INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA"
T I M I S O A R A
FACULTATEA DE CONSTRUCTII

Ing. Nguyen van Luong

CONTRIBUTII LA ALEGEREA LINIEI ROSII OPTIME A PROFILULUI LONGITUDINAL AL CAII FERATE FOLOSIND CALCULATORUL ELECTRONIC

TEZA DE DOCTORAT

Conducător ştiinţific
Acad. Prof. [illegible]

- 1977 -

C U P R I N S U L

C A P I T O L U L   1

FOLOSIREA CALCULATOARELOR ELECTRONICE SI PROBLEMA DE ALEGEREA LINIEI ROSII OPTIME LA PROFILUL LONGITUDINAL AL CAII FERATE.

1-1 Folosirea calculatoarelor electronice la proiectarea căilor ferate.

Apariţia calculatoarelor electronice a condus la înlocuirea unei unei părţi importante a activităţii omului şi în problema de proiectare. Calculatorul electronic poate resolva mai repede şi mai economic decît omul toate problemele de proiectare care pot fi programate, respectiv toate problemele care sînt bine definite din punct de vedere procedural şi structural.

In ultimii 20 de ani se foloseşte şi calculatorul electronic la diverse calcule de proiectare a căii ferate [42]

In U.R.S.S. se folosesc în mod curent calculatorul electronic pentru alegerea lungimii utile a liniilor de garare, mijloacelor de dotare, numărului de posturi de mişcare, a timpului graficului de circulaţie şi a schemelor raţionale de sporire în etape a capacităţii liniilor. De asemenea se foloseşte pe scară largă calculatorul electronic în resolvarea problemelor de resistenţă ale suprastructurii căii.

Din diverse documentaţii apărute rezultă că se obţin prin acest procedeu parametrii cu o precizie foarte mare, iar schimbarea variabilelor se realizează modificîndu-se datele iniţial introduse, obţinîndu-se totodată foarte multe variante. In proiectarea staţiilor de cale ferată, căile ferate sovietice au fost puse la punct metodele analitice de determinare a elementelor staţiei, a coordonatelor schimbătoarelor de cale, a vîrfurilor unghiurilor, metodologia de calcul a volumelor de lucrări de terasamente în staţii nou construite, avînd date curbele de nivel al terenului, etc. In planificarea construcţiei s-au întocmit programele de repartizarea optimă a volumelor de terasament, de alegerea modului mecanizării lucrărilor de terasament, de alegerea mijloacelor mecanizării lucrărilor de artă, etc.

In privinţa proiectării unui profil longitudinal, la căile ferate sovietice se folosesc calculatoarele electronice şi unele metode matematice moderne. Se mai folosesc calculatoarele electronice la calculul volumelor de lucrări de terasamente în căi nou construite, la calculele de stabilitate ale rambleelor. Din documentația apărută rezultă că a fost pusă la punct o metodă privind calculul secțiunii transversale a rambleelor, plecîndu-se de la coeficientul de stabilitate enunțat, în diferite condiții de teren și cu adîncimea de fundare a rambleelor de la 3 la 15 m.

Căile ferate ungare au elaborat și folosesc o metodă pentru proiectarea traseelor de cale ferată pe baza datelor obținute prin fotogrammetrie, pe cale aeriană și prelucrate cu ajutorul calculatoarelor electronice.

Căile ferate din R.D. Germană și cele din U.R.S.S. folosesc deasemenea calculatoare electronice pentru ridicări topografice.

In România ICP (Institutul de cercetări și proiectări tehnologice în transporturi) și Trustul de construcții căi ferate au întocmit programele importante pentru calculele podurilor, pentru calculele căii ferate și pentru calculele de tracțiune, etc.

In privința proiectării căii ferate există programele următoare:

- calculul devizului la suprastructura de cale ferată.
- calculul ridicării la niveletă a liniei de cale ferată
- calculul geometriei curbelor de cale ferată la traseele existente în arce de racordare
- elaborarea proiectelor de suprastructură a căilor ferate [1]

In privința calculelor de tracțiune există programele următoare:

- îndreptarea profilelor reale de cale ferată cu ajutorul calculatoarelor electronice cifrice [7]
- calculul timpilor de mers și al consumului de energie cu ajutorul calculatorului electronic SIEMENS 4004/45 (din dotarea ministerului transporturilor și telecomunicațiilor) și cu ajutorul calculatorului electronic de birou "OLIVETTI-PROGRAMMA 101" [32], [33]
- retrasarea curbelor de cale ferată
- etc.

După autorul lucrării [42] majoritatea programelor întocmite de ICP și de Trustul de construcții căi ferate sînt aplicate în practică în mod curent, economisind o durată de timp substanţială la proiectare, obţinînd o calitate superioară a lucrărilor executate pe calculator electronic şi făcînd astfel posibilă abordarea unor probleme inaccesibile unui calcul manual.

1-2 Caracteristicile problemelor de proiectarea căilor ferate

Procesul proiectării unei căi ferate este o problemă foarte mare şi foarte complicată. Fiindcă capacitatea calculelor tradiţionale (cu mîna) şi a calculatorului electronic este limitată, pentru executarea proiectării unei căi ferate se împarte această problemă în unele părţi şi anume:

- proiectarea traseelor pe planul de situaţie
- proiectarea profilelor longitudinale
- proiectarea profilelor transversale
- compararea variantelor de proiectare
- etc.

Aceste părţi se leagă foarte strîns între ele. In rezolvarea fiecărei probleme amintite se face simplificarea unor condiţii reale. De aceea variantele obţinute se apropie doar spre cele optime.

In descrierea programelor pentru rezolvarea acestor probleme la calculatorul electronic, trebuie să se aplice numeroasele norme complicate ale standardelor despre proiectare.

Numărul,de informaţii care se introduce în calculator, în general este foarte mare.

Inainte de a calcula la maşină, proiectantul trebuie să ştie bine să pregătească şi să folosească informaţiile iniţiale. In multe cazuri proiectantul trebuie să amplaseze zona de proiectare în care se află variantele de proiectare Aceste lucruri influenţează în mod direct la rezultatele obţinute şi la consumul timpului pe calculator. Pentru a obţine rezultate exacte şi timpul consumat redus pe calculator, este necesar ca pregătirea şi folosirea informaţiilor iniţiale să fie făcută cu atenţie.

In comparaţia variantelor de proiectare a unei căi ferate se folosesc mulţi indicatori economici, de exemplu preţul unui m^3 de umplutură, de săpătură, etc. Formarea acestor indici se face prin stabilirea proceselor tehnologice, a metodelor de lucru, a condiţiilor specifice în care se desfăşoară lucrarea şi în limitele variaţiilor posibile ale cantităţilor de lucru. Stabilirea acestor indici trebuie făcută cu atenţie pentru a nu influenţa soluţia aleasă.

1-3 Problema de alegere a liniei roşii optime la profilul longitudinal

1-3-1 Datele fixate pentru construirea problemei

Problema de alegere a liniei roşii optime la profilul longitudinal al căii ferate se construieşte pe baza datelor următoare:

- poziţia traseului pe planul de situaţie
- valoarea maximă admisă a declivităţii liniei
- poziţia şi tipul punctelor de secţionare, lungimea utilă a liniilor pentru primirea şi expedierea trenurilor
- numărul liniilor din staţii sau din halte de mişcare
- poziţia, tipul şi deschiderea lucrărilor de artă (podurilor, tunelelor, podeţelor, etc.).

1-3-2 Construirea problemei

Căutarea liniei de proiectare optime este simplificată în felul următor:

Configuraţia terenului de a lungul traseului sau linia neagră a profilului longitudinal se exprimă în forma funcţiei $Z = \varphi(x)$

Soluţia problemei sau linia roşie a profilului longitudinal se caută în forma funcţiei $\bar{Z} = \psi(x)$, [fig. 1-1]

Căutarea poziţiei optime a liniei de proiectare constă în minimizarea funcţiei-obiectiv

$$K = K(x, Z, \bar{Z}) \qquad (1\text{-}1)$$

care exprimă suma simplicatoare a cheltuielilor de investiţii şi a cheltuielilor de exploatare şi satisface condiţiile următoare:

1.- valoarea declivităţii liniei inclusiv rezistenţa dată de curbă este mai mică sau cel mult egală cu valoarea maximă admisă (i_{adm}) a declivităţii la proiectarea profilului longitudinal, adică

$$|i_i| + \tau_{c_i} \leq i_{adm} \qquad \text{sau} \quad \left|\frac{\bar{Z}_i - \bar{Z}_{i-1}}{l_i}\right| + \tau_{c_i} \leq i_{adm} \qquad (1\text{-}2\text{-}a)$$

unde i_i - valoarea declivităţii reale a liniei, în ‰

τ_{c_i} - rezistenţa la mers dată de curbă, în ‰

l_i - lungimea elementului de profil, în Km

$\bar{Z}_i$ - cota liniei roşii, în m.

2.- diferenţa dintre valorile declivităţilor elementelor alăturate în profilul longitudinal este mai mică sau cel mult egală cu diferenţa admisă Δi_{adm} la proiectare, adică

$$|i_{i+1} - i_i| \leq \Delta i_{adm} \quad \text{sau} \quad \left| \frac{\bar{Z}_{i+1} - \bar{Z}_i}{l_{i+1}} - \frac{\bar{Z}_i - \bar{Z}_{i-1}}{l_i} \right| \leq \Delta i_{adm} \qquad (1\text{-}2\text{-}b)$$

3.- lungimea elementului de profil este mai mare sau cel puţin egal cu lungimea admisă (l_{adm}) la proiectare, adică

$$l \geq l_{adm} \qquad (1\text{-}2\text{-}c)$$

4.- nivelul platformei căii sau nivelul liniei de proiectare este mai mare (mică) sau cel puţin (mult) egal cu nivelul necesar al punctelor particulare adică

$$\bar{Z} \geq Z^* \quad \text{sau} \quad \bar{Z} \leq Z^* \qquad (1\text{-}2\text{-}d)$$

5.- punctele schimbătoarelor de declivitate pe profilul longitudinal nu sînt amplasate pe poduri fără balast sau pe curbe de racordare.

(1-2-e)

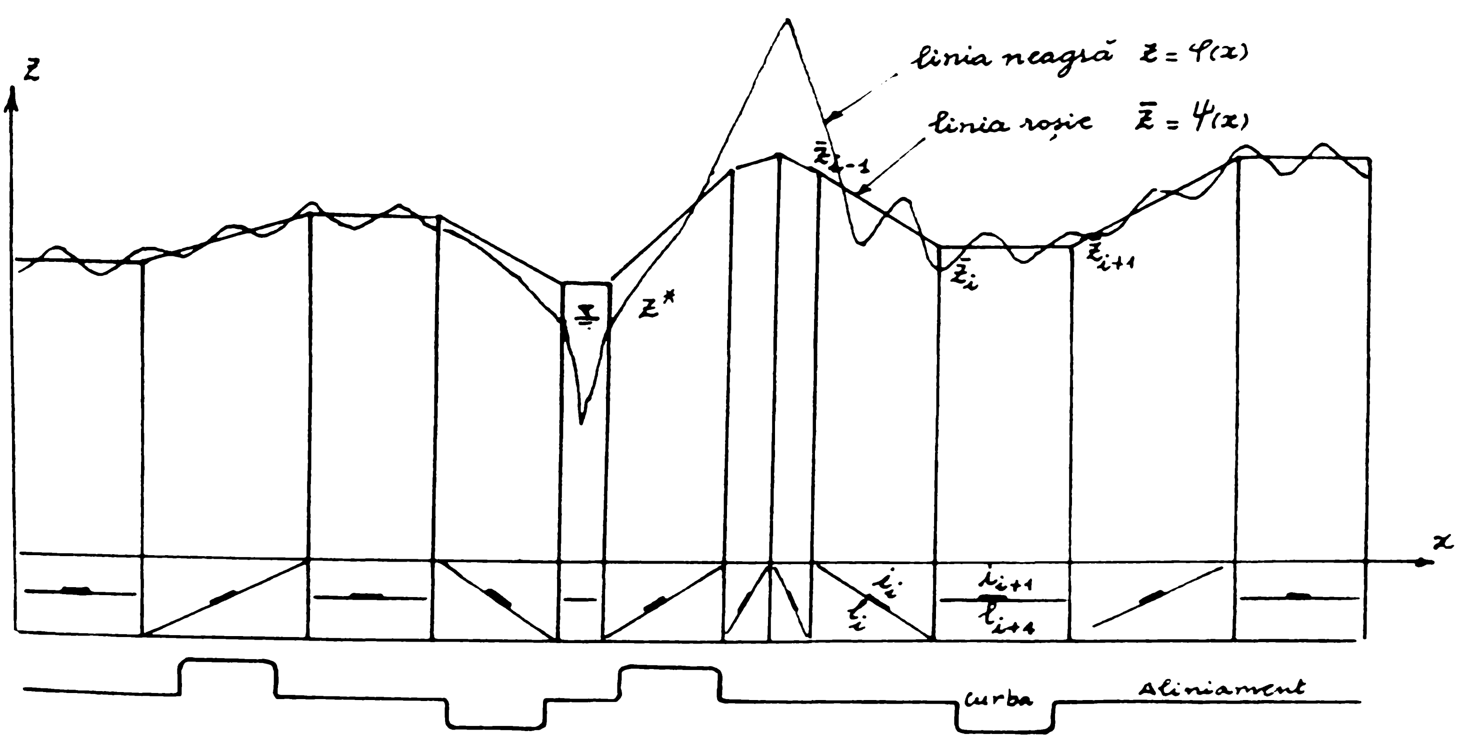


fig. 1-1 Prezentarea problemei

1-3-3. Definirea funcţiei obiectiv

In procesul de proiectare a unui profil longitudinal de cale ferată de cele mai multe ori pot fi găsite mai multe soluţii tehnice răspunzînd condiţiilor şi cerinţelor stabilite prin tema de proiectare, dar în aceleaşi timp deosebindu-se prin: volumul de lucrări, timpul de execuţie, cheltuielile de construcţie, cheltuielile de exploatare, etc. Fiecare soluţie determină o anumită variantă de proiect. Variantele trebuie să satisfacă tema de proiectare şi să fie comparate între ele în vederea găsirii variantei optime.

Pentru a putea calcula eficacitatea economică a variantelor este necesar să se stabilească în prealabil pentru fiecare variantă, valoarea cheltuielilor de construcţie sau de investiţie şi valoarea cheltuielilor de exploatare (I şi E)

Metoda cea mai des folosită la calculul eficacităţii economice a variantelor cu o singură etapă de investiţie este metoda cheltuielilor anuale de investiţie şi de exploatare minime, [14], [49]

Această metodă constă în determinarea cheltuielilor anuale ca sumă a cheltuielilor de exploatare şi a cheltuielilor de investiţie separat pentru fiecare variantă. Se consideră varianta cu eficacitatea economică maximă aceea pentru care se obţine un minim pentru cheltuielile anuale.

Se notează cu

I_1, I_2 - cheltuielile de investiţii pentru varianta 1 şi respectiv pentru varianta 2

E_1, E_2 - cheltuielile de exploatare pentru varianta 1 şi respectiv pentru varianta 2

atunci

$I_1 - I_2$ - surplusul cheltuielilor de investiţii necesar pentru a se executa varianta cu cheltuielile de investiţie mai mare (varianta 1)

$E_2 - E_1$ - economia realizată anual la cheltuielile de exploatare

Se notează cu t_n termenul de recuperare normat a investiţiilor suplimentare.

In comparaţia celor 2 variante de proiectare dacă avem

$$\frac{I_1-I_2}{E_2-E_1} < t_n$$

rezultă sau $$\frac{I_1}{t_n} + E_1 < \frac{I_2}{t_n} + E_2$$

rezultă că varianta mai scumpă este mai avantajoasă sub aspect economic.

Dacă se compară mai multe variante ca şi în căutarea liniei roşii optime la calea ferată, varianta mai avantajoasă sub aspect economic folosind metoda cheltuielilor anuale, va fi aceea care necesită cele mai mici cheltuieli anuale, adică $\frac{I}{t_n} + E$ = minim.

In compararea variantelor de proiectare a căii ferate se ia $t_n = 10$ ani. Dacă cheltuielile anuale totale se notează cu K, atunci se poate scrie

$$K = 0{,}1\ I + E \qquad (1\text{-}1\text{-}a)$$

şi această relaţie este chiar funcţia-obiectiv (1-4)

CAPITOLUL 2

CALCULUL CHELTUIELILOR DE CONSTRUCTIE

La comparaţia variantelor de proiectare ale unei căi ferate trebuie să se stabilească cheltuielile de construcţii. In compunerea cheltuielilor de construcţie intră

- cheltuielile pentru terasamente
- cheltuielile lucrărilor de artă
- cheltuielile suprastructurii căii
- cheltuielile privind procurarea locomotivei şi a vagoanelor,
- alte cheltuieli care depind de lungimea căii, de exemplu: cheltuielile privind procurarea şi montarea instalaţiilor de semnalizare şi ale instalaţiilor de comunicaţie: cheltuielile de construcţie ale reţelei electrice şi ale substaţiilor de tracţiune, etc
- cheltuielile de construcţie a staţiilor.

Pentru problema de alegerea liniei roşii optime la profilul longitudinal ne interesează numai primele două cheltuieli - cheltuielile pentru terasamente şi cheltuielile lucrărilor de artă. Nu se iau în considerare celelalte cheltuieli pentru că ele nu variază pentru toate variantele la proiectarea profilului longitudinal.

2-1 Cheltuielile pentru terasament

Costul terasamentelor pentru construcţia unei căi ferate noi în relieful usual ocupă 18-2o iar în relieful accidentat ocupă 25-3o din totalul cheltuielilor de construcţii, [18]. Costul terasamentelor în linia curentă şi în liniile de primire şi expediere se calculează cu ajutorul formulei următoare:

$$V = \Sigma V_i P_i \qquad (2-1)$$

unde:

V_i - volumul de terasamente pe elementul de profil (sau pe tronsonul) de ordinul i, în m^3

P_i - preţul unui m^3 de terasament pe elementul de profil sau terasament de ordinul i, în unități bănești.

2-1-1 Metodele stabilirii volumului de terasament

Pentru a determina volumul de terasament la calculatorul electronic se pot împărți metodele de calcul în trei grupe:

1.- In grupa întîia sînt metodele complicate și exacte dar trebuie multe informații inițiale, de exemplu: programul elaborat de Institutul central de studiu științific pentru construcție al U.R.S.S. [40]

In aceste metode pentru a calcula suprafața profilului transversal se iau în considerare toate caracteristicile reliefului, toți parametrii posibili ale terasamentului ca de exemplu: lățimea platformei căii în aliniamente și în curbe, variația înclinării taluzului pe fiecare profil și pe fiecare tronson, ținîndu-se seama de caracteristicile geologice. Aceste metode cer prea mult timp la calculator, de aceea nu sînt potrivite cu problema de alegere a liniei roșii optime.

2.- In grupa a doua intră metodele care cer un număr relativ mic de informații inițiale, dar ele nu asigură precizie ridicată și nu pot da posibilitate de aplicație în toate cazurile reale. Se folosesc aceste metode pentru a alege linia roșie preliminar înainte de alegerea definitivă a ei pentru că se reduce timpul de calcul la calculator. Metoda elaborată de Havkin K. A. și Jagovki I A. N. [15] este în această grupă. Autorul acestei metode a calculat volumul terasamentului după formula:

$$V = S_o L \qquad (2-2)$$

unde:

V - volumul terasamentului pe tronsonul de drum, în m^3

L - distanța dintre 2 picheți, în m

S_o - suprafața medie a profilului transversal al tronsonului de cale ferată dintre 2 picheți. Ea se calculează după înălțimea medie de umplutură sau după adîncimea medie, de săpătură:

$$H_o = \frac{H_1 + H_2}{2}$$

H_1, H_2 - înălțimea de umplutură sau adîncimea de săpătură în profilul transversal la extremitățile tronsonului. Se calculează după formula următoare:

$$H_i = H_{pr} - H_t \qquad (i = 1, 2)$$

H_{pr} - nivelul platformei căii de proiectare

H_t - nivelul terenului în axa profilului transversal

Formele cu ajutorul cărora se stabileşte suprafaţa profilului transversal sînt formate după felul de terasamente, în săpăturăsau în umplutură. Parametri şi constantele care se introduc în formule sînt potrivite cu felurile de terasament.

2-a Pentru felurile de terasamente prezentate în fig. 2-1-a, 2-1-b

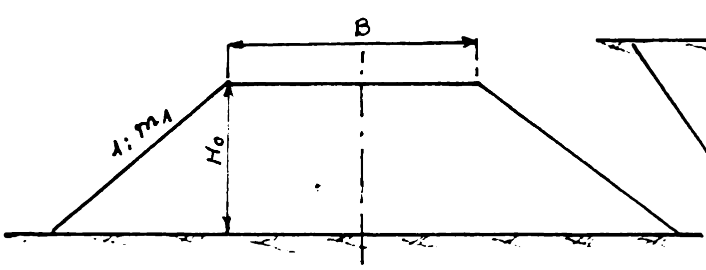


fig. 2-1-a

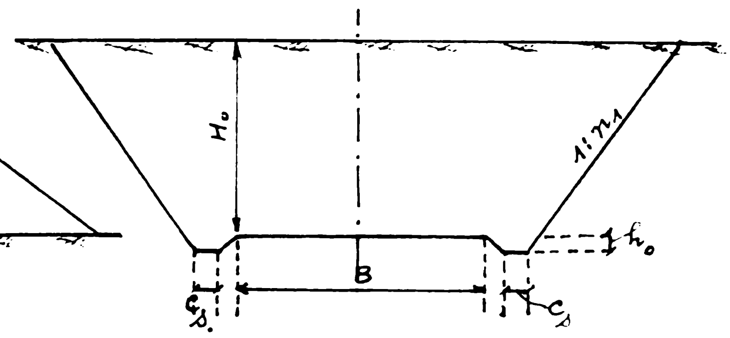


fig. 2-1-b

$$S_o = \bar{B} + \bar{m}_1 H_o^2 + \frac{\bar{m}_1(H_1 - H_2)^2}{12} \qquad (2\text{-}3\text{-}a)$$

$$\bar{B} = \begin{cases} B & \text{pentru tesamant în umplutură} \\ B + 2\left[c_s + h_o(n_1 + n)\right] & \text{pentru terasament în săpătură} \end{cases}$$

în care:

c_s - lăţimea şanţului

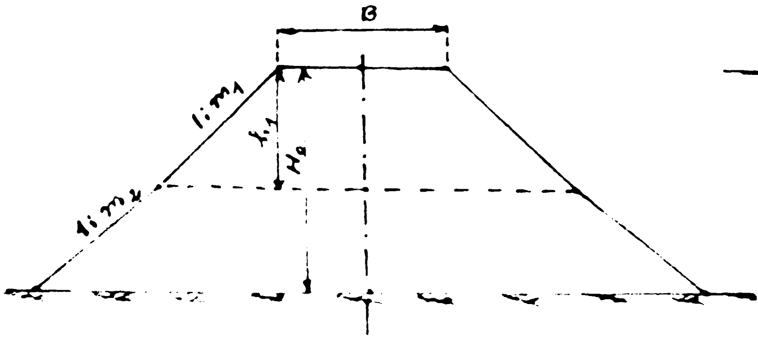
h_o - adîncimea şanţului

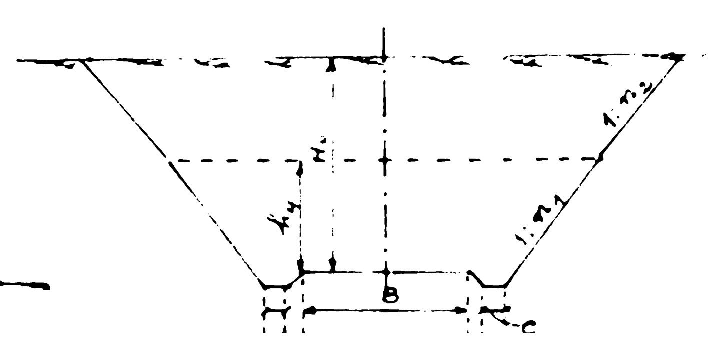
$1/n$ - înclinarea talusului şanţului

$$\frac{1}{\bar{m}_1} = \begin{cases} \dfrac{1}{m_1} & \text{-înclinarea talusului în umplutură} \\ \dfrac{1}{n_1} & \text{- înclinarea talusului în săpătură} \end{cases}$$

$\dfrac{\bar{m}_1(H_1 - H_2)^2}{12}$ - o valoare de corecţie

2b Pentru felurile de terasament prezentate în fig. 2-1-c şi fig. 2-1-d





$$S_o = \bar{m}H_o + \bar{m}_1 h_1(2H_o - \bar{h}_1) + \bar{m}_2 (H_o - h_1)^2 + \bar{m}_2 \frac{(H_1 - H_2)^2}{12} \qquad (2\text{-}3\text{-}b)$$

$$\bar{m}_2 = \begin{cases} m_2 & \text{- pentru terasament în umplutură} \\ n_2 & \text{- pentru terasament în săpătură} \end{cases}$$

$$\bar{h}_1 = \begin{cases} h_1 & \text{- pentru terasament în umplutură} \\ h_4 & \text{- pentru terasament în săpătură} \end{cases}$$

2-c <u>Pentru felurile de terasament prezentate în fig. 2-1-e şi fig. 2-1-f</u>

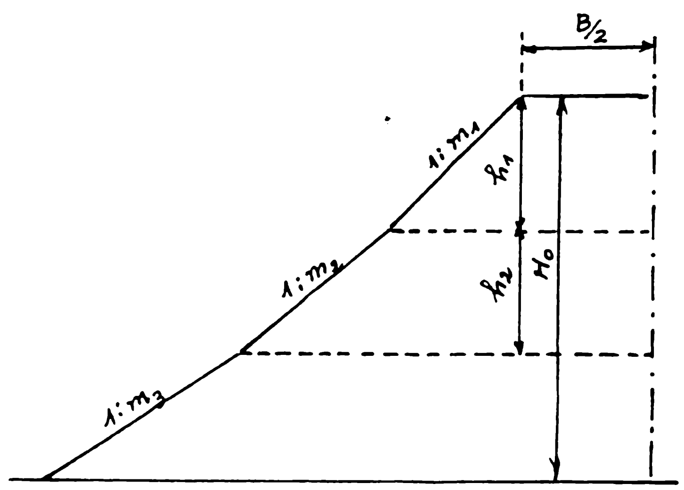


fig. 2-1-e

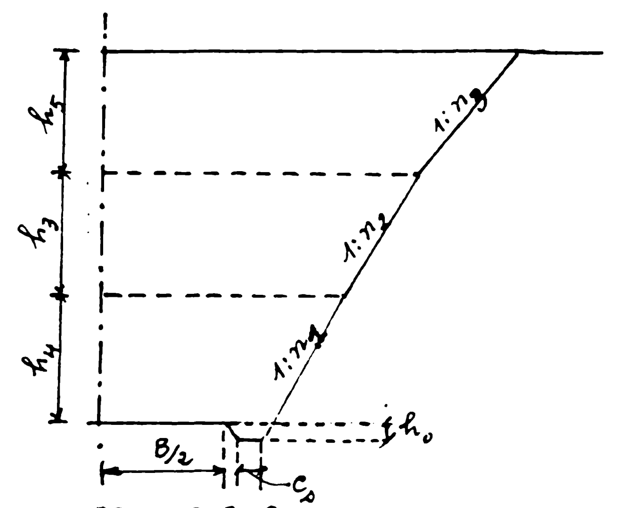


fig. 2-1-f

$$S_o = \bar{m}H_o + \bar{m}_1\bar{h}_1(2H_o - \bar{h}_1) + \bar{m}_2\bar{h}_2(\bar{h}_2 + \bar{h}_3) + \bar{m}_3\bar{h}_3^2 + \frac{\bar{m}_3(H_1 - H_2)^2}{12} \qquad (2\text{-}3\text{-}c)$$

$$h_3 = H_o - (\bar{h}_1 + \bar{h}_2)$$

$$\bar{h}_2 = \begin{cases} h_2 & \text{- pentru terasamente în umplutură} \\ h_5 & \text{- pentru terasamente în săpătură} \end{cases}$$

$$\bar{m}_3 = \begin{cases} m_3 & \text{- pentru terasamente în umplutură} \\ n_3 & \text{- pentru terasamente în săpătură} \end{cases}$$

$\bar{m}_3 \frac{(H_1 - H_2)^2}{12}$ e valoare de corecţie

3.- In grupa a treia intră metodele care nu cer prea multe informaţii iniţiale, dar dau precizie suficientă de exactitate şi au o sferă de aplicare largă [10], [19]

Metoda prezentată în [19] cuprinde 2 programe: unul pentru tronsonul cu profilele transversale tip de rambleu şi de debleu şi altul pentru tronsonul cu profilele speciale. In această lucrare se consideră că în condițiile favorabile geotehnice hidrologice se folosese profilul tip de umplutură cu înălțimea pînă 12 m. [fig. 2-3-a] profilul tip de săpătură cu adîncimea arbitrară, [fig. 2-3-b] In condițiile particulare excepționale se folosesc profilele speciale. Experiența de proiectare arată că profilele transversale tip, în general, cuprind 70 - 80 %, resturile se caracterisează prin folosirea contrabanchetelor prin punerea taluzului cu înclinare mică sau prin folosirea zidurilor de sprijin

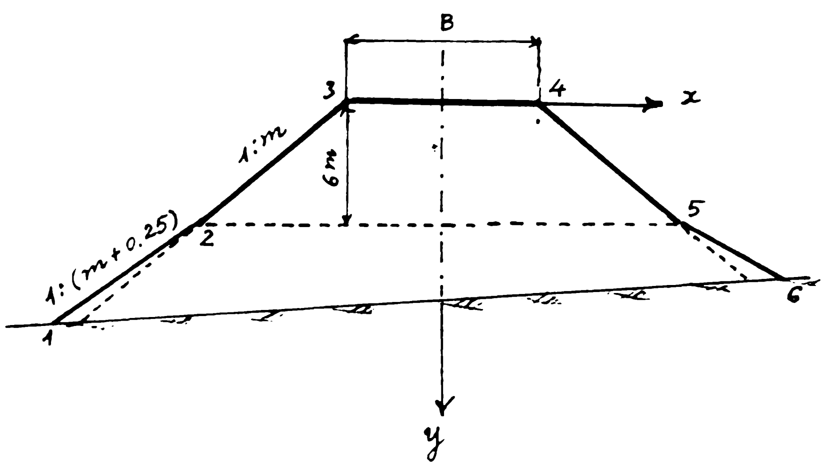


fig. 2-3-a

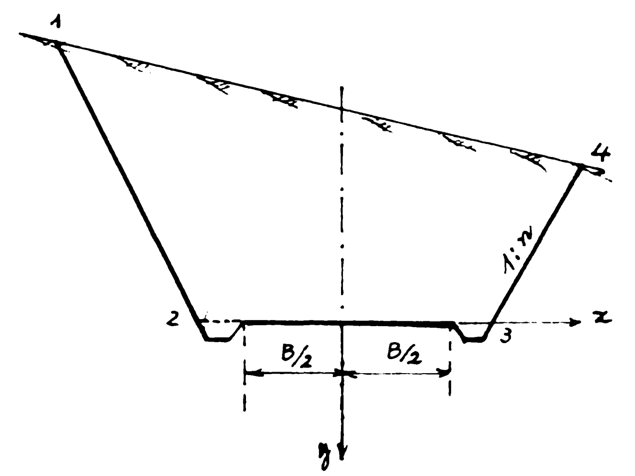


fig. 2-3-b

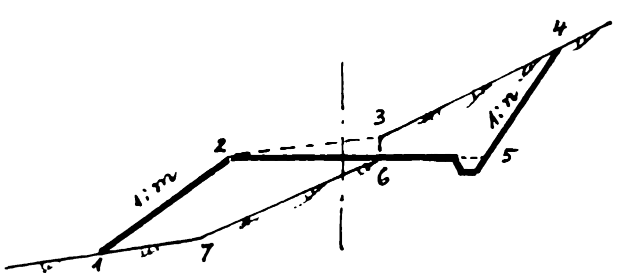


fig. 2-3-c

Pentru a calcula suprafața profilului transversal tip, în primul rînd, se stabilesc coordonatele punctelor 3 și 4 pentru umplutură (fig. 2-3-a) sau coordonatele punctelor 1, 4 pentru săpătură (fig. 2-3-b) ținîndu-se seama de supralărgimea a platformei căii în curbă. Relația dintre supralărgirea Δ a platformei căii și raza curbei R este construită cu ajutorul metodei celor mai mici pătrate și are forma următoare:

$$\Delta = 0{,}672 - 3{,}009 \cdot 10^{-4} R + 3{,}911 \cdot 10^{-8} R^2 \qquad (2\text{-}4)$$

în care Δ și R se calculează în m.

