aspectelor generale de organizare, care se vor prezenta la sfârșitul capitolului, s-au propus noi variante de amplasare a mașinilor, fig.3.6.a, 3.6.b.

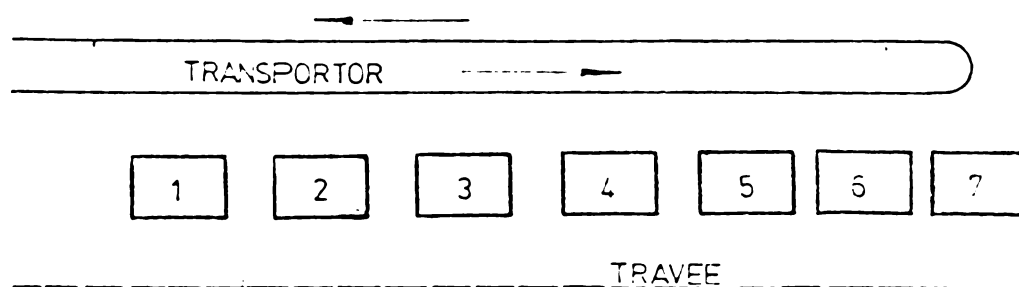


Fig 3.6a AMPLASAREA CORECTA A MASINILOR DE DANTURAT

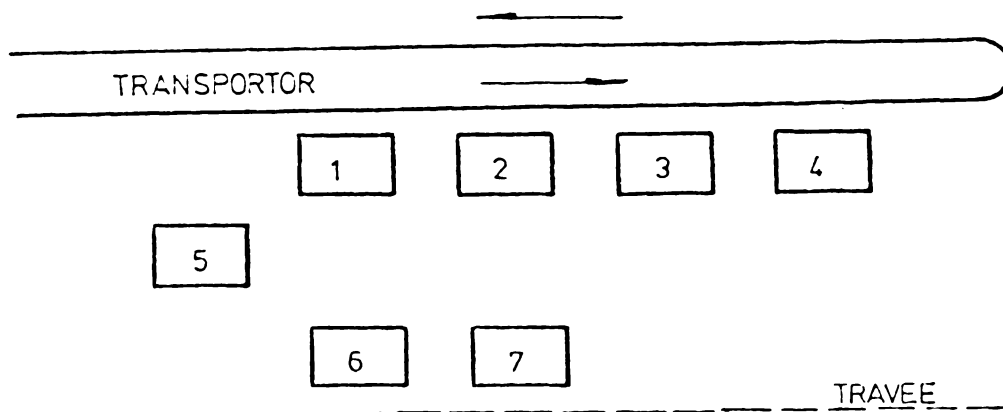


Fig.3.6.b AMPLASAREA CORECTA A MASINILOR DE DANTURAT
VARIANTA II

3.1.1.3. CAZUL DESERVIRII A 11 MASINI-UNELTE DE UN COLECTIV DE 10 MUNCITORI REPARTIZATI IN TREI SCHIMBURI

Studiul s-a efectuat în uzina B și a fost publicat în lucrarea [54]

Pentru deservirea grupului de mașini amplasate așa cum se arată în fig.3.7, colectivul de muncitori a fost repartizat pe cele trei schimburi în formația: 4 : 3 : 3.

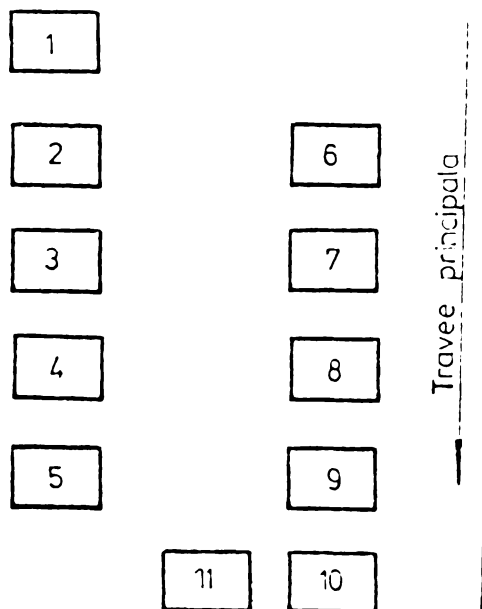


Fig. 3.7 AMPLASAREA MASINILOR

Observațiile asupra duratei timpilor de intervenție manuală, de funcționare a mașinilor și asupra timpului de suprapunere s-au efectuat pe o durată de 17 zile lucrătoare.

Pe baza datelor culese s-a calculat coeficientul provizoriu de mecanizare, luându-se în considerare sortimetele de piese prelucrate.

Dependența dintre timpul de suprapunere și coeficientul provizoriu de mecanizare se prezintă în fig. 3.8.

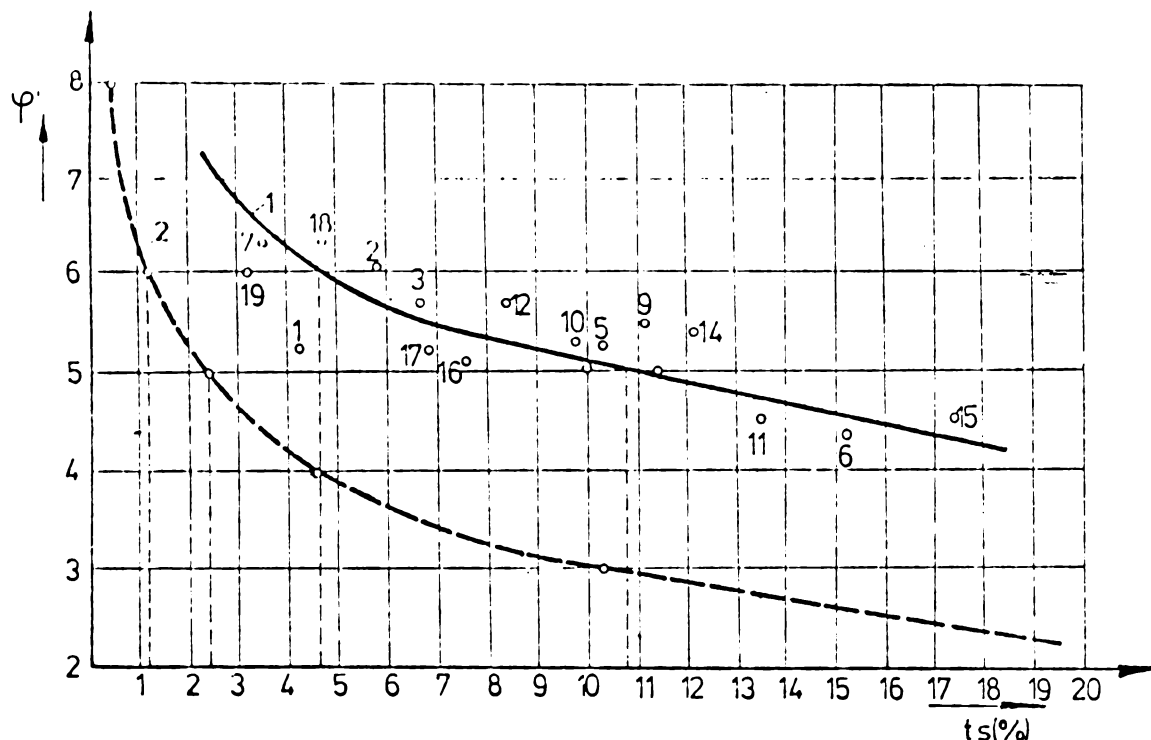


Fig. 3.8 CURBELE $\psi' = f(t_s)$

Trasarea curbelor $\psi' = f(t_s)$ s-a făcut conform legii de variație dată în lucrarea [54]

Din examinarea celor două curbe - 1 corespunzătoare datelor din literatură și 2 curba trasată pe baza datelor corespunzând cazului luat în studiu - se observă că la același coeficient provizoriu de mecanizare timpul de suprapunere diferă foarte mult. Această diferență se datorează mai multor cauze, între care se poate releva în primul rând o normare necorespunzătoare a timpilor de mașină și a timpilor de intervenție manuală a muncitorilor.

Este de menționat însă faptul că timpul utilizat de colectivul de muncitori atinge valori satisfăcătoare fiind superior față de curba de comparație așa după cum se poate observa din reprezentarea timpului de utilizare în funcție de coeficientul propriu de mecanizare, fig. 3.9.

Pe de altă parte, s-a constatat deficiența de organizare în desfășurarea procesului de prelucrare, în mod deosebit în ceea ce privește alimentarea mașinilor cu semifabricate, scule, ș.a.

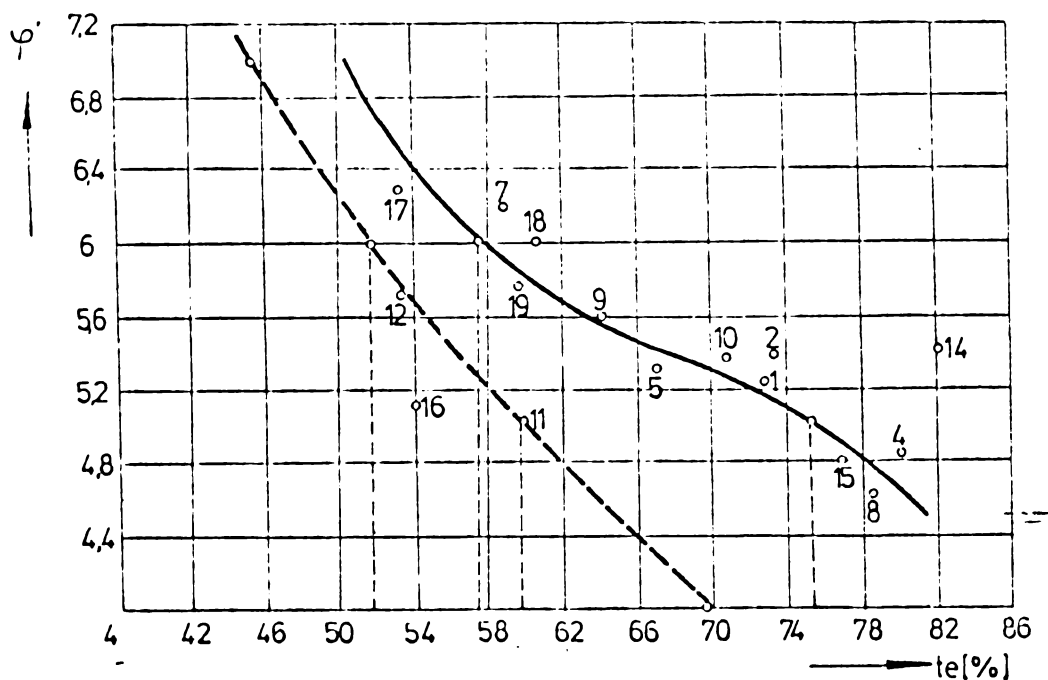


Fig. 3.9

De altfel, aceste aspecte reies și din reprezentarea gradului de utilizare a mașinilor. Astfel, în fig. 3.10 se prezintă gradul de utilizare mediu al grupului de mașini. Se constată o variație destul de mare între limitele 0,60 și 0,80, chiar valoarea medie maximă fiind sub limita indicatorului cerut pentru utilizarea mașinilor-unelte

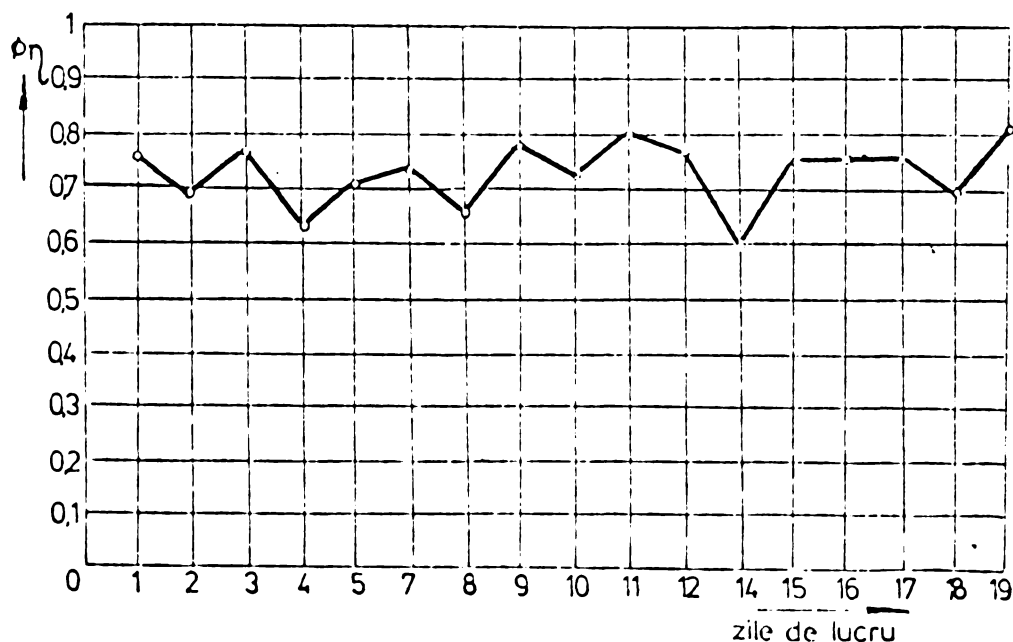


Fig.3.10 VARIATIA COEFICIENTULUI MEDIU DE INCARCARE A GRUPULUI DE MASINI.

Dacă se urmărește gradul de utilizare individual al mașinilor, fig. 3.11, se observă că în anumite zile variația este și mai mare ca urmare a stagnării unor mașini-unelte.

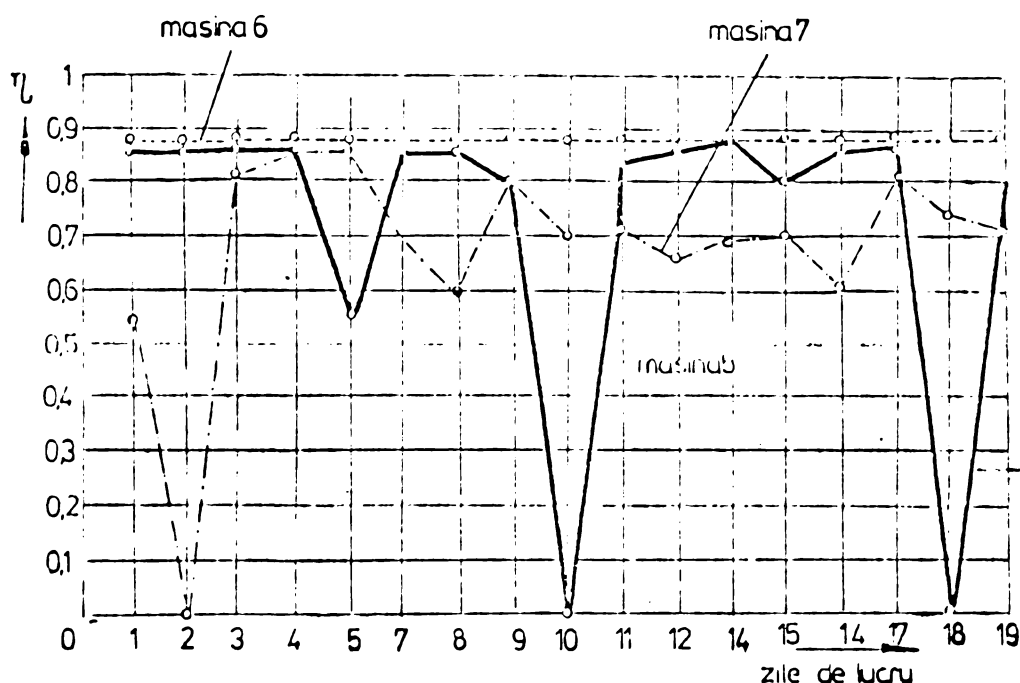


Fig. 3.11 VARIATIA COEFICIENTULUI DE INCARCARE

Verificarea aplicării metodei de deservire, prin aceeași metodă ca și în cazul precedent, arată că în condițiile date aceasta nu este economică.

Luând în considerare valoarea coeficientului $Q_0 = 4,06$, determinat pe baza datelor furnizate de sectorul financiar-contabil, s-au efectuat calculele prezentate în tabelul 3.10.

Tabelul 3.10

n număr de magini	T_{S}^S timp de suprapunere	E_c	Observații
4	0,12	0,739	
5	0,40	0,777	
6	0,92	<u>0,786</u>	număr optim de magini 6
7	1,76	0,753	
8	2,96	0,710	
9	4,56	0,630	
10	6,60	0,502	
11	9,44	0,380	

Se observă că economia maximă se obține pentru un număr de 6 magini.

Pentru realizarea unei deserviri satisfăcătoare, s-a făcut, pe baza calculului efectuat, recomandarea de a se folosi un număr de 5 punctori de schimb.

În aceste condiții, din calculul eficienței aplicării metodei, (tabelul 3.11), rezultă că pot fi deservite în condiții îmbunătățite de organizare 12 mașini-unelte.

Tabelul 3.11

n număr de mașini	T_s % de suprapunere	E_c	Observații
8	0,01	0,874	
9	0,02	0,889	
10	0,04	0,899	
11	0,07	0,903	
12	0,11	<u>0,904</u>	numărul optim 12 mașini
13	0,19	0,880	
14	0,26	0,834	
15	0,38	0,821	

3.2. UNELE ASPECTE ECONOMICE

La introducerea metodei de lucru multipozițional se impune efectuarea unei analize privind procesul de producție și structura prețului de cost.

Așa cum s-a mai arătat, condițiile pentru implementarea metodei se referă la studiul capacității de producție, a forțelor de muncă și, în deosebi, la cheltuielile care determină costul producției realizate.

În condițiile deservirii mai multor mașini, prin creșterea numărului de mașini crește și timpul de suprapunere T_s , ceea ce atrage după sine micșorarea capacității de producție a utilajului, pe de-o parte, iar, pe de altă parte, sporește consumul de energie, cresc de asemenea cheltuielile de exploatare. Existența unor factori care influențează negativ aplicarea metodei susmenționate conduce la necesitatea unei mai atente analize a determinării numărului optim de mașini deservite în condițiile realizării unor costuri minime.

Una dintre posibilitățile de îndeplinire a acestui deziderat este acela de a se evidenția economiile ce se pot realiza prin deservirea mai multor mașini, luând în considerare timpul de suprapunere.

Relația care permite exprimarea economiilor așa cum s-a mai arătat (3.3) are forma:

$$E_c = \frac{100}{100+T_s} \left(\frac{n-1}{n}\right) - \frac{T_s}{100-T_s} Q_c$$

în care:

$$\frac{C_M}{C_m} = Q_c$$

- C_M - cheltuieli aferente utilajelor;
- C_m - cheltuieli retribuție muncitori;

Din analiza relației se observă că la calculul eficienței economice intervine raportul C_M/C_m este egal cu Q_c . Acest raport practic nu este constant, el va avea valori diferite de la o întreprindere la alta. De asemenea, se va modifica prin procesul continuu de înzestrare cu mașini-unelte, respectiv prin gradul de calificare și prin îmbunătățirea retribuției muncitorilor.

Desigur, prin înzestrarea cu mașini de o mai înaltă tehnicitate, cheltuielile orare pentru mașini cresc și, în mod normal, crește și gradul de mecanizare.

Cheltuielile orare pentru grupe de mașini-unelte sînt determinate și de numărul de mașini-unelte.

Se remarcă deci că, de fapt, coeficientul Q_c este dependent de mai mulți factori care, la rîndul lor, sînt variabili în timp. Va fi deci necesar, în condițiile de aplicare practică, să se urmărească factorii care influențează această valoare pentru a se putea decide asupra numărului optim de mașini-unelte ce pot fi deservite.

Reprezentarea grafică a dependenței dintre gradul de mecanizare, numărul de mașini deservite și coeficientul Q_c , în condițiile deservirii de către un singur muncitor (fig.3.12)^[5] arată că odată cu creșterea gradului de mecanizare crește, după cum este și normal, numărul de mașini ce pot fi deservite, avînd același coeficient Q_c .

Dacă se ia în considerare o valoare constantă pentru gradul de mecanizare, se observă că prin creșterea lui Q_c , numărul de mașini ce pot fi deservite economic scade. Este însă de observat că peste o anumită valoare, deși crește Q_c , numărul optim de mașini ce se pot deservi nu mai crește. Aceasta se poate explica prin faptul că influența timpului de suprapunere va fi tot mai mare.

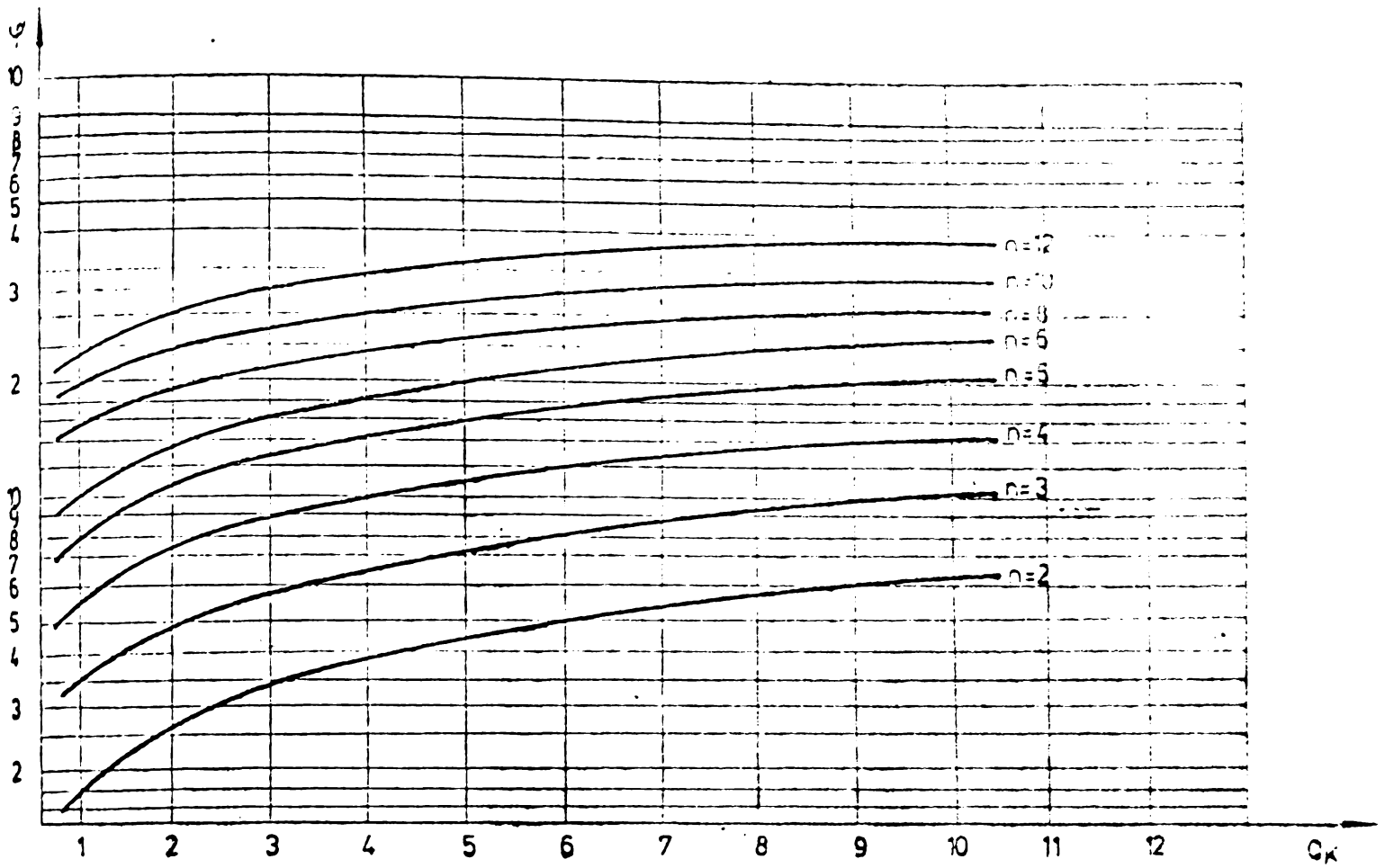


Fig. 3. 12

In ceea ce privește cheltuielile pe unitate de produs, acestea variază în funcție de numărul de mașini, așa cum se poate observa din fig. 3.13. [53]

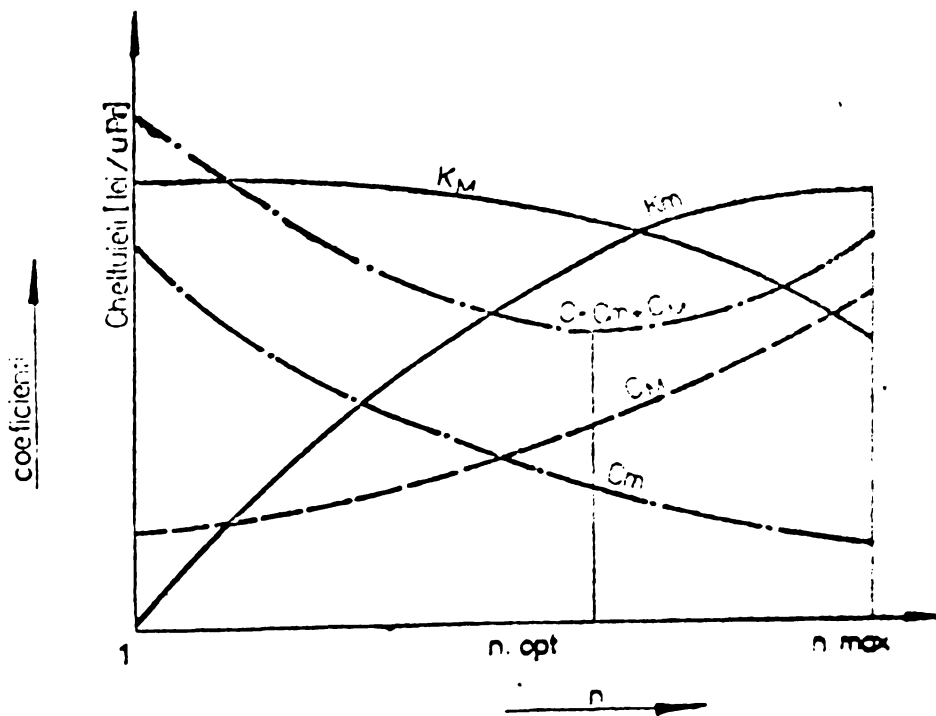


Fig. 3. 13

Deoarece, în general, asupra costului pe unitate de produs o importanță influență o are numărul de piese din lotul de prelucrat, este necesar ca și în cazul deservirii mai multor mașini să se determine lotul optim de piese.