Coordonatele rămase se determină după formulele cunoscute din cursul de geometrie analitică. Aceste calcule depind de forma taluzului al profilului transversal fig. 2-3-a

Suprafaţa profilului transversal se calculează după formula următoare:

$$S = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_{i+1})(y_i + y_{i+1}) \qquad (2\text{-}5)$$

unde n este numărul vîrfurilor conturului.

Se aplică formula (2-5) numai în cazul în care conturul nu se întîlneşte. Dacă în profil transversal conturul se întîlneşte atunci să se facă o variaţie artificială în punctul de încrucişare punîndu-se o mică deplasare arbitrară ca şi cea prezentată în fig. 2-3-c, pentru punctul 3.

Pentru calculul volumului de terasament se foloseşte formula lui V. A. Skriabin [4],[19]

$$V = \frac{L}{3}\left[\left(1 + \frac{G_2}{2\,G_1}\right)S_1 + \left(1 + \frac{G_1}{2\,G_2}\right)S_2\right]$$

în care:

L - distanţa dintre 2 profile transversale alăturate, în m

G_1, G_2 - mărimea cuprinsei profilului transversal 1 şi respectiv 2

S_1, S_2 - suprafaţa profilului transversal 1 şi respectiv 2

Metoda stabilirii volumului de terasament prezentată în lucrare [10] este mai simplă şi nu cere mai mult timp la calculator, decît cea prezentată mai sus. In cele ce urmează se va trata această metodă în detaliu.

2-1-2 <u>Modul reprezentării liniare ale formei reliefului în profil transversal.</u>

In prezent pentru calculul suprafeţei profilelor transversale există 3 metode de reprezentare a liniei terenului:

- In metoda întîia se reprezintă configuraţia terenului ca şi în metoda clasică prin unele fragmente de dreapta. Această reprezentare a liniei terenului pentru determinarea suprafeţei la calculatorul electronic dă rezultate exacte, dar cere multe informaţii iniţiale şi deci se necesită un consum de timp mult mai ridicat.

- Metoda a doua se construieşte pe baza unei ipoteze fundamentale considerînd că este posibilă,a definire corectă a liniei terenului prin intermediul unor curbe geometrice cunoscînd poziţia în plan (adică în profil transversal) a unui număr suficient de puncte pentru ca în limitele unor aproximații acceptabile să se admită că terenul se confundă cu ansamblul liniilor definite de aceste puncte.

- In metoda a treia se consideră că linia terenului să fie înlocuită printr-o dreaptă. In lucrarea de față se folosește metoda reprezentării liniare ale formei reliefului în profil transversal, elaborată de S. Dorobanțiu [10]
Cu ajutorul acestei metode, stabilirea suprafeței profilelor transversale la calculator nu cere multe informații inițiale, dar rezultatele obținute sînt suficient de exacte.

Se definește linia înlocuitoare în cele următoare:

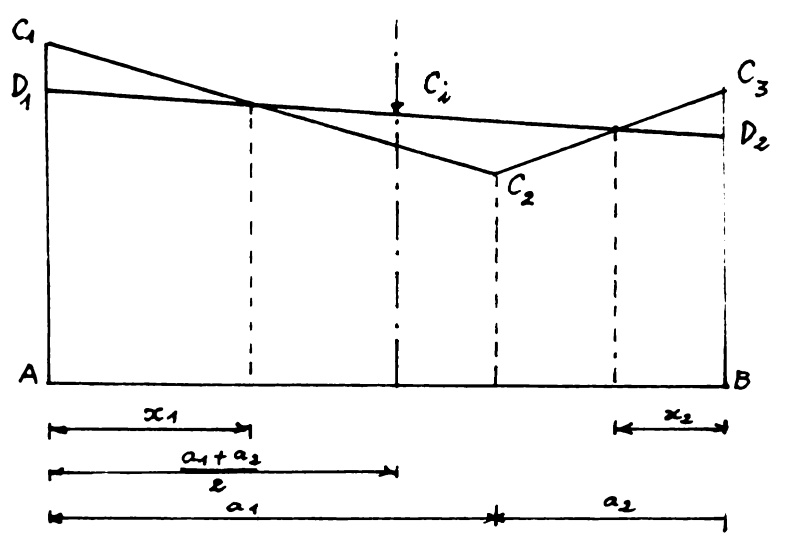


fig. 2-4

In profilul transversal fig. 2-4 linia $C_1\ C_2\ C_3$ prezintă linia terenului. Linia înlocuitoare este o dreaptă așezată pe profil astfel ca suprafața poligonului A $C_1\ C_2\ C_3$ B să fie egală cu suprafața poligonului A $D_1\ D_2$ B

$$S_{A\ C_1\ C_2\ C_3\ B} = \frac{C_1 + C_2}{2} a_1 + \frac{C_2 + C_3}{2} a_2$$

$$= C_1 \frac{a_1}{2} + C_2 \frac{a_1 + a_2}{2} + C_3 \frac{a_3}{2} \qquad (2\text{-}8\text{-}a)$$

$$S_{A\ D_1\ D_2\ B} = C_1(a_1 + a_2) \qquad (2\text{-}8\text{-}b)$$

Egalînd expresia 2-8-a cu 2-8-b se obține

$$C_1 = \frac{S_{A\ C_1\ C_2\ C_3\ B}}{a_1 + a_2} \qquad (2\text{-}9\text{-}a)$$

Sau pentru cazul general:

$$c_i = \frac{S_{bz}}{\Sigma a} \qquad (2\text{-}9\text{-}b)$$

adică cota înlocuitoare se determină din raportul dintre suprafaţa poligonului real A C_1 C_2 C_3 ... B şi lăţimea profilului.

Condiţia care se determină din raportul dintre suma algebrică a diferenţelor de cote ale terenului real şi lăţimea profilului exprimă panta medie. Dacă se atribuie convenţional semnul minus diferenţelor de cote, aceasta exprimă o descreştere a cotelor şi semnul plus diferenţelor de cote indică o creştere a cotelor, se obţine

$$p_i = \frac{-(C_1 - C_2) + (C_3 - C_2)}{a_1 + a_2} = \frac{C_3 - C_1}{a_1 + a_2} \qquad (2\text{-}1o\text{-}a)$$

sau pentru cazul general

$$p_i = \frac{C_n - C_1}{\Sigma a} \qquad (2\text{-}1o\text{-}b)$$

In calculul suprafeţei profilelor transversale cu ajutorul acestei metode se observă că există 2 surse de erori:

- Cînd diferenţa dintre amprisă reală a secţiunii căii şi lăţimea profilului sînt mai accentuate atunci eroarea de suprafaţă este cu atît mai mare. Pentru a micşora eroarea provenită din această sursă, este necesar ca lăţimea profilului transversal să fie analizată şi aleasă cu atenţie în funcţie de cotele posibile ale liniei roşii în fiecare pichet al căii.

- Cea de a doua sursă de erori este proprie a metodei. Oricît de mare ar fi precizia cu care se determină lăţimea secţiunii transversale de teren a cărui formă urmează a fi înlocuită cu dreapta, apar unele diferenţe de suprafaţă haşurate ca în fig. 2-5 cînd se aplică profilul tip al căii

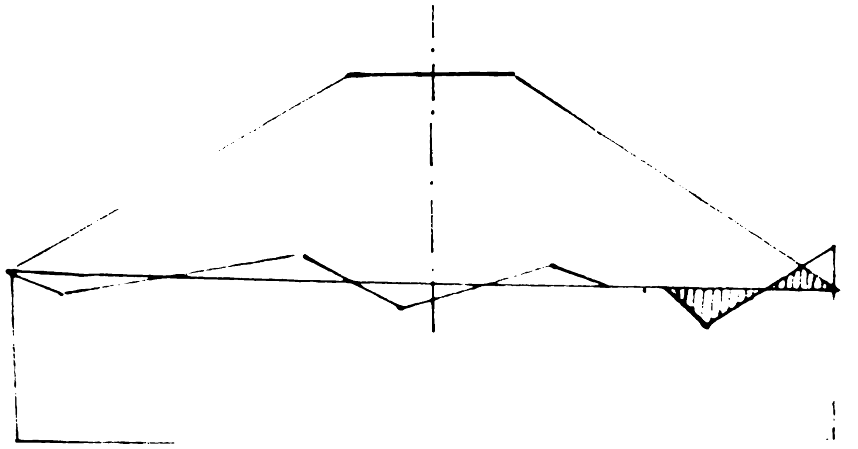


fig. 2-5

aceste diferențe sînt cu atît mai mari cu cît relieful este mai frămîntat iar profilul transversal tip este mixt și are taluzuri cu înclinare redusă. Față de această situație, autorul lucrării [1o] a făcut o analiză amănunțită a metodei propuse. Din cercetare a celor 15 proiecte de drum realizate în relief de ses, deal și munte, cu ajutorul teoriei probabilităților acest autor a demonstrat că metoda propusă furnizează rezultatele suficient de exacte.

Pentru stabilirea suprafeței profilelor transversale la calculator sînt necesare următoarele informații inițiale:

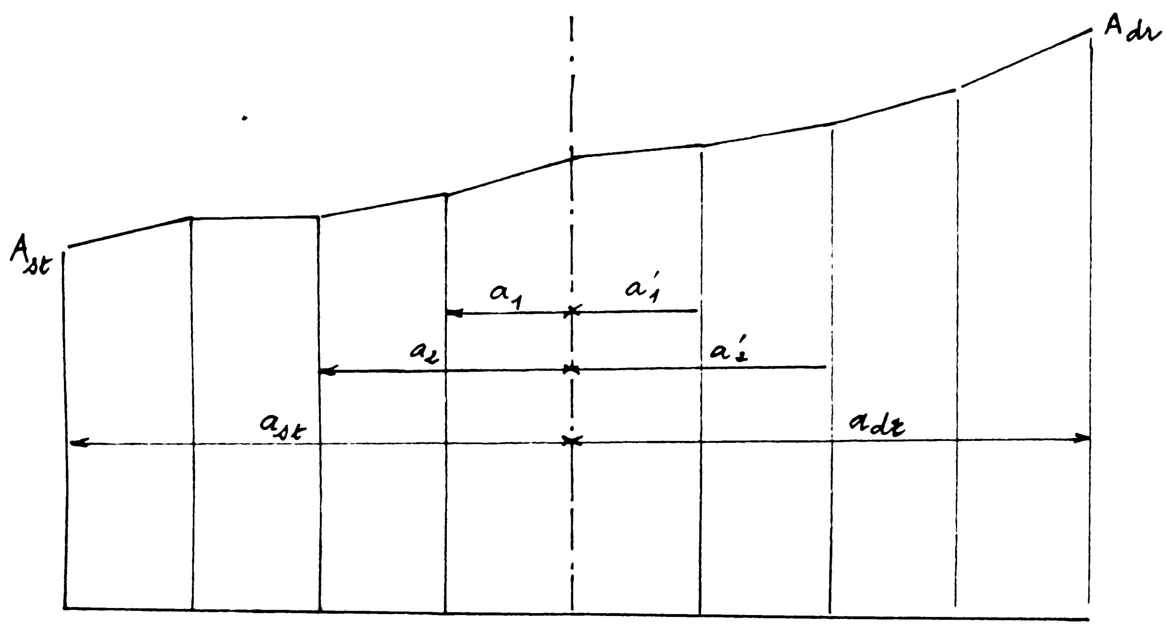


fig. 2-6

a_{st},(a_{dr}) corespunde unei jumătăți din ampriza maximă de săpătură sau umplutură posibilă în fiecare profil transversal pentru cale ferată obișnuită a_{st} sau a_{dr} poate lua valorile

de 7 ~ 1o m în zone de ses

de 1o ~ 2o m în zone de deal

de 15 ~ 3o m în zone de munte

Cu ajutorul acestor date se determină, pentru fiecare pichet de ordinul i al căii așa cum s-a arătat, valorile ale cotei înlocuitoare și ale pantei dreptei înlocuitoare.

$$C_i = \frac{\;_{dr}}{a_{st} + a_{dr}} \qquad (2\text{-}9\text{-}c)$$

$$p_i = \frac{\;_{dr} - \;_{st}}{a_{st} + a_{dr}} \qquad (2\text{-}1o\text{-}c)$$

Semnul pantei p_i este negativ cînd cota $\;_{dr}$ este mai mică decît cota

A_{st} şi este pozitiv cînd cota A_{dr} este mai mare decît cota A_{st}.

2-1-3 Stabilitatea taluzurilor

Inălţimea limită şi înclinarea taluzurilor terasamentelor de cale ferată sînt date în STAS 3197/2-71, [20] Aceste date depind de natura terenului din care se execută terasamentul. Cînd înălţimea umpluturii sau adîncimea săpăturii este mai mare decît cele prevăzute în STAS 3197/2-71 şi cînd linia ferată se află în condiţiile nefavorabile este necesar un studiu privind stabilitatea terasamentelor. In lucrarea de faţă, privind stabilitatea taluzurilor se ia propunerea autorului [10] care consideră că este necesar să execute ziduri de sprijin cînd

$$t_u - |p_1| < 0{,}30 \qquad\qquad 2\text{-}11$$
$$t_s - |p_1| < 0{,}45$$

în care t_u este valoarea taluzului de umplutură

t_s este valoarea taluzului de săpătură

p_1 este valoarea pantei terenului transversal

Pentru a introduce în program volumul zidurilor de sprijin cînd există relaţia (2-11) autorul lucrării [10] a folosit elementele scrise în caietul "Ziduri de sprijin tipizate" (Caiet de tip IPTANA- Bucureşti 1972) precum şi teoria analizei regresive pentru corelaţia volumelor de zidării cu zid h_{zid} - înălţime ce depinde de cota Z_1 în raport cu terenul natural şi diferenţa de pante din relaţia (2-11)

Zidurile de sprijin tipizate au fost calculate pentru un unghi de frecare internă a masivelor sprijinite de 30°, presiuni de talpa de fundaţii de 2, 3, 4, 5 daN/cm^2 şi pentru fruct f_z= 3:1 şi 5:1 la ziduri de rambleu şi de debleu.

Relaţia dintre volumul pe metru liniar de lungime de drum este:

$$V_{zid} = -3{,}74 + 2{,}62\ H \qquad (2\text{-}12\text{-}a)\ ^{*}$$

în care $H = |Z_1 - C_{1s}| + h_f$ sau $H = |Z_1 - C_{1d}| + h_f$ Dacă se ia adîncimea de fundare h_f = 1,42 atunci şi termenul liber h_f dispare şi relaţia (2-12-a) devine

$$V_{zid} = 2{,}62\ |Z_1 - C_{1s}| \quad \text{sau} \quad V_{zid} = 2{,}62\ |Z_1 - C_{1d}| \qquad (2\text{-}12\text{-}b)$$

---

* In lucrarea de faţă relaţia (2-12-a) a fost folosit fără a fi verificată pentru cale ferată.-

2-1-4 Stabilirea suprafeţei profilului transversal

a.- Pentru profilul în săpătură fără zid de sprijin:

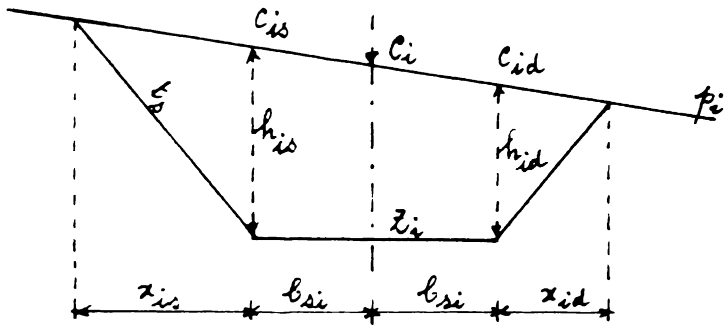


fig. 2-7-a

$$C_{is} = C_i + p_i b_{si}$$

$$C_{id} = C_i - p_i b_{si}$$

$$x_{is} = \frac{C_{is} - Z_i}{t_s + p_i}$$

$$x_{id} = \frac{C_{id} - Z_i}{t_s - p_i}$$

Suprafaţa profilului transversal este:

$$S_{si} = \left[(C_{is} - Z_i) + (C_{id} - Z_i)\right]\frac{b_{si} + b_{si}}{2} + (C_{is} - Z_i)\frac{x_{is}}{2} + (C_{id} - Z_i)\frac{x_{id}}{2} \qquad (2\text{-}13\text{-}a)$$

Dacă se notează cu $h_{is} = C_{is} - Z_i$

şi cu $h_{id} = C_{id} - Z_i$

atunci (2-13-a) devine:

$$S_{si} = (h_{is} + h_{id})\frac{b_{si} + b_{si}}{2} + \frac{h_{is}^2}{2(t_s + p_i)} + \frac{h_{id}^2}{2(t_s - p_i)} \qquad (2\text{-}13\text{-}b)$$

Relaţiile de calcul (2-13-a), (2-13-b) rămîn aceleaşi şi în cazul în care linia terenului are înclinare inversă celei din fig. 2-7-a precum şi în cazul în care $C_i = Z_i$ sau $p_i = 0$

b.- Pentru profilul în săpătură cu zid de sprijin:

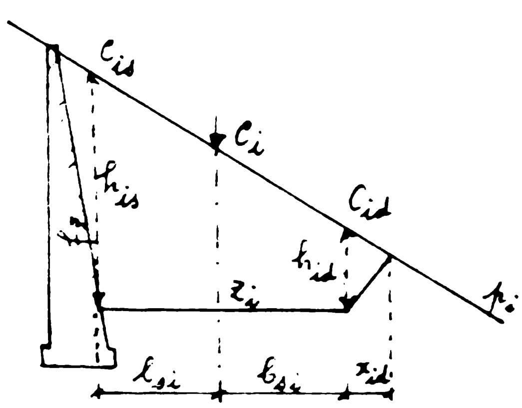


fig. 2-7-b

$$x_{is} = \frac{C_{is} - Z_i}{t_s + p_i}$$

Volumul zidului pe metru de lungime de cale este

$$V_{zid} = 2{,}62\,(C_{is} - Z_i)$$

Suprafaţa profilului transversal în săpătură cu zidul de sprijin este:

$$S_{si} = \left[(C_{is} - Z_i) + (C_{id} - Z_i)\right]\frac{b_{si} + b_{si}}{2} + (C_{is} - Z_i)\frac{x_{is}}{2} + 2{,}62\,(C_{is} - Z_i) + (C_{id} - Z_i)\frac{x_{id}}{2}$$

(2-14-a)

sau:
$$S_{si}=(h_{is}+h_{id})\frac{b_{si}+b_{si}}{2}+\frac{h_{is}^2}{2(f_s+p_i)}+2{,}62\,h_{is}+\frac{h_{id}^2}{2(t_s-p_i)} \quad (2\text{-}14\text{-}b)$$

c.- Pentru profilul în umplutură fără zid de sprijin

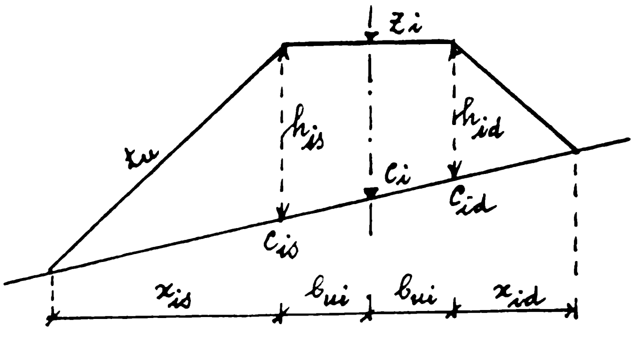


fig. 2-8-a

$$C_{is}=C_i-b_{ui}p_i$$
$$C_{id}=C_i+b_{ui}p_i$$
$$x_{is}=\frac{Z_i-C_{is}}{t_u-p_i}$$
$$x_{id}=\frac{Z_i-C_{id}}{t_u+p_i}$$

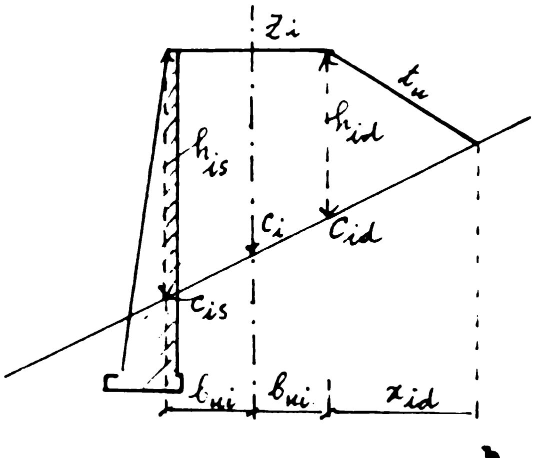
Suprafaţa profilului transversal este

$$S_{ui}=\left[(Z_i-C_{is})+(Z_i-C_{id})\right]\frac{b_{ui}+b_{ui}}{2}+(Z_i-C_{is})\frac{Z_{is}}{2}+(Z_i-C_{id})\frac{x_{id}}{2} \quad (2\text{-}15\text{-}a)$$

sau $$S_{ui}=(h_s+h_d)\frac{b_{ui}+b_{ui}}{2}+\frac{h_{is}^2}{2(t_u-p_i)}+\frac{h_{id}^2}{2(t_u+p_i)} \quad (2\text{-}15\text{-}b)$$

Relţiile de calcul (2-15-a), (2-15-b) rămîn aceleaşi şi în cazul în care linia terenului are înclinare inversă celei din fig. 2-8-a precum şi în cazul în care $C_i=Z_i$ sau $p_i=0$

d.- Pentru profilul în umplutură cu zid de sprijin



Volumul zidului pe un metru de lungime de căi este

$$V_{zid}=2{,}62(Z_i-C_{is})$$

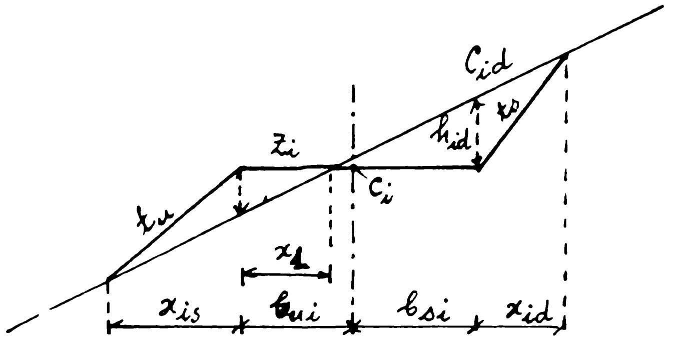
Suprafaţa profilului transversal în umplutură cu zidul de sprijin este

$$S_{ui}=\left[(Z_i-C_{is})+(Z_i-C_{id})\right]\frac{b_{ui}+b_{ui}}{2}+(Z_i-C_{id})\frac{x_{id}}{2}-0{,}3\times 2{,}62(Z_i-C_{is})$$

(2-16-a)

sau: $$S_{ui}=(h_{is}+h_{id})\frac{b_{ui}+b_{ui}}{2}+\frac{h_{id}^2}{2(t_u+p_i)}-0{,}3\times 2{,}62\,h_{is} \quad (2\text{-}16\text{-}b)$$

In ~~care~~ relaţiile (2-16-a), (2-16-b) se consideră că suprafaţa de umplutură cu zidul de sprijin se reduce cu 30 din secţiunea zidului e.- Pentru profilul transversal mixt fără zid de sprijin



$$x_1 = \frac{Z_i - C_{is}}{p_i}$$

$$x_2 = b_{ui} + b_{si} - x_1$$

$$h_{is} = Z_i - C_{is}$$

$$h_{id} = C_{id} - Z_i$$

fig. 2-9-e

Suprafaţa părţii de umplătură este

$$S_{ui} = (Z_i - C_{is})\frac{x_{is} + x_1}{2} \qquad (2\text{-}17\text{-}a)$$

sau

$$S_{ui} = h_{is}\frac{x_1}{2} + \frac{h_{is}^2}{2(t_u - p_i)} \qquad (2\text{-}17\text{-}b)$$

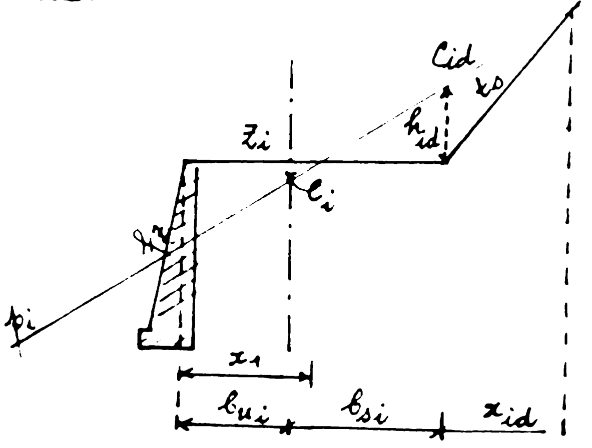
Suprafaţa părţii de săpătură este

$$S_{si} = (C_{id} - Z_i)\frac{x_2 + x_{id}}{2} \qquad (2\text{-}18\text{-}a)$$

sau

$$S_{si} = h_{id}\frac{x_2}{2} + \frac{h_{id}^2}{2(t_s - p_i)} \qquad (2\text{-}18\text{-}b)$$

f.- Pentru profilul transversal mixt cu zidul de sprijin aşezat pe o parte de umplutură



$$C_{is} = C_i - p_i b_{ui}$$

$$C_{id} = C_i + p_i b_{ui}$$

$$x_1 = \frac{Z_i - C_{is}}{p_i}$$

$$x_2 = b_{ui} + b_{si} - x_1$$

fig. 2-9-b

Suprafaţa părţii de ~~săpătură~~ umplutură cu zidul de sprijin este:

$$S_{ui} = (Z_i - C_{is})\frac{x_1}{2} - 0{,}3 \times 2{,}62\,(Z_i - C_{is}) \qquad (2\text{-}19\text{-}a)$$

sau

$$S_{ui} = h_{is}\frac{x_1}{2} - 0{,}3 \times 2{,}62\,h_{is} \qquad (2\text{-}19\text{-}b)$$

Suprafaţa părţii de săpătură este:

$$S_{si} = (C_{id} - Z_i)\frac{x_2}{2} + (C_{id} - Z_i)\frac{x_{id}}{2} \qquad (2\text{-}20\text{-}a)$$

sau
$$S_{si}= h_{id}\frac{x_2}{2}+\frac{h_{id}^2}{2\, t_s - p_1} \qquad (2-20-b)$$

c.- Pentru profilul transversal cu zidurile de sprijin așezate pe ambele părți

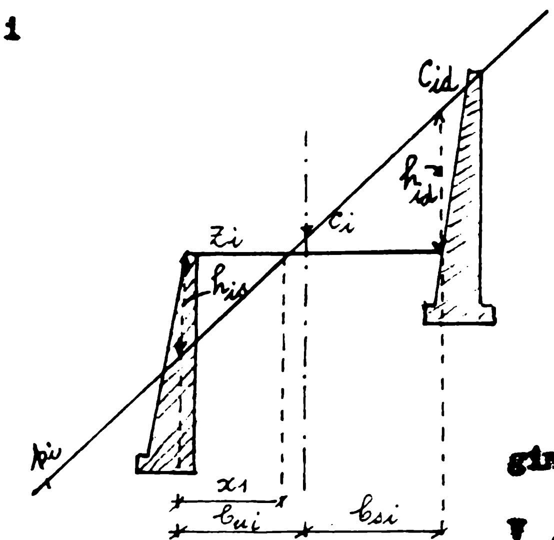


fig. 2-9-c

$$x_1 = \frac{Z_1 - C_{1s}}{p_1}$$

$$x_2 = b_{ui} + b_{si} - x_1$$

Volumul zidurilor pe un metru de lungimea căii este

$$V_{zid}= 2{,}62\left[(C_{1d} - Z_1) + (Z_1 - C_{1s})\right]$$

Suprafața părții de umplutură este:

$$S_{ui}= (Z_1 - C_{1s})\frac{x_1}{2} - 0{,}3.2{,}62(Z_1 - C_{1s}) \qquad (2-21-a)$$

sau
$$S_{ui}= h_{is}\frac{x_1}{2} - 0{,}786\, h_{is} \qquad (2-21-b)$$

Suprafața părții de săpătură este:

$$S_{si}=(C_{1d}- Z_1)\frac{x_2}{2} + (C_{1d}- Z_1)\frac{x_{1d}}{2} + 2{,}62(C_{1s}- Z_1) \qquad (2-22-a)$$

sau
$$S_{si}= h_{id}\frac{x_1}{2} + \frac{h_{1d}^2}{2(f_g - p_1)} + 2{,}62\, h_{1d} \qquad (2-22-b)$$

Intoate casurile de profil mixt și casurile b. d prezentate mai sus dacă dreapta ce reprezintă suprafața terenului are înclinare de sens invers celei din figurile 2-7-b, 2-8-b, 2-9-a, 2-9-b, 2-9-c, relațiile de calcul stabilite rămîn identice cu diferența schimbării termenilor ce definesc o astfel de situație.

2-2 <u>Costul lucrărilor de artă</u>

Costul lucrărilor de artă depinde de mai mulți factori și anume:

- dimensiunile lucrării
- materialul din care se construiește lucrarea
- metoda de executare a lucrării de artă
- condițiile naturale ale localității în care se află lucrarea
- etc.

Calculul costurilor lucrărilor de artă ţinînd seamă de aceşti factori este o problemă foarte complicată. Pentru alegerea liniei roşii optime la profilul longitudinal al căii ferate sau al drumului această cheltuială nu a fost luată în considerare în unele lucrări [10],[15] dar a fost prezentată în alte lucrări [4],[44]

Autorii lucrării [44] au stabilit relaţiile algebrice dintre costurile lucrărilor de artă şi înălţimea de rambleu. Pentru podeţe aceste relaţii sînt funcţii de gradul 2, în cazul simplu sînt funcţiile liniare. Relaţia dintre costul construcţiei podurilor şi înălţimea de rambleu aduce cu ea multe caracteristici complicate, pentru că posibilitatea de creştere a cheltuielilor podurilor este discontinuă. Această creştere este cauzată de prelungirea deschiderilor sau de mărimea numărului deschiderilor. Autorii lucrărilor amintite au considerat că aceste relaţii au formele funcţiilor de gradul 2.

In lucrarea [4] se calculează costul lucrărilor de artă cu ajutorul formulei următoare:

$$C_p = \sum_{i=1}^{n}(a_i + b_i h) \qquad (2\text{-}23)$$

în care

C_p - costul lucrărilor de artă

a_i - preţul detaliilor lucrării de ordinul „i", de exemplu, preţul grinzilor

b_i - preţul detaliilor care depind de înălţimea de rambleu , de exemplu preţul unei pile

h - înălţimea de umplutură

n - numărul lucrărilor de artă

Autorul lucrărilor de faţă consideră că trebuie să se calculeze costul lucrărilor de artă, şi se poate aplica formula (2-23)

CAPITOLUL 3

CALCULUL CHELTUIELILOR DE EXPLOATARE ALE UNEI CAI FERATE

La compararea variantelor în proiectarea unei căi ferate, în afara calculului cheltuielilor de construcţie este necesar şi stabilirea cheltuielilor de exploatare pentru a putea alege varianta optimă.

3-1 Generalităţi despre cheltuieli de exploatare

In compunerea cheltuielelor de exploatare intră toate cheltuielile curente, legate de exploatarea transporturilor, întreţinerea în stare de serviciu a mijloacelor tehnice de transport, a instalaţiilor fixe şi înlocuirea utilajului uzat + costurile de amortizare

Se împart cheltuielile de exploatare în două părţi, una se referă la mişcarea trenurilor şi alta se referă la întreţinerea în stare de serviciu a instalaţiilor fixe.

a.- Cheltuielile de exploatare care se referă la exploatarea trenurilor, cuprind:

- cheltuieli referitoare la întreţinerea şi repararea locomotivei
- cheltuieli referitoare la întreţinerea şi repararea vagoanelor
- cheltuieli de combustibil sau de energie electrică consumat
- cheltuieli referitoare la întreţinerea, repararea şi amortizarea suprastructurii căii
- cheltuieli cu salariul echipei locomotivei şi ale trenului

b.- Cheltuielile de exploatare care se referă la întreţinerea în stare de serviciu a instalaţiilor fixe cuprind:

- cheltuieli de întreţinere a terasamentului
- cheltuieli de amortizare a terasamentului, a podurilor, a tunelelor, a altor lucrări de artă şi cheltuieli de înlocuirea traverselor
- cheltuieli de întreţinere şi amortizare ale instalaţiilor de semnalizare şi ale instalaţiilor de comunicaţii
- cheltuieli de întreţinere a liniilor de contact şi a substaţiilor de tracţiune

- cheltuieli privind salariul feroviarilor care lucrează în stații și în unități de întreținere a instalațiilor de semnalizare și a instalațiilor de comunicații
- etc.

Partea a doua din aceste două cheltuieli depinde numai de lungimea căii, de aceea în comparația variantelor de proiectare a profilului longitudinal nu trebuie să o luăm în considerare.

3-2 Procesul și metoda de calcul al cheltuielilor de exploatare

a.- Procesul de calcul

In general, calculul cheltuielilor de exploatare se efectuiază după următoarea ordine:

- Stabilirea capacității necesare a căii ferate care trebuie proiectată. Prin această capacitate se înțelege numărul de perechi de trenuri sau numărul de trenuri care trebuie să fie transitat pe o linie ferată într-o unitate de timp, pentru a asigura transportul mărfurilor și al călătorilor.

- Calculul de tracțiune prin care se stabilesc tonajul trenului, timpul de mers, consumul de combustibil sau de energie electrică, lucruri mecanice al forțelor care acționează asupra trenului.

- Determinarea cheltuielilor de exploatare anuale ale variantelor de proiectare.

b.- Metode de calcul pentru cheltuielile de exploatare.

In general se folosesc două metode de calcul pentru stabilirea cheltuielilor de exploatare și anume: metoda de calculul simplificării și metoda de calculul detaliat. Metoda întîia nu cere multe calcule dar dă rezultate cu eroare mare, Metoda a doua cere multe calcule dar dă rezultate cu eroare mică de la ± 5 pînă la ± 8 Aplicarea acestor metode se face în conformitate cu fazele de întocmire a proiectului. Se folosește metoda întîia pentru calculul cheltuielilor de exploatare în faza de studiul preliminar al traseului, iar metoda a doua se folosește la faza de studiu definitiv al traseului.

In vederea rezolvării problemei de studiat ne interesează metoda a doua, care va fi prezentată mai tîrziu.

3-3 Calculul cheltuielilor de exploatare

Construcţia unei căi ferate are scopul să asigure transportul mărfurilor şi călătorilor. In faza de proiectare a unei linii noi prin cercetări economice se calculează volumul transporturilor de mărfuri şi volumul transporturilor de călători. După ce s-a obţinut volumul de transport se stabilesc datele de trafic ale liniei. Unele din aceste date de trafic importante, necesare pentru calculul cheltuielilor de exploatare sînt:

- Volumul total al transporturilor de mărfuri în tone transportate, care reprezintă totalul transporturilor de mărfuri sosite, expediate, locale şi tranzite în timp de un an.

$$T_M = T_{M.sos} + T_{m.exp} + T_{M.loc} + T_{m.trz} \quad \text{tone} \qquad (3\text{-}1)$$

şi reprezintă suma volumelor totale ale transporturilor de mărfuri în sensul traficului dominant (T_M') şi în sensul traficului minim T_M''

$$T_M = T_M' + T_M'' \quad \text{tone} \qquad (3\text{-}2)$$

- Volumul total al transporturilor de mărfuri în timp de un an exprimat în tone-kilometri V_M', V_M''

$$V_M = T_{M.sos} l_{sos} + T_{M.exp} l_{exp} + T_{M.loc} l_{loc} + T_{M.trz} l_{trz} \quad \text{t km} \qquad (3\text{-}3)$$

l - distanţa de transport, în km.

- Densitatea transporturilor de mărfuri D_M', D_M''

$$D_M = \frac{V_M}{L} \quad \frac{\text{t.km}}{\text{km}} \qquad (3\text{-}4)$$

Cunoscînd datele de trafic se poate stabili numărul trenurilor necesare pentru a asigura transportul volumelor calculate de mărfuri şi călători.

3-3-1 Numărul trenurilor necesare

a.- Cînd traficul pe două sensuri de circulaţie este aproape acelaşi şi valoarea declivităţii caracteristice a liniei pe ambele sensuri este aceeaşi, se calculează numărul trenurilor necesare cu ajutorul formulelor următoare

$$N_M' = \frac{D_M'}{365 \cdot G'_{neto}} \quad \text{trenuri/zi}$$

$$N_M'' = \frac{D_M''}{365 \cdot G''_{neto}} \quad \text{trenuri/zi} \qquad (3\text{-}5)$$

în care G'_{neto}, G''_{neto} -greutatea netă a garniturii de vagoane pe sensul dus şi respectiv întors, în tf

Numărul trenurilor calculate nu trebuie să se converteas-că la întreg.

b.- Cînd traficuri pe două sensuri de circulaţie sînt diferite dar valoarea declivităţii caracteristice pe ambele sensuri este aceeaşi, numărul trenurilor necesare se stabileşte tot cu ajutorul formulelor (3-5)

Traficurile pe două sensuri de circulaţie sînt foarte diferite, deci în fiecare zi există trenuri goale pe sensul traficului minim.

$$N_g = \frac{(N'_M - N''_M)\, m_M}{m_{oM}} \qquad \text{trenuri/zi} \qquad (3\text{-}6)$$

în care:

N'_M, N''_M -numărul trenurilor necesare în sensul traficului dominant şi respectiv în sensul traficului minim

m_M -numărul vagoanelor cu mărfurile în trenul care circulă în sensul traficului dominant

m_{oM} -numărul vagoanelor goale în trenul care circulă pe sensul traficului minim. Acest număr de vagoane depinde de tonajul trenurilor circulînd pe sensul traficului minim şi de lungimea liniilor de primire şi expediere în staţii.

Pentrucă numărul trenurilor circulînd în sensul traficului minim este mai mic decît numărul trenurilor circulînd pe sensul traficului dominant, există surplusul de locomotive, care trebuie să circule fără a remorca vagoane.

$$n_{l.ov} = N'_M - (N''_M + N_g) \qquad (3\text{-}7)$$

c.- Cînd traficurile pe două sensuri de circulaţie sînt diferite şi se foloseşte declivitatea caracteristică de trafic, numărul trenurilor circulînd pe sensul traficului minim dat de relaţia

$$N_{M.m} = \frac{D''_{M.bruto}}{365 \cdot G''_{M.bruto}} \qquad \text{trenuri/zi} \qquad (3\text{-}8)$$

în care

- $D''_{M.bruto}$ -totalul densităţii transporturilor de mărfuri inclusiv greutăţile vagoanelor;

$$D''_{M.bruto} = D''_M + 365 \cdot N'(G'_{bruto} - G'_{neto}) \quad \text{tone km/km} \quad (3-9)$$

- $G''_{M.bruto}$ -greutatea brută a garniturii de vagoane circulînd pe sensul traficului minim, în tf
- G'_{bruto}, G'_{neto} -greutatea brută şi respectiv greutatea netă a garniturii de vagoane circulînd pe sensul traficului dominant

.- Inlocuirea numărului trenurilor de călători în numărul trenurilor de mărfuri.

Cînd numărul trenurilor de călători nu depăşeşte 5o din numărul trenurilor de mărfuri şi variantele de proiectare au aceeaşi declivitate caracteristică se poate face înlocuirea numărului trenurilor de călători în numărul trenurilor de mărfuri în vederea simplificării calculului cheltuielilor de exploatare

$$N_{M.î} = \eta N_c \qquad \text{trenuri/zi} \qquad (3-1o)$$

în care $N_{M.î}$ -numărul de înlocuire al trenurilor de mărfuri

η -coeficientul de înlocuire

N_c -numărul trenurilor de călători într-o zi

Se poate lua valoarea coeficientului de înlocuire din tabelul nr. 3-1

Tabelul nr. 3-1

$\frac{G_L + G_{V\,c}}{G_L + G_{V\,M}}$	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
η	0,40	0,48	0,50	0,64	0,72	0,80	0,38

$G_L + G_{V\,c}$ -greutatea brută a trenurilor de călători, în tf

$G_L + G_{V\,M}$ -greutatea brută a trenurilor de marfă în tf

3-3-? <u>Tonajul, viteza, timpul de mers, lucrul mecanic ale forţelor care acţionează asupra trenului.</u>

Calculul de tracţiune permite să se stabilească următoarele elemente:

- tonajul trenului
- viteza de circulaţie
- timpul de mers
- lucrul mecanic al forţei de tracţiune şi al forţelor de rezistenţă
- consumul de combustibil sau de energie electrică

Aceste elemente sînt indicatori de bază în exploatarea căilor ferate. Ele influenţează capacitatea de transport a liniilor de cale ferate şi se reflectă în mod direct în preţul de cost al transporturilor.

A.- Tonajul trenului.

Stabilirea tonajului trenului se face în urma analizei indicatorilor tehnico-economici şi de exploatare în funcţie de condiţiile concrete.

În faza de proiectare, pentru stabilirea tonajului trenului de marfă se are în vedere următoarele:

- îndeplinirea sarcinilor de transport
- folosirea raţională a locomotivelor şi a vagoanelor
- unificarea tonajelor şi evitarea prelucrărilor repetate

La stabilirea tonajului trenurilor de călători trebuie avut în vedere folosirea completă a puterii locomotivelor, stabilind în prealabil viteza de circulaţie a trenului pe declivitatea caracteristică, în funcţie de rangul acestuia.

Calculul tonajului trenului la circulaţia cu viteza constantă pe declivitatea caracteristică se face din ecuaţia de echilibru a forţelor care acţionează asupra trenului:

$$F_{oc} - (r_L + i_c)G_L - (r_V + i_c)G_V = 0$$

Rezultă tonajul trenului

$$G_V = \frac{F_{oc} - (r_L + i_c)G_L}{r_V + i_c} \qquad (3\text{-}11)$$

în care

F_{oc} este forţa de tracţiune de calcul, în tf

G_L este greutatea în serviciu a locomotivei, în tf

r_L şi r_V sînt rezistenţele specifice principale a locomotivei respectiv a vagoanelor, în kgf/tf

i_c este valoarea declivităţii caracteristice, în ‰

B.- Metoda propusă pentru a stabili viteza de circulaţie, timpul de mers, lucrul mecanic al forţei de tracţiune şi al forţelor de rezistenţă.

Pentru calculul vitezei de circulaţie, al timpului de mers, al lucrului mecanic trebuie să se rezolve ecuaţia de mişcarea trenului. După modul de rezolvare a acestei ecuaţii se disting:

- metode care se bazează pe integrarea analitică

- metode care se bazează pe integrarea analitică aproximativă
- şi metodele integrării grafice.

Metoda analitică de integrare a ecuaţiei de mişcare a trenului prezintă dificultăţi în rezolvare, deoarece necesită stabilirea, în prealabil a expresiei matematice a funcţiei forţelor specifice de accelerație care intervin în ecuaţii, obţinerea acestor expresii este foarte greoaie datorită procesului complicat de producere a forţei de tracţiune precum şi datorită modificării continue a valorii forţelor specifice în deplasarea trenului. Drept urmare integrarea analitică a acestor funcţii care conduc la calcule complicate nu se foloseşte pentru stabilirea vitezelor de circulaţie, a timpilor de mers şi a lucrurilor mecanice.

Metodele integrării grafice au o largă răspîndire deoarece sînt simple sugestive şi dau rezultate suficient de exacte la stabilirea vitezelor de circulaţie, a timpilor de mers şi a lucrurilor mecanice, dar aceste metode nu se pot programa pentru a rezolva la calculatoare electronice.

Metodele integrării aproximative constă în înlocuirea creşterilor infinit-mici prin creşteri finite (ΔV -intervalul de viteză, ΔT -intervalul de timp, ΔS -intervalul de spaţiu). Pentru fiecare interval de viteză ΔV, valoarea forţei specifice de accelerație se consideră constantă şi egală cu valoarea medie. Folosindu-se această metodă în lucrarea [34] se prezintă algoritmii şi schemele logice de calcul ~~a programului~~ elaborate de Institutul de cercetări feroviare din Moscova şi de autorul în vederea calculelor de tracţiune.

Autorul lucrării [17] a observat că pentru calculul de tracţiune programul elaborat de Institutul de cercetări feroviar din Moscova care se bazează pe metoda integrării aproximative trebuie un timp prea lung la pregătirea informaţiilor iniţiale şi la calculatoare şi deaceea în proiectare acest program nu se foloseşte.

În această lucrare [17] se consideră că pentru fiecare interval de viteză ΔV, valoarea forţei specifice de accelerație este constantă şi egală cu cea de la începutul intervalului de viteză. Pe baza metodei integrării aproximative se prezintă un alt algoritm de calcul al vitezei de circulaţie, al timpilor de mers, al lucrului mecanic. Cu ajutorul calculatorului electronic autorul lucrării [17] a obţinut material necesar în vederea construirii curbelor de viteză $V = f_1(S)$ şi a curbelor cheltuielilor de exploatare ale unui tren $E_{tr} = f_2(S)$ pentru unele declivităţi şi pentru unele tipuri de locomotive utilizîndu-se mai des în proiectare. In cazul în care numărul variantelor de proiectare ducînd la comparaţie este mic, folosirea acestor curbe $V = f_1(S)$, $E_{tr} = f_2(S)$ este foarte practică. Alegerea liniei roşii optime a profilului longitudinal al unei căi ferate se face pe baza comparaţiei unui număr mare de variante, nu se poate aplica această metodă.

Propunem metoda următoare:

Se calculează curbele de viteză $V = f_1(S)$ în mod gata de folosire după una din metodele deja cunoscute [2],[14],[30],[35] apoi se înlocuieşte aproximativ fiecare curbă $V = f_1(S)$ prin segmente de curbă $\bar{V} = \varphi(S)$ avînd forma funcţiilor matematice simple şi care se numesc curbele de înlocuire. Pe baza acestor curbe se calculează timpul de mers şi lucrul mecanic al forţelor care acţionează asupra trenului cu relaţiile dintre ei şi viteza de circulaţie. Pentru aceasta se procedează astfel.

B-1 <u>Calculul curbelor de înlocuire $\bar{V} = \varphi(S)$</u>

Pentru claritatea metodei propuse se dă exemplul următor:

a.- Se foloseşte locomotiva Diesel 060-DA avînd următoarele caracteristici:

- forţa de tracţiune de calcul $F_c = 22500$ Kgf
- greutatea în serviciu a locomotivei $G_L = 114$ tf
- rezistenţa specifică principală a locomotivei:

cînd trenul circulă în regim de tracţiune:

$$r_L = 3{,}5 + 0{,}0403\left(\frac{V+12}{10}\right)^2 \quad \text{Kgf/tf}$$

cînd trenul circulă în regim fără tracţiune

$$r_L' = 2{,}3 + 0{,}035V + 0{,}0002V^2 \quad \text{Kgf/tf}$$

- viteza de calcul $V_c = 18{,}7$ Km/h

b.- Se foloseşte trenul compus din vagoane cu 4 osii, avînd caracteristicele următoare:

- rezistenţa specifică principală a vagoanelor calculată cu formula:

$$r_V = 2 + \frac{V^2}{1600} \quad \text{Kgf/tf}$$

- forța de apăsare a saboților pe o roată: $F_{sv} = 2,7$ tf

c,- declivitatea caracteristică a liniei are valoarea i_c = 8‰

B-1-1 <u>Calculul de tracțiune:</u>

1.- <u>Calculul [illegible]</u>

Inlocuind valorile calculate r_L și r_V în (3-11) se obține

$$G_V = \frac{22500 - 114(3,88 + 8)}{2,22 + 8} \approx 2050 \text{ tf}$$

Presupunînd că se folosesc 11 vagoane cu greutatea de calcul 43 tf (capacitatea de încărcare: g_{vi} = 30 tf, greutatea vagonului gol g_0 = 16 tf coeficientul de încărcare α = 0,9) și 25 vagoane avînd greutatea de calcul 65 tf (g_{vi} = 45 tf, g_0 = 20 tf, α = 0,9)

2.- <u>Calculul și construcția curbelor forțelor specifice de accelerație</u>

a1- <u>Calculul forțelor specifice de accelerație</u>

Tabelul 3-2

V Km/h / Formula	0	10	18,7	30	40	50	60	70	80	90	100
F kgf	32000	32000	22500	15700	11000	8900	7400	6400	5600	4400	3600
$r_L = 3,5 + 0,0403 \left(\frac{V+12}{10}\right)^2$	3,56	3,70	3,88	4,21	4,58	5,05	5,58	6,20	6,91	7,68	8,55
$R_L = r_L \cdot G_L$	406	422	443	480	522	575	637	707	787	875	975
$r_V = 2 + \frac{V^2}{1600}$	2	2,06	2,22	2,56	3,00	3,56	4,25	5,06	6,00	7,07	8,25
$R_V = r_V \cdot G_V$	4100	4225	4550	5420	6150	7280	8710	10360	12300	14430	16860
$R_t = R_L + R_V$	4506	4647	4993	5720	6672	7855	9347	11067	13087	15305	17835
$F - R_t$	27494	27353	17507	9980	4328	1045	-1947	-4667	-7487	-10905	-14235
$f - r = \frac{F-R_t}{G_L+G_V}$	12,7	12,6	8,1	4,[illegible]	2,0	0,5	-0,9	-2,[illegible]	-3,5	-5,0	-6,6
$r'_L = 2,3 + 0,035V + 0,0007V^2$	2,3	2,67	3,0[illegible]	3,58	4,0[illegible]	4,55	5,1[illegible]	5,73	6,38	7,07	7,80
$R'_L = r'_L \cdot G_L$	262	304	344	402	458	518	583	653	728	805	890

Formula \ V Km/h	0	1o	18,7	3o	4o	5o	6o	7o	8o	9o	1oo
$R_t' = R_L' + R_V$	4362	4529	4894	5642	6608	7798	9293	11o13	13o28	15235	1775o
$r' = \frac{R_t'}{G_L + G_V}$	-2,o	-2,1	-2,3	-2,6	-3,o	-3,6	-4,3	-5,2	-6,o	-7,o	-8,o
$\mu = 0{,}27\frac{V+100}{5V+100}$	o,27o	o,198	o,166	o,14o	o,126	o,116	o,1o8	o,1o2	o,o98	o,o94	o,o89
$f_f = 1000\,\mu\,\theta$	1o2	74,7	62,7	52,8	47,5	43,8	41,4	38,8	37,o	35,o	32,8
$0{,}5 f_f$	56	37,3	31,3	26,4	23,8	21,9	20,7	19,4	18,5	17,5	16,4
$-(0{,}5 f_f + r')$	-58	-39,4	-33,6	-29,o	-26,8	-25,5	-25,o	-24,6	-24,5	-24,5	-24,5

θ - coeficientul de frînare al trenului $\theta = \frac{\Sigma K_{sv}}{G_v} = 0{,}377$

B-1-2 Căutarea ecuaţiilor matematice ale curbelor de înlocuire $\bar{V} = \varphi(S)$

După ce s-a obţinut graficul (3-2-a) comparînd prima parte a curbei $V = f_1(S)$ cu graficul funcţiei $y = ax^b$ s-a observat că ele au formă asemănătoare, de aceea se alege formula $\bar{V} = aS^{\beta}$ pentru a exprima prima parte a curbei $V = f_1(S)$ Se verifică posibilitatea de folosire a acestei formule după metoda de netezire [5]

Metoda de netezire are cuprinsul următor:

Presupunîndu-se că dintre y şi x există o relaţie de forma definitivă, trebuie să se caute oricare valori $X = \varphi(x,y)$ şi $Y = \psi(x,y)$ astfel încît, între ele să existe o relaţie liniară, de exemplu $y = \frac{x}{ax+b}$ se alege $X = x$ şi $Y = \frac{x}{y}$ sau $X = \frac{1}{x}$ şi $Y = \frac{1}{y}$ Calculîndu-se valorile lui X şi ale lui Y corespunzătoare cu valorile date ale lui x şi y, apoi exprimîndu-se grafic se observă că relaţia dintre X şi Y este aproximativ liniară adică punctele corespunzătoare se află aproape de dreaptă, de aceea formula aleasă este potrivită. In cazul contrar cînd punctele nu se află pe o dreaptă relaţia propusă nu este adecvată.