Cheltuielile orare pe unitatea de produs, în cazul deservirii unei singure mașini, la prelucrarea unui lot 'N' de piese, se pot exprima sub forma:

$$C_M = (C_M + C_m) \left(\frac{t_{pi}}{N} + t_B \right) \frac{1}{60} \quad (3.4)$$

iar pentru cazul deservirii a 'n' mașini sub forma:

$$C_{MM} = (C_M n + C_m) \left(\frac{t_{pi}}{N} + K_M t_B \right) \frac{1}{60} \quad (3.5)$$

în care:

K_M - coeficient pentru cazul deservirii mai multor mașini ($K_M < 1$);

Pentru determinarea numărului de piese din lot, luînd în considerare cele două valori ale cheltuielilor, se pune condiția de limită, adică: $C_M = C_{MM}$, de unde rezultă numărul limită de piese din lot pentru care cheltuielile sînt identice și în consecință peste acest număr de piese în lot se vor obține economii.

$$N_{lim} = \frac{t_{pi} [C_M(n-1) - C_m + C_{MM}]}{t_B [C_M(1-nK_M) + C_m - K_M C_{MM}]} = K_M \frac{t_{pi}}{t_B} \quad (3.6)$$

coeficientul K_M are valori determinate de dimensiunea și complexitatea pieselor care se prelucreează și reprezintă de fapt corecția necesară pentru cazurile la care se necesită timp în plus pentru reglarea mașinii și pentru fixarea pieselor pentru prelucrare. Din rezultatele experimentale a mai multor cercetări s-a constatat că pentru realizarea unei deserviri eficiente, în cazul prelucrării unor loturi de piese, este necesar ca mărimea lotului să fie:

$$N_L = \frac{1}{a} N_{lim} \quad (3.7)$$

În literatura de specialitate se dau valori pentru 'a' între 0,04 și 0,08, ceea ce înseamnă că mărimea lotului optim, din punct de vedere tehnic, să fie de cca. 20-25 ori mai mare decît numărul de piese limită obținute din calcul.

3.3. UNELE CONCLUZII REIEȘITE DIN ACESTE STUDII

Din cele analizate în prima parte și din exemplele prezentate din studiile efectuate în cadrul mai multor întreprinderi constructoare de mașini, au reieșit o serie de deficiențe privind operațiile de pregătire a implementării metodei în cadrul unei întreprinderi.

Fie că se folosesc ciclogramele pentru cazurile mai simple, fie că se caută optimizarea cu ajutorul expresiilor teoretice matematice sau chiar cu acelea stabilite pe baze experimentale, se constată că este necesar a se admite unele considerente simplificatoare sau a se folosi parametrii aproximativi. Se mai poate remarca faptul că metodele analizate nu oferă posibilități de a determina toate elementele prin care să se poată asigura condițiile de optimizare.

La introducerea metodei de lucru multipozițional se necesită efectuarea unei analize privind procesul de producție și structura prețului de cost. Așa cum s-a mai arătat, condițiile pentru aplicarea metodei se referă la capacitatea de producție, forțele de muncă și, îndeosebi, la cheltuielile care determină costul producției.

În general se apreciază că prin mărirea mijloacelor de producție crește volumul produselor. Dar, după cum s-a văzut, în condițiile deservirii mai multor mașini, prin creșterea numărului de mașini crește timpul de suprapunere T_s , ceea ce atrage după sine micșorarea capacității de producție a utilajului, în același timp se consumă energie inefficientă, cota de amortizare va fi mai mare.

Din aceste influențe contrarii reiese necesitatea stabilirii numărului optim de mașini-unelte care urmează a fi deservite.

Luând în considerare realizarea unui cost minim în procesul de prelucrare, se poate determina care este numărul optim de mașini care pot fi deservite.

Din studiile asupra modului de aplicare a deservirii mai multor mașini în cadrul unor întreprinderi constructoare de mașini, se constată că rezultatele obținute nu au condus însă la dezvoltarea și diversificarea aplicării metodei. Cauzele care au determinat această situație sînt multiple și ele pot fi departajate în cauze obiective și cauze subiective.

Intre cauzele obiective semnalăm faptul că nici unul din modurile propuse în bibliografia consultată nu permite rezolvarea tuturor aspectelor complexe pe care le reprezintă problema.

Referindu-mă la metoda folosită în cadrul studiilor efectuate la întreprinderile constructoare de mașini, din care, în lucrarea de față s-au prezentat mai multe exemple, s-au constatat următoarele:

Deși elementele folosite în calcule se bazează pe un număr mare de observații, totuși aceasta, prin modul de determinare, nu poate satisface rezolvarea sub toate aspectele problemele tehnico-economice. Chiar determinarea gradului provizoriu de mecanizare, care, după cum am văzut, constituie un factor determinant, nu exprimă sub o formă riguroasă valoarea raportului dintre mersul automat sau fără necesitatea de supraveghere sau intervenție directă a muncitorului în timpul procesului de prelucrare.

Este necesar a se menționa însă că prin folosirea gradului provizoriu de mecanizare, în cele mai multe cazuri, aceasta nu reprezintă situația de fapt. Chiar dacă se aplică un coeficient de corecție, nu se poate acoperi deficiențele care pot exista în modul de organizare și desfășurare a procesului de prelucrare. Pentru obținerea de valori mai apropiate de realitate sînt necesare foarte multe observații instantanee, mai ales în condițiile unui grad de mecanizare mai ridicat și pentru o grupare de mașini cu diferite grade de mecanizare. Pe de altă parte, creșterea dinamică și accentuată a gradului de tehnicitate a mașinilor-unelte și de ridicare a calificării muncitorilor, face ca metoda de calcul a numărului de mașini-unelte deservite în condițiile unei eficiențe maxime să devină greoaie și deci să nu mai corespundă.

Rezultatele studiului efectuat, atât la cazurile prezentate în lucrare cît și la celelalte cazuri, chiar dacă nu pot fi aplicate integral în practică, au scos în evidență, chiar dacă numai orientativ, o serie de deficiențe și dificultăți privind modul de pregătire a aplicării și de desfășurare a procesului polideservirii, printre care:

Lipsa unor studii atente privitoare la organizarea producției în condițiile deservirii mai multor mașini. Aproape în toate cazurile nu s-a ținut seama la amplasarea mașinilor de succesiunea operațiilor și de faptul că timpul necesar deplasării muncitorului să fie minim și să asigure o posibilitate mai amplă de supraveghere.

În multe cazuri s-au constatat deficiențe privind alimentarea cu piese pentru prelucrat, dotarea cu SDV-uri corespunzătoare; de asemenea, s-au constatat neajunsuri care se referă la desfășurarea în ansamblu a procesului, întocmirea defectuoasă a documentației tehnologice și în deosebi a indicării regimurilor de așchiere, a normării corecte a lucrărilor ce se execută.

Desigur, toate aceste deficiențe au condus la obținerea unor rezultate nesatisfăcătoare, motiv pentru care în multe cazuri în loc să se extindă metoda polideservirii, aceasta s-a restrâns sau în multe cazuri a fost abandonată.

În contextul acestor observații se impune a se folosi acei parametri care să poată exprima obiectiv avantajele reale ce se obțin în urma aplicării acestei metode, care s-a dovedit practic a fi foarte eficientă. Între aceștia, consider că expresia gradului de încărcare a mașinilor-unelte, precum și a muncitorilor pot să conducă la o apreciere a avantajelor aplicării polideservirii.

3.4. CONSIDERATII ASUPRA APLICARII POLIDESERVIRII

Din analiza modului de tratare a condițiilor de aplicare a metodei de deservire a mai multor mașini, se constată că în principiu s-a urmărit rezolvarea, luându-se în considerare aspectul economic al problemei. Modelul matematic stabilit permite analiza și găsirea într-un mod mai simplu, fără folosirea calculatorului electronic a condițiilor de aplicare prin care să se asigure o eficiență economică.

Pentru deservirea unui număr mai mic de mașini, așa cum s-a arătat, se poate folosi cu doctul de bune rezultate cazul determinist la a cărui rezolvare să se folosească metoda cilogramelor.

În condițiile abordării mai generale a problemei, folosind programarea liniară sau tratarea problemei ca un fenomen stohastic, se impune acceptarea unor ipoteze simplificatoare ce conduc la obținerea unor rezultate mai puțin exacte față de condițiile reale, atât în ceea ce privește încărcarea mașinilor, cât și gradul de folosire a timpului muncitorului.

În cadrul cazurilor amintite se pot totuși studia posibilitățile deservirii unui număr optim de mașini pentru anumite situații particulare, cum ar fi, de exemplu: deservirea mașinilor-unelte la care se efectuează același fel de operații, adică în condițiile când și ciclul de lucru este același.

În aceste cazuri se poate stabili în mod real raportul între încărcarea mașinilor și solicitatea deservantului.

Aplicarea metodei polideservirii mai multor mașini la care durata de deservire, supraveghere, așteptare precum și timpii de interferență și de lucru a mașinilor sînt de valori foarte diferite, problema de rezolvat este destul de complexă.

Datorită acestui fapt, rezolvarea comportă studii de mai lungă durată, calcule complexe în vederea găsirii soluției optime.

Dintre metodele cunoscute cu aplicabilitate mai ușoară, ni s-a părut aceea prezentată în lucrarea [63], lucrare bazată pe un volum mare de observații pe baza cărora s-a stabilit metoda.

Dintre experimentările efectuate s-a constatat că aceasta oferă posibilitatea pentru determinarea unor elemente care să asigure condițiile de aplicare a metodei polideservirii mai multor mașini-unelte în industria constructoare de mașini.

Deoarece în studiile și cercetările efectuate în cadrul preocupărilor de aplicare a polideservirii în industria noastră constructoare de mașini ne-am folosit în prima fază de principiile și datele din această lucrare, se consideră necesar a se analiza într-un mod foarte succint principalele aspecte ale metodei.

În metoda folosită de Storch tratată și în lucrările [63], [64] se pleacă de la noțiunea de grad de mecanizare.

Deși definiția nu are o valabilitate generală, în strictul sens al definiției, în condițiile unor rezolvări mai expeditivă a problemei, pentru industria constructoare de mașini, gradul de mecanizare se prezintă sub forma raportului dintre timpul de funcționare automată (fără intervenția operatorului) a mașinii-unelte și timpul necesar pentru intervențiile manuale la care se însoțesc și timpul de suprapunere. În acest context, gradul de mecanizare se poate exprima sub forma:

$$\varphi = \frac{\sum t_{fi}}{\sum t_{ei} + T_s} \quad (3.8)$$

în care:

$$t_{fi} = t_{Mb} + t_{Ma}$$

și

$$t_{ei} = t_d + t_{pi} + t_e$$

De menționat că timpii luați în considerare se stabilesc pe baza parametrilor tehnologici ai procesului de prelucrare.

În ceea ce privește timpul de suprapunere, aceasta este

funcție de gradul de mecanizare și de numărul de mașini deservite, precum și de numărul muncitorilor care formează echipa de deservire.

Deoarece există o interdependență între gradul de mecanizare și timpul de suprapunere în lucrarea [63] sînt prezentate valorile stabilite pe baza teoriei observațiilor. Timpii din tabele corespund unui grad provizoriu:

$$\varphi' = \frac{\sum t_{fi}}{\sum t_{ei}} \quad (3.9)$$

După cum se observă, în calcul apare numai timpul efectiv utilizat de muncitori la intervenția la mașină ori practic, s-a prevăzut să fie luat în considerare și timpul de suprapunere. Din aceste motive, în prima fază a calculului se admite acest coeficient care se corectează apoi după introducerea și a timpului de suprapunere.

În studiile sale Dale Jones [35] abordează problema aproape similar cu mici diferențe. Din compararea valorilor timpului de suprapunere, în funcție de numărul de mașini deservite și gradul de ocupare al executantului diferă foarte puțin față de cel dat în tabel de "stork".

Un al doilea coeficient luat în considerare este acela al încărcării mașinii-unelte, exprimat sub forma:

$$\eta = \frac{\sum t_{fi}}{\sum t_{fi} + \sum t_{ei} + T_s} \quad (3.10)$$

Prin acest coeficient se exprimă de fapt încărcarea efectivă a mașinii-unelte.

Deoarece:

$$\varphi = \frac{\sum t_{fi}}{\sum t_{ei} + T_s} \quad (3.11)$$

se poate scrie:

$$\eta = \frac{\varphi}{\varphi + 1} \quad (3.12)$$

Funcția $\eta = f(\varphi)$ se reprezintă în fig.3.14 din care se observă că prin creșterea gradului de mecanizare crește și gradul de încărcare al mașinii-unelte.

Ceea ce este important de reținut din cunoașterea interdependenței dintre φ și η este faptul că prin acțiunile de mecu-

nizare și automatizare la mașinile-unelte care au un grad scăzut de mecanizare se obțin efecte importante asupra creșterii gradului de utilizare și deci de folosire mai eficientă a mașinilor.

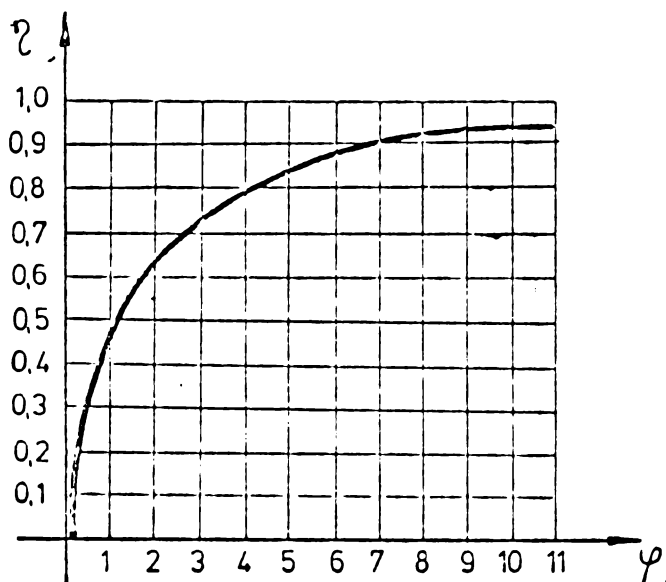


Fig. 3.14

Creșterile se pot determina luând în considerare valorile dinainte și după aplicarea mecanizării:

$$\Delta t = t_t - t_i \quad (3.13)$$

$$\Delta \eta = \eta_t - \eta_i \quad (3.14)$$

Eficiența acțiunilor de mecanizare se poate evidenția dacă se reprezintă variația coeficientului de rentabilitate în funcție de gradul de mecanizare:

$$\lambda = f(\eta) \quad (3.15)$$

Cunoașterea gradului de încărcare ne permite să stabilim norma de timp pentru mașinile-unelte deservite, folosind relația:

$$T_{Nn} = \sum F_r \cdot \eta \quad (3.16)$$

în care:

F_r - fondul de timp real al mașinii-unelte.

Dacă mașinile din grupă nu au toate același grad de încărcare, ceea ce practic se poate întâmpla frecvent, se poate calcula gradul mediu cu relația:

$$\text{mediu} = \frac{\sum \eta_i \cdot t_i}{t_{\text{pbr}}} \quad (3.17)$$

în care:

ρ_1 - gradul de încărcare al mașinii;

t_i - perioada de timp la care se referă gradul de încărcare;

t_{per} - perioada de timp pentru care se calculează gradul de încărcare.

Cunoașterea gradului mediu de încărcare ne oferă posibilitatea unei mai bune evidențieri a modului cum sînt folosite mașinile-unelte, în ce măsură se ține seama de minimizarea cheltuielilor și folosirea fondurilor fixe, în vederea asigurării unei producții nete superioare.

x

x

x

Din studiile efectuate teoretic și experimental a reieșit necesitatea găsirii unui nou mod de abordare a problemei prin care să se obțină rezultate mai concludente. În acest sens, în continuare se prezintă studiul asupra optimizării parametrilor de lucru în condițiile deservirii mai multor mașini.

C A P I T O L U L 4

STUDIUL DE OPTIMIZARE A POLIDESERVIRII MAI MULTOR LOCURI DE MUNCA LA CARE SE EXECUTA OPERATII CU DURATE DIFERITE

În capitolul 1 al prezentei lucrări am arătat că printre criteriile de analiză ale polideservirii se numără și cel privitor la structura și durata operațiilor ce se prelucrează și care în practică pot fi:

- operații identice, având aceeași durată;
- operații diferite ca structură, dar cu aceeași durată;
- operații cu durate multiple între ele;
- operații cu durate diferite (aleatoare).

Problema polideservirii mașinilor care execută operații cu durate diferite consider că prezintă tot mai mult interes, ținând seama de faptul că în procesul de producție se impune, pe de o parte, asigurarea unei tot mai largi flexibilități, iar, pe de altă parte, faptul că pînă în prezent literatura de specialitate consultată nu oferă o metodă prin care să se obțină în condiții mai ușoare determinarea ordinei de succesiune a deservirii mașinilor, astfel ca timpul de întreruperi în funcționarea utilajului (timpul de interferență) să fie minim.

Pentru studiul acestui aspect se consideră stabilit codul și numărul optim de mașini deservite $m_i (i=\overline{1,n})$.

Fiecare mașină este mai întâi deservită de executant (e), după care urmează succesiunea de funcționare utilă a mașinii (f). Fluxul de lucru este deci în ordinea (e) — (f). Fiecărei mașini deservite (i) i se atașează un vector $(t_{ei}, t_{fi}), i = (\overline{1, n})$ care reprezintă timpul executantului t_e și timpul de funcționare utilă a mașinii t_f . În modelul considerat s-a admis că timpul de trecere al executantului de la o mașină la alta este nul, fiind neglijabil și că nu există nici o restricție privind ordinea de deservire a mașinilor, decât scurtarea timpului de interferență (timpul de așteptare a mașinii).

Drept date de intrare, se dau timpii de deservire (t_{ei}) și timpii de funcționare utilă (t_{fi}) a mașinii 'i' ($i=\overline{1, n}$), tabelul 4.1.

Tabelul 4.1

mașini timp	m_1	m_2	...	m_n
t_{ei}	t_{e1}	t_{e2}	...	t_{en}
t_{fi}	t_{f1}	t_{f2}	...	t_{fn}

Problema constă în determinarea ordinii de deservire și funcționare utilă a mașinilor în așa fel încât timpul total de interferență (de așteptare) al mașinilor polideservite să fie minim.

O prezentare grafică a problemei considerate se poate face ca în fig. 4.1.

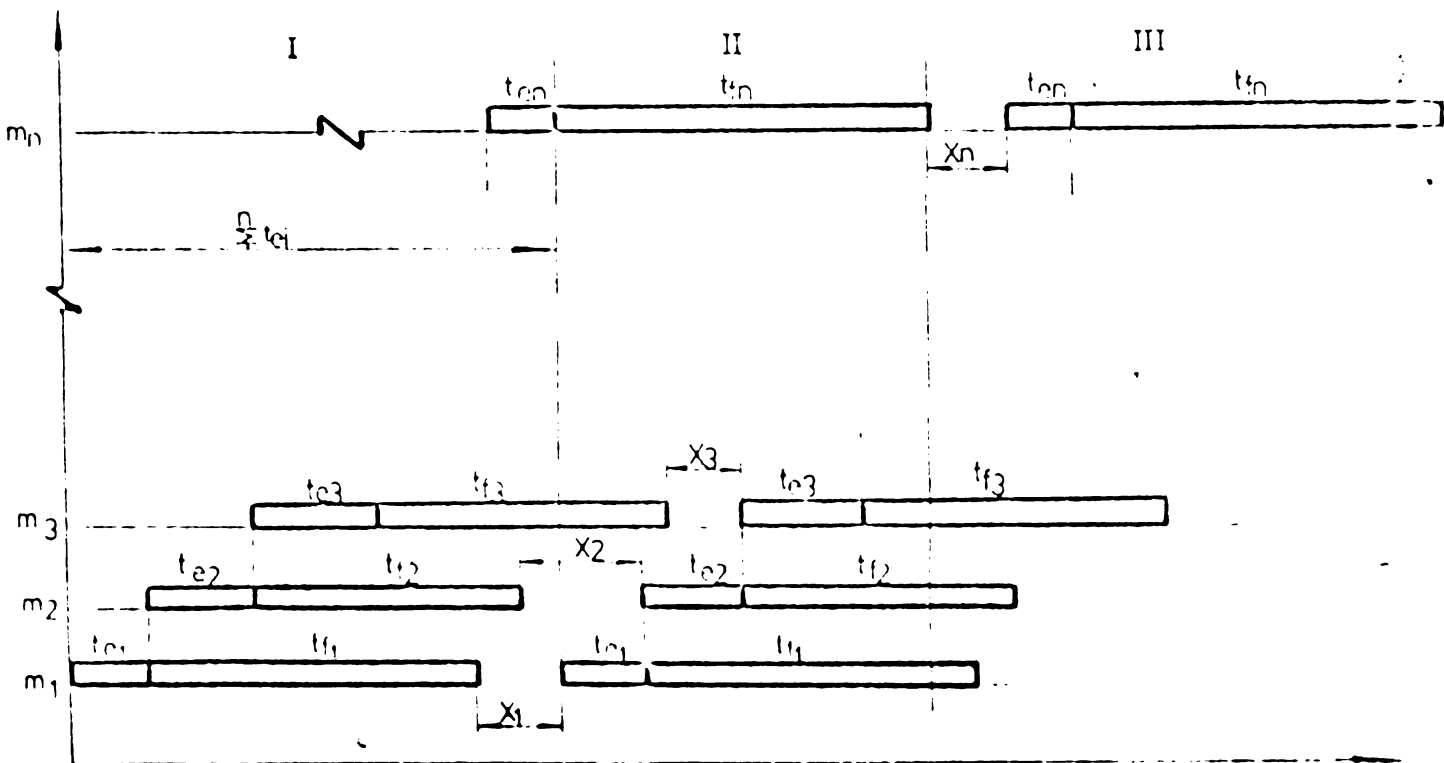


Figura 4.1 GRAFICUL GANTT AL POLIDESERVIRII.

În acest grafic, în ordonată este reprezentat timpul executantului și de funcționare utilă al mașinilor. Segmentele desenate cu linii duble arată intervalul de timp în care câte o mașină este deservită de un executant și funcționează util. Logic mașina m_1 nu poate începe funcționarea utilă pînă ce executantul nu a efectuat deservirea mașinii respective.

Se menționează că în același timp executantul poate să deservescă numai o singură mașină. După cum se constată din grafic și din practică, în anumite situații pot să apară cazuri cînd atît executantul cît și mașinile au timpi de așteptare.

Dacă se stabilesc momentele de începere a deservirii și funcționarea utilă pentru fiecare mașină, respectînd condițiile mai sus prezentate, atunci s-a realizat o programare admisibilă a polideservirii. Dacă suma timpilor de interferență a mașinilor este minimă, atunci s-a realizat o programare optimă.

Determinarea succesiunii optime a polideservirii se bazează pe următoarea proprietate: dacă avem o succesiune de deservire a mașinilor S_1 și se admite că se schimbă ordinea de deservire a două mașini, după o anumită regulă, se obține o succesiune diferită S_2 . Admițînd că succesiunea S_2 este mai bună decît S_1 , atunci după repetarea schimbării de succesiune trebuie să ducă, după un număr finit de etape, la realizarea optimului.

Fie o succesiune de deservire a mașinilor m_1, m_2, \dots, m_n . Notăm cu X_1 durata de așteptare a funcționării utile a mașinii m_1 . Din fig. 4.1 rezultă că după efectuarea deservirii mașinilor $m_i (i=1, n)$, durata de așteptare pentru mașina m_1 este:

$$t_{e1} + t_{f1} + X_1 = \sum_{i=1}^n t_{ei}$$

de unde:

$$X_1 = \sum_{i=1}^n t_{ei} - (t_{e1} + t_{f1}) \quad (4.1)$$

Sînt posibile trei cazuri:

a. Atunci cînd:

$$\sum_{i=1}^n t_{ei} - (t_{e1} + t_{f1}) = 0$$

În acest caz nu sînt așteptări nici pentru executant, nici pentru funcționarea utilă a mașinii m_1 (s-a făcut abstracție de durata necesară deservirii t_{e1});

b. Atunci cînd:

$$\sum_{i=1}^n t_{ei} - (t_{e1} + t_{f1}) < 0$$

In acest caz executantul așteaptă să deservească mașina m_1 , care funcționează util, dar costul acestei așteptări de multe ori se poate considera neglijabil;

c. Atunci cînd:

$$\sum_{i=1}^n t_{ei} - (t_{e1} + t_{f1}) > 0$$

In acest caz executantul nu așteaptă, în schimb utilajul așteaptă.

Avînd în vedere aceste trei cazuri, rezultă că timpul de așteptare al funcționării utile a mașinii m_1 este:

$$X_1 = \text{MAX} \left\{ \left[\sum_{i=1}^n t_{ei} - (t_{e1} + t_{f1}) \right]; 0 \right\} \quad (4.2)$$

Timpul de așteptare pentru mașina m_2 rezultă din lanțul de timpi ai ciclului II și III, pentru mașinile m_1 și m_2 , astfel:

$$(t_{e1} + t_{f1}) + X_1 + t_{e1} = X_2 + (t_{f2} + t_{e2}) + t_{e1} \quad (4.3)$$

$$X_2 = [X_1 + t_{e1} + (t_{e1} + t_{f1})] - \left[\sum_{i=1}^2 t_{ei} + t_{f2} \right]$$

X_2 mai poate rezulta și din:

$$\sum_{i=1}^n t_{ei} + t_{e1} = X_2 + (t_{f2} + t_{e2} + t_{e1})$$

deci:

$$X_2 = \left(\sum_{i=1}^n t_{ei} + t_{e1} \right) - \left(\sum_{i=1}^2 t_{ei} + t_{f2} \right) \quad (4.4)$$

Pe baza rezultatelor analizei celor trei cazuri și a ecuației (4.3) și (4.4) se obține ecuația generalizată a timpului de așteptare pentru mașina m_2 , cînd succesiunea deservirii este $m_1 \rightarrow m_2$:

$$X_2^{1-2} = \text{MAX}_{i \in \{1,2\}} \left\{ \text{MAX} \left[\left(\sum_{i=1}^n (t_{ei} + t_{e1}) \right); \left[X_1 + t_{e1} + (t_{e1} + t_{f1}) \right] - \sum_{i=1}^2 t_{ei} + t_{f2} \right]; 0 \right\} \quad (4.5)$$

Timpul de așteptare pentru mașina m_3 în cazul deservirii în succesiunea $m_1 \rightarrow m_2 \rightarrow m_3$, se obține astfel:

$$t_{e1} + (t_{e2} + t_{f2}) + X_2 + t_{e2} = X_3 + (t_{f3} + t_{e3}) + t_{e2} + t_{e1}$$

de unde:

$$X_3 = X_2 + \sum_{i=1}^2 t_{ei} + (t_{e2} + t_{f2}) - \left(\sum_{i=1}^3 t_{ei} + t_{f3} \right); \quad (4.6)$$

$$i \in \{1, 2\} \qquad i \in \{1, 2, 3\}$$

sau

$$\sum_{i=1}^n t_{ei} + t_{e1} + t_{e2} = X_3 + t_{f3} + t_{e3} + t_{e2} + t_{e1}$$

deci:

$$X_3 = \left(\sum_{i=1}^n t_{ei} + \sum_{i=1}^2 t_{ei} \right) - \left(\sum_{i=1}^3 t_{ei} + t_{f3} \right) \quad (4.7)$$

$$i \in \{1, 2\} \qquad i \in \{1, 2, 3\}$$

în final:

$$X_3^{1-2-3} = \text{MAX} \left\{ \text{MAX} \left[\left(\sum_{i=1}^n t_{ei} + \sum_{i=1}^2 t_{ei} \right); X_2 + \sum_{i=1}^2 t_{ei} + \right. \right.$$

$$\left. \left. + (t_{e2} + t_{f2}) - \left(\sum_{i=1}^3 t_{ei} + t_{f3} \right) \right]; 0 \right\} \quad (4.8)$$

$$i \in \{1, 2\} \qquad i \in \{1, 2\} \qquad i \in \{1, 2, 3\}$$

Prin recurență se obține timpul de așteptare pentru mașina m_k , în ordinea de succesiune a deservirii $S \ 1, 2, \dots, k$:

$$X_k^{S_k} = \text{MAX} \left\{ \text{MAX} \left[\left(\sum_{i=1}^n t_{ei} + \sum_{i=1}^{k-1} t_{ei} \right); \left[X_{k-1} + \sum_{i=1}^{k-1} t_{ei} + \right. \right. \right.$$

$$\left. \left. + (t_{e_{k-1}} + t_{f_{k-1}}) \right] - \left(\sum_{i=1}^k t_{ei} + t_{fk} \right) \right]; 0 \right\} \quad (4.9)$$

$$S_k \{1, 2, \dots, k\} \qquad i \in S_k \qquad i \in S_k \qquad i \in S_k$$

Cu relația (4.9) se determină timpul de așteptare a funcționării utile a mașinilor într-o succesiune S_k dată. Așa cum s-a arătat, problema constă în a găsi succesiunea optimă a deservirii a 'n' mașini, satisfăcându-se condiția ca timpul total de așteptare a funcționării utile a mașinilor să fie minim.