Pentru cazul amintit, în prealabil, se face netezirea dintre $s = \lg S$ şi $v = \lg V$, apoi se construieşte tabela (3-3-a) şi se exprimă pe graficul (3-3-a)

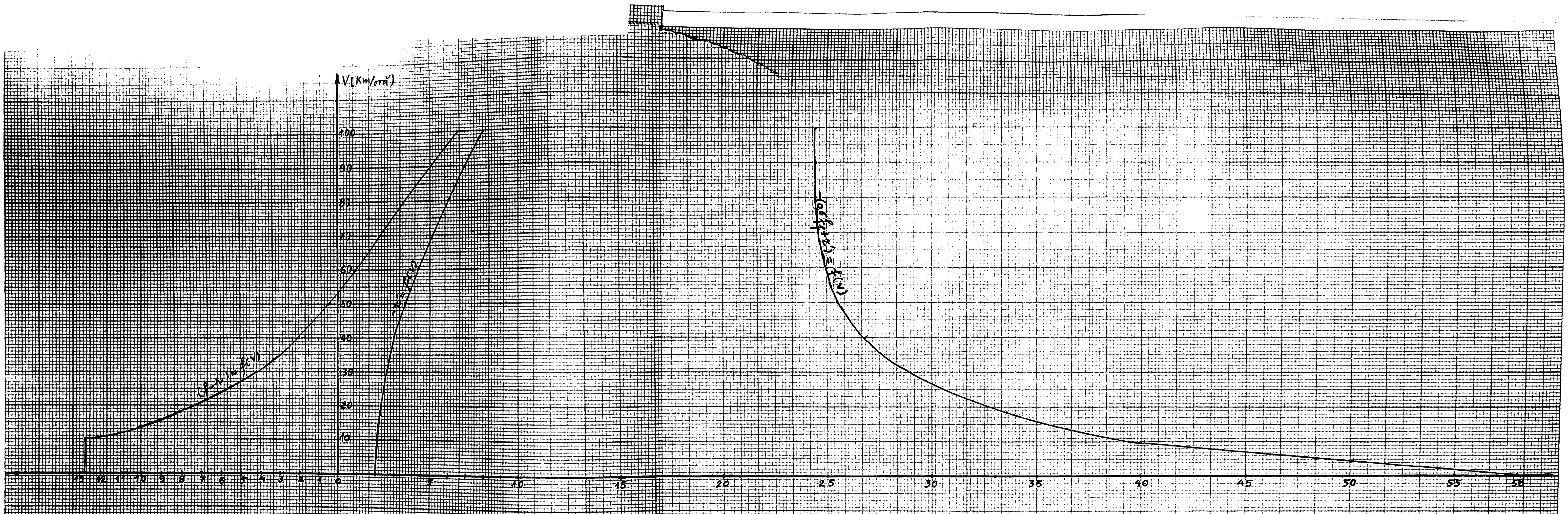


fig. 3.1 Curbele forțelor specifice de accelerație

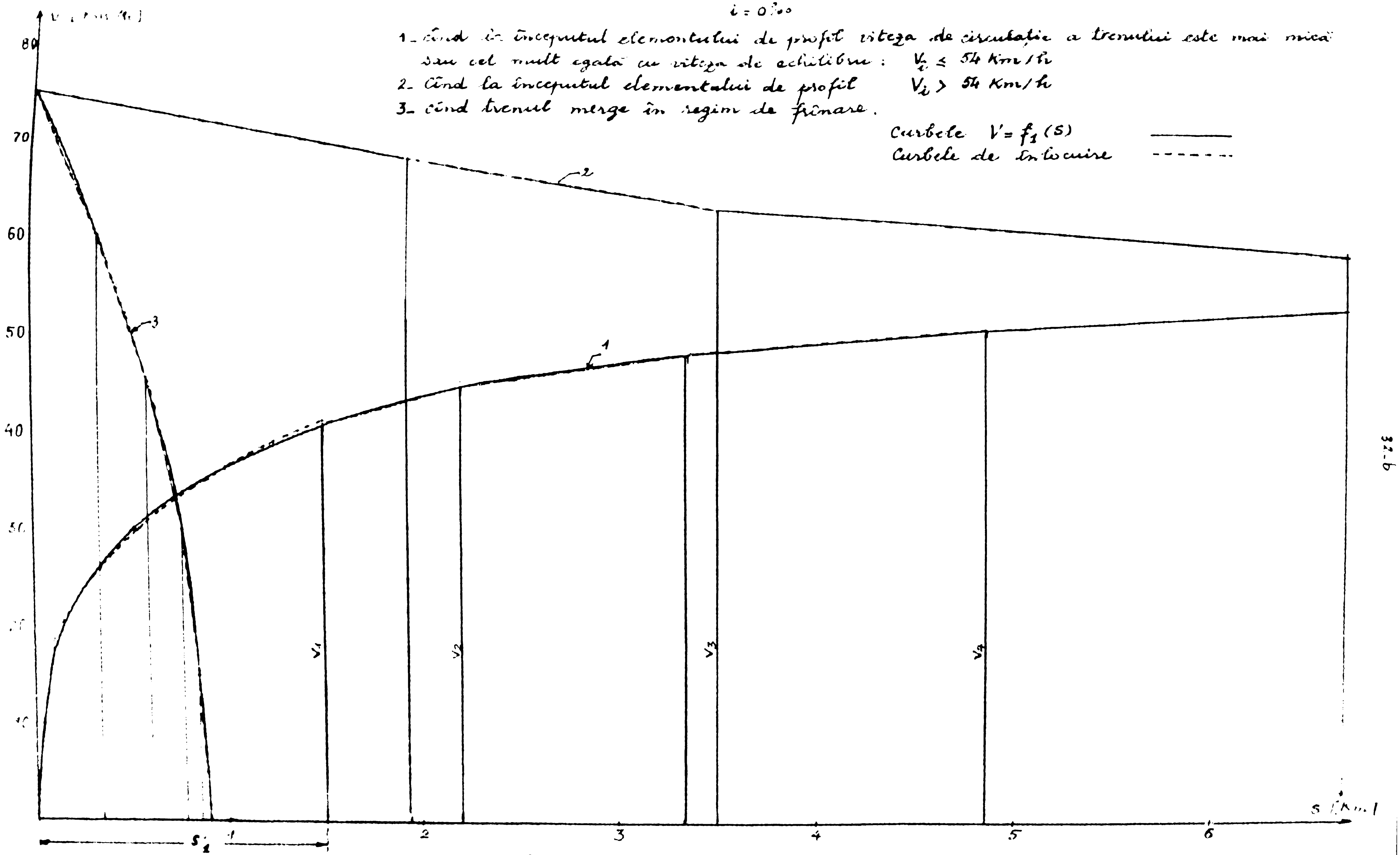


fig. 3.2-a Curbele de viteză a trenului

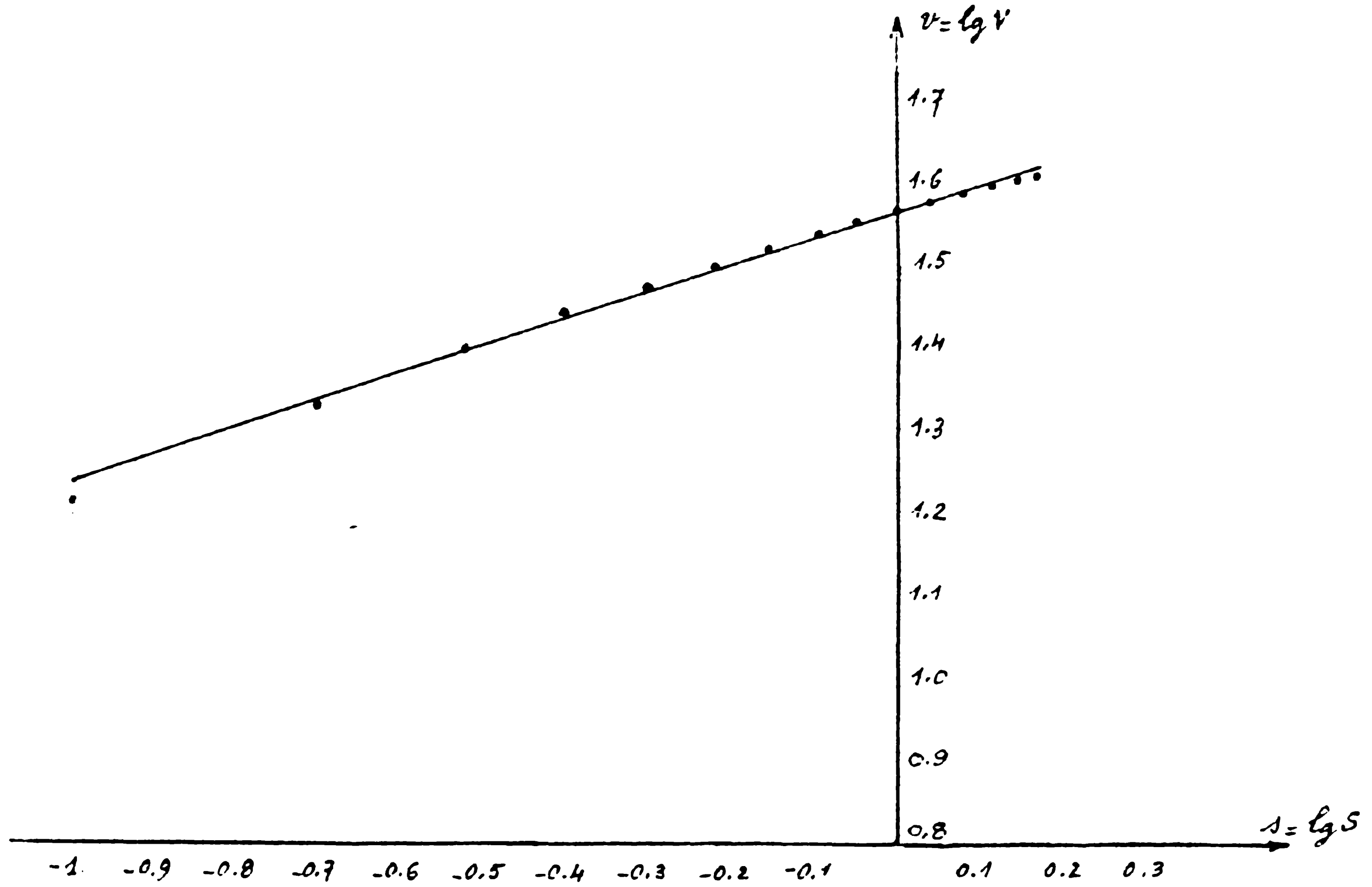


fig. 3-3-a Relația dintre v și s.

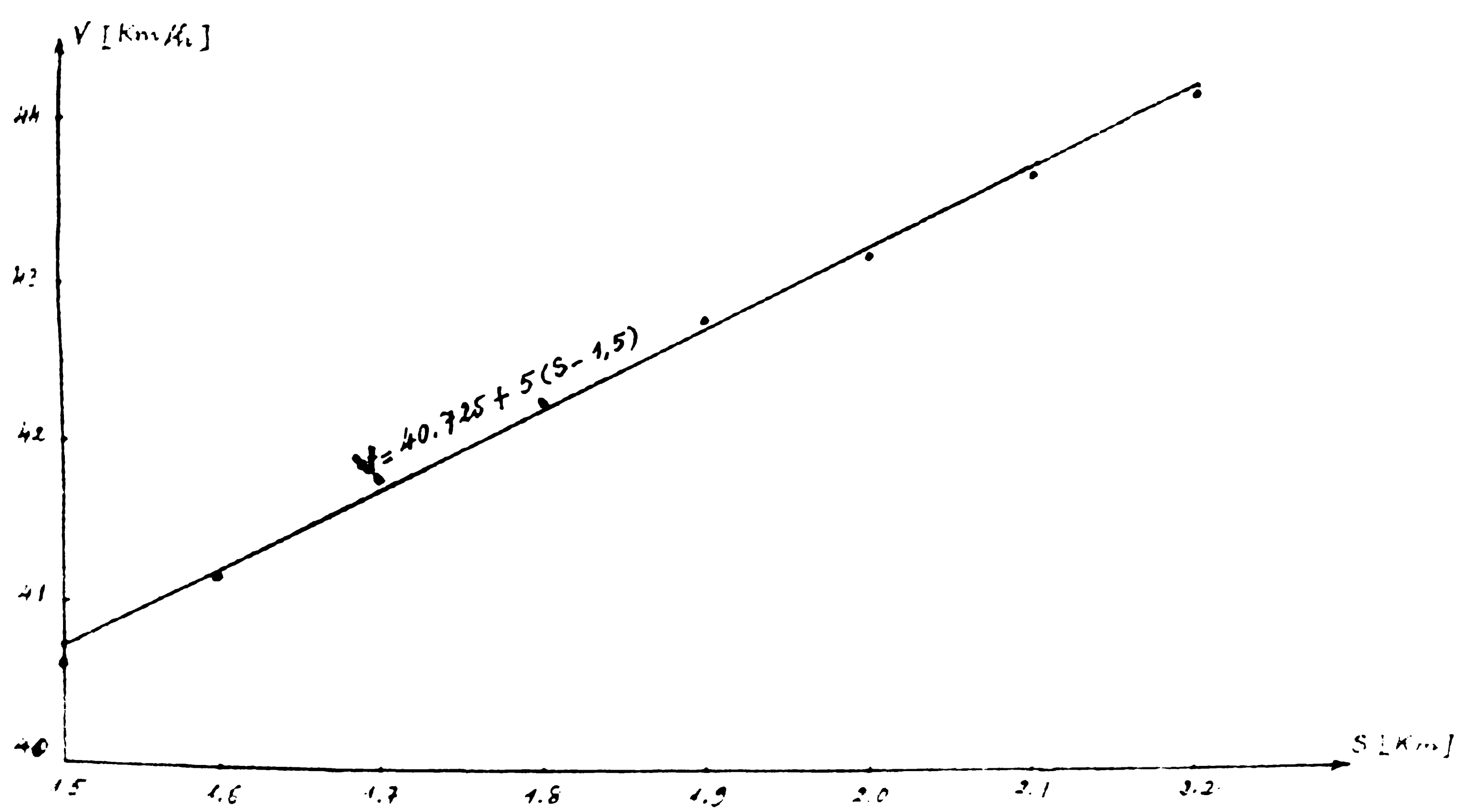


fig. 3-3-b relația dintre V și S

(3-3-a) relația dintre v și s. Prin graficul (3-3-a) s-a observat că formula aleasă $\overline{V} = a\, S^b$ este potrivită.

Acum se determină parametri a și b. Metoda cea mai exactă pentru a determina parametri este metoda celor mai mici pătrate, dar în multe cazuri se poate aplica cu succes metoda mai simplă, mai ales metoda de mediere, [41] După această metodă, mai întîi, trebuie să se determine relația liniară dintre variabile notezite s și v. Dacă se notează cu $b_1 = \lg a$, relația liniară dintre s și v este $v = b_1 + bs$.

Tabelul 3-3-a

S Km	V Km/h	s=lgS	v=lgV	$\overline{V}$ calcul
1	2	3	4	5
0,1	16,4	-1,000	1,215	17,5
0,2	21,4	-0,699	1,330	21,2
0,3	24,9	-0,523	1,396	24,7
0,4	27,5	-0,398	1,439	27,1
0,5	29,6	-0,301	1,471	29,0
0,6	31,3	-0,222	1,496	30,8
0,7	32,9	-0,155	1,517	32,4
0,8	34,3	-0,097	1,535	33,7
0,9	35,5	-0,046	1,550	35,0
1,0	36,5	0,000	1,562	36,2
1,1	37,5	0,041	1,574	37,3
1,2	38,4	0,079	1,5[illegible]	38,4
1,3	39,2	0,114	1,593	39,4
1,4	39,9	0,146	1,602	40,3
1,5	40,6	0,176	1,609	41,1

Atunci funcțiile condiționate $v_i = b_1 + bs_i$ pentru perechile de valori s_i și v_i sînt separate în 2 grupe avînd numărul de funcții aproape egal, după ordinul de creștere a variabililor s sau v în ordinea de față. În grupa întîia sînt 8 funcții și în grupa a doua sînt 7 funcții. Adunînd funcțiile din fiecare grupă se obține sistemul de ecuații următor:

$$-3,395b + 8b_1 = 11,399$$

$$+0,310b + 7b_1 = 11,073$$

Rezolvînd sistemul se obţine

$$b = 0,316$$

$$b_1 = 1,5588 \qquad a = 36,20$$

Curba de înlocuire a vitezei de circulaţie pentru partea iniţiala are forma:

$$\bar{V} = 36,20\ S^{0,316} \qquad S \in [0;\ 1,500]$$

Pentru partea a doua a curbei se construieşte tabelul 3-3-b

Tabelul 3-3-b

S Km	V Km/h	V_{cal}
1,5	40,6	40,7
1,6	41,2	41,2
1,7	41,8	41,7
1,8	42,3	42,9
1,9	42,8	42,7
2,0	43,2	43,2
2,1	43,7	43,7
2,2	44,2	44,2

Relaţia dintre V şi S se exprimă în fig. 3-3-b Această relaţie este aproximativ liniară şi are forma

$$V = c\ S + d$$

în care c şi d sînt coeficienţii

Pentru căutarea acestor coeficienţi se aplică metoda de medieri. Funcţiile condiţionate pentru perechi de valori V_i şi S_i sînt separate în 2 grupe, fiecare grupă are 4 funcţii. Sumînd funcţiile din fiecare grupă se obţine un sistem de 2 ecuaţii cu 2 necunoscute:

$$6,6c + 4d = 165,9$$

$$8,2c + 4d = 173,9$$

Rezolvînd acest sistem se obţine:

$$c = 5,000$$

$$d = 33,225$$

Partea a doua a curbei $V = f_1(S)$ este înlocuită prin dreapta

$$\bar{V} = 5\,S + 33{,}225$$

sau $$\bar{V} = 5(S-1{,}5) + 40{,}725 \qquad S \in [1{,}5\,;\,2{,}2]$$

Părţile următoare ale curbei $V = f_1(S)$ se determină analog cu cele calculate pentru partea a doua şi se obţin:

- pentru cazul în care trenul circulă în regim de tracţiune

$$\bar{V} = 44{,}225 + 2{,}911(S - 2{,}2) \qquad S \in [2{,}2\,;\,3{,}325]$$

$$\bar{V} = 47{,}500 + 1{,}545(S - 3{,}325) \qquad S \in [3{,}325\,;\,4{,}843]$$

$$\bar{V} = 50{,}000 + 0{,}866(S - 4{,}843) \qquad S \in [4{,}843\,;\,7{,}731]$$

$$\bar{V} = 52{,}500 + 0{,}456(S - 7{,}731) \qquad S \in [7{,}731\,;\,11{,}020]$$

$$\bar{V} = 54{,}000 \qquad S > 11{,}020$$

- pentru cazul cînd la începutul elementului de profil viteza trenului a fost egală sau mai mare decît viteza de echilibru ($V \geq 54$ km/h)

$$\bar{V} = -3{,}865\,S + 75 \qquad S \in [0\,;\,1{,}939]$$

$$\bar{V} = -2{,}793(S - 1{,}939) + 67{,}5 \qquad S \in [1{,}939\,;\,3{,}729]$$

$$\bar{V} = -1{,}692(S - 3{,}729) + 62{,}5 \qquad S \in [3{,}729\,;\,6{,}684]$$

$$\bar{V} = -0{,}807(S - 6{,}684) + 57{,}5 \qquad S \in [6{,}684\,;\,11{,}020]$$

- cînd trenul merge în regim de frînare:

$$\bar{V} = 75 - 43{,}860\,S_f \qquad S_f \in [0\,;\,0{,}342]$$

$$\bar{V} = 60 - 57{,}915(S_f - 0{,}342) \qquad S_f \in [0{,}342\,;\,0{,}601]$$

$$\bar{V} = 45 - 87{,}209(S_f - 0{,}601) \qquad S_f \in [0{,}601\,;\,0{,}773]$$

$$\bar{V} = 30 - 168{,}539(S_f - 0{,}773) \qquad S_f \in [0{,}773\,;\,0{,}862]$$

$$\bar{V} = 15 - 652{,}174(S_f - 0{,}862) \qquad S_f \in [0{,}862\,;\,0{,}885]$$

Repetîndu-se calculele ca şi cele făcute mai sus se obţin următoarele ecuaţii ale curbelor de înlocuire $\bar{V} = \varphi(S)$

- Pentru declivitatea 2‰

a.- Cînd trenul merge în regim de tracţiune:

$$\bar{V} = 31{,}72[illegible]\,S^{0{,}287} \qquad S \in [0\,;\,1{,}5]$$

$$\bar{V} = 3{,}634(S - 1{,}5) + 35 \qquad S \in [1{,}5\,;\,2{,}168]$$

$$\bar{V} = 1{,}608(S - 2{,}168) + 37{,}5 \qquad S \in [2{,}168\,;\,4{,}500]$$

$$\bar{V} = 41{,}250 \qquad S \geq 4{,}500$$

b.- Cînd la începutul elementului de profil viteza trenului este egală sau mai mare decît viteza de echilibru $(V \geq 41,25\ Km/h)$

$$\bar{V} = -6,933\ S + 75 \qquad S \in [0\ ,\ 1,803]$$

$$\bar{V} = -5,486(S - 1,803) + 62,500 \qquad S \in [1,803\ ,\ 3,170]$$

$$\bar{V} = -4,115(S - 3,170) + 55 \qquad S \in [3,170\ ;\ 4,385]$$

$$\bar{V} = -2,759(S - 4,385) + 50 \qquad S \in [4,385\ \ 6,197]$$

$$\bar{V} = -1,012(S - 6,197) + 45 \qquad S \in [6,197\ \ 9,900]$$

c.- Cînd trenul merge în regim de frînare

$$\bar{V} = -47,170\ S_f + 75 \qquad S_f \in [0\ ;\ 0,31[illegible]]$$

$$\bar{V} = -62,761(S_f - 0,318) + 60 \qquad S_f \in [0,318\ \ 0,557]$$

$$\bar{V} = -93,750(S_f - 0,557) + 45 \qquad S_f \in [0,557\ \ 0,717]$$

$$\bar{V} = -180,723(S_f - 0,717) + 30 \qquad S_f \in [0,717\ \ 0,800]$$

$$\bar{V} = -652,174(S_f - 0,800) + 15 \qquad S_f \in [0,800\ \ 0,[illegible]]$$

- Pentru declivitatea 4‰

a.- Cînd trenul merge în regim de tracțiune:

$$\bar{V} = 27,95\ S^{0,276} \qquad S \in [0\ ;\ 1,0\ ]$$

$$\bar{V} = 3,178(S - 1) + 27,750 \qquad S \in [1,000\ \ 1,708]$$

$$\bar{V} = 0,864(S - 1,708) + 30 \qquad S \in [1,708\ \ 4,314]$$

$$\bar{V} = 32,25 \qquad S \geq 4,314$$

b.- Cînd la începutul elementului de profil viteza trenului este egală sau mai mare decît viteza de echilibru $(V \geq 32,25\ Km/h)$

$$\bar{V} = -10,234\ S + 75 \qquad S \in [0\ ,\ 1,710]$$

$$\bar{V} = -8,446(S - 1,710) + 57,5 \qquad S \in [1,710\ ;\ 3,190]$$

$$\bar{V} = -6,165(S - 3,190) + 45 \qquad S \in [3,190\ ;\ 4,001]$$

$$\bar{V} = -3,676(S - 4,001) + 40 \qquad S \in [4,001\ ;\ 5,361]$$

$$\bar{V} = -1,[illegible]28(S - 5,361) + 35 \qquad S \in [5,361\ ,\ 7,600]$$

c.- Cînd trenul merge în regim de frînare:

$$\bar{V} = -51,020\ S_f + 75 \qquad S_f \in [0\ ,\ 0,294]$$

$$\bar{V} = -67,567(S_f - 0,294) + 60 \qquad S_f \in [0,294\ ,\ 0,516]$$

$$\bar{V} = -100(S_f - 0,516) + 45 \qquad S_f \in [0,516\ \ 0,[illegible]]$$

$$\bar{V} = -189,673(S_f - 0,616) + 30 \qquad S_f \in [0,616\ ;\ 0,745]$$

$$\bar{V} = -714,286(S_f - 0,745) + 15 \qquad S_f \in [0,745\ ,\ 0,766]$$

a.- Cînd trenul circulă în regim de tracţiune:

$\bar{V} = 23,550\ S^{0,247}$ $\quad S \in [0 \ ; \ 1 \ ]$

$\bar{V} = 1,310(S-1)+23$ $\quad S \in [1 \ ; \ 2,336]$

$\bar{V} = 24,75$ $\quad S \geq 2,336$

b.- Cînd la începutul elementului de profil viteza trenului este egală sau mai mare decît viteza de echilibru

$\bar{V} = -13,860\ S + 75$ $\quad S \in [0 \ ; \ 1,443]$

$\bar{V} = -12,647(S-1,443)+55$ $\quad S \in [1,443 ; 2,629]$

$\bar{V} = -9,481(S-2,629)+40$ $\quad S \in [2,629 ; 3,420]$

$\bar{V} = -5,650(S-3,420)+32,5$ $\quad S \in [3,420 ; 4,305]$

$\bar{V} = -1,903(S-4,305)+27,5$ $\quad S \in [4,305 ; 5,750]$

- Pentru declivitatea 8_{c}

a.- Cînd trenul circulă în regim de tracţiune:

$\bar{V} = 19,190\ S^{0,125}$ $\quad S \in [0 \ ; \ 1]$

$\bar{V} = 18,7$ $\quad S \geq 1$

b.- Cînd la începutul elementului de profil viteza trenului este egală sau mai mare decît viteza de echilibru ($V \geq 18,7$ Km/h)

$\bar{V} = -17,528\ S + 75$ $\quad S \in [0 \ ; \ 2,282]$

$\bar{V} = -13,315(S-2,282)+35$ $\quad S \in [2,282 ; 3,033]$

$\bar{V} = -4,972(S-3,033)+25$ $\quad S \in [3,033 ; 4,300]$

- Pentru declivitatea -2_{c}

a.- Cînd trenul circulă în regim de tracţiune:

$\bar{V} = 40,180\ S^{0,338}$ $\quad S \in [0 \ ; \ 1,500]$

$\bar{V} = 7,143(S-1,5)+45,5$ $\quad S \in [1,500 ; 2,200]$

$\bar{V} = 4,167(S-2,2)+50,5$ $\quad S \in [2,200 ; 4,000]$

$\bar{V} = 1,420(S-4)+58$ $\quad S \in [4,000 ; 8,400]$

$\bar{V} = 0,724(S-8,4)+64,250$ $\quad S \in [8,400 ; 14,960]$

$\bar{V} = 69,000$ $\quad S \geq 14,960$

b.- Cînd la începutul elementului de profil viteza trenului este egală sau mai mare decît viteza de echilibru ($V \geq 69$ Km/h)

$\bar{V} = -0,596\ S + 70$ $\quad S \in [0 \ , \ 1,675]$

c.- Cînd trenul circulă în regim de frînare:

$\bar{V} = -40,214\ S_f + 75 \qquad S_f \in [0 \ ; 0,373]$

$\bar{V} = -53,381(S_f - 0,373) + 60 \qquad S_f \in [0,373 \ ; 0,654]$

$\bar{V} = -80,645(S_f - 0,654) + 45 \qquad S_f \in [0,654 \ ; 0,840]$

$\bar{V} = -157,894(S_f - 0,840) + 30 \qquad S_f \in [0,840 \ ; 0,935]$

$\bar{V} = -625,000(S_f - 0,935) + 15 \qquad S_f \in [0,935 \ , 0,959]$

Pentru declivitatea -4 ‰

a.- Cînd trenul circulă în regim de tracţiune

$\bar{V} = 43,750\ S^{0,341} \qquad S \in [0 \ ; 2,300]$

$\bar{V} = 6,272(S - 2,3) + 57,6 \qquad S \in [2,300 \ ; 3,400]$

$\bar{V} = 3,590(S - 3,4) + 64,5 \qquad S \in [3,400 \ ; 4,932]$

$\bar{V} = 70 \qquad S \geq 4,932$

b.- Cînd trenul circulă în regim de frînare:

$\bar{V} = -36,674\ S_f + 75 \qquad S_f \in [0 \ ; 0,409]$

$\bar{V} = -48,860(S_f - 0,409) + 60 \qquad S_f \in [0,409 \ ; 0,716]$

$\bar{V} = -74,627(S_f - 0,716) + 45 \qquad S_f \in [0,716 \ ; 0,917]$

$\bar{V} = -148,515(S_f - 0,917) + 30 \qquad S_f \in [0,917 \ ; 1,018]$

$\bar{V} = -576,923(S_f - 1,018) + 15 \qquad S_f \in [1,018 \ ; 1,044]$

Pentru declivitatea -6‰

Cînd trenul circulă în regim de tracţiune

$\bar{V} = 47,710\ S^{0,355} \qquad S \in [0 \ ; 2,450]$

$\bar{V} = 65 \qquad S \geq 2,450$

Pentru declivitatea -8‰

Cînd trenul circulă în regim de tracţiune

$\bar{V} = 51,530\ S^{0,378} \qquad S \in [0 \ ; 1,880]$

$\bar{V} = 65 \qquad S \geq 1,880$

In studiul de proiectare trebuie să se construiască ecuaţiile de înlocuire ca şi cele făcute pentru unele declivităţi caracteristice locomotive, care se folosesc mai des în proiectare. Aceste ecuaţii au