Problema are caracter combinatorial și constă în a găsi în mulțimea permutărilor a 'n' mașini

$$\left\{ S = \left[(S_1, S_2); (S_2, S_3), \dots, (S_{n-1}, S_n) \right] \mid 1 \leq S_1, \dots, S_n \leq n \right\} \quad (4.10)$$

astfel ca una sau mai multe permutări care minimizează expresia:

$$Z(S) = \sum_{k=1}^n X_k^{S_k} \quad (4.11)$$

reprezintă totalul timpului de așteptare a funcționării utile a mașinilor polideservite.

Pentru rezolvarea acestei probleme vom folosi algoritmi de tip "Branch and bound" (ramifică și mărginește).

În continuare se prezintă sinteza aplicării algoritmului de tip BB la problema polideservirii mașinilor.

4.1. RAMIFICAREA DE LA UN NOD LA NOI NODURI

Se formează o arborescență plecând de la un nod inițial Ω care reprezintă mulțimea celor $n!$ permutări (adică soluții) a celor 'n' mașini polideservite. Nodul inițial Ω se ramifică în 'n' noduri. Fiecare din aceste 'n' noduri reprezintă afectarea în prima succesiune a mașinii i ($i = \overline{1, n}$), deci nodul Ω se ramifică în 'n' noduri. Iar un nod intermediar N_k este mulțimea permutărilor parțiale a indicilor mașinilor polideservite ($i = \overline{1, n}$), respectiv permutările în care primii indici $k < n$ sînt arătați într-o anumită ordine. Pornind din acest nod intermediar N_k prin ramificarea acestuia se crează $(n-k)$ noduri noi rezultate prin specificarea celui de-al $(k+1)$ -lea al permutării dintre cei $(n-k)$ indici a căror poziție nu a fost anterior specificată. Numărul maxim de noduri rezultate prin procesul de ramificare este egal cu:

$$1 + n + n(n-1) + \dots + n!$$

4.1.1. STABILIREA MARGINILOR INFERIOARE

Dacă N_k este mulțimea permutărilor indicilor $i = \overline{1, n}$ în care primele k locuri sînt ocupate de o permutare P_k a acestor indici, marginea inferioară a nodului N_k se calculează astfel:

$$Z(S) = \sum_{i=1}^k X_k^{S_k} \quad (4.12)$$

$$i \in S_k; S_k = \{1, 2, \dots, k\}$$

4.1.2. ALEGEREA NODULUI PENTRU NOILE RAMIFICARI

După ce s-a construit nodul inițial Ω al arborescenței, se construiesc cele 'i' noduri ($i=\overline{1,n}$) ale codurilor mașinilor polideservite și câte un arc (ramificație) corespunzând succesiunii de polideservire (0-i) ($i=\overline{1,n}$), care are marginea inferioară egală cu durata polideservirii a executantului, practic cele 'i' noduri succesoare nodului inițial au aceeași valoare. Aceste noduri reprezintă primul indice a mașinilor polideservite (m_1) și sînt nodurile primului nivel. Deoarece la primul nivel toate nodurile au aceeași margine inferioară, de la fiecare nod se ramifică (n-1) indici ai mașinilor polideservite. Pentru fiecare nod de la nivelul doi se calculează timpul de așteptare a funcționării utile a mașinilor polideservite în ordinea primului și al celui de-al doilea indice; timpul de așteptare a funcționării utile se calculează cu relația (4.9) și se însumează cu timpul de așteptare pentru fiecare nod conform relației (4.12). Se determină valoarea cea mai mică a nodurilor de la nivelul doi. Este posibil ca mai multe noduri să aibă aceeași valoare inferioară (valoarea marginală), de la aceste noduri operația de ramificare continuă la nivelul următor cu indicele mașinilor neatribuite pînă în prezent.

Pentru nivelul K la fiecare nod din acest nivel se calculează cu relația (4.9) timpul de așteptare a funcționării utile a mașinilor polideservite și suma timpilor de așteptare a ordinei de succesiune a fiecărui nod de la nivelul inițial la nivelul K, care se calculează cu relația (4.12), ceea ce reprezintă marginea inferioară a nodului. Se determină nodul sau nodurile care au valoarea de limită inferioară $w(N_{I_k})$ de la care se continuă ramificarea, iar pentru nodurile care au valoarea $w(N_{L_k})$ superioară:

$$w(N_{I_k}) < w(N_{L_k}) \quad (4.13)$$

se taie nodurile (N_{L_k}) ele nemai generînd noi ramificări.

4.1.3. IDENTIFICAREA UNUI NOD FINAL CARE CONȚINE O SOLUȚIE OPTIMALĂ

Un nod final conține soluția optimă dacă marginea sa in-

ferioară asociată lui este mai mică sau cel mult egală cu a tuturor nodurilor de la ultimul nivel.

În cazul polideservirii mașinilor, mai ales când există mai multe soluții optimizate, este necesar ca procesul ramificării și marginării să se continue pe parcursul a cel puțin trei sau patru cicluri de polideservire. Aceste operații sînt necesare deoarece din cercetările noastre rezultă că stabilizarea șirului de valori ale polideservirii se stabilizează în unele cazuri numai după trei sau patru cicluri ale polideservirii.

În aceste condiții se poate determina ordinea de succesiune a polideservirii optime a mașinilor.

Ordinea de succesiune a deservirii și funcționării utile a mașinilor se trece într-un tabel (4.2) care conține: timpii de așteptare ai executantului și de așteptare a funcționării utile a mașinilor.

Tabelul 4.2

Succesiunea mașinilor m_i (S_k)	$T_{ei_{S_k}}$	$\bar{T}_{ei_{S_k}}$	$T_{fi_{S_k}}$	$\bar{T}_{fi_{S_k}}$	$T_{ei_{S_k}}^a$	$T_{fi_{S_k}}^a$	Observații
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

În prima coloană se înscrie ordinea de succesiune a deservirii mașinilor în cadrul ciclului $c(c=\overline{1,r})$.

Se determină momentul în care se începe deservirea mașinii $i(T_{ei_{S_k}})$, conform succesiunii S_k , utilizînd relația:

$$T_{ei_{S_k}} = \text{MAX} \left[\bar{T}_{e(i-1)_{S_k}} ; \bar{T}_{fi_{S_{k-1}}} \right] \quad (4.14)$$

în care:

- $\bar{T}_{e(i-1)_{S_k}}$ - este momentul cînd executantul este liber să deservescă mașina 'i' din succesiunea S_k ;
- $\bar{T}_{fi_{S_{k-1}}}$ - este momentul cînd funcționarea utilă a mașinii 'i' s-a terminat în succesiunea S_{k-1} ;

Momentul începerii funcționării utile a mașinii 'i' din succesiunea $S_k(\bar{T}_{fi_{S_k}})$, rezultă din:

$$T_{fi_{S_k}} = \bar{T}_{e1_{S_k}} \quad (4.15)$$

Durata funcționării utile a mașinii 'i', în succesiunea

S_k este dată de relația:

$$\bar{T}_{f_{iS_k}} = T_{f_{iS_k}} + t_{f_i} \quad (4.16)$$

Momentul terminării deservirii mașinii 'i' din succesiunea $S_k(\bar{T}_{e_{iS_k}})$, se obține din relația:

$$\bar{T}_{e_{iS_k}} = \text{MAX} \left[(\bar{T}_{e_{(i-1)S_k}}; \bar{T}_{f_{iS_{k-1}}}) + t_{e_i} \right] \quad (4.17)$$

Timpul de așteptare a executantului, la deservirea mașinii 'i' la succesiunea $S_k(T_{e_{iS_k}}^a)$, rezultă din:

$$T_{e_{iS_k}}^a = \text{MAX} \left[(\bar{T}_{f_{iS_{k-1}}} - \bar{T}_{e_{i-1S_k}}); 0 \right] \quad (4.18)$$

Timpul de așteptare a funcționării utile a mașinii 'i' în cadrul succesiunii S_k , este dată de relația:

$$T_{f_{iS_k}}^a = \text{MAX} \left[(\bar{T}_{e_{i-1S_k}} - \bar{T}_{f_{iS_{k-1}}}); 0 \right] \quad (4.19)$$

Aceste calcule se ordonează în tabelul 4.2.

Modul de utilizare a acestui algoritm o vom ilustra cu un exemplu:

În tabelul 4.3 se dau duratele de deservire și funcționare utilă a mașinilor. Se cere să se determine succesiunea optimă a polideservirii.

Tabelul 4.3

Matricea timpilor				
m_i	1	2	3	4
t_{ei}	1,5	0,5	2	2
t_{fi}	8	7	5,5	6

Pasul 1 - se pleacă de la un nod inițial Ω și se crează patru noduri $N(1,2,3,4)$, care indică primul loc în ordinea de succesiune a deservirii mașinilor $m_i (i=1,4)$ după cum se vede din fig. 4.2; iar în tabelul 4.4 cu relația (4.2) se calculează timpii de așteptare a funcționării utile a mașinilor. În coloana 5 a tabelului se marchează marginile inferioare, care se vor ramifica în continuare.

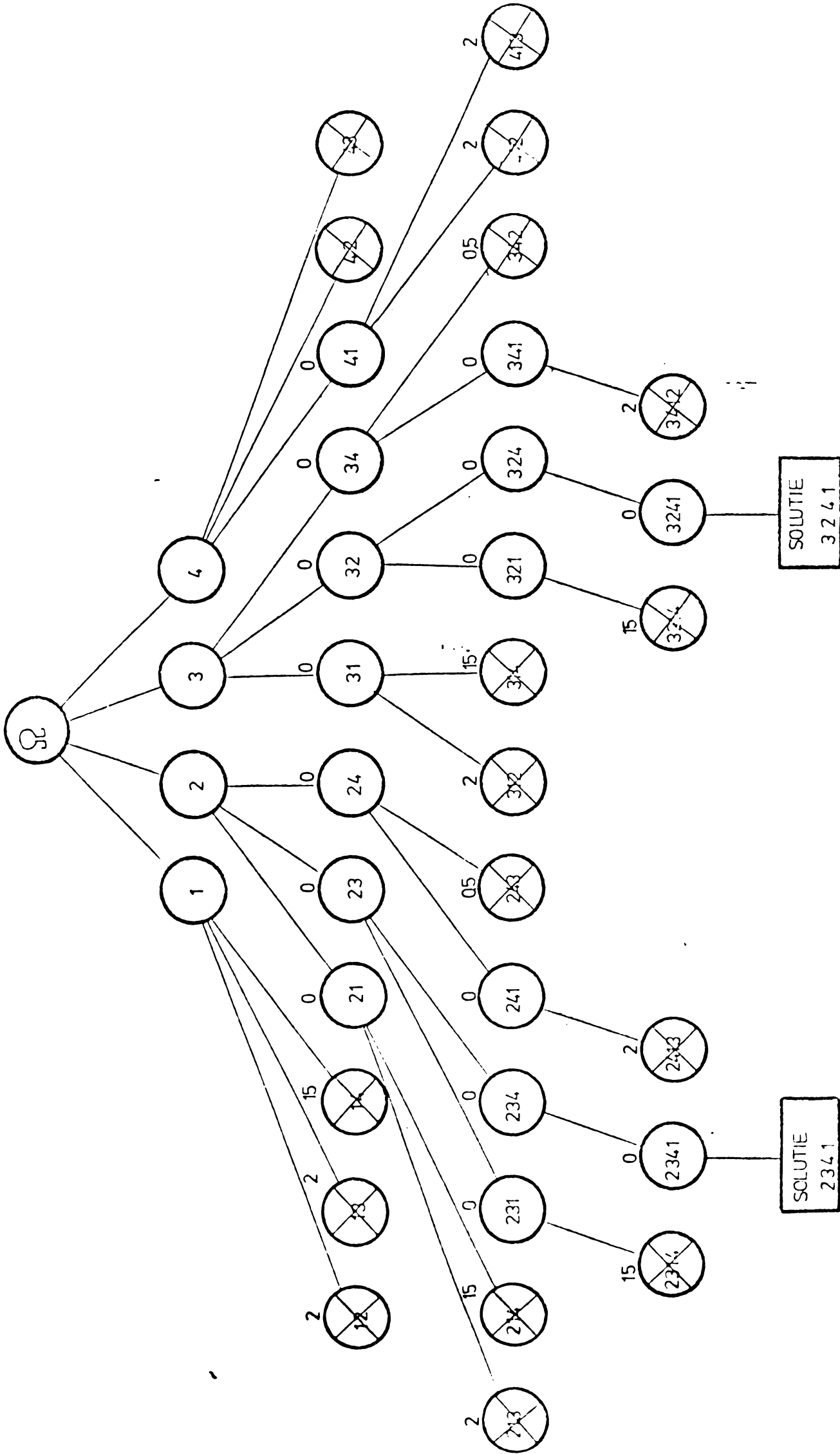


FIGURA 4.2. SCHEMA ARBORELI PENTRU EXEMPLUL POLIDESERVIRII

Calculul marginilor inferioare pentru nodurile cu un singur indice fixat:

Tabelul 4.4

Nodul i	$\sum_{i=1}^n t_{ei}$	$t_{ei} + t_{fi}$	$\sum t_{ei} - t_{ei} + t_{fi}$	Max. (col.5;0)
1	6	1,5+3=9,5	- 3,5	0
2	6	0,5+7=7,5	- 1,5	0
3	6	2+5,5=7,5	- 1,5	0
4	6	2+6 =8	- 2	0

Pasul 2 - se ramifică fiecare nod N_i ($i=1,2,3,4$) în $(n-1) = 4-1 = 3$ noduri, astfel ca indicele al doilea să nu aparțină indicelui inițial. Cei doi indici din coloana 1 a tabelului 4.5 reprezintă succesiunea de deservire a mașinilor.

Pasul 3 - pentru fiecare nod cu doi indici cu relația (4.9) se calculează timpul de așteptare a funcționării utile pentru fiecare succesiune dată (pentru fiecare nod).

Nodurile (2,1); (2,3); (2,4); (3,1); (3,2); (3,4); (4,1) sînt cu valori minime ale timpului de așteptare a funcționării utile a mașinilor (sînt nule), deci sînt apte pentru noi ramificări. Nodurile (1,2); (1,3); (1,4); (4,2); (4,3) se taie, nu sînt apte pentru noi ramificări.

Pasul 4 - nodurile rămase se ramifică pentru cel de-al treilea indice (cea de-a treia mașină din succesiunea de deservire), fiecare nod se ramifică în $(n-2) = (4-2) = 2$ noduri astfel ca acest indice să nu aparțină indicilor precedenți deja alocați. Calcululele se sistematizează în tabelul 4.6, identic cu pasul 3. Calculăm timpul de așteptare a funcționării utile a mașinilor și identificăm nodurile cu marginea cea mai mică inferioară.

Nodurile (2,3,1); (2,3,4); (2,4,1); (3,2,1); (3,2,4); (3,4,1), sînt nodurile cu marginile de valoare inferioară, de la acestea se execută noi ramificări, restul nodurilor se taie.

Pasul 5 - fiecare nod rămas apt de la pasul 4 se ramifică în $(n-3)$ noduri = $4-3=1$ nod, astfel ca ultimul indice fiecărui nod să nu aparțină indicilor deja alocați. Calcululele se efectuează ca la pasul 3 și sînt sistematizate în tabelul 4.7.

Nodurile (2,3,4,1); (3,2,4,1) sînt cu valorile minime a marginilor inferioare, iar restul nodurilor se taie.

Tabelul 4.5

Calculul marginilor inferioare pentru nodurile cu doi indici fixați

Successione S_k	x_{k-1}	$\sum_{i=1}^{k-1} t_{0i}$ ($1 \in S_k$)	$t_{e_{k-1}} + t_{f_{k-1}}$	$\sum_{i=1}^k t_{0i}$ ($1 \in S_k$)	t_{f_k}	$x_{k-1}^{S_k} = \text{MAX}$ (col.9;0)
1,2	0	1,5	1,5+8=9,5	1,5+0,5=2	7	2
1,2	0	1,5	9,5	1,5+2=3,5	5,5	2
1,4	0	1,5	9,5	1,5+2=3,5	6	1,5
2,1	0	0,5	0,5+7=7,5	0,5+1,5=2	8	0
2,3	0	0,5	7,5	0,5+2=2,5	5,5	0
2,4	0	0,5	7,5	0,5+2=2,5	6	0
3,1	0	2	2+5,5=7,5	2+1,5=3,5	8	0
3,2	0	2	7,5	2+0,5=2,5	7	0
3,4	0	2	7,5	2+2=4	6	0
4,1	0	2	2+6=8	2+1,5=3,5	8	0
4,2	0	2	8	2+0,5=2,5	7	0,5
4,3	0	2	8	2+2=4	5,5	0,5

Tabelul 4.6

Calculul marginilor inferioare pentru nodurile cu arii indici fixeți

Successiunea S_k	X_{k-1}	$\sum_{i=1}^{k-1} t_{e_i}$ ($i \in S_k$)	$t_{e_{k-1}} + t_{f_{k-1}}$	$\sum_{i=1}^k t_{e_i}$ ($i \in S_k$)	t_{f_k}	S_k $X_k = \text{MAX}$ (col.9;0)
2.1.3	0	0,5+1,5=2	1,5+8=9,5	4	5,5	2
2.1.4	0	2	9,5	4	6	1,5
2.3.1	0	0,5+2=2,5	2+5,5=7,5	4	8	0
2.3.4	0	2,5	7,5	4,5	6	0
2.4.1	0	4	8	5,5	8	0
2.4.3	0	4,5	8	6,5	5,5	0,5
3.1.2	0	3,5	9,5	4	7	2
3.1.4	0	3,5	9,5	5,5	6	1,5
3.2.1	0	2,5	7,5	4	8	0
3.2.4	0	2,5	7,5	4,5	6	0
3.4.1	0	4	8	5,5	8	0
3.4.2	0	4	8	4,5	7	0,5
4.1.2	0	3,5	9,5	4	7	2
4.1.3	0	3,5	9,5	5,5	5,5	2

Tabelul 4.7

Calculul marginilor inferioare pentru nodurile cu patru indici fixați

Successiunea S_k	X_{k-1}	$\sum_{i=1}^{k-1} t_{e_i}$ ($i \in S_k$)	$t_{e_{k-1}}$	$t_{e_{k-1}} + t_{f_{k-1}}$	$\sum_{i=1}^n t_{e_i}$ ($i \in S_k$)	t_{f_k}	$S_k = \text{MAX}$ (col.9;0)
I	2	3	4	4	6	7	10
2.3.1.4	0	4	9,5	13,5	6	6	1,5
2.3.4.1	0	4,5	8	12,5	6	8	0
2.4.1.3	0	4	9,5	13,5	6	5,5	2
3.2.1.4	0	4	9,5	13,5	6	6	1,5
3.2.4.1	0	4,5	8	12,5	6	8	0
3.4.1.2	0	5,5	9,5	15,0	6	7	2

Pasul 6 - acesta este de decizie finală. Se cercetează dacă lista de succesiuni din pasul 5 s-a terminat, în acest caz calculele se opresc, succesiunile de deservire rezultate la pasul 9 sînt optimale. Dacă această listă nu s-a terminat, se cercetează nodurile rămase, în scopul obținerii unor succesiuni cu o margine inferioară mai mică sau pentru obținerea soluției optime.

Pasul 7 - se programează succesiunile optime de deservire a mașinilor pentru care se utilizează relațiile (4.14)...(4.19) din care rezultă momentul de începere și terminare a deservirii, momentul de începere și terminare a funcționării utile și durata de așteptare a executantului și a funcționării utile a mașinilor.

Pentru succesiunea de deservire (3,2,4,1) calculele sînt sistematizate în tabelul 4.8, iar pentru succesiunea (2,3,4,1) în tabelul 4.9.

Din tabelul 4.8 rezultă: stabilizarea șirului timpilor de așteptare începînd cu ciclul 5, care pentru executant are 3,5 unități de timp și pentru funcționarea utilă a mașinilor totalizează 5,5 unități de timp.

Timpul de așteptare a executantului pentru soluția optimă rezultă din relația:

$$T_e^a = T_c - \sum_{i=1}^n t_{ei}$$

Se înlocuiesc cu datele exemplului prezentat:

$$T_e^a = (1,5+8) - (1,5+0,5+2+2) = 3,5 \text{ unități de timp;}$$

Timpul de așteptare a funcționării utile a mașinilor, pentru soluția optimă, rezultă din relația:

$$T_{fi}^a = T_c - (t_{ei} + t_{fi})$$

care, pentru exemplul dat, va fi:

$$T_{f1}^a = (1,5+8) - (0,5+7) = 2$$

$$T_{f2}^a = (1,5+8) - (2+5,5) = 2$$

$$T_{f3}^a = (1,5+8) - (2+6) = 1,5$$

$$\sum T_{fi}^a = 5,5 \text{ unități de timp}$$

comparînd datele rezultate din tabelul 4.8, cu cele calculate re-

Tabelul 4.8

Programarea deservirii mașinilor m_1, m_2, m_3, m_4
 în succesiunea (3,2,4,1)

Succesiunea deservirii mașinilor (S_k)	$T_{e_{iS_k}}$	$\bar{T}_{e_{iS_k}}$	$T_{f_{iS_k}}$	$\bar{T}_{f_{iS_k}}$	$T_{e_{iS_k}}^a$	$T_{f_{iS_k}}^a$	Observații
3	0	2,0	2,0	7,5	-	-	
2	2	2,5	2,5	9,5	-	-	
4	2,5	4,5	4,5	10,5	-	-	Terminat
1	4,5	6,0	6,0	14,0	-	-	ciclul 1
3	7,5	9,5	9,5	15,0	1,5	-	
2	9,5	10,5	10,0	17,0	-	-	
4	10,5	12,5	12,5	18,5	0,5	-	Terminat
1	14,0	15,5	15,5	23,5	1,5	-	ciclul 2
3	15,5	17,5	17,5	23,0	-	0,5	
2	17,5	18,0	18,0	25,0	-	0,5	
4	18,5	20,5	20,5	26,5	0,5	-	Terminat
1	23,5	25,0	25,0	33,0	3,0	-	ciclul 3
3	25,0	27,0	27,0	32,5	-	2,0	
2	27,0	27,5	27,5	34,5	-	2,0	
4	27,5	29,5	29,5	35,5	-	1,0	Terminat
1	33,0	34,5	34,5	42,5	3,5	-	ciclul 4
3	34,5	36,5	36,5	42,0	-	2,0	
2	36,5	37,0	37,0	44,0	-	2,0	
4	37,0	39,0	39,0	45,0	-	1,5	Terminat
1	42,5	44,0	44,0	52,0	3,5	-	ciclul 5
3	44,0	46,0	46,0	51,5	-	2,0	
2	46,0	46,5	46,5	53,5	-	2,0	
4	46,5	48,5	48,5	54,5	-	1,5	Terminat
1	52,0	53,5	53,5	61,5	3,5	-	ciclul 6

Tabelul 4.9

Programarea deservirii mașinilor m_1, m_2, m_3, m_4 ,
 în succesiunea (2,3,4,1)

Succesiunea deservirii mașinilor (S_k)	$T_{e_i S_k}$	$T_{e_i S_k}$	$T_{f_i S_k}$	$T_{f_i S_k}$	$T_{e_i S_k}^a$	$T_{f_i S_k}^a$	Observații
2	0	0,5	0,5	7,5	-	-	
3	0,5	2,5	2,5	8,5	-	-	
4	2,5	4,5	4,5	10,5	-	-	
<u>1</u>	<u>4,5</u>	<u>6,0</u>	<u>6,0</u>	<u>14,0</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	Terminat ciclul 1
2	7,5	8,0	8,0	15,0	1,5	-	
3	8,0	10,0	10,0	15,5	-	-	
4	10,5	12,5	12,5	18,5	0,5	-	
<u>1</u>	<u>14,0</u>	<u>15,5</u>	<u>15,5</u>	<u>23,5</u>	<u>1,5</u>	<u>-</u>	Terminat ciclul 2
2	15,5	15,5	15,5	22,5	-	0,5	
3	15,5	18,5	18,5	24,0	-	0,5	
4	18,5	20,5	20,5	26,5	0,5	-	
<u>1</u>	<u>23,5</u>	<u>25,0</u>	<u>25,0</u>	<u>33,0</u>	<u>3,0</u>	<u>-</u>	Terminat ciclul 3
2	25,0	25,5	25,5	32,5	-	2,0	
3	25,5	27,5	27,5	33,0	-	2,0	
4	27,5	29,5	29,5	35,5	-	1,0	
<u>1</u>	<u>33,0</u>	<u>34,5</u>	<u>34,5</u>	<u>42,5</u>	<u>3,5</u>	<u>-</u>	Terminat ciclul 4
2	34,5	35,0	35,0	42,0	-	2,0	
3	35,0	37,0	37,0	42,5	-	2,0	
4	37,0	39,0	39,0	45,0	-	1,5	
<u>1</u>	<u>42,5</u>	<u>44,0</u>	<u>44,0</u>	<u>52,0</u>	<u>3,5</u>	<u>-</u>	Terminat ciclul 5
2	44,0	44,5	44,5	51,5	-	2,0	
3	44,5	46,5	46,5	52,0	-	2,0	
4	46,5	48,5	48,5	54,5	-	1,5	
<u>1</u>	<u>52,0</u>	<u>53,5</u>	<u>53,5</u>	<u>61,5</u>	<u>3,5</u>	<u>0,0</u>	Terminat ciclul 6
2	53,5	54,0	54,0	61,0	-	2,0	
3	54,0	56,0	56,0	61,5	-	2,0	
4	56,0	58,0	58,0	64,0	-	1,5	
<u>1</u>	<u>61,5</u>	<u>63,0</u>	<u>63,0</u>	<u>71,0</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	Terminat ciclul 7
2	63,0	63,5	63,5	70,5	-	2,0	
3	63,5	65,5	65,5	71,0	-	2,0	
4	65,5	67,5	67,5	73,5	-	1,5	
<u>1</u>	<u>71,0</u>	<u>72,5</u>	<u>72,5</u>	<u>80,5</u>	<u>3,5</u>	<u>-</u>	Terminat ciclul 8

zultă că succesiunea de deservire (3,2,4,1) este optimă.