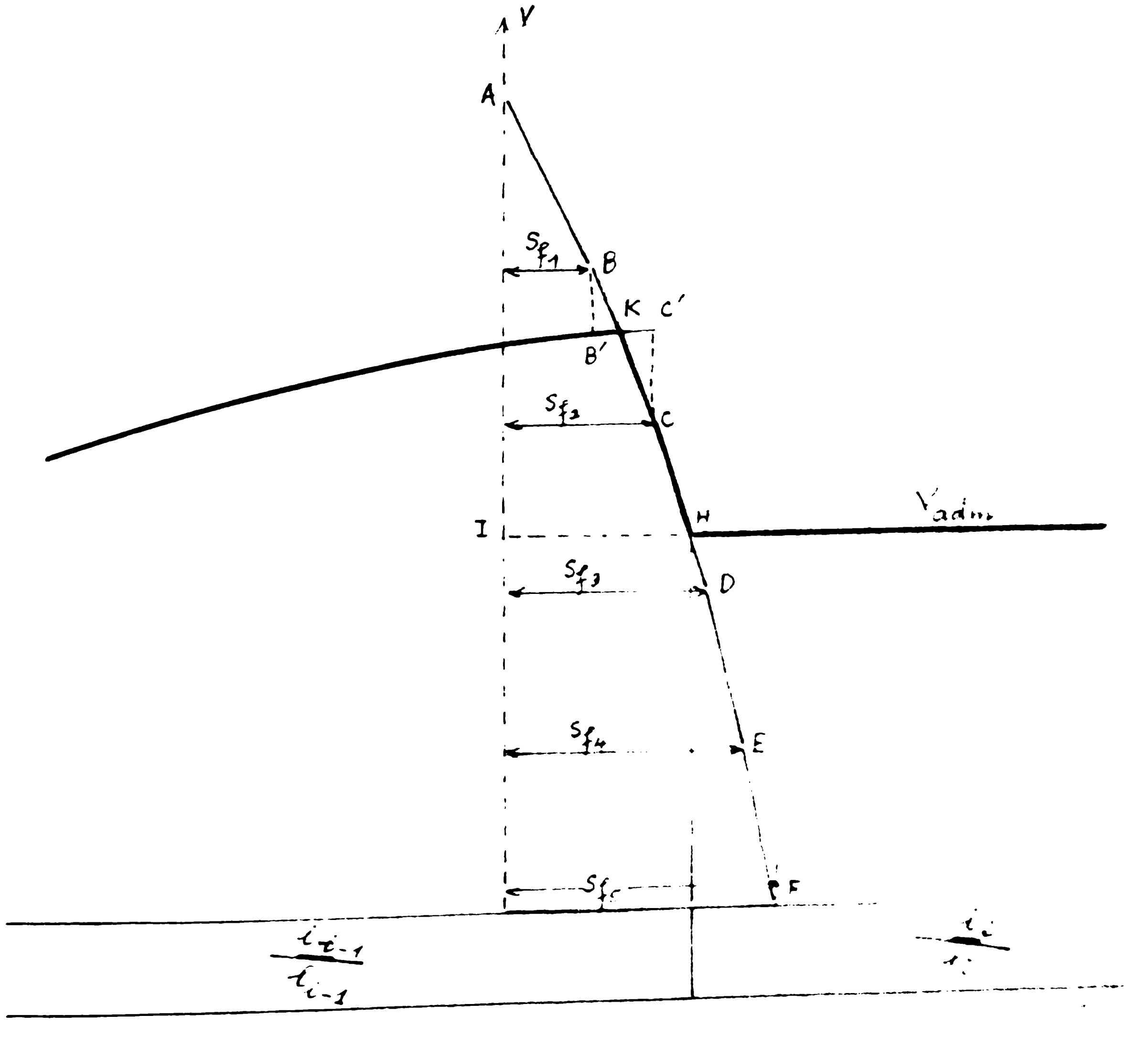
(3-12) $\bar{V} = a\ S^b$ pentru partea primă a curbei $V = f_1(\ )$

(3-13) $\bar{V} = c_i(S - e_i) + d_i$ pentru părţile următoare în care: $\bar{V}$ - viteza de circulaţie a trenului, în Km/h

S - spaţii de mers al trenului, în Km

a, b, c_i, d_i, e_i sînt coeficienţii.

Depinde de valoarea declivităţii caracteristicele date în temă de proiectare să se introducă ecuaţiile curbelor de înlocuire corespunzătoare în programul de calcul. In procesul de calcul pornind de la viteza dată a trenului la începutul primului element de profil, se calculează viteza trenului de circulaţie la sfîrşitul acestui,element cu ajutorul curbelor de înlocuire. Viteza calculată la sfîrşitul primului element de profil este şi cea iniţială pentru calculul vitezei trenului la sfîrşitul elementului al doilea. Se face continuă procedeul pînă la obţinerea vitezei de circulaţie a trenului pe toate elementele de profil. In cazul, în care valoarea declivităţii elementului de profil se află între 2 valori pentru care există curbe de înlocuire, calculul vitezei de circulaţie a trenului se face cu ajutorul metodei de interpolare. In cazul, în care trenul se frînează, calculul vitezei de circulaţie şi al parcursului de frînare se face cu schema următoare



Cunoscîndu-se viteza admisă de circulaţie a trenului pe declivitatea i_i, din ecuaţia curbei de înlocuire $\overline{V} = \varphi(S)$ pentru segmentul CD se calculează distanţa IH, care este parcursul de frînare de la viteza maximă la viteza admisă. Cunoscîndu-se curba de înlocuire $\overline{V} = \varphi(S)$ a vitezei trenului pe declivitatea i_{i-1} şi considerîndu-se că $B'C'$ este un segment de dreapta, se pot calcula coordonatele V_K şi S_K ale punctului K cu ajutorul relaţiei următoare:

$$\frac{V_B - V_B'}{V_C' - V_C} = \frac{V_B - V_K}{V_K - V_C} = \frac{S_K - S_{f1}}{S_{f2} - S_K} \qquad (3\text{-}14)$$

în care

B', C' sînt punctele de intersecţie dintre curba $\overline{V}=\varphi(S)$ pe declivitatea i_{i-1} şi verticale trasate din B şi C

V_B, V_B', V_C, V_C' - vitezele de circulaţie ale trenului în punctele B, B', C şi C'

S_K - abcisa punctului K

S_{f_1}, S_{f_2} - abcisele punctelor B şi C

B-2 <u>Calculul timpilor de mers ale trenului</u>

Avînd ecuaţiile curbelor de înlocuire ale vitezei trenului $\overline{V} = \varphi(S)$ se poate aplica relaţia $dt = \frac{dS}{V}$ (3-15) pentru calculul timpilor de mers ale trenului. Pentru aceasta se procedează în felul următor.

1.- <u>Pentru elemente de profil pe care trenul circulă după ecuaţia</u>

$\underline{V = a S^b}$ (3-12)

Inlocuind ecuaţia (3-12) în (3-15) şi integrînd această relaţie se obţine:

$$t = \int_{S_i}^{S_s} \frac{dS}{aS^b} = \frac{S^{1-b}}{a(1-b)} \Bigg|_{S_i}^{S_s} \qquad (3\text{-}16)$$

în care S_i, S_s - limitele de integrare

2.- <u>Pentru elemente de profil pe care trenul circulă după ecuaţia</u>

$\underline{V = c\,(S - e\,) + d}$ (3-13)

Inlocuind ecuaţia (3-13) în (3-15) şi integrînd această relaţie se obţine:

$$t = \int_{S_i}^{S_s} \frac{dS}{c(S-e)+d} = \frac{1}{c} \ln\left[d + c(S-e)\right]\Bigg|_{S_i}^{S_s} = \frac{1}{c} \ln V\Bigg|_{V_i}^{V_s} \qquad (3\text{-}17)$$

în care V_i - viteza la începutul intervalului

V_s - viteza la sfîrşitul intervalului

Relaţia (3-17) există cînd $V > 0$ de aceea pentru cazul special în care trenul circulă în regim de frînare de la orice viteză, la oprirea trenului se ia valoarea vitezei la sfîrşitul intervalului egală cu 1 Km. Aceasta conduce la o eroare foarte mică pentru calculul timpilor de mers al trenului.

3.- Pentru elemente de profil pe care trenul circulă cu o viteză constantă V = d, timpul de mers este:

$$t = \frac{S}{V} \quad (3\text{-}18)$$

B.3 Calculul lucrurilor mecanice ale forţelor care acţionează asupra trenului.

Se poate utiliza ecuaţiile curbelor de înlocuire ale vitezei de circulaţie $\bar{V} = \varphi(S)$ pentru calculul lucrului mecanic al forţei de tracţiune şi pentru calculul lucrului mecanic al forţelor de rezistenţă

B-3-1 Calculul lucrului mecanic al forţei de tracţiune

Lucrul mecanic al forţei de tracţiune este dat de formula:

$$L_f = \int_{S_i}^{S_s} F\, d\, S \qquad \text{Kgf Km} \quad (3\text{-}19)$$

în care:

F - forţa de tracţiune desvoltată de locomotiva, în Kgf

S_i, S_s - spaţiile de mers, pe care trenul circulă în regim de tracţiune în Km.

Ecuaţia care exprimă forţa de tracţiune a locomotivei, după Alexandru Popa [34] are forma:

$$F = A - BV + \frac{C}{V} \qquad \text{Kgf.} \quad (3\text{-}20)$$

în care A, B, C sînt coeficienţii şi care se pot stabili cu ajutorul curbelor experimentale F(V) Pentru aceasta se aleg trei puncte pe curba F(V) de coordonate (V_1, F_1), (V_2, F_2), (V_3, F_3) şi în baza lor se scrie un sistem din 3 ecuaţii cu trei necunoscute astfel:

$$A - BV_1 + \frac{C}{V_1} = F_1$$

$$A - BV_2 + \frac{C}{V_2} = F_2$$

$$A - BV_3 + \frac{C}{V_3} = F_3$$

Rezolvînd acest sistem pentru fiecare locomotivă se obţin valorile necunoscutelor A, B, C. Aceste valori sînt date în [30], [34] pentru locomotiva diesel 060 DA şi pentru locomotiva electrică 060 EA. Se transcrie aceste valori pentru locomotiva 060 DA

Tabelul 3-4

Tipul locomotivei	V Km/h	A	B	C
0 60 D A	10-40	21,5	0,35	140
	40-80	1,4	0,01	400

Pentru elemente de profil pe care trenul circulă după relaţia

$\overline{V} = a\,S^b$ (3-12)

Inlocuind (3-12) în (3-20) şi apoi (3-20) în (3-19) se obţine lucrul mecanic al forţei de tracţiune:

$$L_f = \int_{S_i}^{S_s} \left(A - BaS^b + \frac{c}{aS^b}\right) dS = \left(A.S - \frac{B.a}{b+1} S^{b+1} + \frac{c}{a(1-b)} S^{1-b}\right)\Bigg|_{S_i}^{S_s} \qquad (3\text{-}21)$$

Pentru elemente de profil pe care trenul circulă după ecuaţia

$\overline{V} = c\,(S - e) + d$ (3-13)

Inlocuind (3-13) în (3-20) şi apoi (3-20) în (3-19) se obţine lucrul mecanic al forţei de tracţiune

$$L_f = \int_{S_i}^{S_s} \left\{A - B\left[c\,(S - e) + d\right] + \frac{C}{c(S - e) + d}\right\} dS$$

$$L_f = \left\{(A + Bce - Bd)S - \frac{Bc}{2} S^2 + \frac{C}{c} \ln\left[c(S - e) + d\right]\right\}\Bigg|_{S_i}^{S_s} \qquad (3\text{-}22)$$

Pentru elemente de profil pe care trenul circulă cu o viteză constantă V = d

Pentru că în acest caz forţa de tracţiune este constant, se calculează lucrul mecanic al forţei de tracţiune din relaţia:

$$L_f = S\left(A - Bd + \frac{C}{d}\right) \qquad (3\text{-}23)$$

B-3-2 Calculul lucrului mecanic al forţelor de rezistenţă

Lucrul mecanic al forţelor de rezistenţă este dat de relaţia:

$$L_r = (G_L + G_V)\left[\frac{1}{\psi}\int_{S_i}^{S_s}\frac{dV}{dt}\,dS + \int_{S_i}^{S_s} r_t\,dS + \int_{S_i}^{S_s} r_i\,dS + \int_{S_i}^{S_s} r_c\,dS + \alpha\int_{S_i}^{S_s} f_f\,dS\right] \qquad (3\text{-}24)$$

în care:

- G_L -greutatea locomotivei în tf
- G_V -greutatea brută a vagoanelor compuse din tren, în tf
- ψ -reprezintă accelerația specifică imprimată a trenului de către o forță de către 1 Kgf/tf și se exprimă în Km/h^2 ea depinde de tipul vehiculului și are o valoare medie ψ = 12o Km/h^2
- r_t -forța specifică de rezistență a trenului, în Kgf/tf
- r_i -rezistența de mers în declivitate, în Kgf/tf
- r_c -rezistența de mers în curbă, în Kgf/tf
- f_f -forța specifică de frînare a trenului, în Kgf/tf
- α -coeficientul de utilizare a frînării

Integrînd se observă că primul termen reprezintă cantitatea de energie cinetică a trenului în cazul creșterii vitezei de la V_f la V_s:

$$L_1 = (G_L + G_V)\,\frac{V_s^2 - V_f^2}{2 \times 12o} \quad \text{Kgfkm.} \qquad (3\text{-}24\text{-}a)$$

Al doilea termen caracterizează lucrul mecanic al forței de rezistență la mers a trenului în aliniament și palier. Forța de rezistența la mers a trenului în aliniament și palier este dată de relația următoare:

$$r_t = \frac{G\,r_L + r_V G_V}{G_L + G_V}$$

Lucrul mecanic al forței de rezistență la mers a trenului în aliniament și palier este:

$$L_2 = G_L\int_{S_i}^{S_s} r_L\,d\,S + G_V\int_{S_i}^{S_s} r_V\,d\,S \qquad (3\text{-}24\text{-}b)$$

a r_L - forța specifică de rezistență pentru locomotivă, în Kgf/tf și dată de următoarea formulă:

$$r_L = A_1 + B_1V + C_1V^2 \quad \text{Kgf/tf} \qquad (3\text{-}25)$$

A_1, B_1, C_1 sînt coeficienții experimentali. Pentru locomotivele din parcul C.F.R. acești coeficienți sînt date în [30], [35]. Pentru locomotiva Diesel electrică 060 D din parcul C.F.R., cînd trenul circulă în regim de tracțiune, forța specifică de rezistență, este: $r_L = 1.5 + 0.0403\left(\frac{V+12}{10}\right)^2$ (3-25-a)

iar când trenul circulă în regim fără tracțiune, forța specifică de rezistență este

$$r_L' = 2{,}3 + 0{,}035\ V + 0{,}000\ 2\ V^2 \qquad Kgf/tf \qquad (3\text{-}25\text{-}b)$$

r_V -forţa specifică de rezistenţă pentru vagoane, în Kgf/tf şi dată de următoarea formulă:

$$r_V = A_2 + B_2 V^2 \qquad (3\text{-}26)$$

A_2, B_2 sînt coeficienţii experimentali. După I.C.P.T.T. Institutul de cercetări şi proiectări tehnologice în transporturi pentru vagoanele din parcul C.F.R.

$$r_V = 2 + \frac{V^2}{B_2} \qquad (3\text{-}26\text{-}a)$$

Valorile lui B_2 depind de tipul vagoanelor şi sînt date în [30], [34] [35]

Inlocuind relaţiile (3-25) şi (3-26) în formula (3-24-b) pentru elemente de profil pe care trenul circulă după ecuaţia

$$\overline{V} = a\ S^b$$

se obţine lucrul mecanic al forţei de rezistenţă la mers a trenului în aliniament şi palier:

$$L_2 = G_L \int_{S_i}^{S_s} (A_1 + B_1 a\ S^b + C_1 a^2 S^{2b})\ dS + G_V \int_{S_i}^{S_s} (A_2 + B_2 a^2 S^{2b})\ d\ S$$

$$L_2 = \left[G_L \left(A_1 S + B_1 a \frac{S^{b+1}}{b+1} + C_1 a^2 \frac{S^{2b+1}}{2b+1}\right) + G_V \left(A_2 S + B_2 a^2 \frac{S^{2b+1}}{2b+1}\right)\right]\Bigg|_{S_i}^{S_s} \qquad (3\text{-}24\text{-}b')$$

Pentru elemente de profil pe care trenul circulă după ecuaţia

$\overline{V} = c\ (S - e) + d$ se procedează astfel:

$$d\ S = \frac{1}{c}\ d\ \overline{V} \qquad (3\text{-}27)$$

Inlocuind relaţiile (3-25), (3 26), (3 27) în formula (3-24-b)

se obţine lucrul mecanic al forţei de rezistenţă la mers a trenului în aliniament şi palier:

$$L_2 = G_L \int_{\overline{V}_i}^{\overline{V}_s} (A_1 + B_1 \overline{V} + C_1 \overline{V}^2) \frac{1}{c}\ d\overline{V} + G_V \int_{\overline{V}_i}^{\overline{V}_s} (A_2 + B_2 \overline{V}^2)\ \frac{1}{c}\ d\overline{V}$$

$$L_2 = \frac{1}{c} \left[G_L \left(A_1 \overline{V} + B_1 \frac{\overline{V}^2}{2} + C_1 \frac{\overline{V}^3}{3}\right) + G_V \left(A_2 \overline{V} + B_2 \frac{\overline{V}^3}{3}\right)\right]\Bigg|_{\overline{V}_i}^{\overline{V}_s} \qquad (3\text{-}24\text{-}b'')$$

Pentru elemente de rpofil pe care circulă trenul cu viteza constantă $V = d$ se calculează lucrul mecanic al forţei de rezistenţă la mers din relaţia

$$L_2 = S\left[G_L (A_1 + B_1 d + C_1 d^2) + G_V (A_2 + B_2 d^2)\right] \qquad (3\text{-}24\text{-}b''')$$

Al treilea termen din formula (3-24) caracterizează lucrul mecanic dat pe declivitatea r_i Pentru un element de profil avînd valoarea declivității (i_i) și lungimea elementului l_i lucrul mecanic dat pe declivitate este

$$L_3 = (G_V + G_L) \int_{S_i}^{S_s} i_i \, dS$$

$$L_3 = (G_V + G_L)\, l_i\, i_i \qquad \text{Kgf Km} \qquad (3\text{-}24\text{-}c)$$

Al patrulea termen caracterizează lucrul mecanic consumat pentru învingerea rezistenței curbelor. Rezistența specifică datorită curbelor se calculează din relația lui Röckl [34], [49]

$$r_c = \frac{A_c}{\rho_c - B_c} \qquad \text{Kgf.Km}$$

A_c și B_c sînt coeficienți experimentali dați în [30], [34], [49]

ρ_c este raza de curbură a căii, în m.

In cadrul unei curbe această rezistență este o constantă

Deaceea pe o curbă lucrul mecanic este:

$$L_4 = (G_L + G_V) \int_{S_i}^{S_s} r_c \, dS$$

$$L_4 = (G_L + G_V)\, r_c\, l_c \qquad \text{Kgf.Km.} \qquad (3\text{-}24\text{-}d)$$

l_c este lungimea curbei, în Km.

In cazul, în care se face simplificarea profilului longitudinal al liniei, rezistența specifică datorită curbelor se adună cu rezistența dată de declivitatea și nu trebuie să se calculeze separat L_3 și L_4

Al cincelea termen caracterizează lucrul mecanic al forței de frînare. Forța specifică de frînare este dat de relația următoare:

$$f_r = 1000\, \mu_c\, \theta_c \qquad \text{Kgf/tf} \qquad (3\text{-}28)$$

în care

μ_c - coeficient de frecare de calcul dintre saboți și bandaje

Coeficientul de frecare μ_c depinde de viteza, de presiunea desvoltată de saboți, de materialul din care sînt confecționate saboții și bandajele, de forma sabotului, de capacitatea sabotului de a conduce căldura, ...

Pentru saboți făcute din fontă obișnuită și cu forța de apăsare de calcul a sabotului pe roată (K = 2,7 tf), coeficientul de frecare de calcul are valoarea

$$\mu_c = 0{,}27\ \frac{V + 100}{5V + 100} \qquad (3\text{-}29)$$

în care V este viteza de mers a trenului, în Km/oră

θ_c este coeficientul de frînare de calcul. Pentru trenul de marfă care circulă pe panta avînd valoarea mai mică sau egală cu 20‰ coeficientul

$$\theta_c = \frac{\Sigma K_{sv}}{G_V} \qquad (3-30)$$

în care K_{sv} forța de apăsare de fiecare sabot a vehiculelor remorcate, în tf

G_V greutatea vagoanelor remorcate, în tf

Fiindcă ecuațiile curbelor de înlocuire a vitezei de circulație a trenului sînt liniare $\bar{V} = c(S - e) + d$ se obține lucrul mecanic al forței de frînare

$$L_5 = (G_L + G_V)\alpha \int_{S_i}^{S_s} f_f \, dS = 1000 (G_L + G_V)\alpha\,\theta_c\, 0{,}27 \int_{V_i}^{V_s} \frac{V + 100}{5V + 100} \cdot \frac{dV}{c}$$

$$L_5 = \frac{270\alpha\,\theta_c (G_L + G_V)}{c} \left[\frac{1}{5} V + 16 \ln (V + 20) \right] \Bigg|_{V_i}^{V_s} \quad \text{Kgfkm} \qquad (3-24-e)$$

In cazul cînd trenul circulă în regim de frînare cu o viteză constantă, lucrul mecanic al forței de frînare este

$$L_5' = \alpha f_f (G_L + G_V)\, S$$

$$L_5' = 270 \frac{V + 100}{5V + 100}\, \theta_c \alpha (G_L + G_V)\, S \qquad (3-24-e')$$

Avînd toți termenii din formula (3-24) se poate calcula lucrul mecanic al forțelor de rezistență:

$$L_r = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5$$

B-4 <u>Determinarea consumului de combustibil și energie electrică</u>.

a.- <u>Calculul consumului de combustibil la locomotive diesel</u>.

Consumul de combustibil al locomotivei Diesel în timpul parcursului se determină pe bază curbelor de viteză $V = f(S)$ și curbelor de timp $t = f(S)$ definite la regimul de lucru de durată a locomotivelor diesel.

El se poate calcula fie direct cu ajutorul parametrilor de funcționare ai locomotivei, fie indirect cu ajutorul lucrului mecanic al forțelor rezistente întîmpinate de tren, punînd condiția egalității lucrului mecanic al forțelor rezistente cu cel produs prin arderea combustibilului în cilindrii motorului diesel. In lucrarea de față se folosește metoda a doua.

Lucrul mecanic produs prin arderea unui kilogram de combustibil în motorul diesel, este dat de relația:

$$L_m = 427\, H_i\, \eta_L \qquad Kgf\,m \qquad (3-31)$$

Lucrul mecanic total produs prin arderea combustibilului în timpul unui parcurs, se determină cu relația

$$L = C_D\, L_m = 427\, C_D\, H_i\, \eta_L \qquad (3-32)$$

unde:

η_L randamentul locomotivei la obada roților

H_i este puterea calorică inferioară a combustibilului, în Kcal/Kg. După autorii lucrărilor [36], [43] valoarea lui H_i este 10000-10100 Kcal/Kg

Notînd cu L_r lucrul mecanic al forțelor rezistente, egal cu cel produs prin arderea combustibilului se obține relația

$$L_r = 427\, C_D\, H_i\, \eta_L \qquad Kgfm \qquad (3-33)$$

de unde rezultă combustibil consumat pentru remorca unui tren:

$$C_D = \frac{L_r}{427\, H_i\, \eta_L} \qquad Kg \qquad (3-34)$$

După autorii lucrărilor [14], [35] consumul de combustibil pe un tfKm de lucru mecanic poate fi 0,80-0,85 Kg. Pentru calculul consumului de combustibil Diesel la comparația variantelor de proiectare se poate lua $C_D = (0{,}80 \div 0{,}85)\, L_r$ Kg (3-34-b), L_r se măsoară în tfKm.

b.- <u>Calculul consumului de energie electrică la locomotive electrice</u>

In cazul tracțiunii electrice, energia absorbită din rețeaua de alimentare în tot timpul cît locomotiva circulă sub curent se consumă pentru realizarea deplasării trenului. Cea mai mare parte a energiei electrice se transformă în lucru mecanic util, care se consumă pentru învingerea rezistențelor la mers și pentru sporirea energiei cinetice și potențiale ale trenului, iar restul se consumă sub forma de pierderi în motoarele electrice de tracțiune, transformatoare, instalațiile de redresare a curentului etc.

Consumul de energie electrică se poate determina fie cu ajutorul parametrilor de funcționare ai locomotivei și de linia de contact, fie cu ajutorul lucrului mecanic al forțelor de tracțiune sau forțelor rezistente.

După metoda a doua consumul de energie electrică pentru un parcurs se poate calcula cu relația:

$$W_t = \frac{k_a\, L_r}{367\, \eta_{lc}\, \eta_s\, \eta_L} \qquad 3\text{-}35$$

unde:

L_r -lucrul mecanic al forţelor resistente, măsurat în Kgfm

k_a -coeficientul care ţine seamă de consumul de energie în instalaţiile auxiliare de pe locomotive

η_{lc}-randamentul liniei de contact

η_s -randamentul substaţiilor de tracţiune

η_L -randamentul locomotivei

Datele privitoare la linia de contact şi la substaţia de tracţiune (η_{ls} şi η_s) se pot considera ca fiind constante şi egale cu valorile lor medii. In lucrarea [14] pentru aceste date se iau valorile:

η_{lc}= 0,92 - 0,93 pentru curentul continuu
η_s = 0,90 - 0,91 pentru curentul continuu

η_{lc}= 0,96 - 0,97 pentru curentul alternativ

η_s = 0,95 - 0,65 pentru curentul alternativ

η_L depinde de tipul locomotivei şi de regimul de funcţionare a locomotivei.