Din modelul de analiză cercetat se reține faptul că această formă oferă posibilitatea soluționării în condiții bune a problemei deservirii mai multor locuri de muncă de un executant. Se constată că volumul de calcul se poate realiza mai ușor ca urmare a folosirii metodei BB menționate, adică ramificare și mărginire.

În cadrul lucrării se propune folosirea metodei potențialelor pentru rezolvarea în condiții optime a deservirii, asigurându-se un înalt grad de utilizare a mașinilor în același timp cu folosirea optimă a timpului executantului.

Metoda potențialelor aplicată în locul graficului Gantt dă posibilitatea folosirii în condiții mai bune a calculelor matematice. Se crează și posibilitatea de a se folosi calculatoarele electronice în cazul unor aplicări practice la care volumul de calcul este mult mai laborios.

C A P I T O L U L 5

CALCULUL DE OPTIMIZARE LA POLIDESERVIREA MASINILOR UNELTE CARE EXECUTA OPERATII DE DURATE DIFERITE

Pentru optimizarea parametrilor de lucru în condițiile de servirii unui număr mai mare de mașini, mai ales în cazul în care operațiile de efectuat au durate diferite, se recomandă folosirea unor metode moderne de calcul care să permită ușurarea muncii de elaborare a tehnologiei și de organizare a deservirii mașinilor prevăzute a fi cuprinse în sistem. În această idee, am considerat necesar a elabora un algoritm de calcul cu ajutorul căruia să se poată determina ordinea de succesiune a polideservirii, în așa fel încât durata totală a ciclurilor să fie minimă.

În continuare se prezintă modul de elaborare al algoritmului în mai multe etape, după cum urmează:

Etapa 1 - Se sistematizează datele de intrare într-un tabel similar cu tabelul 5.1. care cuprinde codul mașinilor polideservite m_i ($i=1,n$), timpii de deservire (t_{e_i}) și timpii de funcționare utilă (t_{f_i}) a acestora, astfel:

Tabelul 5.1.

mașini timp	m_1	m_2	m_n
t_{e_i}	t_{e_1}	t_{e_2}	t_{e_n}
t_{f_i}	t_{f_1}	t_{f_2}	t_{f_n}
Succesiunea	S_e	S_{e_k}	S_{e_n}

Etapa 2 - Se determină rapoartele dintre durata ciclului maxim și duratele celorlalte cicluri (rapoarte de multiplicare), cu ajutorul relației:

$$a_i = \left[\frac{t_{c_{\max}}}{t_{c_i}} \right] = \left[\frac{(t_e + t_f)_{\max}}{t_{e_i} + t_{f_i}} \right] \quad (5.1)$$

În această relație paranteza dreaptă indică faptul că se ia în considerare numai partea întreagă a raportului (partea zecimală se va omite).

Etapa 3 - Se determină numărul optim de mașini deservite (se va ține seama de gruparea de selecție efectuată). Pentru fiecare mașină deservită se utilizează relația:

$$\eta = \frac{t_{f_i}}{t_{e_i}} + 1 \quad (5.2)$$

În continuare se efectuează calcule de optimizare pentru a obține numărul maxim de mașini care pot fi polideservite de un executant în condițiile când există cel mai mic timp de interferență și cei mai mici timpi de așteptare a executantului. Se compară diferite soluții obținute și se decide asupra soluției optime.

Etapa 4 - Se determină ordinea de succesiune a polideservirii în mai multe faze. Din ecuația 4.9 rezultă că ordinea polideservirii determină mărimea timpului de așteptare a funcționării utile a mașinilor. Pentru determinarea ordinei de succesiune de deservire a mașinilor au fost preluate anumite elemente din algoritmul de ordonare propus de Johnson. Se asimilează activitatea de deservire și cea de funcționare utilă a mașinii cu cele două mașini A și B, fluxul de lucru fiind logic, deservirea mașinii va fi urmată de funcționarea utilă a mașinii. De asemenea, se asimilează mașinile m_i polideservite cu cele n lucrări din algoritmul lui Johnson.

Algoritmul adaptat pentru soluționarea polideservirii se aplică pentru primul ciclu în următoarele faze:

1. Se determină minimumul $i(t_{e_i}, t_{f_i})$, pentru toate mașinile $m_i (i=1, n)$;
2. În cazul când minimumul este t_{e_k} , adică timpul pentru polideservirea mașinii m_k , atunci se programează în prima succesiune de deservire mașinii m_k ;
3. În cazul când minimumul este t_{f_k} , timpul de funcționare utilă a mașinii m_k , atunci se programează ultima;

4. Se scoate mașina m_k de pe lista de n mașini și se repetă fazele 1-4, pentru mașinile ce nu au fost încă programate;

5. Se completează în ultima linie a tabelului 5.1 succesiunea deservirii (S_{e_i}) din primul ciclu;

6. Succesiunea de deservire și funcționare utilă a mașinilor, timpii de așteptare a executantului și de așteptare a funcționării utile a mașinilor, se trec într-un tabel ca cel indicat în capitolul 4 (tabelul 4.2);

Mărimea $T_{e_i S_k}$ indică momentul în care executantul este liber să deservască mașina i și s-a terminat funcționarea utilă a mașinii i , în cadrul ciclului, luând în considerare succesiunea S_k stabilită în tabelul 5.1.

Valoarea lui $T_{e_i S_k}$ reprezintă duratele însumate a deservirii (t_{e_i}) și a duratelor S_k de funcționare utilă a mașinilor și corespunde termenelor minime de începere din domeniul planificării în rețea.

Fie $T_{e_{(i-1)S_k}}$ momentul când executantul va fi liber să deservască mașina m_{i-1} , în conformitate cu succesiunea (S_k) și $T_{f_i S_{k-1}}$ momentul când funcționarea utilă a mașinii i s-a terminat în conformitate cu succesiunea (S_{k-1}) și necesită intervenția executantului.

Analitic, vom avea atunci:

$$T_{e_i S_k} = \text{MAX} \left[T_{e_{(i-1)S_k}} ; T_{f_i S_{k-1}} \right]$$

Această relația exprimă faptul că deservirea mașinii m_i nu poate fi începută înainte ca mașina m_{i-1} să fi fost deservită, adică executantul să devină liber, și înainte ca funcționarea utilă a mașinii m_i din succesiunea precedentă (S_{k-1}) să fi fost terminată.

Relația oferă posibilitatea de a deduce următoarea metodă, în trepte, pentru calculul momentului de deservire ($T_{e_i S_k}$) a mașinii m_i :

- se caută prima mașină în conformitate cu succesiunea stabilită a cărei funcționare utilă s-a terminat, acesta va fi momentul

$$T_{f_i S_{k-1}} ;$$

- se calculează termenul de realizare a deservirii mașinii

$m_i (T_{e_i S_k}^c)$, conform succesiunii stabilite, după ecuația 4.15;

$T_{e_i S_k}^c$ = termenul de începere a funcționării utile ($T_{f_i S_k}^c$) a mașinii m_i , în succesiunea S_k , rezultă din relația 4.16;

- se calculează noul termen de realizare a funcționării utile ($T_{f_i S_k}^c$) a mașinii m_i din succesiunea S_k , după relația 4.17;

- se continuă astfel pînă la ultima mașină din succesiune, din cadrul ciclului;

- se calculează pentru fiecare mașină deservită în cadrul fiecărei succesiuni timpul de așteptare a executantului ($T_{o_i S_k}^c$), după relația 4.19.

Rezultatele calculelor se introduc, așa cum s-a arătat, într-un tabel în ordinea menționată.

Etapa 5 - Se repetă etapa 4, pentru ciclurile următoare, pînă cînd se obține în tabelul 5.2 aceeași ordine de succesiune a deservirii mașinilor, aceleași durate de așteptare a executantului și a așteptărilor mașinilor pentru funcționarea utilă în cadrul cel puțin a două cicluri de deservire.

Prioritatea atribuirii mașinilor în ciclul doi și următoarele este dată de condiția:

$$\min [T_{f_1 S_k}^c ; T_{f_2 S_k}^c ; \dots ; T_{f_i S_k}^c ; \dots ; T_{f_i S_k}^c] \quad (5.3)$$

c - este numărul ciclului polideservirii;

Condiția repetării în cadrul a două cicluri consecutive ale polideservirii valorilor identice pentru timpii de așteptare a executantului și a funcționării utile a mașinii, în unele cazuri particulare ale polideservirii, nu se poate respecta.

În continuare, pentru a prezenta utilizarea algoritmului, se dă un exemplu de calcul numeric.

În tabelul 5.2 se indică duratele de deservire și funcționarea utilă a mașinilor. Se cere să se stabilească succesiunea eficientă a polideservirii.

Tabelul 5.2

mașini timp	m_1	m_2	m_3	m_4
$t_{e_i} [\text{min}]$	3	4	2	4
$t_{f_i} [\text{min}]$	12	10	11	11
Succesiunea S_k	2	4	1	3

Pentru primul ciclu, se prezintă ordinea de succesiune a deservirii.

În tabelul 5.3 se prezintă ordinea de succesiune a deservirii, funcționării utile, timpilor de așteptare a executantului și a funcționării utile a mașinilor.

Tabelul 5.3

Succesiunea mașinilor m_i	$T_{e_{iS_k}}^c$	$T_{e_{iS_k}}^c$	$T_{f_{iS_k}}^c$	$T_{f_{iS_k}}^c$	$T_{e_{iS_k}}^a$	$T_{f_{iS_k}}^a$	OBS.
m_3	0	2	2	13	-	-	
m_1	2	5	5	17	-	-	
m_4	5	9	9	20	-	-	
m_2	9	13	13	23	-	-	se termină ciclul
m_3	13	15	15	26	-	-	
m_1	17	20	20	32	2	-	
m_4	20	24	24	35	-	-	
m_2	24	28	28	39	-	1	
m_3	28	30	30	41	-	2	
m_1	32	35	35	47	2	-	
m_4	35	39	39	50	-	-	
m_2	39	43	43	53	-	1	
m_3	43	45	45	56	-	2	
m_1	47	50	50	62	2	-	
m_4	50	54	54	65	-	-	
m_2	54	58	58	68	-	-	

Pentru primul ciclu al polideservirii

Timpul de începere al deservirii pentru mașina m_3 , rezultă din ecuația 4.16:

$$T_{e_{31}}^1 = \max(0; 0) = 0$$

Timpul de realizare al deservirii mașinii m_3 , se obține din ecuația 4.17:

$$\bar{T}_{e_{31}}^1 = \max[0; 0+2] = 2$$

Timpul de începere a funcționării utile a mașinii m_3 rezultă din ecuația 4.16:

$$T_{3_1}^1 = 2$$

Durata funcționării utile a mașinii m_3 , conform ecuației 4.17 este:

$$\bar{T}_{f_{3_1}}^1 = 2 + 11 = 13$$

Momentul începerii deservirii mașinii m_1 rezultă din ecuația 4.14, astfel:

$$T_{e_{1_2}}^1 = \max (2;0) = 2$$

Momentul terminării deservirii mașinii m_1 , este dată de ecuația 4.15, astfel:

$$T_{e_{1_2}}^1 = \max [(2;0)+3] = 5$$

Momentul începerii funcționării utile a mașinii m_1 , se obține din ecuația 4.16, adică:

$$T_{f_{1_2}}^1 = 5$$

Momentul terminării funcționării utile a mașinii m_1 , rezultă din ecuația 4.17:

$$\bar{T}_{f_{1_2}}^1 = 5+12 = 17$$

Se calculează la fel elementele polideservirii pentru mașinile m_4 și m_2 .

Mașina m_4 :

$$T_{e_{4_3}}^1 = \max (5;0) = 5$$

$$\bar{T}_{e_{4_3}}^1 = \max [(5;0)+4] = 9$$

$$T_{f_{4_3}}^1 = 9$$

$$\bar{T}_{f_{4_3}}^1 = 9+11 = 20$$

Mașina m_2 :

$$T_{e_{2_4}}^1 = \max (9;0) = 9$$

$$\bar{T}_{e_{2_4}}^1 = \max [(9;0)+4] = 13$$

$$T_{f_{24}}^1 = 13$$

$$\bar{T}_{f_{24}}^1 = 13+10 = 23$$

Ciclul doi

In mod succesiv, se determină momentul terminării funcționării utile a mașinilor, cu ajutorul condiției:

$\min m_3 = 13; m_1 = 17; m_4 = 20; m_2 = 23 = 13$
se observă că succesiunea deservirii este aceeași ca și în ciclul 1.

Se calculează apoi elementele polideservirii pentru mașina m_3 :

$$T_{e_{31}}^2 = \max (13;13) = 13$$

$$\bar{T}_{e_{31}}^2 = \max [(13+13)+2] = 15$$

$$T_{f_{31}}^2 = 15$$

$$\bar{T}_{f_{31}}^2 = 15+11 = 26$$

Mașina m_1 este următoarea în succesiunea deservirii, pentru care se calculează elementele caracteristice:

$$T_{e_{12}}^2 = \max (15;17) = 17 \quad T_{e_{12}}^a = \max [(17-15);0] = 2$$

$$\bar{T}_{e_{12}}^2 = \max [(15;17)+3] = 20$$

$$T_{f_{12}} = 20$$

$$\bar{T}_{12} = 20+12 = 32$$

In continuare se face calculul elementelor polideservirii pentru mașina m_4 , care sînt:

$$T_{e_{43}}^2 = \max (20;20) = 20$$

$$\bar{T}_{e_{43}}^2 = \max [(20;20)+4] = 24$$

$$T_{f_{43}} = 24$$

$$\bar{T}_{f_{43}} = 24 + 11 = 35$$

In final, se face calculul elementelor polideservirii pentru ultima mașină m_2 :

$$T_{e_{24}}^2 = \max(24; 23) = 24 \quad T_{f_{24}}^a = \max[(24-23); 0] = 1$$

$$T_{e_{24}}^2 = \max[(24; 23); 4] = 28$$

$$T_{f_{24}}^2 = 28$$

$$T_{24}^2 = 28 + 11 = 39$$

Ciclul trei

Momentul terminării funcționării utile a mașinilor rezultă din:

$$\min m_3 = 26; \quad m_1 = 32; \quad m_4 = 35; \quad m_2 = 38 = 26$$

sucesiunea deservirii a rămas aceeași ca în ciclurile precedente.

Elementele de calcul ale mașinii m_3 sînt:

$$T_{e_{31}}^3 = \max(28; 28) = 28 \quad T_{f_{31}}^a = \max[(28-26); 0] = 2$$

$$\bar{T}_{e_{31}}^3 = \max[(28; 26)+2] = 30$$

$$T_{f_{31}}^3 = 30$$

$$\bar{T}_{f_{31}}^3 = 30 + 11 = 41$$

Elementele mașinii m_1 sînt:

$$T_{e_{12}}^3 = \max(30; 32) = 32 \quad T_{e_{12}}^a = \max[(32-30); 0] = 2$$

$$\bar{T}_{e_{12}}^3 = \max[(30; 32)+3] = 35$$

$$T_{f_{12}}^3 = 35$$

$$\bar{T}_{f_{12}}^3 = 35 + 12 = 47$$

Elementele de calcul ale mașinii m_4 sînt:

$$T_{e43}^3 = \max(35; 35) = 35$$

$$\bar{T}_{e43}^3 = \max[(35; 35) + 4] = 39$$

$$T_{f43}^3 = 39$$

$$\bar{T}_{f43}^3 = 39 + 11 = 50$$

Elementele de calcul a deservirii mașinii m_2 sînt:

$$T_{e24}^3 = \max(39; 38) = 39 \quad T_{f24}^a = \max[(39-38); 0] = 1$$

$$\bar{T}_{e24}^3 = \max[(39; 38) + 4] = 43$$

$$T_{f24}^3 = 43$$

$$\bar{T}_{f24}^3 = 43 + 10 = 53$$

Din exemplul considerat se poate reține că algoritmul studiat dă posibilitatea efectuării calculelor pentru obținerea unor soluții optime în ceea ce privește ordonanțarea polideservirii, volumul de calcul fiind relativ redus.

Se mai reține faptul că pentru situații la care volumul de calcule este mai redus, acestea se pot efectua chiar manual sau cu mașini mici de calcul.

C A P I T O L U L 6

ELABORAREA SCHEMEI LOGICE SI A PROGRAMULUI PENTRU CALCULATORUL ELECTRONIC FELIX 256 A ALGORITMULUI POLIDESERVIRII

În paginile 94 - 110 se prezintă schema logică a algoritmului elaborat în capitolul 5.

Pentru verificarea modului de folosire a algoritmului elaborat, s-a luat în considerare exemplul tratat în capitolul 5. Din listingul anexa I se constată că s-a obținut același rezultat privind succesiunea deservirii în condiții optime.

6.1. DESCRIEREA DATELOR UTILIZATE DE PROGRAM

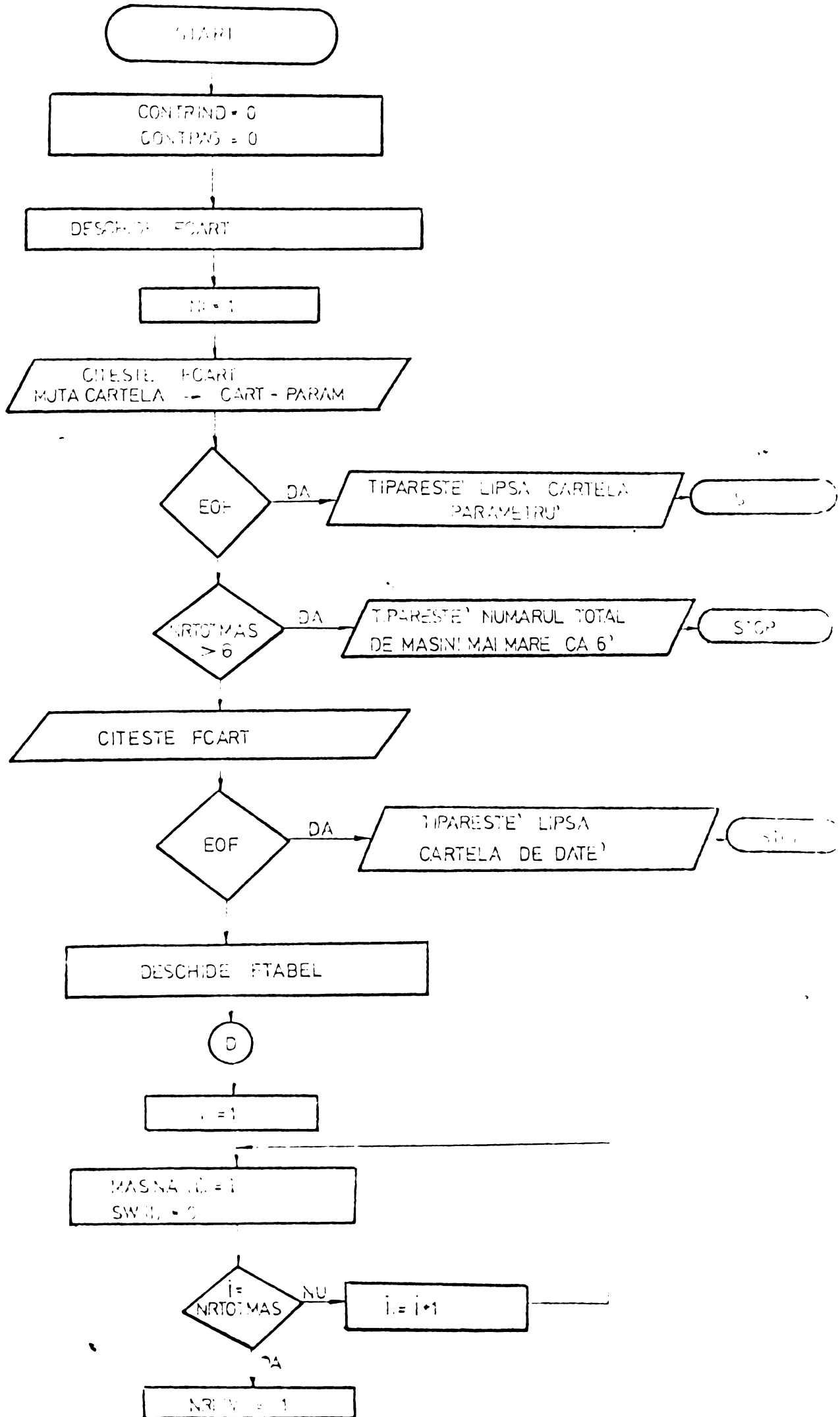
Datele de intrare care reprezintă numărul total de mașini deservite, timpii de funcționare utilă a mașinii și timpii de deservire se vor citi de pe cartele perforate.

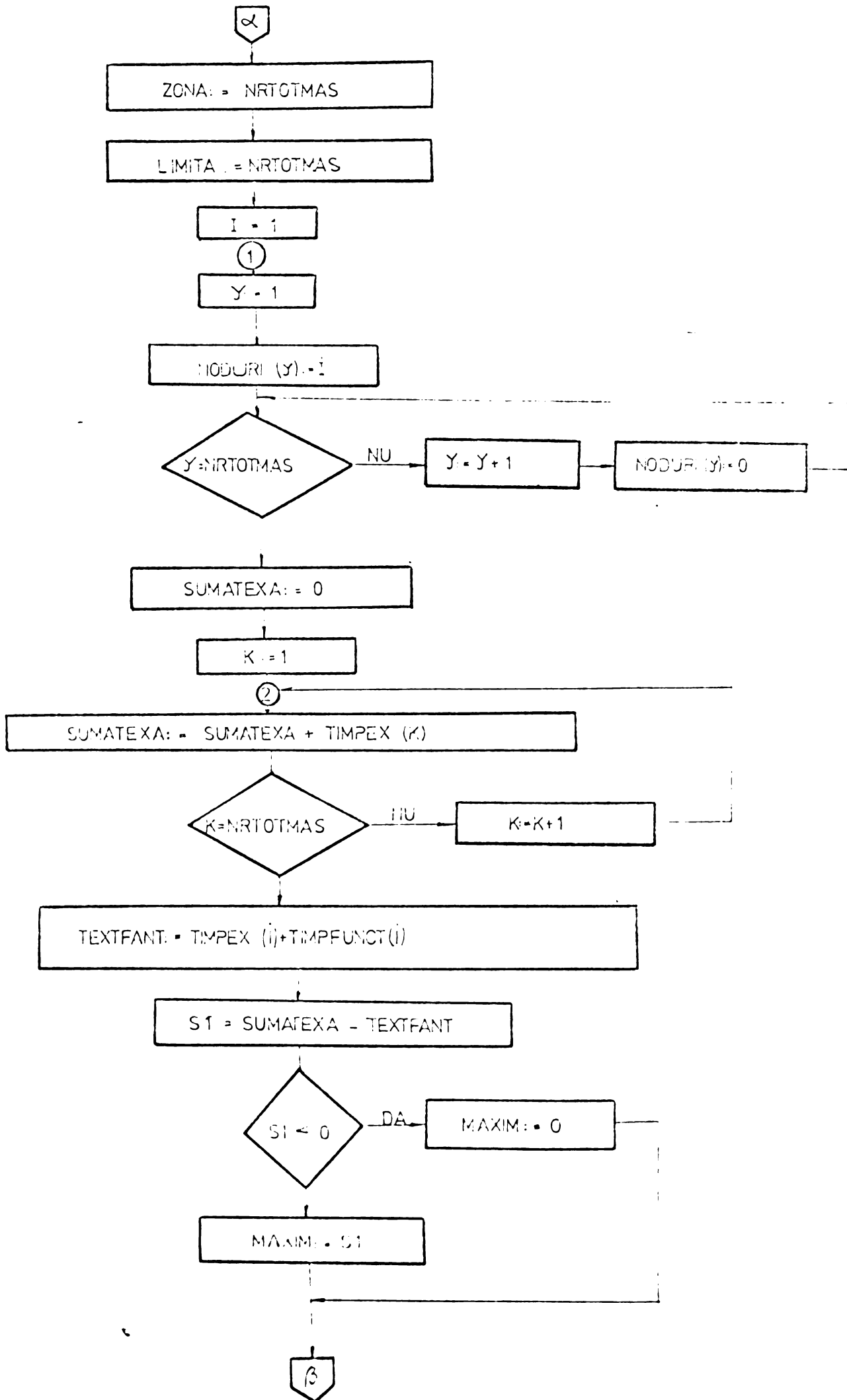
FCART - este numele fișierului de cartelă cu zona articol;