După autorii lucrărilor [14], [35] consumul de energie la barele de intrare în substaţiă de tracţiune pe o tfKm de lucru mecanic poate fi 3,6 Kwh pentru curentul continuu, 3,5 Kwh pentru curentul alternativ. La comparaţia variantelor de proiectare se poate calcula consumul de energie cu relaţia:

$$W = (3{,}5 \div 3{,}6)\; L_r \qquad (3\text{-}35\text{-}b)$$

în care L_r este măsurat în tfKm

3-III-3 <u>Determinarea cheltuielilor de exploatare ale unui tren</u>

După cum s-a arătat mai sus, pentru alegerea liniei roşii optime a profilului longitudinal al căii ferate se ia în considerare numai cheltuielile de exploatare legate de mişcare a trenurilor. Această cheltuială a unui tren tras de locomotivă Diesel se calculează cu ajutorul formulei următoare [47]

$$C_{dp} = a_1 E_r + a_2 L_r + (a_3 + a_c)\, C + a_4 t_{e.l} + a_5 t_{e.tr} + a_6 t_{l.o} + a_7 t_{v.o} +$$
$$a_8 K_{v.k} + a_9 T_{bruto} \quad \text{ub/tren (unităţi băneşti/tren)} \; (3\text{-}36)$$

în care:

L_f -lucrul mecanic al forţei de tracţiune, în tf Km

L_r -lucrul mecanic al forţelor de rezistenţă, care acţionează asupra trenului, în tf Km

C -consumul de combustibil, în kg

$t_{e.l}$ -timpul de lucru al echipei locomotivei, în ore

t_{etr} -timpul de lucru al echipei de tren, în ore

$t_{l.o}$ -timpul de mers al locomotivei, în ore pentru o locomotivă, dacă trenul este tras de 2 locomotive trebuie să se înmulţească $t_{l.o}$ cu 2

$t_{v.o}$ se prezintă în looo de osii a vagoanelor-oră. Se calculează $t_{v.o}$ după relaţia următoare:

$$t_{v.o} = \frac{n_o}{1000} t_m \qquad (3-37)$$

unde n_o -numărul osiilor vagoanelor trenului

t_m -timpul de mers al trenului

$N_{v.k}$ -se prezintă în looo de osii a vagoanelor-Km. Se calculează $N_{v.k}$ după relaţia următoare:

$$N_{v.k} = \frac{n_o}{1000} l \qquad (3-38)$$

unde n_o -numărul osiilor vagoanelor trenului

l -lungimea prin care trece trenul, în Km

$T_{brută}$ se prezintă în loooooo tfKm de greutate-brută a trenului circulat pe cale. Se calculează T_{bruto} după relaţia următoare:

$$T_{bruto} = \frac{G_{bruto}\, l}{10^6} \qquad (3-39)$$

în care

G_{bruto} -greutatea brută a trenului, în tf

l -lungimea drumului prin care trece trenul, în Km

a_1 -cheltuiala pe o tfKm de lucru mecanic al forţei de tracţiune, referitoare la repararea maşinei Diesel, a motoarelor de tracţiune şi a instalaţiilor pentru conducerea căldurii în unităţi bäneşti

a_2 -cheltuiala pe o tfKm de lucru mecanic al forţelor de rezistenţă, referitoare la repararea şi ungerea părţilor de mers ale trenului, precum şi referitoare la întreţinerea şi repararea suprastructurii căii pentru părți uzate cărora k corespunde lucrul mecanic , în unități bănești

a_3 -cheltuiala pe un Kg de combustibil Diesel, referitoare la echipamente ale locomotivei și întreținerea acestora în unități bănești

a_c -prețul unui Kg de combustibil Diesel, în unități bănești

a_4 -cheltuiala cu salariul echipei de locomotivă pentru o oră de lucru, în unități bănești

a_5 -cheltuiala cu salariul echipei de tren pentru o oră de lucru, în unități bănești

a_6 -cheltuiala de reparare a unei locomotive Diesel datorită uzurii în funcție de timp, în unități bănești

a_7 -cheltuiala de reparare a vagoanelor din tren în funcție de timp, pentru 1ooo de osii-oră, în untăți bănești

a_8 -cheltuiala referitoare la verificarea tehnică a vagoanelor din tren, în unități bănești pentru 1ooo de osii-Km

a_9 -cheltuiala referitoare la amortizarea suprastructurii căii pentru 10^6 tfKm de greutate brută circulată pe cale în unități bănești

Dacă în formula (3-36) se iau:

$$t_{e.l}=t_{e.tr}=t_{l.o}=t_{v.o}=t_{mi}$$

adică timpul de lucru al echipei de locomotivă, timpul de lucru al echipei de tren, timpul de mers al locomotivei, timpul de mers al vagoanelor sînt egale cu timpul de mers al trenului pe acest element de profil

$$l=l_i$$

adică lungimea drumului l prin care trenul trece, este egală cu lungimea elementului de profil l_i atunci formula (3-36) devine formula pentru calculul cheltuielilor de exploatare legate de deplasarea unui tren tras de locomotiva Diesel pe un element de profil

$$E_{dp}=a_1L_f+a_2L_r+(a_3+a_c)C+(a_4+a_5+a_6+10^{-3}a_7)t_{m.i}+10^{-3}n_o l_i a_8+10^{-6}G_{bruto}a_9 l_i \quad \text{unități bănești/tren} \quad (3\text{-}36\text{-}a)$$

Dacă înlocuindu-se C prin valoarea dată de (3-34-b) formula (3-36-a) devine:

$$E_{dp} = a_1 L_f + a_2 L_r + (a_3 + a_c)\, 0{,}85\, L_r + (a_4 + a_5 + a_6 + 10^{-3} a_7)\, t_{m.i} + 10^{-3} n_o l_i a_8 + 10^{-6} G_{bruto} a_9 l_i \quad \text{unităţi băneşti/tren} \qquad (3\text{-}36\text{-}a')$$

CAPITOLUL 4

UNELE METODE DE ALEGEREA LINIEI ROSII OPTIME LA PROFILUL LONGITUDINAL AL UNEI CAI FERATE

4-1. Metoda programării dinamice şi aplicarea ei în elaborarea liniei roşii optime la profilul longitudinal al căii ferate [4], [15], [21], [26], [28], [29], [39]

4-1-1. Generalităţi

Programarea dinamică este o metodă de optimizare a sistemelor în care se operează pe fază sau secvenţe. Baza acestei metode este "teorema optimalităţii" a lui R. Bellman, care enunţă astfel: orice politică optimă nu poate fi formată decît din subpolitici optime

O politică este alcătuită dintr-o succesiune de decizii. In cazuri aleatoare în locul termenului de politică se utilizează termenul de strategie.

Eficacitatea metodelor de optimizare secvenţională cărora le-a dat naştere teorema lui Bellman se accentuiază pe măsura ce se observă că multe fenomene sau probleme sînt de natură secvenţională, adică permit descompunerea lor în faze sau secvenţe, fiecare fază depinzînd de cele apropiate, de faza anterioară şi de cea următoare.

Programarea dinamică priveşte evoluţia în timp a unui sistem economic, acesta fiind la fiecare fază parţial aleatorie, parţial controlată. Cazurile extreme sînt cele exclusiv deterministe şi cele exclusiv aleatorii

Anumite caractere ale programării dinamice, ca împărţirea în secvenţe a problemelor, se conservă şi în cazurile deterministe în care nu intervine o evoluţie de timp.

4-1-2. Tehnica de calcul a programării dinamice

Se consideră problema de programare matematică

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_i \leq b_i \ , \ a_{ij} > 0 \qquad j = 1, 2, \ldots, n \ , \quad i = 1, 2, \ldots, m \qquad (4\text{-}1\text{-}1)$$

$$x_j \geq 0, \ j = 1, 2, \ldots, n \qquad (4\text{-}1\text{-}2)$$

$$\min \sum_{j=1}^{n} c_j(x_j) \qquad (4\text{-}1\text{-}3)$$

Fie $x^* = \min \sum_{j=1}^{n} c_j(x_j)$, în condiţiile (4-1-1), (4-1-2)

Se presupune că s-a fixat o valoare $\bar{x}$ pentru x_n

În acest caz valorile variabilelor $x_1, x_2, \dots, x_{n-1}$, care minimizează funcţia obiectiv $\sum_{j=1}^{n} g_j(x_j)$ vor depinde evident de $\bar{x}_n$.

Cu $x_n = \bar{x}_n$ se poate lua în considerare programul care cere:

$$\min_{x_1, x_2, \dots, x_n} \sum_{j=1}^{n} g_j(x_j) = g_n(\bar{x}_n) + \min_{x_1, x_2, \dots, x_{n-1}} \sum_{j=1}^{n-1} g_j(x_j) \qquad (4\text{-}1\text{-}3')$$

Este clar, că variabilele $x_1, x_2, \dots, x_{n-1}$, vor trebui să satisfacă sistemul de restricţii (4-1-2) , (4-1-4) unde (4-1-4) este

$$\sum_{j=1}^{n-1} a_{ij} x_j \leq b_i - a_{in} \bar{x}_n \qquad i = 1, 2, \dots, m \qquad (4\text{-}1\text{-}4)$$

Notînd cu a_n vectorul coloană de componente a_{in} $(i=1,2,\dots,m)$ şi cu b vectorul de componente b_i, se notează

$$f_{n-1}(b - \bar{x}_n a_n) = \min_{x_1, x_2, \dots, x_{n-1}} \sum_{j=1}^{n-1} g_j(x_j)$$

minimul fiind calculat în condiţiile (4-1-2) şi (4-1-4)

Totodată din (4-1-1) şi (4-1-2) rezultă că $\bar{x}_n$ trebuie ales din mulţimea

$$0 \leq x_n \leq \min_{1 \leq i \leq n} \frac{b_i}{a_{in}} \qquad (4\text{-}1\text{-}5)$$

Atunci este clar că

$$s^* = \min_{x_n} \left[g_n(x_n) + f_{n-1}(b - x_n a_n) \right] \qquad 4\text{-}1\text{-}6$$

minimul fiind calculat în condiţiile (4-1-5)

Se observă deci, că dacă se poate obţine $f_{n-1}(b - x_n a_n)$ atunci problema originală s-ar reduce la rezolvare programului (4-1-5),(4-1-6) , care conţine doar o singură variabilă.

Pentru a vedea care este modalitatea de a obţine pe $f_{n-1}(b - x_n a_n)$ se observă că aceasta reprezintă valoarea minimă a funcţiei $\sum_{j=1}^{n-1} g_j(x_j)$ în condiţiile

$$\sum_{j=1}^{n-1} a_{ij} x_j \leq b_j - a_{in} x_n \qquad i = 1, 2, \dots, m \qquad (4\text{-}1\text{-}4')$$

$$x_j \geq 0 \qquad j = 1, 2, \dots, n \qquad (4\text{-}1\text{-}2')$$

Procedînd în acelaşi mod ca în etapa precedentă va rezulta

$$f_{n-1}(b-x_n a_n) = \min_{x_{n-1}} \left[g_{n-1}(x_{n-1}) + f_{n-2}(b - x_n a_n - a_{n-1}x_{n-1}) \right] \qquad (4\text{-}1\text{-}7)$$

în condiţiile

$$0 \le x_{n-1} \le \min_{1 \le i \le m} \frac{b_i - a_{in}x_n}{a_{in-1}} \qquad (4\text{-}1\text{-}8)$$

şi unde

$$f_{n-2}(b - x_n a_n - x_{n-1}a_{n-1}) = \min_{x_1, x_2, \dots, x_{n-2}} \sum_{j=1}^{n-2} g_j(x_j)$$

variabilel $x_1, \dots, x_{n-2}$ satisfac sistemul de restricţii (4-1-2), (4-1-9)

$$\sum_{j=1}^{n-2} a_{ij}x_j \le b_i - a_{in}x_n - a_{in-1}x_{n-1}, \quad i = 1, 2, \dots, n \qquad (4\text{-}1\text{-}9)$$

Se obţine astfel o descompunere a problemei într-o succesiune de subprograme.

In general, la etapa k va fi de rezolvat programul

$$\min_{x_1, \dots, x_k} \sum_{j=1}^{k} a_{ij}x_j$$

$$\sum_{j=1}^{k} a_{ij}x_j \le b_i - a_{in}x_n - \dots - a_{ik+1}x_{k+1}$$

$$x_j \ge 0 \qquad j = 1, 2, \dots, k$$

Valoarea optimă a obiectivului fiind $f_k(b_i - \xi_k)$

(s-a notat $\xi_k = x_n a_n + \dots + x_{k+1}a_{k+1}$)

Dacă în etapa n se poate obţine valoarea optimă $f_1(b - \xi_1)$ atunci $f_2(b - \xi_2), \dots, f_{n-1}(b - \xi_{n-1})$ se pot calcula recursiv din relaţia

$$f_k(b - \xi_k) = \min_{x_k} \left[g_k(x_k) + f_{k-1}(b - \xi_{k-1}) \right] \qquad (4\text{-}1\text{-}10)$$

$$f_k(b - \xi_k) = \min_{x_k} \left[g_k(x_k) + f_{k-1}(\xi_k - a_k x_k) \right]$$

Ajungînd în final la $z^* = f_n(b)$, adică optimul căutat. Totodată (4-1-10) dă şi decizia optimă x_k^* corespunzătoare fiecărei etape adică componenta k a politicii optime $(x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ care nu va fi altceva decît soluţia optimă a problemei iniţiale.

4-1-3. Aplicarea metodei programării dinamice în căutarea liniei roșii optime la profilul longitudinal.

Se consideră profilul longitudinal următor:

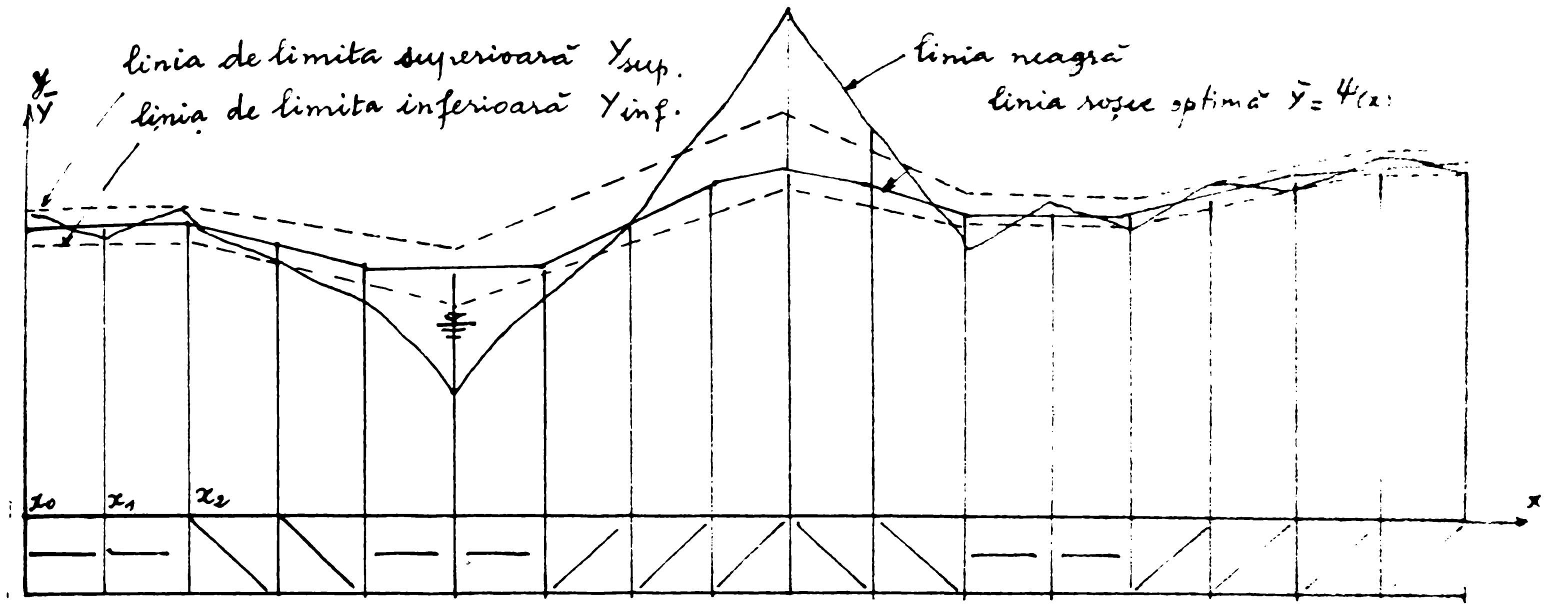


fig. 4-1-1 Profilul longitudinal al unui tronson de cale ferată

In domeniul variantelor de proiectare dat de proiectant între linia de limită inferioară și limita superioară se construiește rețeaua de variație.

Pentru aceasta se împarte axa absciselor profilului longitudinal în pași. La extremitățile pașilor, pe toate punctele caracteristice ale terenului de a lungul traseului se trasează verticale x_o, x_1, ...,x_n (fig 4-1-1) Verticalele sînt așezate și pe axele lucrărilor de artă. Pe fiecare verticală, domeniul variantelor se împarte între linia de limită inferioară $Y_{inf.}$ și linia de limită superioară $Y_{sup.}$ în părți avînd lungimea egală (Δy), (fig. 4-1-2). Se numerotează cu 0^{i-2}, 1^{i-2}, 2^{i-2}, ... punctele așezate pe verticala x_{i-2}, iar cu 0^{i-1}, 1^{i-1}, 2^{i-1}, ... punctele așezate pe verticala x_{i-1}, etc.

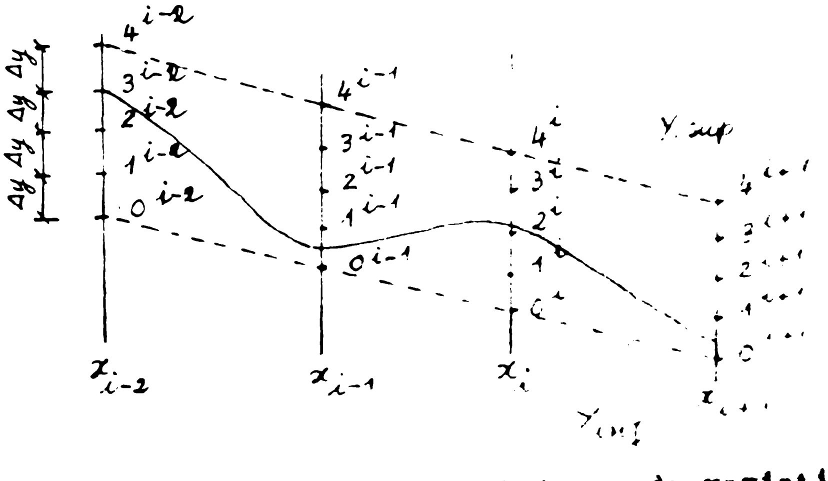


fig. 4-1-2. Rețeaua de variație

Pentru fiecare punct obţinut din această divizie se va trece cîte o linie de proiectare şi se va calcula coordonatele sale. După acest mod de împărţire un punct de pe o verticală are ca ordonată necunoscută $\overline{Y}_{i}^{j_i}$, $j_i = 0, 1, 2, \ldots n_i$ (indicele inferiori reprezintă verticala de ordinul „i", iar indicele superior corespunde punctului al j_i-lea pe aceaşi verticală.)

Mulţimea $\{\overline{Y}_i\}$ are valori discontinui şi ea variază între limitele următoare:

$$Y_{i\ inf} \leq \overline{Y}_i^{k} \leq Y_{i\ sup}$$

Acum problema de studiu constă în căutarea mulţimii

$$\overline{Y} = \{(x_0, \overline{Y}_0), (x_1, \overline{Y}_1), \ldots, (x_n, \overline{Y}_n)\}$$

care *satisface* condiţiile (1-2-a) + (1-2-c) şi asigură funcţiei obiectiv (1-1-a) valoarea minimă.

Pentru aceasta se foloseşte metoda programării dinamice. In pasul k, (k = 1, 2, ...,n), minimul funcţiei-obiectiv min $K(x, y, \overline{Y})$ se resolvă în funcţie de variabila $\overline{Y}_k$ pe segmentul $x_0 \leq x \leq x_k$. In acest pas minimul funcţiei obiectiv depinde de funcţia $K(x, y, \overline{Y})$ în pasul k-1 şi de valorile funcţiei-obiectiv în segmentul $x_{k-1} \leq x \leq x_k$.

Dacă se notează cu K_k minimul funcţiei-obiectiv în pasul k şi cu K_{k-1} minimul funcţiei-obiectiv în pasul k-1, atunci

$$K_k = \min_{\overline{Y}_k} [K(x, y, \overline{Y}) + K_{k-1}] \qquad (4\text{-}1\text{-}11)$$

Se obţine mulţimea valorilor $\{K_k\}$ Fiecare element al acestei mulţimi se calculează numai în punctele $X = \{x_0, x_1, \ldots, x_k\}$. Alte valori pentru K care nu corespund valorilor aşezate în mulţimea $x = \{x_0, x_1, x_2, \ldots x_k\}$ se calculează prin interpolare.

Minimizarea formulei (4-1-11) se execută prin comparaţia variantelor de proiectare, care trec prin punctele aşezate pe verticale.

Algoritmul se derulează în felul următor:

1.- Se uneşte un punct aşezat pe verticala 1 cu punctele aşezate pe verticala 0 şi apoi cu punctele aşezate pe verticala 2 prin aliniamente. [fig. 4-1-3] . Fiecare legătură care uneşte un punct aşezat pe verticala 1 cu un punct aşezat pe verticala 0 şi cu un punct aşezat pe verticala 2 se numeşte o variantă

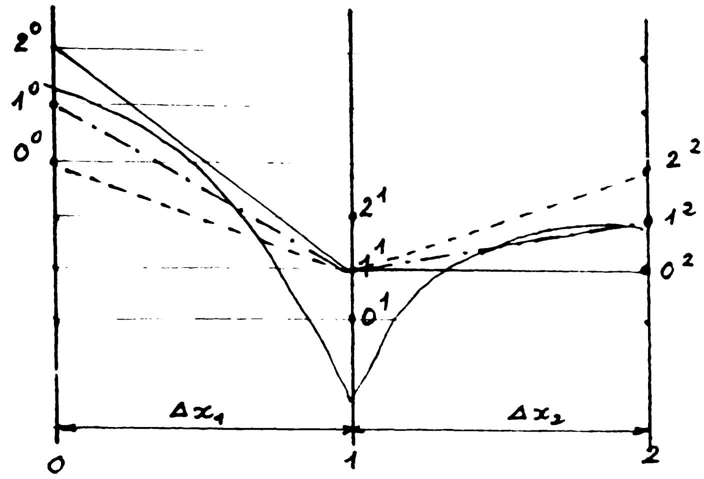


fig. 4-1-3

In fig. 4-1-3 a variantele care trec prin punctul 1^1 sînt:

$0^0 - 1^1 - 0^2$, $1^0 - 1^1 - 0^2$, $2^0 - 1^1 - 0^2$ — aceste variante au segmentul comun $1^1 - 0^2$

$0^0 - 1^1 - 1^2$, $1^0 - 1^1 - 1^2$, $2^0 - 1^1 - 1^2$ — aceste variante au segmentul comun $1^1 - 1^2$

$0^0 - 1^1 - 2^2$, $1^0 - 1^1 - 2^2$, $2^0 - 1^1 - 2^2$ — aceste variante au segmentul comun $1^1 - 2^2$

1-e. Se ia în considerare pe rînd fiecare variantă, de exemplu pentru varianta $0^0 - 1^1 - 0^2$, se calculează valorile declivităţilor:

$$i_1 = \frac{Y_1^1 - Y_0^0}{\Delta x_1}$$

$$i_2 = \frac{Y_2^0 - Y_1^1}{\Delta x_2}$$

Se verifică relaţia 1-2-a :

$$|i_1| + r_{c1} \leq i_{adm} \qquad \qquad (1\text{-}2\text{-}a')$$
$$|i_2| + r_{c2} \leq i_{adm}$$

unde r_{c1}, r_{c2} -rezistenţa dată de curbă în pasul 1 (între verticala 0 şi verticala 1), respectiv în pasul 2 (între verticala 1 şi verticala 2)

Dacă una din inegalităţile (1-2-a') nu este satisfăcută, se abandonează această variantă şi se trece la punctul (1-c) al algoritmului.

Dacă aceste inegalități sînt satisfăcute se trece la punctul următor.

1-b. Se calculează diferențele algebrice dintre valorile declivităților elementelor alăturate în profil longitudinal:

$$\Delta i_1 = i_1 - i_0$$

$$\Delta i_2 = i_2 - i_1$$

unde i_0 -valoarea declivității elementului de profil din fața elementului 1

Se verifică relația (1-2-b) :

$$\left.\begin{aligned} |\Delta i_1| &\leq \Delta i_{adm} \\ |\Delta i_2| &\leq \Delta i_{adm} \end{aligned}\right\} \quad (1\text{-}2\text{-}b')$$

Dacă una din inegalitățile (1-2-b') nu este satisfăcută se abandonează această variantă și se trece la punctul (1-g) al algoritmului.

Dacă aceste inegalități sînt satisfăcute se trece la punctul următor.

1-c. Se verifică punctele cu cotele obligatorii în pasul 1 și în pasul2 2, adică se verifică condiția (1-2-d) .

Dacă relația (1-2-d) nu este satisfăcută se abandonează varianta și se trece la punctul (1-g) al algoritmului.

Dacă relația (1-2-d) este satisfăcută se trece la punctul următor.

1-d. Se calculează volumul de terasament, volumul lucrărilor de artă și apoi se stabilesc cheltuielile de construcții.

1-e. Se calculează cheltuielile anuale de exploatare.

1-f. Se determină valoarea funcției-obiectiv, care se calculează de la începutul profilului longitudinal pînă la verticala 2

1-g Se compară numărul variantelor calculate cu numărul variantelor care trec printr-un punct de pe verticala 1. Este ușor de observat că numărul variantelor trecînd printr-un punct pe verticala i se calculează după relația $n_v = n_{i-1} \cdot n_{i+1}$ unde n_{i-1}, n_{i+1} -numărul punctelor așezate pe verticala (i-1) și respectiv pe verticala (i+1) .

Dacă mai există o variantă care trebuie să se ia în considerare, se întoarce la punctul (1-a) al algoritmului cu altă variantă.

Dacă nu mai există variantă care trebuie să se ia în considerare se trece la punctul (1-h).

1-h. Se compară variantele calculate şi se alege varianta cea mai bună dintre ele. Prin varianta aleasă se precizează legătura dintre punctul 1^1 cu punctele aşezate pe verticala 0.

Se calculează valoarea funcţiei obiectiv în punctul 1^1

2.- Pentru variantele care trec prin alte puncte aşezate pe verticala 1 se procedează la fel ca mai sus (pentru varianta trecînd prin punctul 1^1).

Astfel, la sfîrşitul primului pas se obţine un număr de n_1 variante cele mai bune. Prin procedeul prezentat rezultă că pe verticala 1 se află un număr de n_1 puncte deci există un număr de n_1 variante cele mai bune

3.- Procedînd în acelaşi mod ca pînă acum pentru următorii paşi se obţine soluţia optimă a problemei.

In algoritmul prezentat mai sus se consideră în acelaşi timp doi paşi alăturaţi dintre verticala 0 şi verticala 2 pentru că diferenţa Δi a declivităţii dintre două elemente alăturate are caracteristică de răspîndire între doi paşi, [28] . Aceasta influenţează la alegerea soluţiei cele mai bune dintre variantele care trec printr-un punct aşezat pe verticala 1, mai ales în poziţia de groapă sau în poziţia de vîrf a profilului longitudinal. In fig. 4-1-3a dacă se presupune că $i_{adm} = 8‰$, $\Delta y = 1^m$, $\Delta x_1 = \Delta x_2 = 500$ m, dintre variantele care trec prin punctul 1^1 se alege varianta $1^0 - 1^1 - 1^2$, iar dacă se consideră numai un pas din variantele care trec prin punctul 1^1 se alege varianta $2^0 - 1^1 - 0^2$.

După cum se ştie, cheltuielile de exploatare depind de numărul trenurilor, de viteza trenului, de alţi factori ai exploatării şi de caracteristicile tehnice ale căii ferate. Aceste cheltuieli trebuie să se calculeze pe ambele sensuri de circulaţie.

In procesul de căutare a liniei roşii optime cu ajutorul metodei programării dinamice, partea cheltuielilor de exploatare este calculată numai pe o direcţie de la începutul la sfîrşitul profilului longitudinal, iar pe direcţia inversă această parte nu se poate calcula fiindcă nu se ştie viteza trenului care se întoarce în punctul de calcul.

In vederea considerării ambelor părţi de cheltuieli (de construcţie şi de exploatare) căutarea liniei de proiectare se face în felul următor

- La început se caută linia roşie optimă din cheltuielile de construcţii cu ajutorul metodei programării dinamice.

- Se calculează cheltuielile de exploatare pentru această variantă pe ambele sensuri de circulaţie şi se stabileşte valoarea funcţiei obiectiv

- Apoi în zona de groapă şi în zona de vîrf a profilului longitudinal se determină punctele 1,2,3,...(fig. 4-1-4) Prin aceste puncte şi în ordinea obligatorie se realizează analog variantele noi ale liniei de proiectare. Pentru fiecare variantă se calculează pe rînd cheltuielile de construcţie, cheltuielile de exploatare (în ambele sensuri de circulaţie) şi valoarea funcţiei-obiectiv.

Ridicarea poziţiei liniei de proiectare în zona de groapă şi coborîrea poziţiei liniei de proiectare în zonă de vîrf conduc la reducerea cheltuielilor de exploatare pentru că declivitatea elementelor de profil descreşte. Aceste lucruri se execută pînă cînd valoarea funcţiei-obiectiv nu începe să crească. Astfel se obţine soluţia optimă a problemei.