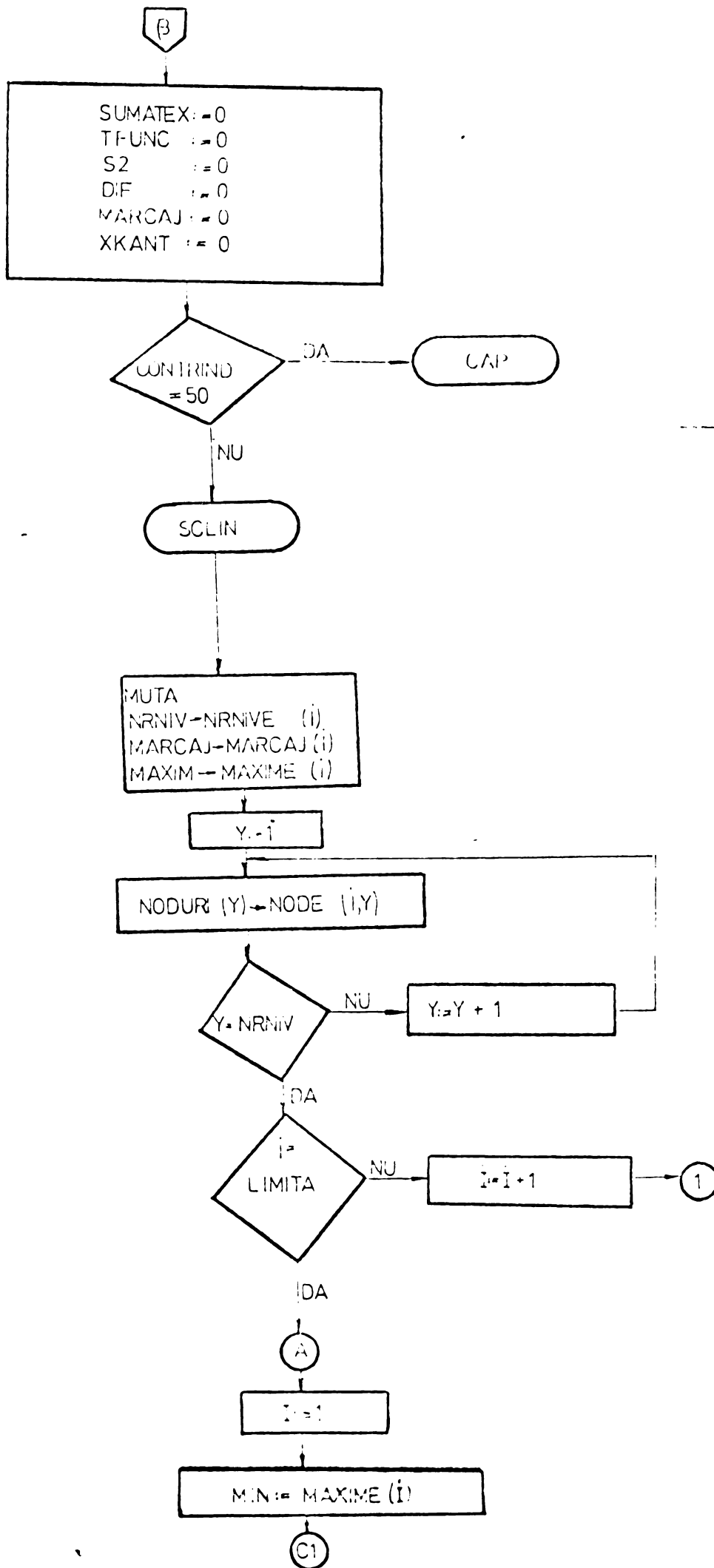
CARTELA - are următoarea machetă:

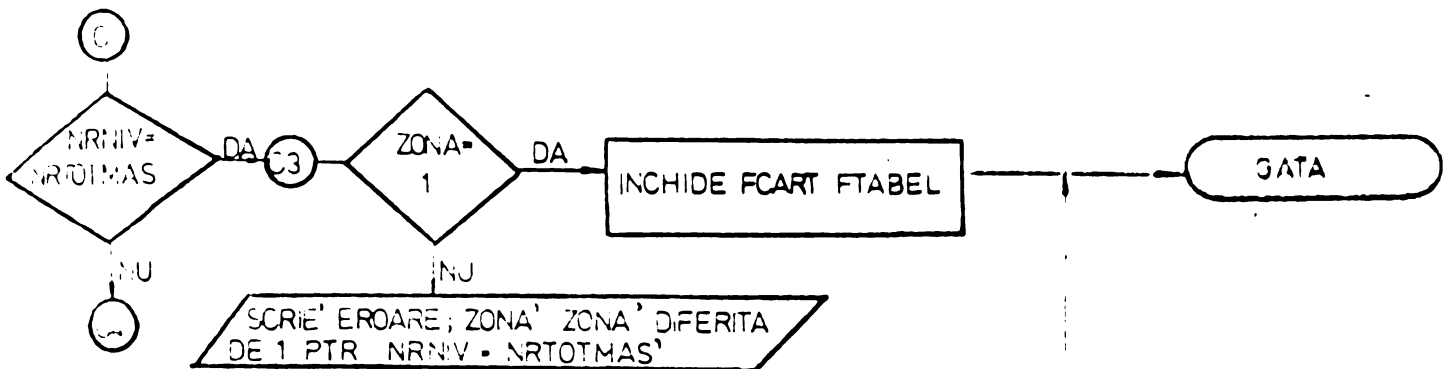
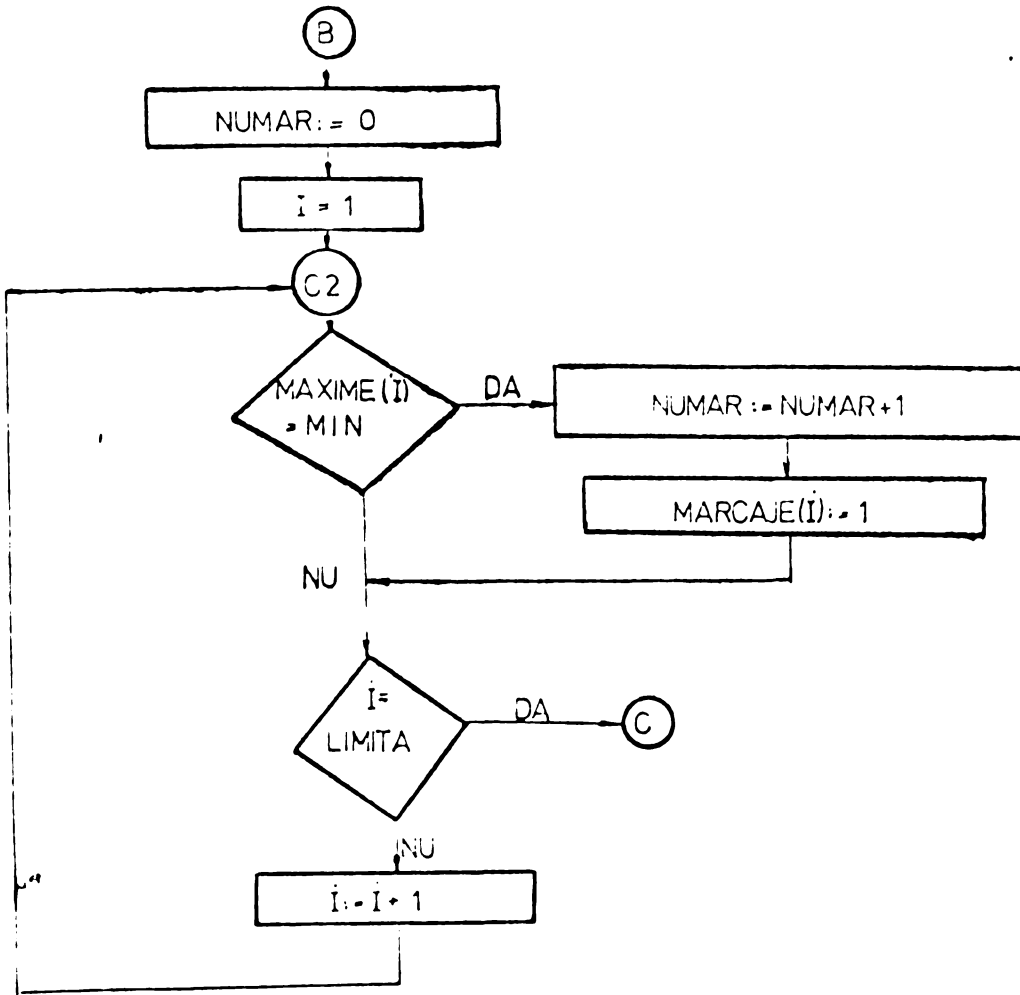
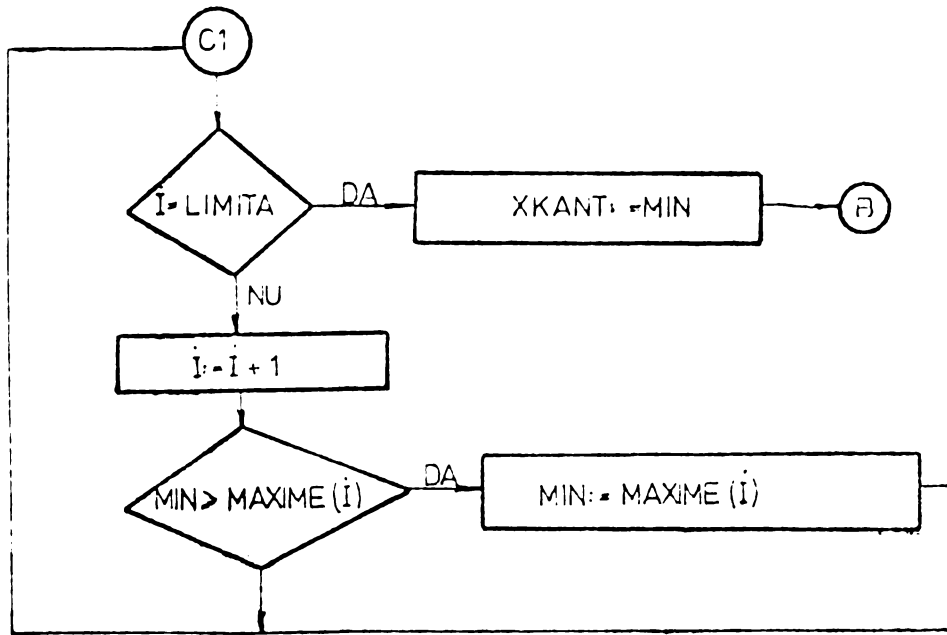
UTIL - un câmp compus care se repetă de 6 ori și are subcâmpurile:

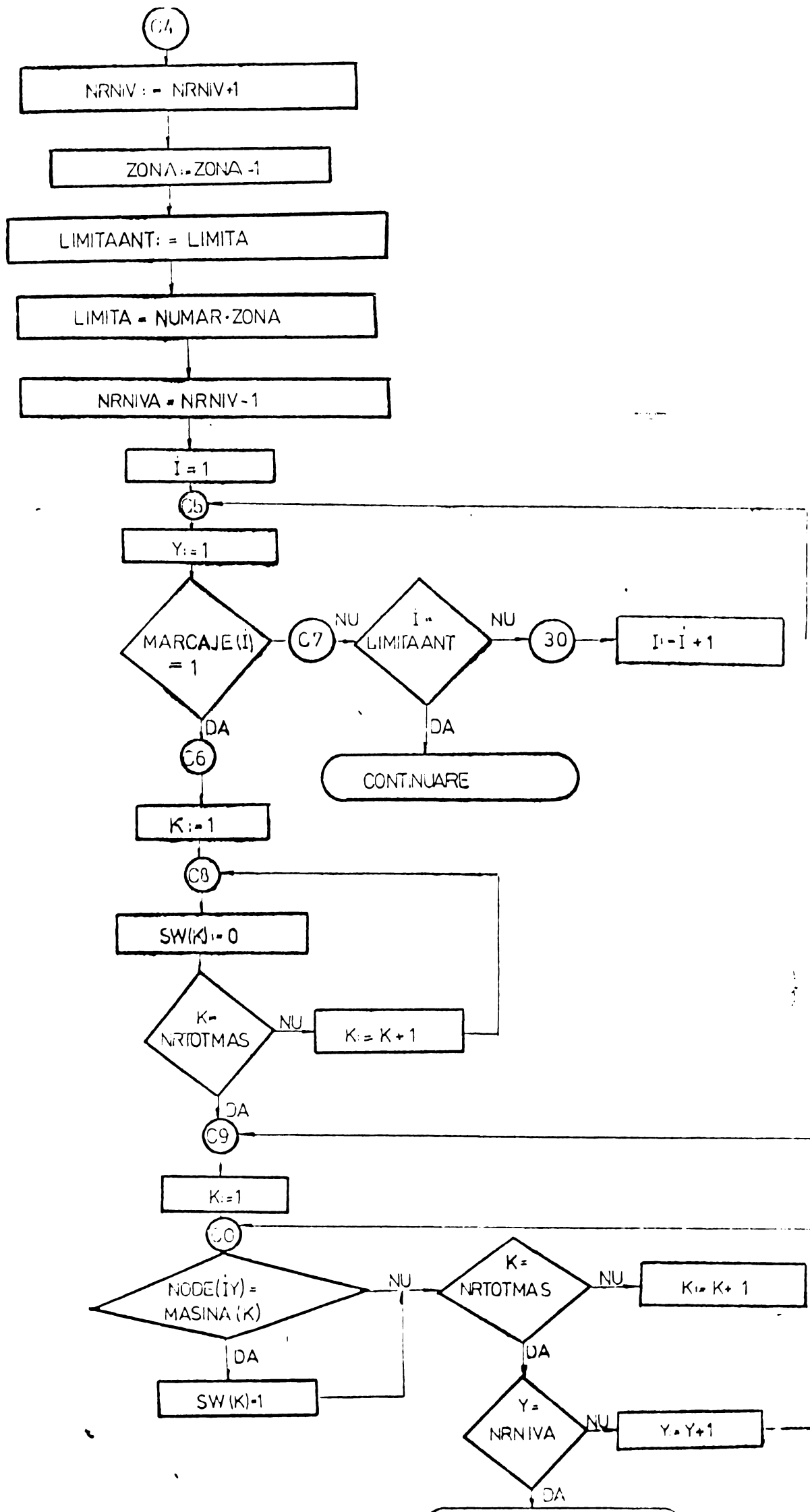
- NRMAS - 2 poziții numerice și reprezintă numărul de mașini;
- TIMPEX - 2 poziții întregi cu două zecimale este timpul executantului;
- TIMPFUNCT - 2 poziții întregi și două zecimale, reprezintă timpul de funcționare utilă.

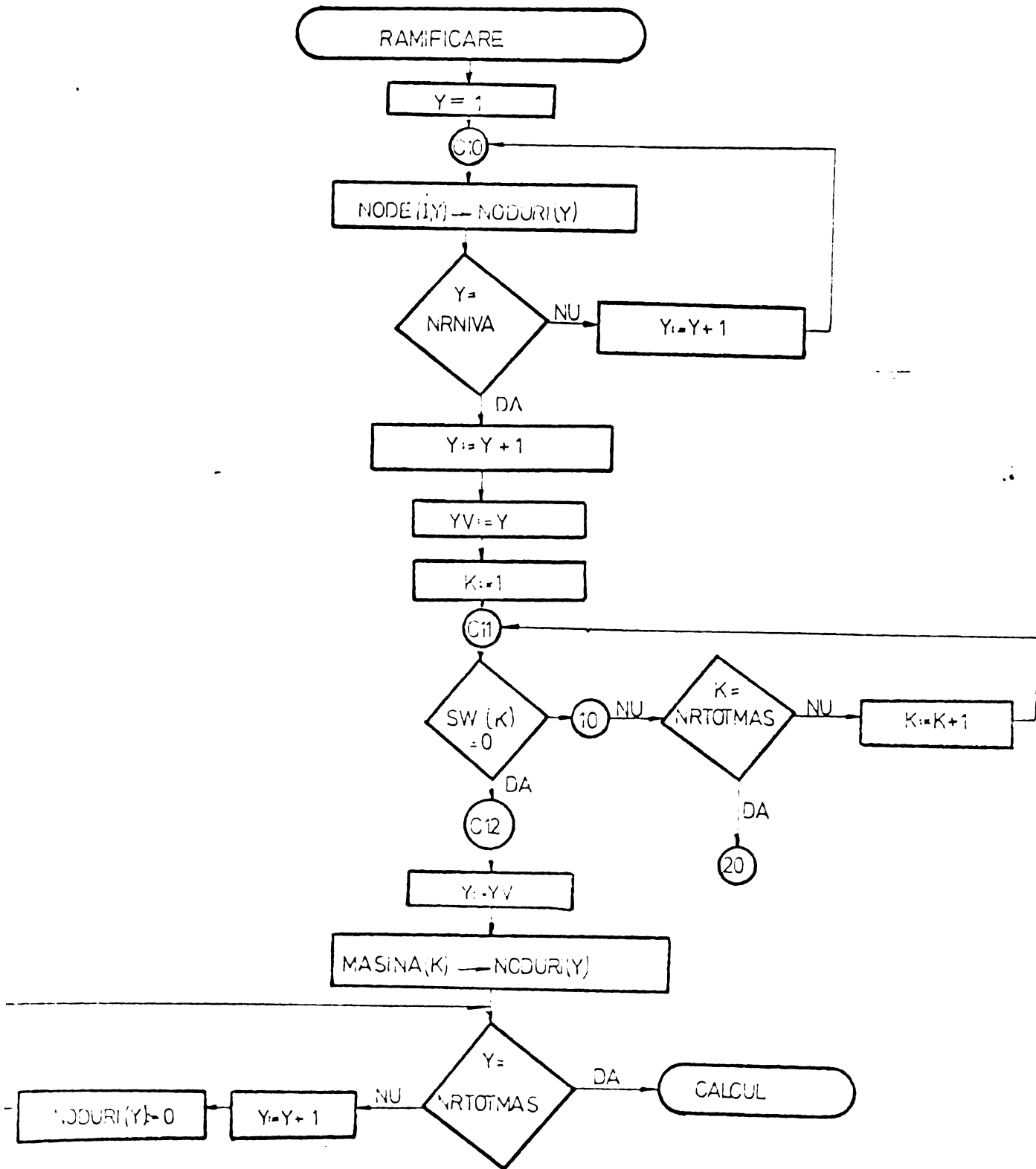


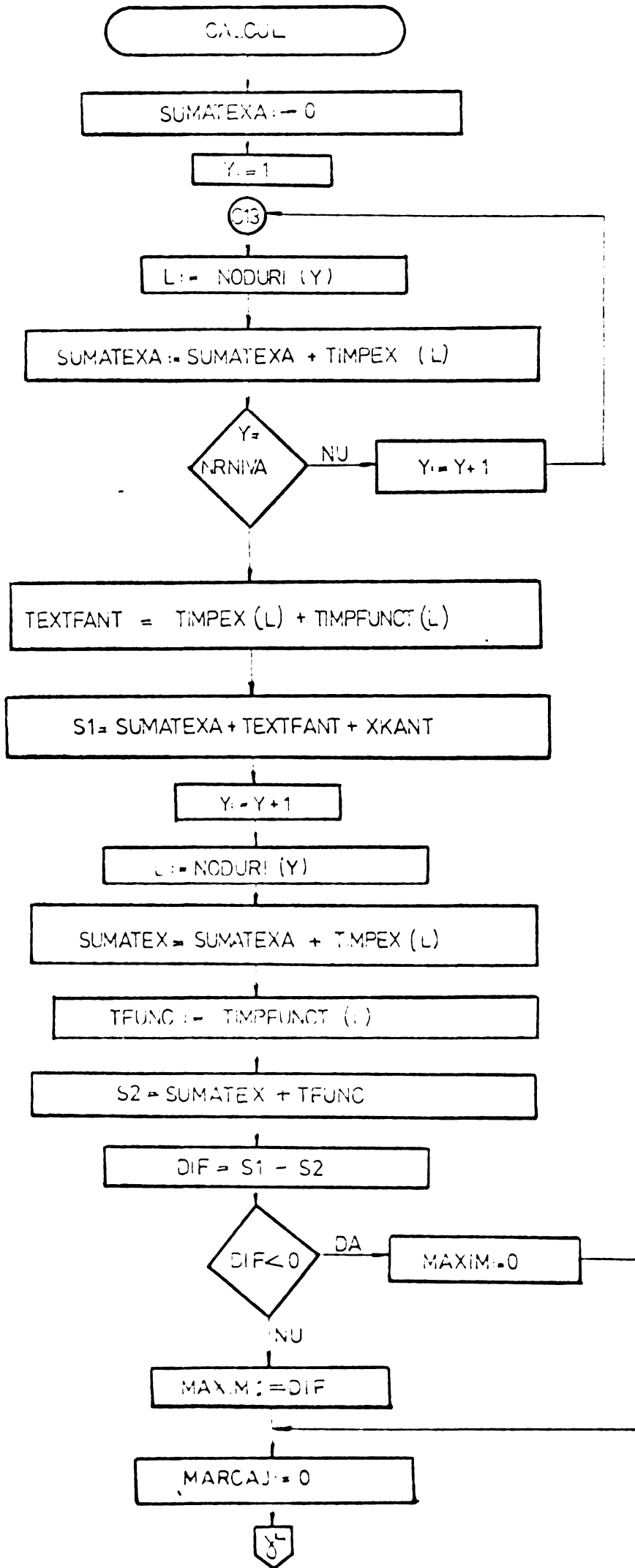


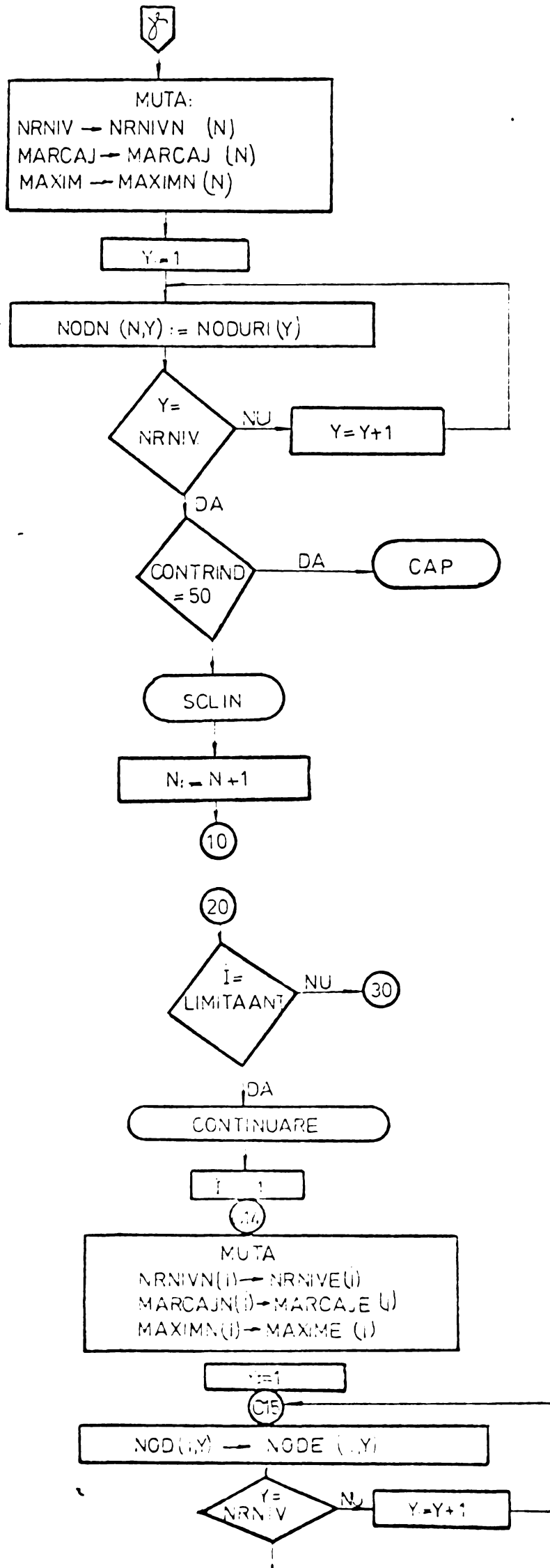


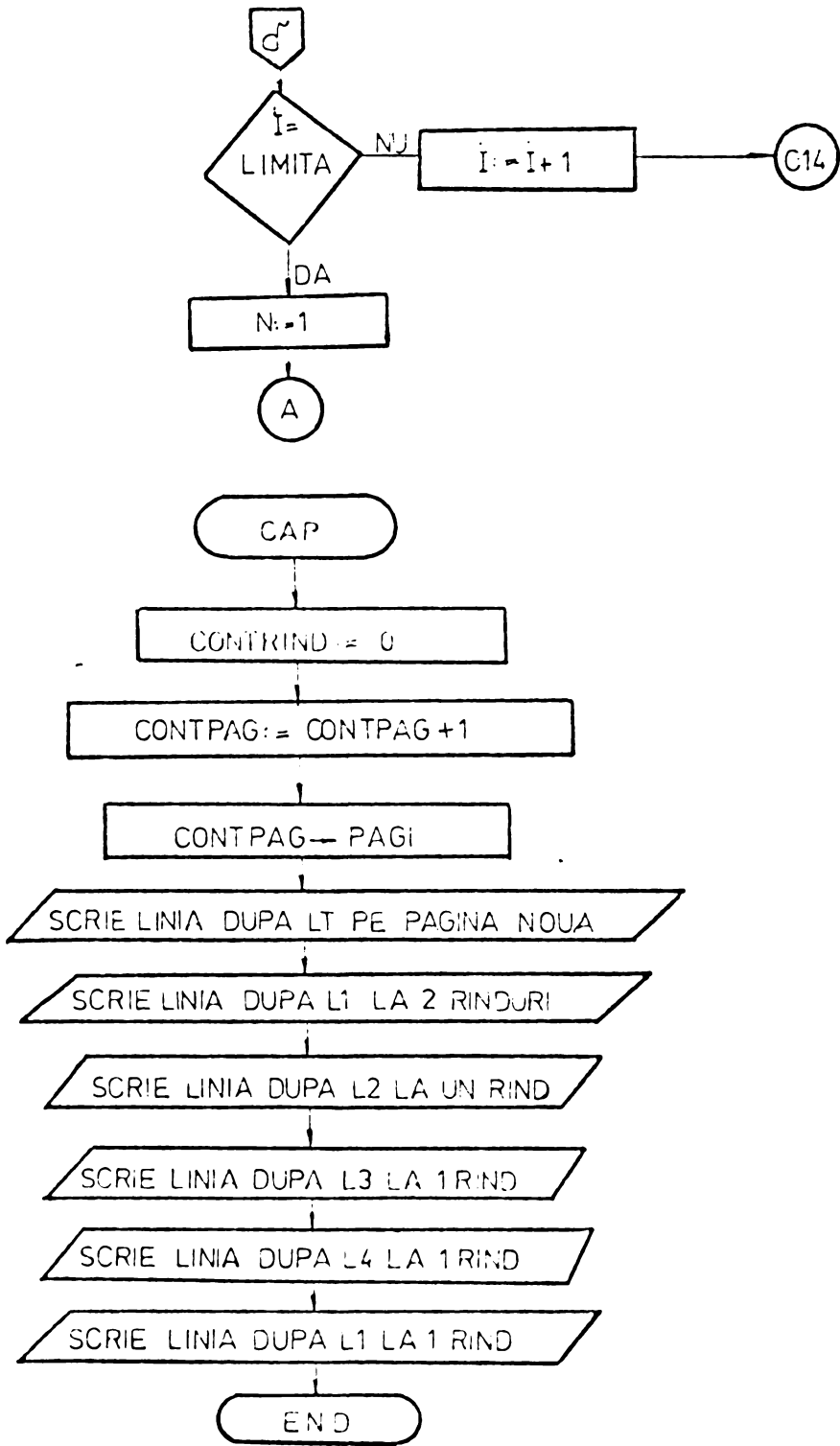


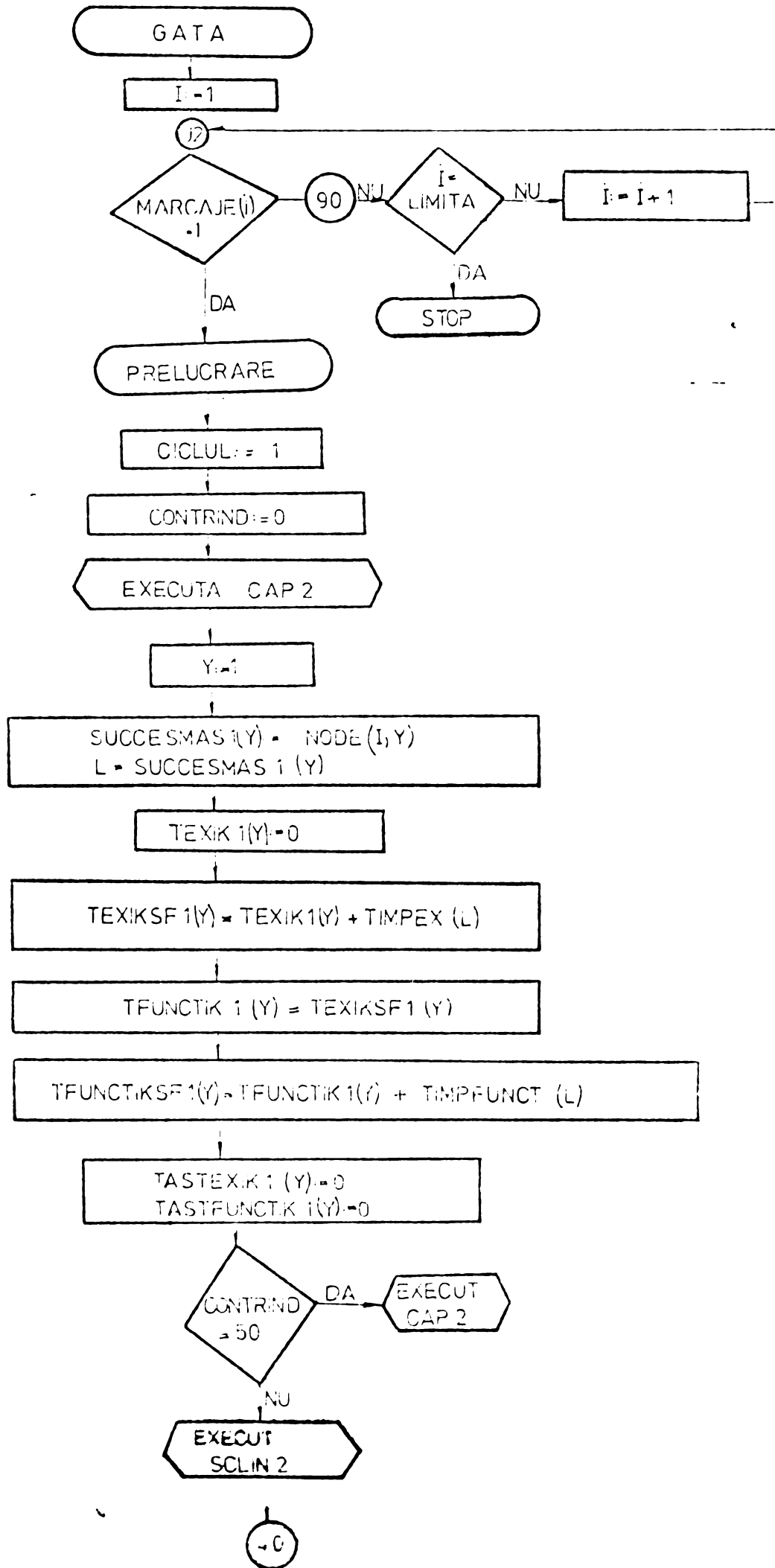


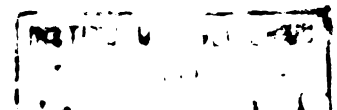
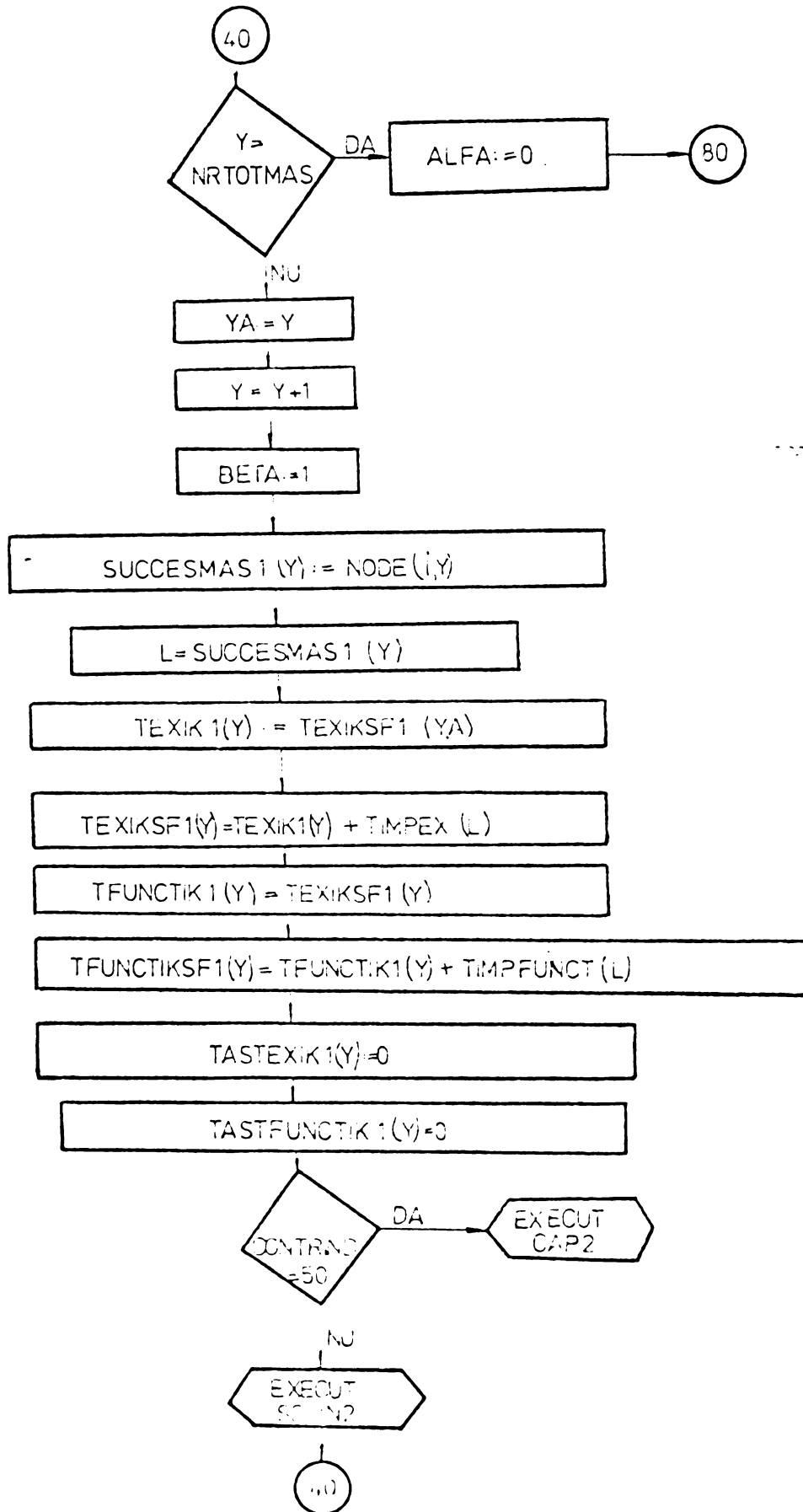


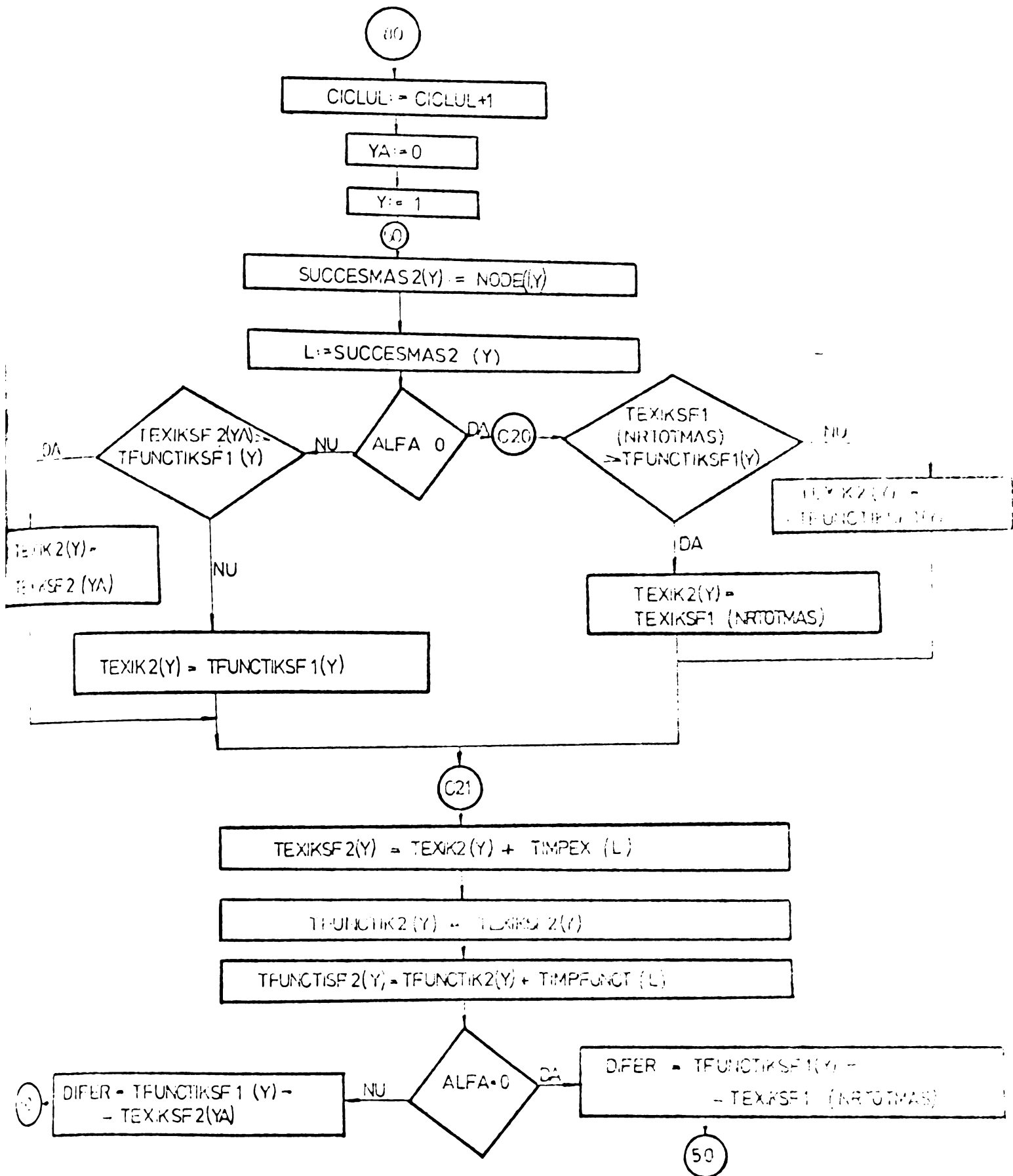


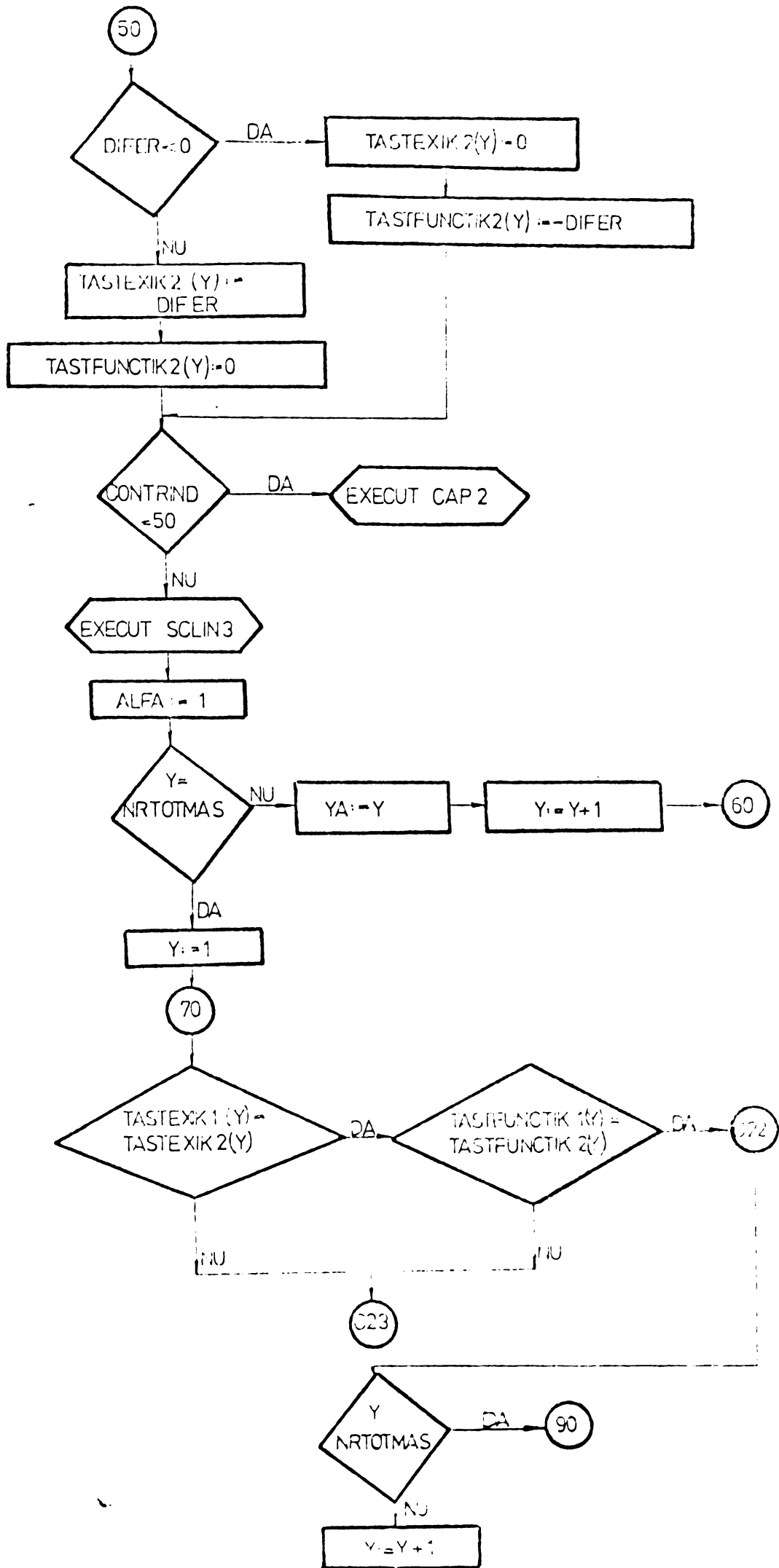


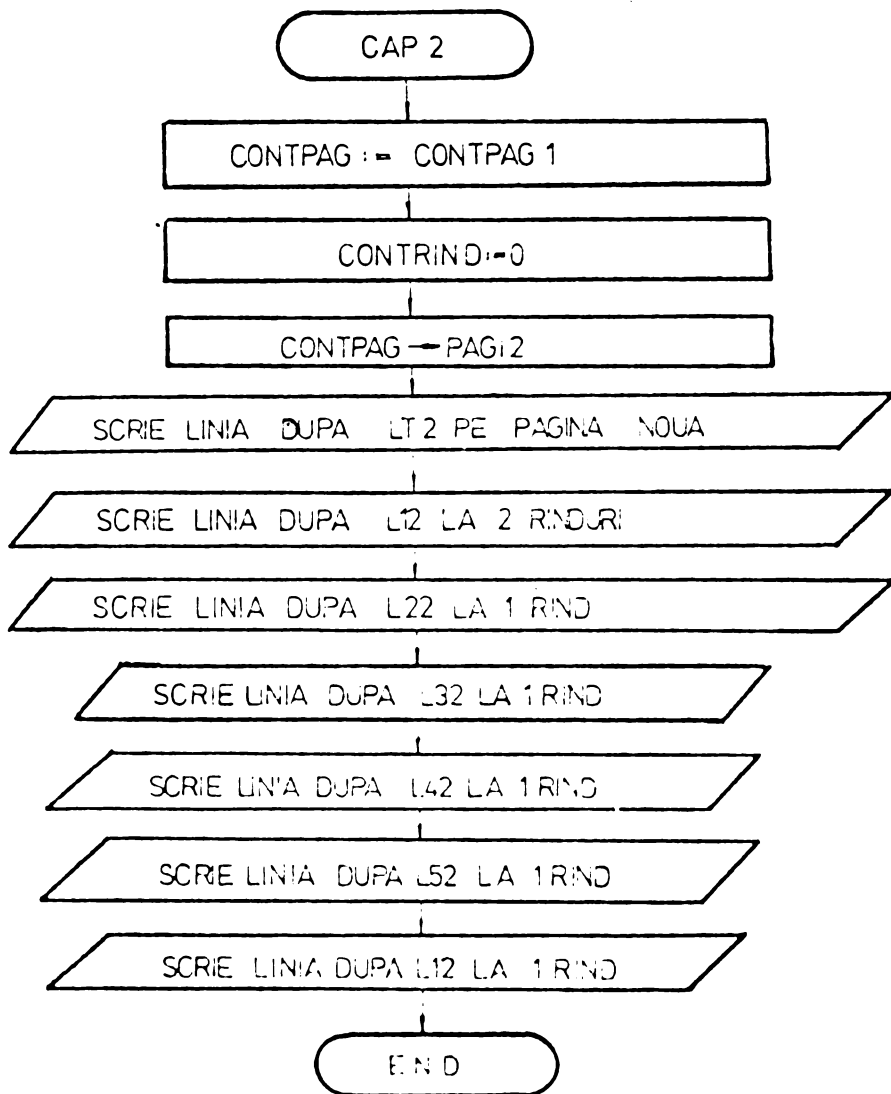
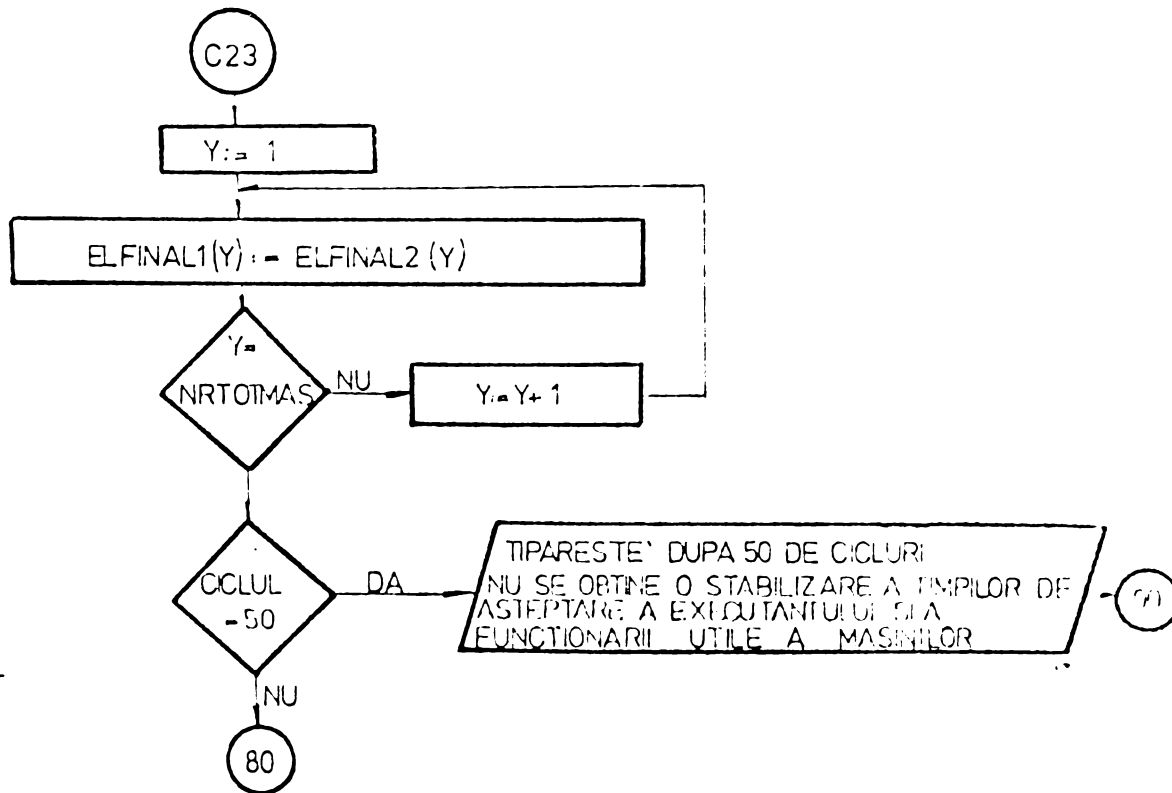


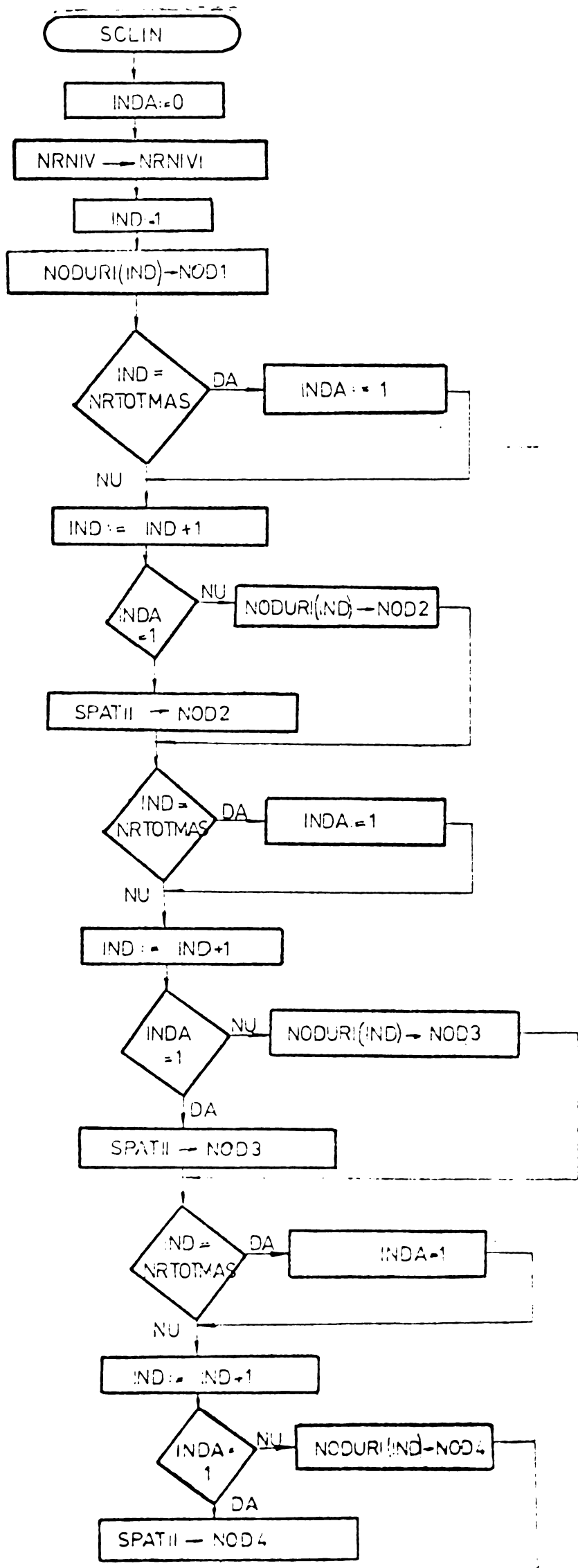


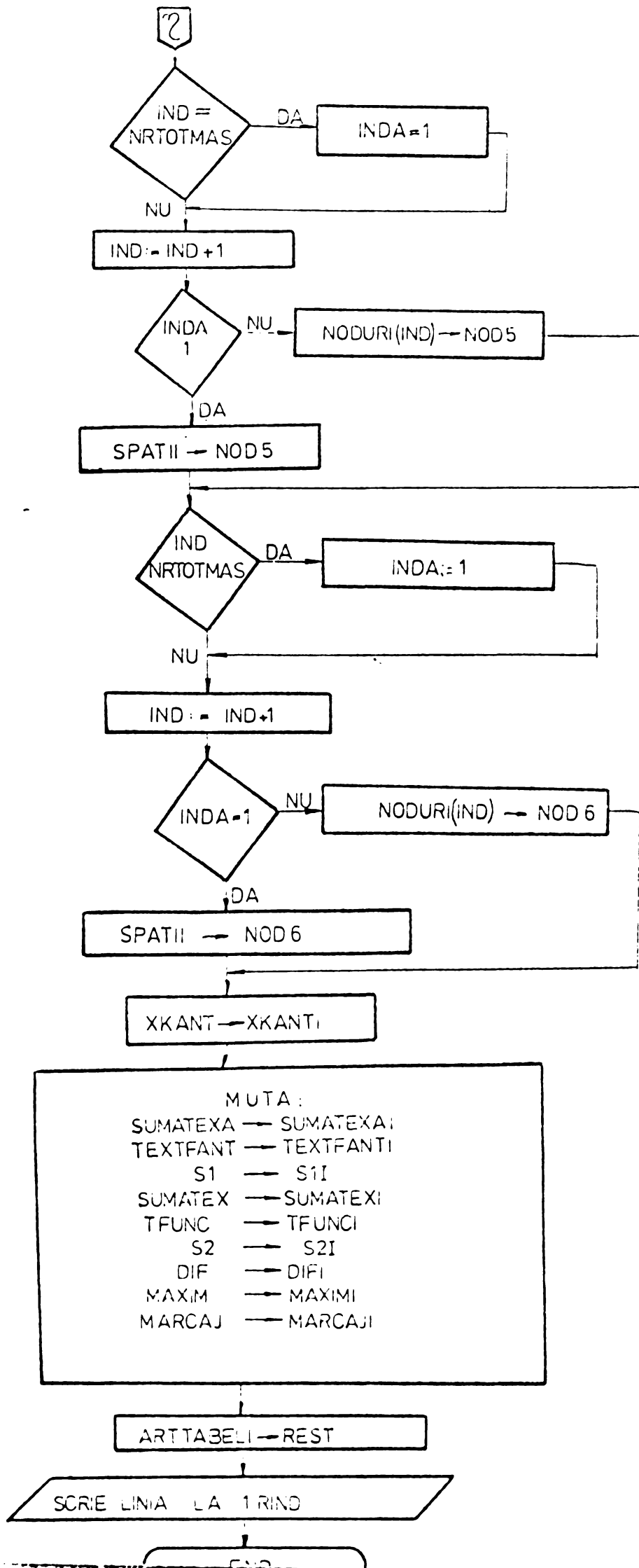




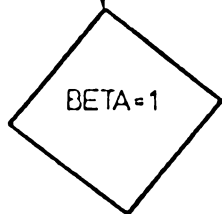








MUTA :
SUCCESMAS1(Y) → SUCCESMASI
TEXIK1 (Y) → TEXIKI
TEXIKSF1(Y) → TEXIKSFI
TFUNCTIK1(Y) → TFUNCTIKI
TFUNCTIKSF1(Y) → TFUNCTIKSFI
TASTEXIK1(Y) → TASTEXIKI
TASTFUNCTIK1(Y) → TASTFUNCTIKI