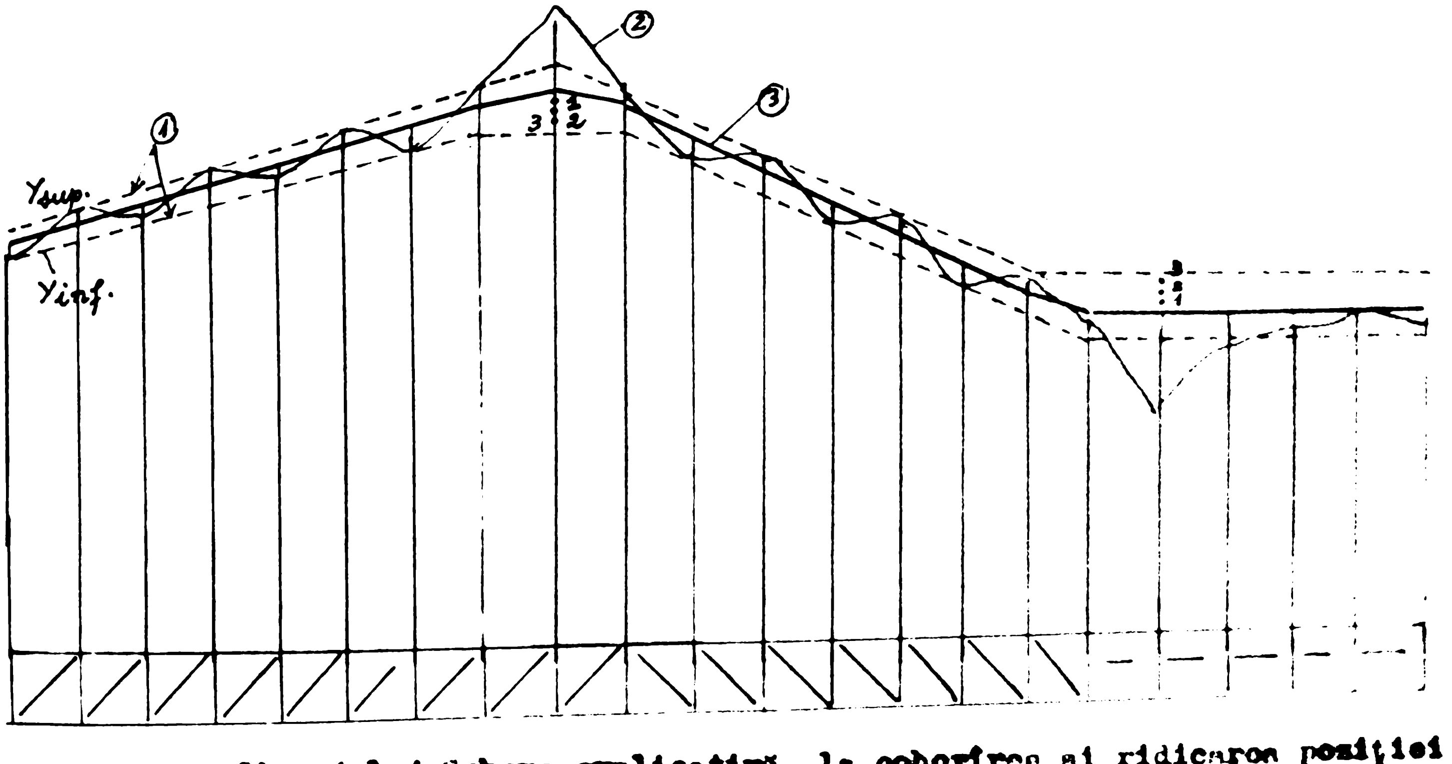


fig. 4-1-4 Schema explicativă, la coborîrea şi ridicarea poziţiei liniei de proiectare în zona de vîrf şi în zona de groapă.

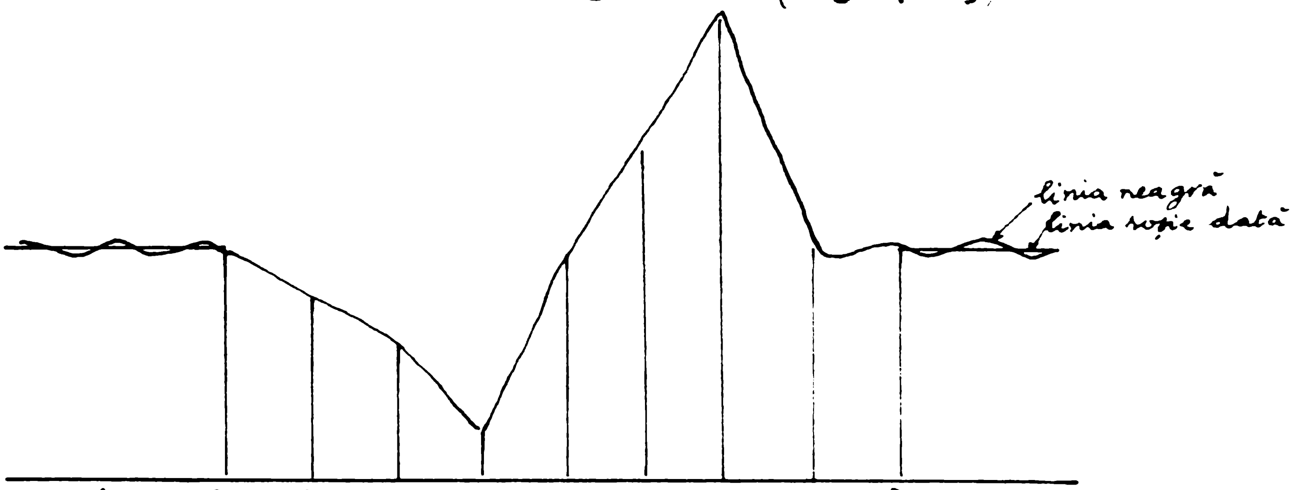
(1) -linia de limită superioară şi inferioară

(2) -linia neagră

(3) -linia roşie pentru care cheltuielile de construcţie sînt minime.

4-1-4. Rezolvarea unui exemplu.

Fiind dat profilul longitudinal (fig. 4-1-5)



Cotele terenului	20.00	17.50	15.00	10.00	20.00	26.00	32.00	20.00	20.00
lungimea	500	500	500	500	500	500	500	500	

fig. 4-1-5

Să se determine linia roşie care face minimul cheltuielilor de construcţie şi satisface următoarele date:

-declivitatea liniei $i_{adm} = 8‰$

-diferenţa admisă dintre valorile declivităţilor elementelor alăturate $\Delta i_{adm} \leq 8‰$

-lungimea elementului de profil $l_{adm} \geq 500$ m

In domeniul variantelor de proiectare dat de proiectant se construieşte reţeaua de variaţie.

Pentru aceasta pe toate punctele caracteristice ale terenului de-a lungul traseului analizat se ridică verticalele 0,1,2,3,4,5,6,7,8,(fig. 4.1.6) Verticalele sînt aşezate şi pe axele lucrărilor de artă. Pe fiecare verticală domeniul variantelor de proiectare se împarte între $y_{inf.}$ şi $y_{sup.}$ în părţi avînd distanţa egală de 1 m. Punctele de diviziune pe verticala 1 se numerotează cu 0^1, 1^1, 2^1, iar pe verticala 2 cu 0^2, 1^2, 2^2, 3^2 şi pentru alte verticale se face în acelaşi mod.

Domeniul variantelor de proiectare dat de proiectant

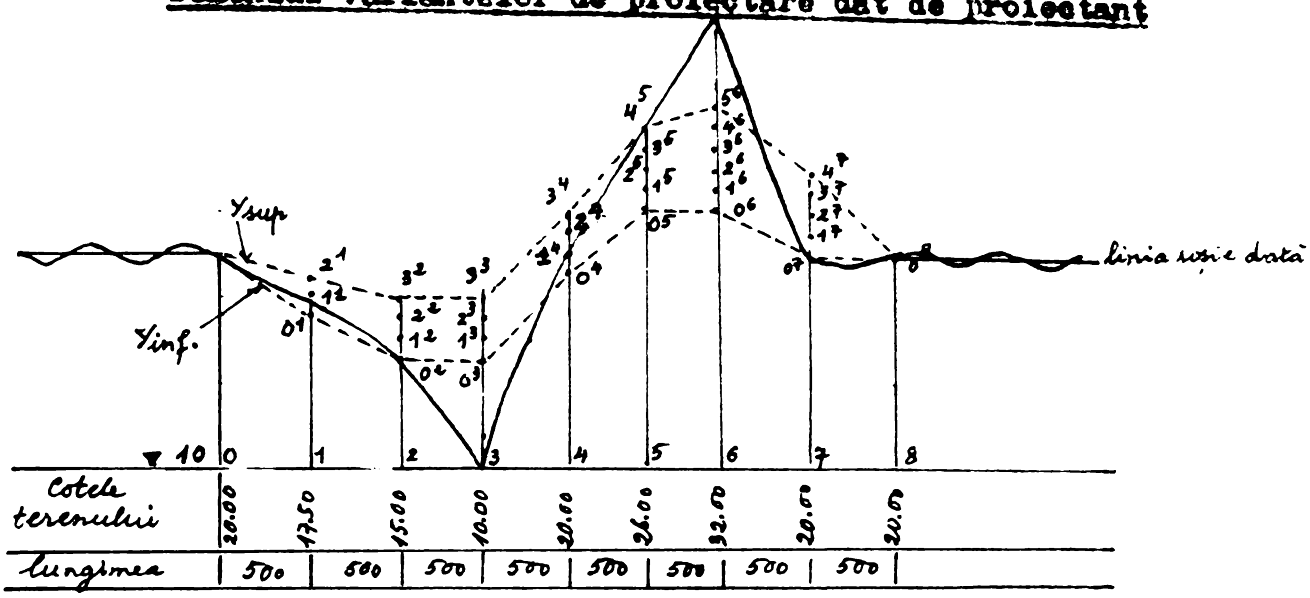
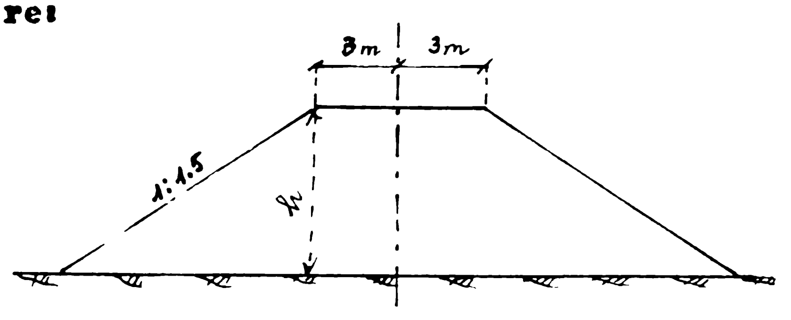
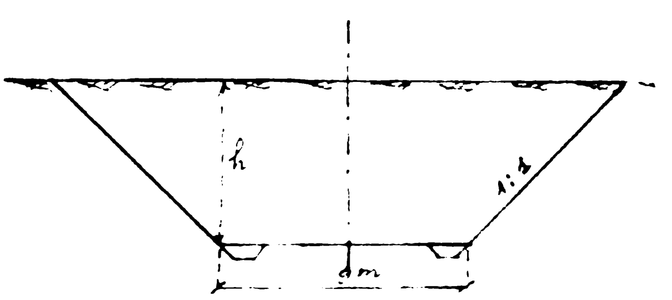


fig. 4-1-6

Alegerea și eliminarea variantelor de proiectare se face după verificarea relațiilor (1-2-a) - (1-2-e) și prin comparația dintre ele. In acest exemplu pentru simplificare presupunem că nu ținem seama de înclinarea terenului pe profilul transversal și calculăm suprafața și volumul terasamentului numai în extremitățile pașilor. Profilele transversale pot avea formele următoare:





In aceste cazuri suprafața de umplutură este $S^u = (6+1,5h)\,h$

iar suprafața de săpătură este $S^s = (9+h)\,h$ (4-1-18)

Volumul de umplutură dintre 2 profile transversale este:

$$Vu_{m-n} = \frac{S^u_m + S^u_n}{2}\,l \quad m^3$$

Volumul săpăturii dintre 2 profile transversale este:

$$Vs_{m-n} = \frac{S^s_m + S^s_n}{2}\,l \quad m^3$$

unde l -distanța dintre 2 profile transversale din care se calculează volumul.

In acest exemplu luăm: -prețul de umplutură 10 u.b./m^3

-prețul de săpătură 50 u.b./m^3

u.b. - unități bănești

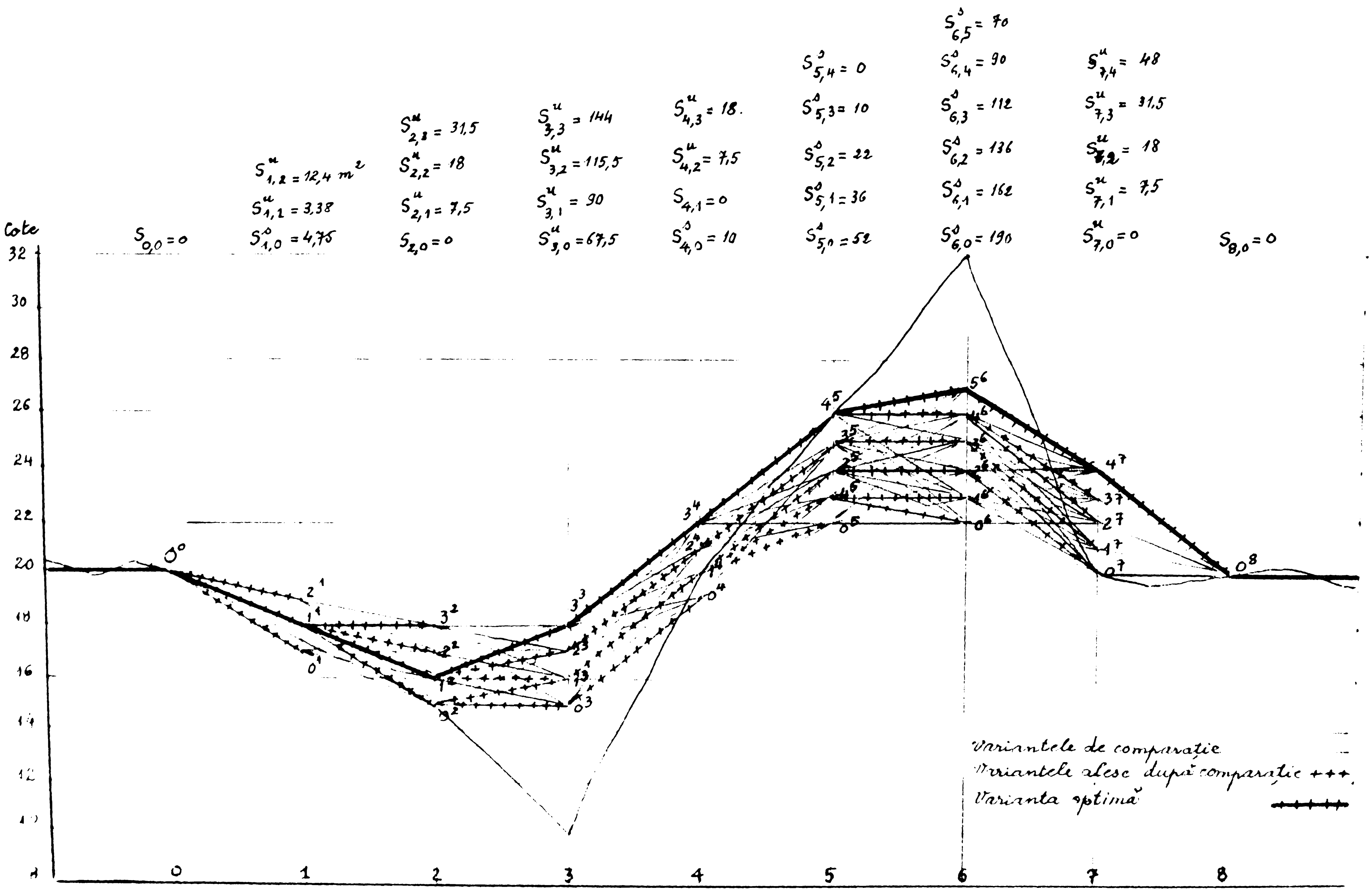


Fig. 4.1-7 Variantele de proiectare

Se notează cu:

- $S^{u}_{i,k}$ -suprafața profilului transversal în umplutură, care se calculează în punctul k așezat pe verticala i
- $S^{s}_{i,k}$ -suprafața profilului transversal în săpătură, care se calculează în punctul k așezat pe verticala i
- $Vu^{k1,k2}_{m-n}$, $Vs^{k1,k2}_{m-n}$ -volumul terasamentului de umplutură și respectiv de săpătură al tronsonului m-n de la verticala m pînă la verticala n și acest volum se calculează cînd linia roșie trece la punctul k_1 așezat pe verticala m și la punctul k2 așezat pe verticala n
- $Vu^{k1,0}_{m-n}$, $Vs^{0,k2}_{m-n}$ -volumul de umplutură și respectiv de săpătură al tronsonului m-n calculat de la punctul k_1 pînă la punctul de încrucișare dintre linia neagră și linia roșie (0)
- C^{0-m} -costul terasamentului pentru tronsonul 0-m .

La fig. 4-1-7 Variantele de proiectare:

Se unesc punctele 0^1, 1^1, 2^1 așezate pe verticala 1 cu punctele 0^0 așezat pe verticala 0, apoi se unesc punctele $0^2, 1^2, 2^2, 3^2$ așezate pe verticala 2 cu fiecare punct așezat pe verticala 1, fig. 4-1-7

I. Pasul 1.

1.- Se iau în considerare variantele care trec prin punctul 0^1:

Pentru fiecare variantă trebuie să se efectueze următoarele faze.

- Se verifică condițiile 1-2-a - 1-2-e
- Se calculează diferența dintre cota liniei roșii și cota terenului
- Se stabilesc suprafețele secțiunilor transversale
- Se determină punctul de încrucișare dintre linia roșie și linia neagră
- Se calculează volumul terasamentului de umplutură și de săpătură
- Se stabilesc cheltuielile de construcție

Pentru varianta 0^0- 0^1- 0^2

$Vs^{0,0}_{0-1}$ = 1185 m^3 $Vs^{0,0}_{1-2}$ = 1185 m^3

$$c^{0-2} = 50(1185+1185) = 118500 \text{ u.b. (unităţi băneşti)}$$

Pentru varianta $0^0 - 0^1 - 1^2$

$$Vs_{0-1}^{0,0} = 1185 \text{ m}^3$$

$$Vs_{1-2}^{0,x} = \frac{4,75}{2}\,167 = 396 \text{ m}^3 \qquad *$$

$$Vu_{1-2}^{x,1} = \frac{7,5}{2}\,333 = 1249 \text{ m}^3 \qquad *$$

$$c^{0-2} = 50(1185+396)+10 \times 1249 = 91540 \text{ u.b.}$$

Pentru varianta $0^0 - 0^1 - 2^2$

$$Vs_{0-1}^{0,0} = 1185 \text{ m}^3$$

$$Vs_{1-2}^{0,x} = \frac{4,75}{2}\;100 = 237 \text{ m}^3$$

$$Vu_{1-2}^{x,2} = \frac{18}{2}\,400 = 3600 \text{ m}^3$$

$$c^{0-2} = 50(1185+237)+10 \times 3600 = 107100 \text{ u.b.}$$

Pentru varianta $0^0 - 0^1 - 3^2$

$$Vs_{0-1}^{0,0} = 1185 \text{ m}^3$$

$$Vs_{1-2}^{0,x} = \frac{4,75}{2}\,70 = 166 \text{ m}^3$$

$$Vu_{1-3}^{x,3} = \frac{31,5}{2}\,430 = 6773 \text{ m}^3$$

$$c^{0-2} = 50(1185+166)+10 \times 6773 = 135280 \text{ u.b.}$$

Dintre variantele care trec prin punctul 0^1 se alege varianta

$$0^0 - 0^1 - 1^2$$

2.- Se iau în considerare variantele care trec prin punctul 1^1:

Pentru varianta $0^0 - 1^1 - 0^2$

$$Vu_{0-1}^{0,1} = 845 \text{ m}^3$$

$$Vu_{1-2}^{1,0} = 845 \text{ m}^3$$

$$c^{0-2} = 10(845+845) = 16900 \text{ u.b.}$$

Pentru varianta $0^0 - 1^1 - 1^2$

$$Vu_{0-1}^{0,1} = 845 \text{ m}^3$$

$$Vu_{1-2}^{1,1} = \frac{3,33+7,5}{2}\;500 = 2720 \text{ m}^3$$

$$c^{0-2} = 10(845+2720) = 35650 \text{ u.b.}$$

In relaţia * lungimea căii în săpătură este de 167 m, iar în umplutură 333 m.

Pentru varianta $0^0 - 1^1 - 2^2$

$$Vu^{0,1}_{0-1} = 845\ m^3$$

$$Vu^{1,2}_{1-2} = \frac{3,38+18}{2} 500 = 5345\ m^3$$

$$C^{0-3} = 10(845+5345) = 61900\ u.b.$$

Pentru varianta $0^0 - 1^1 - 3^2$

$$Vu^{0,1}_{0-1} = 845\ m^3$$

$$Vu^{1,3}_{1-2} = \frac{3,38+31,5}{2} 500 = 8720\ m^3$$

$$C^{0-2} = 10(845+8720) = 95650\ u.b.$$

Dintre variantele care trec prin punctul 1^1 se alege varianta $0^0 - 1^1 - 1^2$

3.- Se iau în considerare variantele care trec prin punctul 2^1

Pentru varianta $0^0 - 2^1 - 0^2$

$$Vu^{0,2}_{0-1} = 3100\ m^3$$

$$Vu^{2,0}_{1-2} = 3100\ m^3$$

$$C^{0-2} = 10(3100+3100) = 62000\ u.b.$$

Pentru varianta $0^0 - 2^1 - 1^2$

$$Vu^{0,2}_{0-1} = 3100\ m^3$$

$$Vu^{2,1}_{1-2} = \frac{12,40+7,5}{2} 500 = 4975\ m^3$$

$$C^{0-} = 10(3100+4975) = 80750\ u.b.$$

Pentru varianta $0^0 - 2^1 - 2^2$

$$Vu^{0,2}_{0-1} = 3100\ m^3$$

$$Vu^{0,2}_{0-1} = \frac{12,40+18}{2} 500 = 7600\ m^3$$

$$C^{0-2} = 10(3100+7600) = 107000\ u.b.$$

Pentru varianta $0^0 - 2^1 - 3^2$

$$Vu^{0,2}_{0-1} = 3100\ m^3$$

$$Vu^{2,3}_{1-2} = \frac{12,4+31,5}{2} 500 = 10975\ m^3$$

$$C^{0-2} = 10(3100+10975) = 140750\ u.b.$$

Dintre 4 variante care trec prin punctul 2^1 se alege varianta

$$0^0 - 2^1 - 0^2$$

Astfel în pasul 1, de la verticala 0 pînă la verticala 1 există 3 variante: $0^0 - 0^1$, $0^0 - 1^1$, $0^0 - 2^1$. Se calculează cheltuielile de construcţii pentru fiecare variantă şi se obţin:

varianta $0^0 - 1^1$ cu costul de construcţie de 59250 u.b.

varianta $0^0 - 1^1$ cu costul de construcţie de 8450 u.b.

varianta $0^0 - 2^1$ cu costul de construcţie de 31000 u.b.

II. Pasul 2.

Se unesc punctele 0^2, 1^2, 2^2, 3^2 aşezate pe verticala 2 cu fiecare punct aşezat pe verticala 1, apoi se unesc punctele $0^3, 1^3, 2^3, 3^3$ aşezate pe verticala 3 cu punctele aşezate pe verticala 2.

A.- Se iau în considerare variantele care trec prin punctul 0^2:

a.1.- Variantele au segmentul comun $0^2 - 0^3$:

Pentru varianta $0^0 - 0^1 - 0^2 - 0^3$

$$Vs^{0,0}_{1-2} = 1185 \text{ m}^3$$

$$Vu^{0,0}_{2-3} = \frac{67,5}{2}\, 500 = 16875 \text{ m}^3$$

$$C^{0-3} = 59250 + 50 \times 1185 + 10 \times 16875 = 287250 \text{ u.b.}$$

Pentru varianta $0^0 - 1^1 - 0^2 - 0^3$

$$Vu^{1,0}_{1-2} = 845 \text{ m}^3$$

$$Vu^{0,0}_{2-3} = 16875 \text{ m}^3$$

$$C^{0-3} = 8450 + 10(845 + 16875) = \underline{185650} \text{ u.b.}$$

Pentru varianta $0^0 - 2^1 - 0^2 - 0^3$

$$Vu^{2,0}_{1-2} = 3100 \text{ m}^3$$

$$Vu^{0,0}_{2-3} = 16875 \text{ m}^3$$

$$C^{0-3} = 31000 + 10(3100 + 16875) = 230750 \text{ u.b.}$$

a.2.- Se iau în considerare variantele care trec prin punctul 0^2 şi au segmentul comun $0^2 - 1^3$:

Pentru varianta $0^0 - 0^1 - 0^2 - 1^3$

$$Vs^{0,0}_{1-2} = 1185 \text{ m}^3$$

$$Vu^{0,1}_{2-3} = \frac{92}{2}\, 500 = 23000 \text{ m}^3$$

$$C^{0-3} = 59250+50x1185+10x22500 = 344000 \text{ u.b.}$$

Pentru varianta $0^0 - 1^1 - 0^2 - 1^3$

$$Vu^{1,0}_{1-2} = 845 \ m^3$$

$$Vu^{0,1}_{2-3} = 22500 \ m^3$$

$$C^{0-3} = 8450+10\ (845+22500) = 241900 \text{ u.b.}$$

Pentru varianta $0^0 - 2^1 - 0^2 - 1^3$ relația (1-2-b) nu este satisfăcută, de aceea se abandonează.

a.3.- Se iau în considerare variantele care trec prin punctul 0^2 și au segmentul comun $0^2 - 2^3$

Pentru varianta $0^0 - 0^1 - 0^2 - 0^3$

$$Vs^{0,2}_{1-2} = 1185 \ m^3$$

$$Vu^{0,2}_{2-3} = \frac{115,5}{2}\ 500 = 28875 \ m^3$$

$$C^{0-3} = 59250+50x1185+10x28875 = 407250 \text{ u.b.}$$

Pentru variantele $0^0 - 1^1 - 0^2 - 2^3$, $0^0 - 2^1 - 0^2 - 2^3$ condiția (1-2-b) nu este satisfăcută, de aceea se abandonează.

a.4.- Se iau în considerare variantele care trec prin punctul 0^2 și au segmentul comun $0^2 - 3^3$.

Pentru aceste variante ($0^0 - 0^1 - 0^2 - 3^3$; $0^0 - 1^1 - 0^2 - 3^3$; $0^0 - 2^1 - 0^2 - 3^3$) condiția (1-2-b) nu este satisfăcută, de aceea ele se abandonează.

Dintre variantele care trec prin punctul 0^2 se alege varianta $0^0 - 1^1 - 0^2 - 0^3$.

B.- Acum se iau în considerare pe rînd variantele care trec prin punctele 1^2, 2^2, 3^2.

Se repetă procedeul de mai sus și se aleg:

- varianta $0^0 - 1^1 - 1^2 - 0^3$ dintre variantele trecînd prin punctul 1^2
- varianta $0^0 - 1^1 - 2^2 - 0^3$ dintre variantele trecînd prin punctul 2^2
- varianta $0^0 - 1^1 - 3^2 - 0^3$ din variantele trecînd prin punctul 3^2

Astfel în pasul 2, de la verticala 0 pînă la verticala 2 există 4 variante bune:

$0^0 - 1^1 - 0^2$

$0^0 - 1^1 - 1^2$

$0^0 - 1^1 - 2^2$

$0^0 - 1^1 - 3^3$

Se calculează cheltuielile de construcţie pentru fiecare din aceste variante şi se obţin:

- varianta $0^0 - 1^1 - 0^2$ cu costul de 169oo u.b.
- varianta $0^0 - 1^1 - 1^2$ cu costul de 3565o u.b.
- varianta $0^0 - 1^1 - 2^2$ cu costul de 619oo u.b.
- varianta $0^0 - 1^1 - 3^2$ cu costul de 9[illegible]5o u.b.

Procedînd în acelaşi mod ca pînă acum pentru paşii 3,4,5,6,7,8 se obţin:

-pentru pasul 3, variantele

$0^0 - 1^1 - 0^2 - 0^3$	cu costul de	1[illegible]565[illegible] u.b.
$0^0 - 1^1 - 0^2 - 1^3$	cu costul de	2419oo u.b.
$0^0 - 1^1 - 1^2 - 2^3$	cu costul de	34315o u.b.
$0^0 - 1^1 - 1^2 - 3^3$	cu costul de	4144oo u.b.

-pentru pasul 4, variantele

$0^0 - 1^1 - 0^2 - 0^3 - 0^4$	cu costul de	[illegible]47[illegible]oo u.b.
$0^0 - 1^1 - 0^2 - 1^3 - 1^4$	cu costul de	4[illegible]69oo u.b.
$0^0 - 1^1 - 1^2 - 2^3 - 2^4$	cu costul de	65o65o u.b.
$0^0 - 1^1 - 1^2 - 3^3 - 3^4$	cu costul de	[illegible]194oo u.b.

-pentru pasul 5, variantele

$0^0 - 1^1 - 0^2 - 1^3 - 1^4 - 0^5$	cu costul de	11[illegible]9oo u.b.
$0^0 - 1^1 - 0^2 - 1^3 - 1^4 - 1^5$	cu costul de	9169oo u.b.
$0^0 - 1^1 - 0^2 - 1^3 - 1^4 - 2^5$	cu costul de	7419oo u.b.
$0^0 - 1^1 - 1^2 - 2^3 - 2^4 - 3^5$	cu costul de	7[illegible]2[illegible]o u.b.
$0^0 - 1^1 - 1^2 - 3^3 - 3^4 - 4^5$	cu costul de	8644oo u.b.