NO → CICLUL → OBSERV

DA → SPATII → OBSERV 1
SPATII → FILLER 1

MUTA :
LPI → REST

SCRIE LINIA LA 1 RIND

END

SCLIN 3

MUTA :
SUCCESMAS2(Y) → SUCCESMASI
TEXIK 2(Y) → TEXIKI
TEXIKSF2(Y) → TEXIKSFI
TFUNCTIK2(Y) → TFUNCTIKI
TFUNCTIKSF2(Y) → TFUNCTIKSFI
TASTEXIK2(Y) → TASTEXIKI
TASTFUNCTIK2(Y) → TASTFUNCTIKI



DA → SPATII → OBSERV
SPATII → FILLER 1

NO → CICLUL → FILLER 1
CICLUL → OBSERV

SCRIE LINIA DUPA LPI LA 1 RIND

Programul este conceput pentru cel mult 6 mașini, deoarece s-a constatat că în industria constructoare de mașini, un muncitor deservește cel mult 6 mașini. De pe o cartelă parametru CART-PARAM se preia numărul total de mașini deservite, zona respectivă NRTOTMAS avînd o poziție numerică. Programul este format din două părți: în prima parte, conform algoritmului stabilit se calculează marginile inferioare pentru nodurile fixate, în final găsindu-se una sau mai multe soluții. Rezultatul acestor calcule se tipărește la imprimantă în felul următor:

ARTTABEL - cu subcîmpurile:

- NRNIV - numărul de nivel al nodului și ocupă o poziție numerică;
- NODURI - o poziție numerică, cîmpul se repetă de un număr variabil de ori egal cu numărul total de mașini. Aici se păstrează succesiunea de mașini găsită corespunzător nivelului;
- XKANT - ocupă 3 poziții întregi și două zecimale și reprezintă timpul de așteptare anterior al utilajului în succesiunea dată;
- SUMATEXA - ocupă 3 poziții întregi și două zecimale și reprezintă suma timpilor de execuție pentru mașinile anterioare din succesiunea dată;
- TEXTFANT - ocupă 3 poziții întregi și două zecimale, reprezintă suma timpilor executantului și de funcționare utilă pentru mașinile anterioare din succesiunea dată;
- SI - 4 poziții întregi și două zecimale, reprezintă suma ultimelor 3 cîmpuri precedente;
- SUMATEX - are 4 poziții întregi și două zecimale, reprezintă suma timpilor executantului în succesiunea respectivă de mașini;
- TFUNG - are 2 poziții întregi și două zecimale, reprezintă timpul de funcționare utilă al ultimei mașini din succesiunea dată;
- S2 - are 4 poziții întregi și două zecimale și este suma ultimelor două cîmpuri precedente;
- DIF - 4 poziții întregi și două zecimale, reprezintă diferența cîmpurilor S1 și S2;
- MAXIM - 4 poziții întregi și două zecimale, acest cîmp este egal cu conținutul zonei DIF dacă ea este pozitivă sau cu 0 în cazul cînd zona DIF este negativă;
- MARCAJ - o poziție numerică, inițial cîmpul este pe zero.

Pentru a găsi succesiunea mașinilor din nodurile de difari-

te nivele folosim un tabel ajutător TABMAS cu următoarea structură:

TABMAS

ELMAS - zona se repetă de un variabil de ori în funcție de numărul total de mașini, cu subcîmpurile:

- MASINA - o poziție numerică
- SW - o poziție numerică, zona SW ia două valori 0 și 1. SW(K)=0, înseamnă că mașina respectivă nu este aleasă pentru a se adăuga succesiunii de mașini anterioare și SW(K)=1, mașina aleasă.

Am rezervat tabelele TABEL și TABELN cu ajutorul cărora vom căuta dintre nodurile de același nivel acele noduri pentru care zona MAXIM(I) este minimă, valoare ce se depune în cîmpul MIN. Acele noduri se vor marca punînd zona MARCAJE(I) pe valoarea 1, ele reprezentînd nodurile ce se vor ramifica adăugîndu-se succesiunilor de mașini calculate încă o mașină care nu face parte din cele anterioare.

Structura tabelelor este următoarea:

TABEL - reprezintă numele ansamblului cu subcîmpul EL ce se repetă de 720 ori. Limita aceasta reprezintă numărul maxim al nodurilor de un anumit nivel care este cel mult $6! = 720$.

El are subcîmpurile:

- NRNIVE - o poziție numerică și este numărul de nivel al nodurilor;
- MARCAJE - o poziție numerică și ia valoarea 1 sau 0 după cum cîmpul MAXIME este egal sau nu cu valoarea minimă. În acest fel marcăm nodurile ce se vor ramifica;
- MAXIME - 4 poziții întregi și două zecimale și este egal cu conținutul zonei MAXIM;
- NODE - o poziție numerică se repetă de 6 ori și este egal cu conținutul zonelor NODURI(J), J=1, NRTOTMAS. Dacă NRTOTMAS este mai mic decît 6 nu interesează în program conținutul restul zonelor NODE(I,J) pentru J NRTOTMAS;
- TABELN - are exact aceeași structură ca și TABEL, TABELN este numele ansamblului, subcîmpul ELN repetîndu-se de 720 ori;
- NRNIVI -
- MARCAJN -
- MAXILN -
- NOLN -

Indicii mai importanți folosiți în program sînt: I, J, K, N,

ier zonele ajutătoare: NUMAR, LIMITAANT, NRVIVA, ZONA. J ia valori de la 1 la NRTOTMAS (numărul total de mașini). N și I iau valori de la 1 pînă la LIMITA, zona LIMITA reprezentînd numărul nodurilor ramificate de la un anumit nivel. K ia valori de la 1 pînă la NRTOTMAS. Zona NUMAR reprezintă numărul nodurilor de un anumit nivel care se vor ramifica, adică pentru care zona MAXIME(I) este minimă.

ZONA - este inițial egală cu numărul total de mașini și scade cu cîte o unitate cînd se trece la un număr de nivel superior. Ea este utilizată la calculul numărului nodurilor de un anumit nivel;

LIMITA - reprezintă numărul nodurilor de un anumit nivel și este egală cu produsul NUMAR.ZONA;

LIMITAANT - reprezintă numărul nodurilor de nivel anterior;

În partea a doua a programului are loc programarea descrierii mașinilor în succesiunea găsită în partea întâia. În acest scop, vom utiliza două tabele TABFINAL1 și TABFINAL2; TABFINAL1 pentru efectuarea calculelor din primul ciclu și TABFINAL2 pentru următoarele cicluri.

TABFINAL1 are subcîmpuri ELFINAL1 ce se repetă de un număr variabil de ori, egal cu numărul total de mașini. La rîndul său, se compune din cîmpurile:

- SUCCESMAS1 - o poziție numerică, reprezintă numărul mașinii;
- TEXIK1 - 4 poziții întregi și două zecimale, este zero în prima iterație pentru prima mașină și pentru următoarele mașini este egal cu TEXIKSF1 al mașinii anterioare;
- TEXIKSF1 - 4 poziții întregi și două zecimale, este egal cu suma dintre zona TEXIK1(J) și TIMPEX(L), L fiind ultima mașină din acea succesiune;
- TFUNCTIK1 - 4 poziții întregi și două zecimale, este egal cu TEXIKSF1(J);
- TFUNCTIKSF1 - 4 poziții întregi și două zecimale, este suma dintre TFUNCTIK1(J) și TIMPFUNCT(L), L = ultima mașină din succesiunea dată;
- TASTEXIK1 - 4 poziții întregi și două zecimale reprezintă timpul de așteptare al executantului; este 0 în primul ciclu;
- TASTFUNCTIK1 - 4 poziții întregi și două zecimale, se prezintă timpul de așteptare al funcționării utile al mașinii în succesiunea dată; 0 este în primul ciclu;

În următoarele cicluri se folosește tabelul TABFINAL2 cu o structură identică cu tabelul anterior. TABFINAL2 are subcîmpul

ENFINAL2 ce se repetă de un număr de ori egal cu numărul total de mașini. La rândul său se compune din:

- SUCCESMAS2 - o poziție numerică;
- TEXIK2 - 4 poziții întregi și două zecimale;
- TEXIKSF2 - 4 poziții întregi și două zecimale;
- TFUNTIK2 - 4 poziții întregi și două zecimale;
- TFUNTIKSF2 - 4 poziții întregi și două zecimale;
- TASTEXIK2 - 4 poziții întregi și două zecimale;
- TASTEUNTIK2 - 4 poziții întregi și două zecimale;

Alte zone folosite în program:

- JA - mașina anterioară, ia valori de la 1 la NRTOTMAS-1;
- CICLUL - este un contor ce numără ciclurile parcurse pentru programarea deservirii mașinilor în succesiunea dată;
- ALFA - este egal cu 0 pentru prima mașină dintr-un ciclu și este egal cu 1 pentru următoarele mașini dintr-o succesiune dată din același ciclu;
- DIFER - o zonă ajutătoare pentru calculul diferenței
TFUNTIKSF1(J) - TEXIKSF2(JA) pentru ALFA = 1 sau
TFUNTIKSF1(J) - TEXIKSF1(NRTOTMAS) pentru ALFA = 0.

Descrierea schemei logice:

Ea este formată din două părți: în prima parte, conform algoritmului enunțat, se calculează succesiunea de mașini, iar în partea a doua se face programarea deservirii mașinilor din succesiunile găsite în prima parte. În prima parte se vor prelua datele inițiale: numărul total de mașini de pe o cartelă parametru iar timpii executantului și al funcționării utile a mașinilor de pe o cartelă perforată.

Se efectuează calculele conform algoritmului pentru nodurile de nivel 1 care sînt egale cu numărul total de mașini.

Pentru aceste noduri se caută minimul zonelor MAXIME(I), I = 1, LIMITA, în paragraful A.

În paragraful B se marchează aceste zone punînd zona MARCAJ(I) = 1 și în zona NUMAR obținem numărul lor, ele reprezentînd nodurile ce se ramifică.

În paragraful C marcăm mașinile existente din nodurile ce se vor ramifica punînd zona SW(K) pe 1. Aceste mașini pentru care SW(K) = 1 nu se vor mai putea adăuga succesiunii de mașini al nodului ce urmează a se ramifica.

În paragraful RAMIFICARE se execută tocmai această operație, adăugăm încă o mașină succesiunii de mașini, mașină diferită de ce-

le anterioare, căci pentru ea $SW(K) = 0$.

În paragraful CALCUL se fac calculele conform schemei logice în vederea completării zonei ARTTABEL, apoi se transferă rezultatele în zona ARTTABELI pentru tipărirea rezultatelor la imprimantă, lucru ce se realizează în paragraful SCLIN.

În paragraful CAP se tipărește titlul și capul de tabel care precede scrierea rezultatelor. După ce se extrag rezultatele calculelor la imprimantă se transferă numărul de nivel, succesiunea mașinilor din nod, marcajul și conținutul zonei MAXIM în zonele corespunzătoare din TABELN.

În momentul în care se trece la un nivel superior, în paragraful CONTINUARE se transferă conținutul zonei TABELN în TABEL, se pune $N = 1$ și se reia totul de la paragraful A. Rezultatul, succesiunile de mașini căutate se vor găsi în zona TABEL, pentru că câmpul MARCAJE(I) fiind egal cu 1.

În partea a doua a programului, în paragraful GATA se caută în TABEL soluțiile găsite anterior.

Se tipărește prin paragraful CAP2 titlul "Programarea deservirii mașinilor în succesiunea găsită" cât și noul cap de tabel la imprimantă. Efectuăm calculele conform algoritmului enunțat separat pentru primul ciclu, folosind zonele din tabela TABFINAL1, iar tipărirea rezultatelor la imprimantă se realizează în paragraful SCLIN2.

Pentru ciclurile următoare se folosesc zonele tablei TABFINAL2, pentru calcule și afișarea rezultatelor are loc în paragraful SCLIN3.

După ce se termină un ciclu, comparăm rezultatele calculelor din TABFINAL2 cu cele din ciclul anterior conținute în TABFINAL1. Dacă ele coincid, se trece la soluția următoare ce se află în zona TABEL, reluându-se totul de la paragraful GATA. Dacă rezultatele calculelor unui ciclu nu coincid cu cele ale ciclului anterior, se transferă conținutul tablei TABFINAL2 în TABFINAL1 și apoi în paragraful 80 se trece la ciclul următor.

Sfârșitul algoritmului se obține când rezultatele calculelor dintr-un ciclu sînt identice cu cele ale ciclului anterior sau când numărul ciclurilor parcurse este mai mare decît 50, situație în care oprim algoritmul dînd mesajul "După 50 de cicluri, nu se obține o stabilizare a timpilor de așteptare a executantului și a funcționării utile a mașinilor".

6.2. ANALIZA CU AJUTORUL ALGORITMULUI ELABORAT A UNOR
EXEMPLE PRACTICE

Deoarece algoritmul a fost elaborat pentru maximum 6 mașini-unelte deservite de un muncitor, în exemplele prezentate în continuare se tratează problema a 5 și 6 mașini. Este de observat că în condițiile obținerii cadrului optim pentru aceste cazuri, se poate considera că folosirea unui colectiv de muncitori, în ipoteza încadrării în parametrii luați în considerare, se poate asigura în mai bune condiții deservirea unui multiplu de mașini în funcție de numărul de muncitori în colectiv.

a. Cazul unei grupe de 5 mașini de danturat. Mărimea timpilor stabiliți pe baza observațiilor sînt prezentate în tabelul 6.1.

Tabelul 6.1.

mașini timp	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
t_{e_i}	0,5	0,5	1	1,5	1,5
t_{f_i}	7,0	7,0	9,5	8,0	8,0

Calculul de optimizare arată că succesiunea deservirii se poate realiza în patru variante 1-2-4-5-3, 1-2-5-4-3, 2-1-4-5-3 și 2-1-5-4-3.

Desigur, aceste rezultate se datoresc faptului că există o identitate de valori ale timpilor t_{e_i} și t_{f_i} între perechi de mașini-unelte.

b. Cazul unei grupe de 6 mașini-unelte a căror caracteristici de timp sînt prezentate în tabelul 6.2.

Tabelul 6.2.

mașini timp	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6
t_{e_i}	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
t_{f_i}	5,0	8,2	5,0	5,0	6,0	5,0

Se observă din listing că, datorită unei identități a

timpului t_{e_i} la toate mașinile din grup și a timpului t_{f_i} la 4 mașini, variantele de succesiune a deservirii în condiții optime sînt foarte multe (23)./Anexa II/

c. Cazul grupării a 5 mașini-unelte avînd timpii caracteristici din tabelul 6.3.

Tabelul 6.3.

mașini timpii	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
t_{e_i}	0,75	0,75	0,75	1	0,75
t_{f_i}	6,0	5,0	6,0	7,0	9,0

Din calculul de optimizare a deservirii de către un singur muncitor, se obțin două variante privind succesiunea de deservire. Așa cum se poate constata din listințul anexa III, aceste variante sînt corespunzătoare succesiunii 2-1-3-4-5 sau 2-3-1-4-5.

d. Cazul a 4 mașini avînd timpii caracteristici din tabelul 6.4.

Tabelul 6.4.

mașini timpii	m_1	m_2	m_3	m_4
t_{e_i}	1,50	0,50	2,00	2,00
t_{f_i}	8,00	7,00	5,50	6,00

Calculul de optimizare a succesiunii de deservire a mașinilor de un singur muncitor arată că există o singură variantă.
/Anexa IV/.

Se observă din aceste exemple că pe măsură ce crește diferența de timp între operațiile care se execută pe mașini, se îngustează soluțiile care se pot folosi pentru a îndeplini condițiile de optimizare.

Din valorile privind timpii de așteptare a mașinilor-unelte sau a muncitorului, se constată că acestea sînt minime, ceea ce înseamnă că atît încărcarea mașinilor cît și timpul disponibil al muncitorului sînt folosite în proporție foarte bună.

C A P I T O L U L 7

7.1. UNELE CONSIDERATII FINALE ASUPRA MODULUI SI CONDIȚIILOR DE APLICARE A POLIDESERVIRII

Din analiza condițiilor și posibilităților de aplicare a metodei deservirii mai multor mașini-unelte de un executant, se constată că aceasta reprezintă una din căile eficiente de creștere a productivității muncii, de utilizare a capacității mașinilor-unelte și de reducere a conturilor de fabricație.

Problema polideservirii în condițiile mecanizării și automatizării sistemului de deservire și de comandă a mașinii-unelte se va impune în viitor tot mai mult devenind o metodă curentă de lucru la prelucrarea pe mașini-unelte.

Desigur, vor fi și cazuri când condițiile de funcționare, de supraveghere și comandă vor impune și în viitor ca fiecare unitate să fie deservită de un executant.

Așa cum s-a arătat, aplicarea metodei polideservirii este posibilă aproape în toate cazurile, când timpul de funcționare util al mașinii-unelte este mai mare ca timpul de deservire, mașinile-unelte fiind prevăzute cu echipamente automate de comandă a ciclului de funcționare.

Pentru aplicarea practică a metodei, trebuie să se ia în considerare

modul de organizare în spațiu a producției și a muncii.

În cazul deservirii mai multor mașini-unelte de un executant, se va lua în considerare faptul că aceasta se poate organiza după următoarele sisteme:

1. pe grupe de mașini-unelte de aceeași tipodimensiune, când pot interveni situațiile de efectuare:

- operații de aceeași structură și durată;
- operații de aceeași structură dar cu durate multiple între ele;
- operații diferite ca structură dar de aceeași durată;
- operații de structură și cu durate diferite.

2. pe mașini-unelte amplasate în linie de producție în flux, când se unesc diferite operații executate într-o succesiune de prelucrare a obiectelor muncii.

7.2. ELABORAREA PROIECTULUI DE ORGANIZARE ȘI IMPLEMENTARE

În vederea introducerii metodei deservirii mai multor mașini-unelte în cadrul unui sector de lucru, se cere să se efectueze un studiu asupra modului și condițiilor în care urmează să se desfășoare activitatea. În acest sens, la întocmirea proiectului de organizare trebuie să se țină seama de sistemul care urmează să fie adoptat.

Pentru implementarea metodei, admitând că se pune problema întocmirii proiectului de organizare pentru deservirea mai multor mașini-unelte de un singur muncitor, în condițiile folosirii unei grupe de mașini-unelte de aceeași tipodimensiune, se recomandă să se procedeze conform celor arătate în continuare.

Gruparea obiectelor muncii în raport cu volumul de producție planificat pentru perioada respectivă.

Pentru a se asigura eficiența tehnico-economică a acestui sistem de organizare a procesului de prelucrare, este necesar ca la deservirea mai multor mașini-unelte de un singur muncitor să se execute obiecte ale muncii a căror prelucrare să se efectueze aproximativ în aceeași limită de timp. Dacă această condiție nu este satisfăcută se va pune problema ca pentru diferența de timp, care poate fi mică, să se facă o nouă proiectare a sistemului de organizare. În acest caz va fi necesar să se introducă pentru a fi prelucrat și un alt obiect al muncii pentru a se acoperi timpul disponibil la mașina sau mașinile-unelte la care prelucrarea se termină într-un timp mai scurt, în caz contrar mașina respectivă va staționa.

Este de remarcat că astfel de situații trebuie evitate deoarece acestea conduc la reducerea eficienței tehnico-economice a aplicării sistemului.

Gruparea obiectelor muncii în funcție de volumul producției pentru perioada de plan luată în considerare, impune a fi efectuată după cum se arată în continuare.

În prima fază se va face o codificare, sistematizare și înregistrare a datelor inițiale ale obiectelor muncii $P_i (i=1, n)$. Se va menționa cantitatea de obiecte ale muncii (Q_i) ce urmează a fi prelucrate, timpii necesari pentru deservire (t_{e_i}) și timpul de funcționare util al mașinilor-unelte fără supravegherea muncitorului (t_{f_i}) pentru fiecare obiect al muncii care urmează a se executa pe grupa de mașini-unelte (Tabelul 7.1.)

Tabelul 7.1.

Codul obiectelor muncii (P_i)	Cantitatea de obiecte ale muncii în perioada de plan (Q_i)	Timpii executantului (t_{e_i})	Timpul funcționării utile a mașinii (t_{f_i})
P_1	Q_1	t_{e_1}	t_{f_1}
P_2	Q_2	t_{e_2}	t_{f_2}
⋮	⋮	⋮	⋮
P_i	Q_i	t_{e_i}	t_{f_i}
⋮	⋮	⋮	⋮
P_n	Q_n	t_{e_n}	t_{f_n}

Se calculează apoi pentru fiecare tip al obiectelor P_i volumul de muncă necesar (T_i) pentru perioada respectivă:

$$T_i = Q_i (t_{e_i} + t_{f_i})$$

Calcululele se sistematizează într-un tabel (Tabelul 7.2.)

Tabelul 7.2.

nr. crt.	P_i	Q_i	t_{e_i}	t_{f_i}	$t_{e_i} + t_{f_i}$	$T_i = Q_i(t_{e_i} + t_{f_i})$
0	1	2	3	4	5=3+4	6=2x3
1.	P_1	Q_1	t_{e_1}	t_{f_1}	$t_{e_1} + t_{f_1}$	$Q_1(t_{e_1} + t_{f_1})$
2.	P_2	Q_2	t_{e_2}	t_{f_2}	$t_{e_2} + t_{f_2}$	$Q_2(t_{e_2} + t_{f_2})$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
i	P_i	Q_i	t_{e_i}	t_{f_i}	$t_{e_i} + t_{f_i}$	$Q_i(t_{e_i} + t_{f_i})$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
n	P_n	Q_n	t_{e_n}	t_{f_n}	$t_{e_n} + t_{f_n}$	$Q_n(t_{e_n} + t_{f_n})$

Volumul de muncă necesar T_i rezultat din tabelul 7.2., coloana 6, se ordonează într-un șir descrescător. Din șir se elimină obiectele muncii P_i , la care valorile T_i fiind foarte mici nu justifică tehnico-economic organizarea deservirii mai multor mașini-unelte de un singur muncitor.

În continuare se determină numărul optim de mașini-unelte m_i ; ($i=1, \dots, P_i$) ce pot fi deservite de un singur muncitor, folosind în acest sens relația:

$$m_i = \frac{t_{f_i}}{t_{e_i}} + 1$$

Se va căuta să se obțină numărul maxim de mașini-unelte deservite de un executant în condițiile alocării obiectelor muncii P_i în ordinea șirului descrescător T_i - pentru a avea valori apropiate de terminarea deservirii fiecărei mașini-unelte, astfel ca timpii de interferență să fie cei mai mici și deosebiții timpilor de așteptare ai muncitorului. Această operație se repetă pînă la alocarea tuturor obiectelor muncii cuprinse în șirul ordonat.

Se ordonează polideservirea mașinilor-unelte pe mulțimea obiectelor muncii alocate fiecărui grup de mașini și fiecărui executant. În acest cadru se stabilește ordinea și succesiunea deservirii mașinilor în funcție de obiectivul tehnico-economic pro-

pus. (Problema ordonanțării s-a tratat în cap.5).

În cazul pregătirii deservirii mai multor mașini-unelte de un muncitor, într-un sistem cu linie de producție în flux, se va proceda în primul rând la determinarea numărului optim de mașini-unelte ce pot fi deservite de un muncitor. Se va lua în considerare mașinile-unelte amplasate în ordinea în care se efectuează prelucrarea obiectelor muncii pe linia tehnologică.

După această operație, se trece la ordonanțarea ordinei de deservire a mașinilor-unelte în funcție de alocările efectuate în prima fază.

Gruparea obiectelor muncii în raport cu volumul producției și ordonat după timpul necesar pentru prelucrare asigură condițiile pentru organizarea sistemului.

Astfel, mașinile-unelte ce urmează a fi deservite de un muncitor se grupează în așa fel încât durata operației de efectuare să fie aproximativ aceeași.

Prin această formă de organizare se poate asigura o astfel de încărcare a mașinilor-unelte încât să nu fie nevoie de a se introduce alte produse pentru prelucrare, ceea ce ar conduce la forma de organizare mai greoaie cu scăderea eficienței tehnico-economice.

C A P I T O L U L 8

CONSIDERATII TEHNICO-ECONOMICE

În vederea cunoașterii eficienței utilizării practice a metodei determinării succesiunii optime, prin folosirea algoritmului de ordonare a polideservirii grupeii de mașini, în cele ce urmează se prezintă modul de verificare a soluțiilor obținute.

Verificarea se referă la soluțiile privind durata de așteptare a mașinilor, respectiv timpul de interferență și gradul mediu de încărcare a mașinilor.

După cum s-a văzut, timpul de interferență se poate determina cu relația:

$$T_{f_i}^a = t_{i_{f_i}} = T_c - (t_{f_s} + t_{ex})_i$$

$$T_{f_t}^a = \frac{\sum_{i=1}^n T_{f_i}^a}{n}$$

$$T_c = t_{C_{max}} = \max_i (t_{sf} + t_{ex})_i$$

În care:

$T_{f_i}^a$ - este durata de așteptare a funcționării utile a mașinii m_i ; ($i = 1 - n$);

T_c - durata ciclului maxim al deservirii;

Expresia pentru determinarea gradului mediu de încărcare a mașinilor (η_{in}) pentru ordonarea stabilită se prezintă sub formă:

$$\bar{\eta}_{in} = \frac{\sum_{i=1}^n (t_e + t_f)_i}{\sum_{i=1}^n (t_e + t_f)_i + \sum_{i=1}^n T_{fisk}^a} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{ci}}{\sum_{i=1}^n T_{ci} + \sum_{i=1}^n T_{fisk}^a}$$

Pentru exemplificarea aplicării metodei, în continuare se prezintă calculele de verificare pentru cele patru cazuri considerate la aplicarea algoritmului stabilit.

În scopul ușurării calculelor, datele pentru calcul se recomandă să se sistematizeze într-un tabel.

Pentru primul caz aceste date sînt prezentate în tabelul 8.1.

Tabelul 8.1.

$\frac{m_i}{t}$	1	2	3	4	$\sum_{i=1}^n T_{ci}$	$\sum_{i=1}^n T_{fisk}^a$
t_{e_i}	1,5	0,5	2,0	2,0		
t_{f_i}	8,0	7,0	5,5	6,0		5,5
T_{c_i}	9,5	7,5	7,5	8,0	32,5	

Durata de așteptare minimă se determină astfel:

$$T_c = t_{c_{max}} = 9,5$$

$$T_{f_1}^a = 9,5 - (8,0 + 1,5) = 0$$

$$T_{f_2}^a = 9,5 - (7,0 + 0,5) = 2,0$$

$$T_{f_3}^a = 9,5 - (5,5 + 2,0) = 2,0$$

$$T_{f_4}^a = 9,5 - (6,0 + 2,0) = 1,5$$

$$T_{f_t}^a = \sum T_{f_i}^a = 5,5$$

Comparînd această valoare cu cea obținută pentru succesiunea ordonanțării determinate 2-3-4-1, valorile fiind identice, re-

zultă că aceasta este soluția optimă; gradul de încărcare al mașinilor deservite în această succesiune va fi:

$$\bar{\zeta}_{inc} = \frac{T_{c_i}}{T_{c_i} + T_{f_{isn}}^a} = \frac{32,5}{32,5 + 5,5} = 0,852$$

Elementele de calcul pentru cazul a 5 mașini deservite sînt trecute în tabelul 8.2.

Tabelul 8.2.

$\frac{m_i}{t}$	1	2	3	4	5	$\sum_{i=1}^n T_{c_i}$	$\sum_{i=1}^n T_{f_{isk}}^a$
t_{e_i}	0,5	0,5	1,0	1,5	1,5		
t_{f_i}	7,0	7,0	9,5	8,0	8,0		8,0
T_{c_i}	7,5	7,5	10,5	9,5	9,5	44,5	

Calculul timpului minim de așteptare:

$$T_c = t_{c_{max}} = 10,5$$

$$T_{f_1}^a = 10,5 - (7 + 0,5) = 3,0$$

$$T_{f_2}^a = 10,5 - (7 + 0,5) = 3,0$$

$$T_{f_3}^a = 10,5 - (9,5 + 1,0) = 0$$

$$T_{f_4}^a = 10,5 - (8 + 1,5) = 1$$

$$T_{f_5}^a = 10,5 - (8 + 1,5) = 1$$

$$T_{f_t}^a = \sum_{i=1}^n T_{t_i}^a = 8,0$$

Comparînd $T_{f_t}^a$ astfel calculat cu $\sum_{i=1}^n T_{f_{isn}}^a$, rezultat din succesiunea ordonanțării deservirii, care se poate realiza în patru variante, se constată că aceste valori sînt identice, deci soluția este optimă.

În ceea ce privește gradul mediu de încărcare al mașinilor din grup, acesta are valoarea:

$$\bar{\zeta}_{inc} = \frac{44,5}{44,5 + 8,0} = 0,845$$

Verificarea pentru cazul 3, la care s-au făcut calculele tot pentru 5 mașini dar avînd alte date inițiale, așa cum se arată în tabelul 8.3., rezultatele arată posibilitatea folosirii pentru deservirea a trei moduri de succesiune care prezintă soluții optimizate.

Tabelul 8.3.

$\frac{m_i}{t}$	1	2	3	4	5	$\sum T_{f_i}^a$
t_{e_i}	0,75	0,75	0,75	1,00	0,75	
t_{f_i}	6,0	5,0	6,0	7,0	9,0	11,75
T_{c_i}	6,75	5,75	6,75	8,0	9,75	

Calculul timpului minim de așteptare:

$$T_c = t_{c_{\min}} = 9,75$$

$$T_{f_1}^a = 9,75 - (6,0 + 0,75) = 3,0$$

$$T_{f_2}^a = 9,75 - (5,0 + 0,75) = 4,0$$

$$T_{f_3}^a = 9,75 - (6,0 + 0,75) = 3,0$$

$$T_{f_4}^a = 9,75 - (7,0 + 1,0) = 1,75$$

$$T_{f_5}^a = 9,75 - (9,0 + 0,75) = 11,75$$

$$T_{f_t}^a = \sum T_{f_i}^a = 11,75$$

Comparînd cele două valori se vede că sînt aceleași.

Determinînd gradul mediu de încărcare:

$$\bar{z}_{inc} = \frac{37,0}{48,75} = 0,76$$

se observă că acesta este sub valorile cerute.

Analizînd situația și a celui de-al patrulea exemplu la 6 mașini, se constată că datorită identității, mai ales a timpului de deservire, variantele pentru succesiunea ordonării sînt peste 20.

In tabelul 8.4. sînt prezentate valorile timpilor considerați:

Tabelul 8.4.

$\frac{m_i}{t}$	1	2	3	4	5	6	$\sum T_{c_i}$	$\sum T_{f_{isk}}$
t_{e_i}	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5		
t_{f_i}	5,0	8,2	5,0	5,0	6,0	5,0		15,0
T_{c_i}	5,5	8,7	5,5	5,5	6,5	5,5	37,2	

Din comparația $T_{f_t}^a$ cu $\sum T_{f_{isk}}^a$, se vede că sînt identice.

Calculînd gradul mediu de încărcare:

$$\bar{\zeta}_{inc} = \frac{37,2}{52,2} = 0,712$$

în acest caz se constată că este și mai mic.

Din exemplele prezentate se constată că folosirea algoritmului pentru stabilirea ordonanțării deservirii mai multor mașini este o metodă eficientă, putîndu-se stabili cu ajutorul calculatorului electronic soluția optimă.

Considerăm important de menționat că și în cazurile în care se obțin grade medii mai mici de încărcare, pentru mașinile din grupe, aplicarea metodei polideservirii prezintă atât avantaje din punct de vedere economic, cît și din punct de vedere al capacității de producție, respectiv, a productivității muncii.

C A P I T O L U L 9

9.1. CONCLUZII GENERALE

Lucrarea elaborată constituie o primă analiză, sub această formă, a condițiilor de aplicare practică a metodei deservirii mai multor locuri de muncă, luând în considerare complexul de aspecte ce pot interveni în aceste cazuri.

La elaborarea lucrării s-a avut în vedere cerințele creșterii gradului de folosire a mașinilor-unelte și folosirea mai eficientă a timpului de muncă al muncitorului fără a se crea prin aceasta depunerea unor eforturi suplimentare.

Se remarcă faptul că aplicarea metodei deservirii mai multor mașini se impune în tot mai largă măsură în condițiile de creștere a tehnicității mașinilor-unelte și, în general, a gradului de dotare tehnică, ceea ce face ca muncitorul să fie mai puțin solicitat direct în procesul de prelucrare propriu-zis, activitatea sa având o pondere tot mai mare pentru operațiile de reglare, de comandă și supraveghere, putând în acest fel să se ocupe mai mult de activitatea de organizare a locului de muncă, de mașină, de modul de realizare a cantității și calității produselor.

În cadrul studiului au fost abordate principalele aspecte privind polideservirea, pornindu-se de la definirea noțiunii de deservire a mai multor mașini sau a mai multor locuri de muncă.

Aceste studii privind aplicarea metodei polideservirii în industria constructoare de mașini s-au considerat ca necesare ținând seama că în general în bibliografia de specialitate aspectele teoretice se referă la polideservire mai ales în industria ușoară.

Din analiza aspectelor teoretice abordate în literatura de specialitate se constată că modul de rezolvare, numai în forma prezentată, nu conduce în orice condiții la obținerea unor soluții op-

tine. În aceste condiții s-au studiat care sînt condițiile în care una sau alta din metode poate conduce la obținerea unor rezultate eficiente. Astfel, s-au analizat condițiile în care se pot deservi mai multe mașini, luînd în considerare felul și durata operațiilor.

S-au analizat posibilitățile și condițiile în care aplicarea metodei conduce la eficiență economică.

Pentru cunoașterea posibilităților de aplicare a polideservirii în industria constructoare de mașini, s-au studiat mai multe aspecte prin cercetările efectuate în condiții concrete de aplicare în cadrul mai multor întreprinderi constructoare de mașini.

Pe baza studiilor efectuate s-au reținut o serie de concluzii privind posibilitățile de aplicare și de extindere a metodei.

În lucrare sînt prezentate parțial rezultatele obținute prin metodele folosite la studiile efectuate și condițiile de optimizare pentru diverse situații.

9.2. CONTRIBUȚII PRIVIND APLICAREA METODEI DESERVIRII MAI MULTEI MASINI

În primul rînd, se scoate în evidență cerința ca pentru reușita aplicării trebuie să se procedeze la pregătirea științifică, studiindu-se condițiile concrete pe care le prezintă fiecare caz în parte.

Din studiile teoretice și experimentale efectuate a reieșit pregnant necesitatea ca în fiecare caz problema trebuie să fie abordată multilateral, să fie analizate posibilitățile de organizare și aplicare în condiții optime, deoarece altfel se poate compromite ideea, așa cum s-a constatat în unele cazuri.

Abordarea problemei în mod științific va conduce la posibilitățile și condițiile în care aplicarea metodei conduce la o eficiență economică de necontestat.

Pe baza celor constatate în cadrul studiilor efectuate, s-a ajuns la concluzia că cercetările trebuie orientate spre găsirea unei modalități de abordare și analizare a condițiilor și posibilităților de aplicare a metodei.

În acest context, pentru elaborarea unor studii de generalizare în vederea aplicării extinderii metodei, s-a pornit de la condițiile de optimizare, luînd în considerare cazurile mai complexe cum sînt acelea a unor operații cu durată de execuție diferită.

În acest studiu s-a pornit de la cerințele asigurării în procesul de producție a unei largi flexibilități și aceea de a se folosi capacitatea optimă a mașinilor-unelte.

Studiile teoretice și experimentale efectuate ne-au condus la abordarea problemei pe baza unor principii noi. Astfel, am studiat condițiile și modalitățile de aplicare a metodei pornind de la algoritmul de tip 'Branch and bound' (ramifică și mărginește). În acest sens, am contribuit la studiul și stabilirea ordinei și a succesiunii deservirii mașinilor în funcție de obiectivul tehnico-economic propus.

Precizarea modului de ordonanțare a polideservirii mașinilor-unelte, luând în considerare repartizarea obiectelor de prelucrat pe grupe de mașini și executant:

- s-a demonstrat că prin cunoașterea gradului mediu de încărcare al mașinilor-unelte, a minimizării cheltuielilor și folosirea mai eficientă a fondurilor fixe se poate asigura o producție netă superioară în condițiile polideservirii;

- s-a demonstrat că prin folosirea metodei complexe BB și a potențialelor pentru rezolvarea în condiții optime a deservirii, se asigură o utilizare optimă atât a mașinilor-unelte cât și a timpului executantului;

- s-a demonstrat că prin folosirea unui tip de algoritm BB se poate soluționa în condiții mai ușoare aplicarea practică;

Pentru ușurarea calculelor se pot folosi calculatoare electronice.

- s-a stabilit și modul și condițiile de aplicare eficientă a polideservirii;

- sînt stabilite fazele pregătitoare pentru introducerea pe baze științifice a metodei deservirii mai multor mașini;

Pentru analiza condițiilor și posibilităților de aplicare a metodei polideservirii, s-a elaborat schema logică a programului pentru calculatoarele Felix 256 a algoritmului polideservirii.

În lucrarea de față se prezintă modul de folosire a algoritmului pentru rezolvarea unor cazuri concrete de deservire a mai multor mașini-unelte.

Plecînd de la algoritmul lui Jonson, s-a elaborat un algoritm cu ajutorul căruia se poate stabili ordinea deservirii cu un efort mai mic chiar pentru cazurile cînd nu se dispune de calculator electronic.

Se menționează că o parte din studiile efectuate la întreprinderi au fost puse la dispoziția acestora, o parte au fost comunicate la sesiuni științifice sau publicate în reviste de specialitate.

Consider că prin modul de abordare și tratare a tematicii

propuse, lucrarea își aduce o modestă contribuție teoretică și aplicativă la extinderea aplicării metodei polideservirii în industria constructoare de mașini, problemă care devine din ce în ce mai importantă, așa cum s-a mai arătat, pe măsura creșterii gradului de tehnicitate a întreprinderilor constructoare de mașini.

B I B L I O G R A F I E

1. x x x x Directivele Congresului al XI-lea al Partidului Comunist Român cu privire la planul cincinal 1976-1980 și liniile directoare ale dezvoltării economico-sociale a României pentru perioada 1980-1990. Congresul al XI-lea al Partidului Comunist Român, București, Ed.Politică, 1975;
2. Nicolae Ceaușescu - Cuvîntarea la Plenara comună a Comitetului Central al Partidului Comunist Român și Consiliului Suprem al Dezvoltării Economice și Sociale a României, noiembrie 1973. România pe drumul construirii societății socialiste multilateral dezvoltate, vol.9, București, Ed.Politică, 1973;
3. Nicolae Ceaușescu - Cuvîntarea la Plenara Comitetului Central al Partidului Comunist Român, noiembrie 1976. România pe drumul construirii societății socialiste multilateral dezvoltate, vol.13, București, Ed.Politică, 1977;
4. Nicolae Ceaușescu - Cuvîntarea la Consfătuirea de lucru de la Comitetul Central al Partidului Comunist Român, septembrie 1977, București, Ed.Politică, 1977;
5. x x x x Mutații contemporane în știință și tehnică și implicațiile lor, București, Ed.Politică, 1975;
6. Ackoff, R.L.; Sasieni, M. - Bazele cercetării operaționale, București, Ed.Tehnică, 1975;
7. Bellman, R.E.; Dreyfuss, E. - Programarea dinamică aplicată, București, Ed.Tehnică, 1967;
8. Bogatiu, I. - Metodologia de normare a muncii la deservirea mai multor mașini pe care se execută aceeași operație. Probleme de organizare a muncii de salarizare, nr.4/1963;
9. Bulinov, V.V. - Ekonomiceskoe stimulirovanie nauchnotekhniceskogo progressa na stankozavodoh. Stanki i instrument, nr.7/1975;
10. Dantzing, G.B.; Wolfe, P. - Linear Programming in Markov Chain. The Rand Corporation, Santa Monica, 1961;
11. Dams, W. - Mehrmaschinenbedienung in Maschinenbaubetrieben, VEB Verlag Technik, Berlin, 1958;

12. Dorfman, R.ş.a. - Linear Programming and Economic Analysis, New-York - Toronto - London, 1958;
13. Elmaghaby, E. - Proiectarea sistemelor de producție, Bucureşti, Ed.Tehnică, 1968;
14. Ehrlich, P. - Ermittlung der unterschiedlichen Anforderungen bei Mehr und Einzelbedienung von Fräsmaschinen. Praktikumsbericht des Institut für Psychologie der T.U., Dresden, 1962;
15. Frana, A. - Succesiunea optimă a sarcinilor de muncă, Socialistische Arbeitwresenschaft, 14, nr.3/1970;
16. Fetter, N. - The Assignment of Operators to Service Automatic Machine, The Journal of Industrial Engineering, 5, 1975;
17. Gross-Hardt, E.; Taprogge, R. - Maschinengruppen oder Einzelbelegung bei der Arbeitsablaufslenung in der Einzel und Kleinserienfertigung, Werkstattstechnik 39.12.1969;
18. Godin, V.; Curtis, J. - The Interactive Shop Supervisor, Industrial Engineering, 11.1969;
19. Haiduc, I.; Grozav, I.; Tache, Gh.; Savii, Gh. - Considerații asupra normării muncii la deservirea simultană a mai multor maşini în construcția de maşini. Probleme ale organizării ştiințifice a producției și a muncii. Timișoara, 1970;
20. Harting, H.; Tomert, H. - Hinweise für die Erleichterung der Arbeit bei Mehrmaschinenbedienung. Zeitschrift für Arbeitsökonomie und Arbeitsschutz 7, nr.1/1963;
21. Höhl, H. - Arbeitsstudien als Hilfsmittel zur Entwicklung von Maschinen mit optimalen Bedienbereich. Zeitschrift für Arbeitsökonomie und Arbeitsschutz 10, nr.2/1966;
22. Homoş, T. - Capacitatea de producție în construcția de maşini, Ed.Tehnică, Bucureşti, 1972;
23. Höbel, E. - Zeitgemässe Hilfsmittel für das Arbeits und Zeitstudium, REFA - Nachrichten 23, nr.3/1970
24. Herrmann, G.; Naumann, W. - Methoden und Ergebnisse psychologische Arbeitsstudien im Stahlwerk, Zeitschrift für Arbeitsökonomie und Arbeitsschutz, 5, 1961;
25. Ionescu, T. - Grafuri aplicații, vol.1, Bucureşti, Ed.Didactică și Pedagogică, 1973;
26. Iliescu, I. - Capacitățile de producție și căile utilizării lor eficiente, Bucureşti, Ed.Politică, 1973;
27. Ianke, R. - Organization der Mehrmaschinen - Bedienung, VEB - Verlag, Berlin, 1963;

28. Kempe, G.; Storch, J. - Zu einigen Fragen der Mehrmaschinenbedienung der Kapazitätsausnutzung und der Schlichtarbeit. Zeitschrift für Arbeitsökonomie und Arbeitsschutz, 7, 1963;
29. Kraemer, K.H.E. - Arbeitswissenschaft - Ergonomie - Humans Factors, WT - Z und Fertigung, 8, 1970;
30. Knager, M. - Diviziunea muncii și sincronizarea productivității la producția în flux, REFA - Nachrichten R.F.G., 1, 1970;
31. Kurt, W. - Sozialistische Arbeitswissenschaft, 1, 1970;
32. Laseva, M. - Metodii normirovania truda pri mnogoagregation obsluyvanii;
33. Maynard, H.B. - Conducerea activității economice, vol.2, București, Ed.Tehnică, 1971;
34. Maynard, H.B. - Conducerea activității economice, vol.3, București, Ed.Tehnică, 1972;
35. Maynard, H.B. - Manualul de inginerie industrială, vol.3, secțiunea VIII, cap.6, București, Ed.Tehnică, 1977;
36. Malzacher, H.M. - Arbeitswissenschaftliche. Rationalisierungsmethoden in Dienstleistungsbetrieben, Industrielle Organization, nr.11/1969;
37. Meyer, B.E.; Rusch, A.I. - Lösung des Reihenfolgeproblems beim Drehen zur Senkung der Umrüstzeiten. Industrie-Anzeiger, 92, nr.70/71, 1970;
38. Meyer, B.E.; Rusch, A.I. - Lösung des Reihenfolgeproblems beim Drehen zur Senkung der Umrüstzeiten. Industrie-Anzeiger, nr.61/1970;
39. Mihoc, Gh.; Nădejde, I. - Programarea matematică, București, Ed. Stiințifică, 1970;
40. Mihoc, Gh.; Ciucu, Gh. - Introducerea în teoria așteptării, București, Ed.Tehnică, 1967;
41. Mitroff, I.I. - Fundamental Issues in the Simulation of Human Behaviour. A Case in the Strategig of Botrevi-nal science. Management science, 12/1969;
42. Nastansky, L.; Dellman, K. - Optimizarea sistemelor de deservire a mai multor mașini. Zeitschrift für Betriebswirtschaft, nr.11/1969;
43. Nădejde, I.; ș.a. - Probleme de cercetare operațională. Programarea matematică. București, Ed.Academiei, 1971;
44. Palm, C. - The Distribution of Repairmen in Serving Automatic Machines. Industritidening Norden VII, 1950;
45. Popovici, C.; Savii, Gh.; Killmann, V. - Tehnologia construcțiilor de mașini, București, Ed.Didactică și Pedagogică, 1967;

46. Postelnicu, T.; ș.a. - Matematici speciale aplicate în economie, programări matematice și grafuri, București, Ed. Didactică și Pedagogică, 1977;
47. Pugna, I.; Haiduc, I.; Muțiu, C.; Tache, Gh. - Methode der Vervollkommung des Systems Mensch - Maschine. Comunicare la al VII-lea colocviu internațional asupra organizării științifice a muncii, Kasin, R.S.C., XI, 1973;
48. Pugna, I.; Haiduc, I.; Muțiu, C.; Tache, Gh. - Das system Menschen - Maschinen im Produktionsprozess. Comunicare la al VII-lea colocviu internațional asupra organizării științifice a muncii, Kasin, R.S.C., XI, 1973;
49. Pugna, I.; Tache, Gh.; Savii, Gh.; Muțiu, C. - Utilizarea metodei firelor de așteptare în calculele de optimizare a zonelor de deservire a războaielor de țesut. Comunicare la al V-lea simpozion de organizare a producției, I.P. Traian-Vuia, Timișoara, 1974;
50. Rosenberg, Prochorov - Einführung in die Bedienungstheorie, G.T. Tenbner, Verlagsgesellschaft;
51. Rohmert, W. - Recherches sur les temps de repos dans les activités industrielles. L'etude du travail, nr 160/1965;
52. Rotaru, P. - Introducerea tehnicii moderne în construcția de mașini, București, Ed. Academiei, 1973;
53. Savii, Gh.; ș.a. - Deservirea mai multor mașini și cumulara de profesii. Caiet de studii 13. Institutul de cercetări economice, Academia R.S.R., 1970;
54. Savii, Gh.; Tache, Gh.; Grozavu, I.; Haiduc, I. - Considerații asupra deservirii mai multor mașini la UCM-Reșița. Probleme de organizare științifică a producției și a muncii, Timișoara, 1970;
55. Savii, Gh.; Cojocaru, C. - Flexibilitatea în fabricația de mașini Timișoara, Ed. Facla, 1977;
56. Schmidtke, H. - Zur Frage des Pausenregims bei Mehrstellenarbeit mit unregelmässigen Ablauf. Arbeits und betriebskundliche Reihe 3, "Mehrstellenarbeit", Köln Bund Verlag, 1965;
57. Schneider, K. - Untersuchung der Wege und Haupttätigkeiten einiger Arbeiter mit Verschiedener Arbeitsorganisation bei Mehrstellenarbeit. Praktikumsbereich des Instituts für Psychologie de T.U. - Dresden;
58. Schiller, H. - Wirtschaftlicher Anwenden der Mehrmaschinenbedienung in der Serienfertigung, Fertigungstechnik und Betrieb N.2/1970;
59. Schiller, H. - Das Planen und Festlegen der Mehrmaschinenbedienung in der Serienfertigung, Fertigungstechnik und Betrieb N.3/1969;

60. Smirnov, S.; Dumitrescu, V. - Ergonomia, factor al organizării științifice a muncii, Probleme de organizare a muncii și școlarizării, nr.2-3/1967;
61. Schapiro, N. - Normarea muncii la deservirea mai multor mașini Socialisticești trud, nr.5/1962;
62. Spah, A. - Organizarea ritmică a deservirii mai multor mașini în construcția de mașini, Socialisticești trud, nr.1/1967;
63. Storch, I.; ș.a. - Mehrmaschinenbedienung, Verlag die Wirtschaft, Berlin, 1966;
64. x x x x - Studiul muncii. Studiul metodelor, București, Ed. Tehnică, 1971;
65. x x x x - Studiul muncii. Măsurarea muncii, București, Ed. Tehnică, 1971;
66. x x x x - Studiul muncii. Probleme generale, București, Ed. Tehnică, 1971;
67. Tache, Gh.; ș.a. - Determinarea numărului de mijloace de muncă, normative la deservirea simultană a mai multor mașini; Probleme de organizare științifică a producției și a muncii, Timișoara, 1970;
68. Tache Gh.; ș.a. - Unele probleme privind stabilirea condițiilor de producție pentru deservirea mai multor mașini cu ajutorul teoriei șirurilor de așteptare. Comunicare la simpozionul de organizare științifică a producției, I.P. Traian-Vuia, Timișoara, 1969;
69. Tache, Gh. - Bazele teoretice ale organizării deservirii mai multor mașini. Referat prezentat în cadrul colectivului de catedră.
70. Tache, Gh. - Considerații asupra folosirii principiului teoriei șirurilor de așteptare la optimizarea deservirii mai multor locuri de muncă. Referat prezentat în cadrul colectivului de catedră.
71. Tache, Gh. - Particularitățile organizării deservirii mai multor mașini în industria constructoare de mașini, Referat prezentat în cadrul colectivului de catedră;
72. Tacu, A.; Tacu, C. - Zonele de deservire a utilajelor, aplicații a liniilor de așteptare în țesătorii, București, Ed. Institutul de cercetări economice al R.S.R. 1967;
73. Takacs, L. - Cercetări asupra timpului de așteptare în procese Markov. Arta Matematica Academiae Scientiae Hungariae, vol. VI, 1955;
74. Thurman, V. - Die Betriebswirtschaftliche Bedeutung der Mehrstellenarbeit an Gruppene automatischer Maschinen. Automatik, 1960;

75. Tibor Frank - Deservirea colectivă a mașinilor, una din metodele de gospodărire industrială;
76. Wedekind, E. - Untersuchungen zur Bestimmung der optimalen Arbeitsplatzgröße bei Mehrstellenarbeit in der Weberei. Westdeutscher Verlag. Köln und Aplaunden, 1955;
77. Wedekind, E. - Der Einfluxe der Automatisierung auf die Struktur der Maschinen und Arbeitszeiten an mehrstelligen Arbeitsplatz in der Textilindustrie, Westdeutscher Verlag, Köln und Aplaunden, 1955;
78. Wedekind, E. - Mehrstellenarbeit und Entlohnung, Der Arbeit nr.1, 1961;
79. Wedekind, E. - Die Bestimmung optimaler Fertigungsbedingungen bei der Mehrmaschinenbedienung;
80. Weinberger, A. - Organizarea științifică a muncii și cumilarea de profesii, Soțialisticeski trud, 10/1964;
81. Wilbrecht, J.K.; Prescott, W.B. - The Influence of Setup Time on Job Shop Performance, Management Science, 4/1969;
82. Winckel, A. - Mehrstellenarbeit. Carl Hauser Verlag, München, 1963;
83. Winckel, A. - Grundsätze und Grundlagen für die Gestaltung und Entlohnung der Mehrstellenarbeit. Leistung und Lohn, 4/1964;
84. Zangenmester, Cr. - Tehnica sistemelor, o metodă de organizare adecvată a sistemelor complexe. Buletin de informare al cadrelor de conducere, 12/1970;
85. Zdunkiewicz, M. - Organizacja pracy na stanowiskach wieloagregatowych. Ekonomika I Organizacya Precy, nr.1/1970;