-pentru pasul 6, variantele

$0^0 - 1^1 - 0^2 - 1^3 - 1^4 - 1^5 - 0^6$	cu costul de	37[illegible]1[illegible]o u.b.
$0^0 - 1^1 - 0^2 - 1^3 - 1^4 - 1^5 - 1^6$	cu costul de	3391[illegible] u.b.
$0^0 - 1^1 - 0^2 - 1^3 - 1^4 - 2^5 - 2^6$	cu costul de	[illegible]716[illegible]o u.b.
$0^0 - 1^1 - 1^2 - 2^3 - 2^4 - 3^5 - 3^6$	cu costul de	[illegible] u.b.
$0^0 - 1^1 - 1^2 - 3^3 - [illegible]^4 - [illegible]^5 - 4^6$	cu costul de	[illegible] u.b.
$0^0 - 1^1 - 1^2 - 3^3 - 3^4 - [illegible]^5 - [illegible]^6$	cu costul de	1[illegible]oo u.b.

-pentru pasul 7, variantele

$0^0 - 1^1 - 0^2 - 1^3 - 1^4 - 2^5 - 2^6 - 0^7$ cu costul de 4416900 u.b.

$0^0 - 1^1 - 1^2 - 2^3 - 2^4 - 3^5 - 3^6 - 1^7$ cu costul de 3474860 u.b.

$0^0 - 1^1 - 1^2 - 3^3 - 3^4 - 4^5 - 4^6 - 2^7$ cu costul de 2964450 u.b.

$0^0 - 1^1 - 1^2 - 3^3 - 3^4 - 4^5 - 4^6 - 3^7$ cu costul de 2835000 u.b.

$0^0 - 1^1 - 1^2 - 3^3 - 3^4 - 4^5 - 5^6 - 4^7$ cu costul de 2279100 u.b.

-pentru ultimul pas, variantele

$0^0 - 1^1 - 1^2 - 3^3 - 3^4 - 4^5 - 5^6 - 4^7 - 0^8$ cu costul de [illegible]391[illegible]0 u.b.

Linia roșie cu cheltuielile de construcții minime este varianta

$0^0 - 1^1 - 1^2 - 3^3 - 3^4 - 4^5 - 5^6 - 4^7 - 0^8$ (vezi fig. 4-1-7)

4-2. <u>Metoda gradientului şi aplicarea ei în elaborarea liniei roşii optime la profilul longitudinal.</u>

Autorul lucrării [10] a aplicat metoda gradientului în elaborarea liniei roşii optime la profilul longitudinal al drumului.

4-2-1. <u>Descrierea metodei.</u>

Pentru claritatea metodei se foloseşte un model geometric considerînd funcţia de două variabile $\varphi = \varphi(q_1, q_2)$. Metoda se poate generaliza uşor.

In fig. 4-2-1 este prezentată o suprafaţă $\varphi = \varphi(q_1, q_2)$ pe care trebuie să se caute punctul minim M, presupus unic

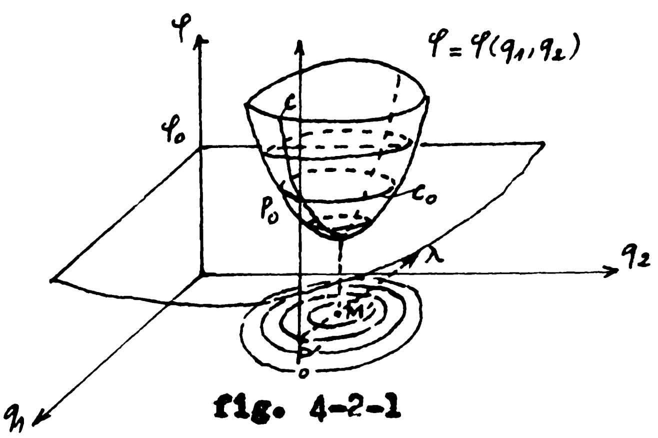


fig. 4-2-1

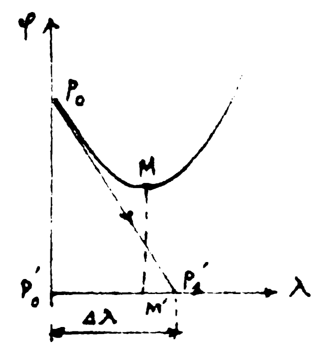


fig. 4-2-2

Corespunzător primei aproximaţii, punctul reprezentativ este $P_0(q_1^0, q_2^0)$ iar valoarea funcţiei corespunzătoare φ^0. Intersecţia suprafeţei φ cu planul $\varphi = \varphi_0$ dă curba C_0. Planul normal al acestei curbe P_0 intersectează suprafaţa după o curbă C. După cum se ştie, coborîrea cea mai rapidă se poate face de a lungul acestei curbe. In planul (q_1, q_2) aceasta corespunde la direcţia gradientului funcţiei $\varphi(q_1, q_2)$ în P_0'. Pentru a determina mărimea pasului deplasării se consideră variaţia în planul coborîrii cele mai rapide către minim, alegînd ca variabilă parametrul λ (fig. 4-2-2). In planul (φ, λ) utilizînd desvoltarea în serie Taylor în jurul punctului P_0 şi reţinînd termenii pînă la cel de ordinul doi, se poate scrie

$$\varphi = \varphi_0 + (\Delta\lambda)\frac{d\varphi_0}{d\lambda} + [illegible] \quad (4\text{-}2\text{-}3)$$

Condiţia de minim devine

$$\frac{d\varphi}{d(\Delta\lambda)} [illegible] \quad (4\text{-}2\text{-}4)$$

De unde rezultă pasul deplasării

$$\Delta\lambda = -\frac{\frac{d\varphi_0}{d\lambda}}{\frac{d^2\varphi_0}{d\lambda^2}} \qquad (4\text{-}2\text{-}5)$$

Corespunzător, se obţin evident

$$\Delta q_1 = \frac{\frac{d\varphi}{dq_1}}{|grad\,\varphi|}\Delta\lambda$$

$$\Delta q_2 = \frac{\frac{d\varphi}{dq_2}}{|grad\,\varphi|}\Delta\lambda \qquad (4\text{-}2\text{-}6)$$

In urma acestui "pas" se va ajunge într-un punct P_1 după care urmează o nouă apropiere etc.

Desavantajul metodei constă în necesitatea de a calcula derivata a doua a funcţiei ceea ce complică procedeul. Uneori, metoda se modifică, impunîndu-se mărimea pasului şi prevăzînd o diminuare treptată a acestuia pe măsura desfăşurării procesului iterativ.

E.V. Booth [57] procedează similar, reţinînd însă în ecuaţia (4-2-3) numai termenul de ordinul 1.

$$\varphi = \varphi_0 + \Delta\lambda\frac{d\varphi_0}{d\lambda} \qquad (4\text{-}2\text{-}7)$$

Aceasta corespunde coborîrii în planul (φ,λ) după tangenta în P_0 (fig. 4-2-2) pînă în punctul de intersecţie cu axa absciselor. Calculul variaţiilor parametrilor q_1, q_2 se face deasemenea cu (4-2-6) după care urmează, ca şi în cazul precedent, o nouă iteraţie din punctul P_1 astfel determinat.

Este de menţionat că metoda relaxării [16] -mult aplicată în procesul de optimizare la drumuri- foloseşte deplasarea succesivă prin schimbare cîte unui singur parametru q_i restul parametrilor fiind blocaţi. Metoda relaxării este în principiu similară metodei gradientului însă raportarea se face la un plan de secţiune paralel cu plan (φ, q_i)

Conform relaţiei (4-2-3) se obţine

$$\varphi = \varphi_0 + (\Delta q_i)\frac{d\varphi_0}{dq_i} + \frac{1}{2}(\Delta q_i)^2\frac{d^2\varphi_0}{dq_i^2} \qquad (4\text{-}2\text{-}9)$$

De unde rezultă ca şi în relaţia (4-2-5) mărimea pasului

$$\Delta q_i = -\frac{\frac{d\varphi_0}{dq_i}}{\frac{d^2\varphi_0}{dq_i^2}} \qquad (4\text{-}2\text{-}10)$$

L

La fel se poate proceda şi în cazul metodei seriei Taylor, dar în acest caz, este necesar calculul derivatelor funcţiei tuturor variabilelor două cîte două şi soluţionarea unui sistem de ecuaţii prin eliminarea sau inversarea de matrice. Metoda este laborioasă și necesită o subrutină pentru resolvarea sistemului de ecuații.

Dintre toate aceste metode, cea mai simplu de aplicat și cu convergența cea mai rapidă este metoda gradientului [37]

4-2-2. **Stabilirea funcției obiectiv**

Pentru aplicarea metodei gradient autorul lucrării [10] a luat în considerare pentru funcția-obiectiv numai cheltuielile de construcție ale terasamentului și ale zidurilor, adică

$$f = C_{ST} \cdot r \cdot \sum_{i}^{săp} S_{si} + C_u \cdot r \cdot \sum_{j}^{ump} S_{uj} + C_Z \cdot r \cdot \sum V_{zi} \qquad (4\text{-}2\text{-}11)$$

în care: r - echidistanța dintre pichete,

C_{ST} -costul săpăturii și transportul în umpluturi, în u.b./m^3

C_u -costul umpluturii, în u.b./m^3 unități bănești /m^3

C_Z -costul unui m^3 de zidărie în ziduri de sprijin, în u.b./m^3

Volumul săpăturii V_S și volumul umpluturii V_u se calculează după formulele următoare

$$V_s = r \cdot \sum_{i}^{săp} S_{si} \quad , \quad V_u = r \sum_{j}^{ump} S_{uj}$$

Conform metodei distanței aplicabile, folosite cu preponderență în România [10], [11] pentru calculul volumelor de terasament, volumul de săpătură aferent unui profil de săpătură (volumul întreprofilului) este:

$$V_{si} = r \cdot S_{si}$$

și volumul de umplutură aferent unui profil de umplutură este:

$$V_{uj} = r \cdot S_{uj}$$

Aceeași metodă se aplică și în cazul zidurilor de sprijin

$$V_{zid} = r \cdot V_{zi}$$

Funcția-obiectiv f exprimă costul total al lucrărilor de terasamente și ziduri de sprijin. Autorul lucrării [10] a considerat că alte costuri de suprastructură și de exploatare sînt relativ constante într-un larg ecart al variației posibile a liniei roșii pe un traseu dat și din această cauză să nu contribuie sensibil la poziționarea optimă a liniei roșii. In același timp trebuie recunoscut că ponderea lucrărilor de terasament și de ziduri de sprijin în lucrările de infrastructură a drumurilor crește cu accidentarea reliefului şi cu poziţia liniei roşii în raport cu formele de relief. Din aceste motive s-a apreciat că funcţia obiectiv exprimată de relaţia (4-2-11) este suficientă pentru a contribui la determinarea poziţiei optime a liniei roşii.

4-2-3. Soluţia procesului de calcul.

Pentru aplicarea metodei gradientului autorul lucrării [10] a ales procedeul lui L.V. Booth reţinînd din ecuaţia [4-2-3] numai termenul de ordinul unu.

Termenul 2 poate fi neglijat deoarece nu contribuie decît într-o măsură redusă la determinarea mărimii gradienţilor. Simplificarea se dovedeşte însă a fi substanţială în ceea ce priveşte economia de timp de calcul pe calculatorul electronic.

Aşa cum s-a arătat este posibil că prin aplicarea acestei metode să se determine sensul şi mărimea cu care urmează să se modifice variabilele Z_i în procesul de calcul al elaborării liniei roşii optime.

Această determinare este posibilă în cadrul procesului de calcul prin parcurgerea următorilor paşi ai algoritmului conceput:

1.- Potrivit unei soluţie iniţiale posibile de linie roşie schiţată de proiectant se citesc chiar grafic cu cît mai multă precizie cotele iniţiale

$$Z_i^o = \left(Z_1^o , Z_2^o, \dots, Z_i^o, \dots, Z_n^o \right)$$

2.- Se calculează gradientul funcţiei-obiectiv pentru seria de valori iniţiale Z_i^o

$$d_i^o = \nabla f (Z_i^o) = \left[\frac{\partial f}{\partial z_1} , \frac{\partial f}{\partial z_2} , \dots \frac{\partial f}{\partial z_n} \right] \qquad (4-2-12)$$

3.- O soluţie mai bună decît cea iniţială, definită de Z_i^o se va obţine dacă se aplică relaţia

$$Z_i^1 = Z_i^o + \lambda d_i^o \qquad (4-2-13)$$

unde λ este un scalar arbitrar pozitiv şi constant în cadrul fiecărei iterativ.

4.-Relaţia (4-2-13) furnizează noile valori care se înlocuiesc în toate restricţiile menţionate luate însă ca stricte egalităţi. In felul acesteia fiecare restricţie poate fi rezolvată furnizînd o anumită valoare a parametrului λ : dintre toate valorile λ furnizate de fiecare restricție, se alege λ cel mai mic pozitiv pe care-l vom denumi λ_{min}. Restricțiile pentru care parametrul λ rezultă negativ sau zero sînt îndeplinite pentru setul de valori inițiale Z_i^o.

5.-Avînd λ determinat ca λ min, este posibil să se determine noul set de valori Z_i^1 cu ajutorul relației (4-2-13)

Rezultă deci că modificarea cotelor inițiale Z_i^o se face cu cea mai mică mărime pozitivă a parametrului λ din neîndeplinirea uneia dintre restricții. Din numeroase studii efectuate aplicînd această metodă în cazul liniei roșii la drumuri a rezultat că restricția care dela început furnizează valorile λ cele mai mari este cea referitoare la compensarea volumelor de terasamente. In baza acestei observații a fost posibil să se determine și sensul modificărilor Z_i^o pentru obținerea noilor valori Z_i^1. Dacă pentru cotele Z_i^o volumul de săpătură este mai mare decît cel de umplutură $V_S > c\ V_u$ (c este un coeficient) precum și în cazul cînd $V_s < c$ Vu este necesar ~~ca~~ cotele picheților cu linia roșie în săpătură să crească, pentru a se micșora volumul de săpătură, iar cotele picheților cu linia roșie în umplutură să scadă pentru ca egalitatea să se realizeze pentru cel mai mic volum de terasamente posibil. Este necesar însă ca cotele picheților să se modifice cu mărimi diferite după cum $V_s > c$Vu sau $V_s < c$Vu ținînd seama de faptul că gradienții funcției obiectiv a intreprofilelor de săpătură sînt mult mai mari decît gradienții funcției-obiectiv a intreprofilelor de umplutură și anume proporționali cu costul săpăturii și transportul (C_{st}) respectiv costul umpluturii C_u . Procesul de calcul se modifică deci, în primul rînd, prin afectarea lui λ_{min} cu sensul minus astfel încît deplasarea obținută să conducă la minimizarea atît a săpăturilor cît și a umpluturilor (cotele de săpătură să crească, cele de upluturǎ să scadă).

Gradienții fiind afectați de costuri diferite ca mărime, vor conduce la ~~depășire~~ deplasări diferite: mai mari pentru săpătură și mai mici pentru umplutură, ceeace convine minimizării funcției obiectiv. In cazul $V_s > V_u$

$$\text{Săp.} \quad Z_i^1 = Z_i^o - d_i^o(-\lambda_{min}) \qquad (4\text{-}2\text{-}14)$$

$$\text{Umpl.} \quad Z_j^1 = Z_j^o + d_i^o(-\lambda_{min}) \qquad (4\text{-}2\text{-}15)$$

In cazul în care $V_u > V_s$, deoarece $C_u < C_{st}$ procesul de calcul trebuie inversat, proporțional cu C_u și C_{st} pentru obținerea procesului simetric de minimizare:

$$\text{Săp.} \quad Z_i^1 = Z_i^o - d_i(-\lambda_{min}) \cdot \frac{C_u}{C_{st}} \qquad (4\text{-}2\text{-}16)$$

$$\text{Umpl.} \quad Z_i^1 = Z_i^o + d_i(-\lambda_{min}) \frac{C_{st}}{C_u} \qquad (4\text{-}2\text{-}17)$$

In cazul îndeplinirii de la începutul restricției $V_s = c\, V_u$ procesul de calcul continuă cu verificarea restricțiilor.

6.- Avînd noul set de valori Z_i^1 se repetă pașii de la 2 la 6 la fiecare iterație determinîndu-se o nouă valoare λ_{min} pozitiv din ansamblul restricțiilor, precum și volumele de săpătură și umplutură totale V_s și V_u

După cum se știe suma $V_s + V_u$ este minimă și deci funcția obiectiv este minimă, cînd produsul $V_s \cdot V_u$ = constant, iar $V_u = V_s$, condiții cuprinse în modelul matematic pentru precizarea iterației în care se îndeplinește condiția de minim a funcției obiectiv.

7.- Din momentul în care, la pasul 6, condiția de minim a funcției obiectiv a fost îndeplinită, procesul de calcul folosind metoda gradientului încetează deoarece numai există criteriu pentru modificarea cotelor Z_i^t (unde Z_i^t reprezintă suita de cote Z_i la iterația t). Modelul matematic continuă cu verificarea restricțiilor.

4-2-4. Aplicarea metodei gradientului în procesul de elaborarea liniei optime la profilul longitudinal.

La elaborarea funcției obiectiv s-a stabilit dependența ei de cotele variabilelor Z_i ale liniei roșii, ceilalți termeni - costul umpluturii C_u, costul săpăturii și transportul în umpluturi C_{ST}, costul unui m^3 de zidă[în ziduri]rio) de sprijin C_Z, echi[echidistanta]dis~~tan~~ța dintre pichete - fiind constanți pentru un drum dat.

In aceste condiții determinarea gradientului funcției obiectiv se face pornind de la suprafața care conține atît variabilele Z_i, cît și proiecțiile talusurilor pe orizontală prezentată în formulele (2-13-a) ÷ (2-22-a)

3a.- Pentru secțiunea de cale în săpătură (fig. 2-7-a) a fost stabilită relația de calcul a suprafeței (2-13-a) Folosind relația ajutătoare ce precod relaţia (2-13-a) explicitînd x_{1s} şi x_{1d} în funcţie de Z_1 şi ordinînd după Z_1 expresia suprafeţei de săpătură devine:

$$S_{si} = -(b_{si}+b_{si})Z_1 + \frac{b_{si}+b_{si}}{2}(C_{1s}+C_{1d}) + \frac{Z_1^2}{2(t_s+p_1)} - \frac{C_{1s}Z_1}{t_s+p_1} + \frac{C_{1s}^2}{2(t_s+p_1)} + \frac{Z_1^2}{2(t_s-p_1)} -$$

$$- \frac{C_{1d}Z_1}{t_s-p_1} + \frac{C_{1d}^2}{2(t_s-p_1)} \qquad (4\text{-}2\text{-}18)$$

b_{si}, t_s nu sînt cu necesitate egali pe cele 2 jumătăţi de platformă ale drumurilor, fiecare jumătate de platformă b_{si} poate avea valori diferite după cum talusul de săpătură t_s poate fi diferit pe o parte şi cealaltă a secţiunii, valorilerlor concrete fiind scrise pentru fiecare pichet al drumului.

Derivînd (4-2-18) în raport cu Z_1 se obţine:

$$\frac{dS_{si}}{dZ_1} = -(b_{si}+b_{si}) + \frac{C_{1s}}{t_s+p_1} - \frac{Z_1}{t_s+p_1} - \frac{C_{1d}}{t_s-p_1} - \frac{Z_1}{t_s-p_1}$$

$$= -(b_{si}+b_{si}) - \left(\frac{C_{1s}-Z_1}{t_s+p_1}\right) - \left(\frac{C_{1d}-Z_1}{t_s-p_1}\right) \qquad (4\text{-}2\text{-}19\ a)$$

în care, conform relaţiilor ajutătoare, cel de al doilea şi treilea termen reprezintă proiecţiile talusurilor pe orizontală, respectiv x_{1s} şi x_{1d}. Deci

$$\frac{d\,S_{si}}{d\,Z_1} = -(b_{si} + b_{si} + x_{1s} + x_{1d}) \qquad (4\text{-}2\text{-}19\ b)$$

Ţinînd seama că funcţia-obiectiv a unui întreprofil este afectată de echidistanţa dintre picheţi r şi de costul de săpătură şi transport C_{ST}, atunci gradientul funcţiei-obiectiv pentru întreprofilul corespunzător va fi

$$\frac{\partial f_{si}}{\partial Z_i} = -(b_{si} + b_{si} + x_{1s} + x_{1d}) \cdot r \cdot C_{ST} \qquad (4\text{-}2\text{-}20)$$

Totodată, ordinînd termenii în relaţia suprafeţei (2-13-a) se obţine

$$S_{si} = -Z_1\left(b_{si}+b_{si}+\frac{x_{1s}}{2}+\frac{x_{1d}}{2}\right) + \frac{C_{1s}}{2}(b_{si}+b_{si}+x_{1s}) + \frac{C_{1d}}{2}(b_{si}+b_{si}+x_{1d})$$

$$(4\text{-}2\text{-}21)$$

Relaţiile de calcul (4-2-20), (4-2-21) rămîn aceleaşi şi în cazul în care linia terenului are înclinare inversă celei din fig. 2-7-a precum şi în cazurile în care $C_1 = Z_1$ sau $p_1 = 0$

In cazul profilului transversal în săpătură prevăzut cu zidul de sprijin (fig. 2-7-b) relaţia ce exprimă suprafaţa (2-14-a), conform aceleiaşi metode de mai sus gradientul funcţiei-obiectiv a intreprofilului de săpătură va fi egal cu

$$\frac{\partial f_{si}}{\partial z_i} = -(b_{si}+b_{si}+x_{is}+x_{id}+ 2.62)\, r.C_{ST} \qquad (4-2-22)$$

Pentru zidul de sprijin cu adîncimea de fundare $h_f = 1{,}4$ m şi costul unui m^3 de zidărie C_Z hradientul funcţiei obiectiv este

$$\frac{\partial f_{Zi}}{\partial Z_i} = 2{,}62.r.C_Z \qquad (4-2-23)$$

In acest caz se obţin:

-gradientul întregii secţiuni a întreprofilului, inclusiv pentru zidul de sprijin

$$\frac{\partial f_{si}}{\partial z_i} = -\left[b_{si}+b_{si}+x_{is}+x_{id}+2{,}62\left(1 - \frac{C_Z}{C_{ST}}\right)\right] r.C_{ST} \qquad (4-2-24)$$

-Suprafaţa de săpătură ordonată după Z_i

$$S_{si} = -Z_i\left(b_{si}+b_{si}+ \frac{x_{is}}{2} + \frac{x_{id}}{2}\right) + C_{is}\left(\frac{b_{si}+b_{si}+x_{is}+2{,}62}{2} +2{,}62\right) + \frac{C_{id}}{2}\left(b_{si}+b_{si}+x_{id}\right)$$

(4-2-25)

-Secţiunea zidului de sprijin

$$V_{Z_{si}} = 2{,}62\,(C_{is} - Z_i) \qquad (4-2-26)$$

3.b.- <u>Pentru profilul transversal în umplutură (fig. 2-8-a</u>) se obţine gradientul funcţiei a întreprofilului în acelaşi mod

$$\frac{\partial f_{ui}}{\partial Z_i} = (b_{ui}+ b_{ui}+ x_{is}+ x_{id})\, r.C_u \qquad (4-2-27)$$

şi suprafaţa

$$S_{ui} = Z_i\left(b_{ui}+b_{ui}+ \frac{x_{is}}{2} + \frac{x_{id}}{2}\right) - \frac{C_{is}}{2}\left(b_{ui}+b_{ui}+x_{is}\right) - \frac{C_{id}}{2}\left(b_{ui}+b_{ui}+x_{id}\right)$$

(4-2-28)

In cazul (fig. 2-8-b), în care există zidul de sprijin, se obţine - funcţia obiectiv a întreprofilului

$$\frac{\partial f_{ui}}{\partial Z_i} = \left[b_{ui}+b_{ui}+x_{id}+2{,}62\left(\frac{C_Z}{C_u} - 0{,}3\right)\right] r.C_u \qquad (4-2-29)$$

-suprafaţa de umplutură ordonată după Z_i

$$S_{ui} = Z_i\left(b_{ui}+b_{ui}+ \frac{x_{id}}{2} - 0{,}786\right) - C_{is}\left(\frac{b_{ui}+b_{ui}}{2} - 0{,}786\right) - \frac{C_{id}}{2}\left(b_{ui}+b_{ui}+x_{id}\right)$$

4-2-30)

-secţiunea zidului de sprijin

$$V_{Z_{ui}} = 2{,}62\left(Z_i - C_{is}\right) \qquad (4\text{-}2\text{-}31)$$

In ceea ce priveşte relaţiile ce exprimă gradienţii este de observat că:

cei de săpătură rezultă cu semnul minus, iar cei de umplutură cu semnul plus

la aceiaşi mărime a secţiunilor gradienţii ce exprimă săpătură sînt mai mari decît cei ce exprimă umplutură

intervenţia zidurilor de sprijin face să crească diferenţa dintre mărimile gradienţilor.

3.c.- <u>Pentru profilul transversal mixt</u> fig. 2-9-a se obţin

-gradientul funcţiei obiectiv a intreprofilului:

$$\frac{\partial f_{mi}}{\partial Z_i} = \left(x_{is}+x_1\right) r \cdot C_u - \left(x_2+x_{id}\right) r \cdot C_{ST} \qquad (4\text{-}2\text{-}32)$$

-suprafeţele ordonate după Z_i

$$S_{ui} = Z_i \, \frac{x_{is}+x_1}{2} - C_{is}\, \frac{x_{is}+x_1}{2}$$

$$S_{si} = -Z_i \, \frac{x_2+x_{id}}{2} + C_{is}\, \frac{x_2+x_{id}}{2} \qquad (4\text{-}2\text{-}33)$$

In cazul fig. 2-9-b se obţine

-gradientul funcţiei obiectiv

$$\frac{\partial f_{mi}}{\partial Z_i} = \left[x_1 + 2{,}62\left(\frac{C_z}{C_u} - 0{,}3\right)\right] r \cdot C_u - \left(x_2 + x_{id}\right) r \cdot C_{St} \qquad (4\text{-}2\text{-}34)$$

-suprafeţele ordonate după Z_i

$$S_{ui} = Z_i\left(\frac{x_1}{2} - 0{,}785\right) + C_{is}\left(0{,}786 - \frac{x_1}{2}\right)$$

$$S_{si} = -Z_i \, \frac{x_2+x_{id}}{2} + C_{id}\, \frac{x_2+x_{id}}{2} \qquad (4\text{-}2\text{-}35)$$

-secţiunea zidului de sprijin

$$V_{Z_{ui}} = 2{,}62\left(Z_i - C_{is}\right) \qquad (4\text{-}2\text{-}36)$$

In cazul fig. 2-9-c se obţin

-gradientul funcţiei obiectiv

$$\frac{\partial f_{mi}}{\partial Z_i} = \left[x_1 + 2{,}62\left(\frac{C_z}{C_u} - 0{,}3\right)\right] r \cdot C_u - \left[x_2 + x_{id} + 2{,}62\left(1 + \frac{C}{C}\right)\right] r \cdot C_{ST} \qquad (4\text{-}2\text{-}37)$$

-suprafeţele ordonate după Z_i

$$S_{ui} = Z_i\left(\frac{x_1}{2} - 0,786\right) + C_{is}\left(0,786 - \frac{x_1}{2}\right) \qquad (4-2-38)$$

$$S_{si} = -Z_i\left(\frac{x_2 + x_{id}}{2} + 2,62\right) + C_{id}\left(\frac{x_2 + x_{id}}{2} + 2,62\right)$$

-secţiunile zidurilor de sprijin

$$V_{Z_{ui}} = 2,62(Z_i - C_{is})$$

$$(4-2-39)$$

$$V_{Z_{si}} = 2,62(C_{id} - Z_i)$$

Ca şi în cazurile precedente amintite relaţiile de calcul stabilite mai sus rămîn aceleaşi şi în cazul în care linia terenului are înclinare inversă celor din figurile (2-7-b) şi (2-9-b).

Totodată este menţionat că de la primul set de cote Z_i^o ca şi în cazul iteraţiilor următoare, variabile Z_i iau valori bine precizate. Termenii x_{is} şi x_{id} se determină cu uşurinţă din relaţiile ajutătoare astfel încît, atît gradienţii funcţiei obiectiv a intreprofilelor cît şi suprafeţele, iau şi ele valori bine definite.

Cu ajutorul relaţiilor stabilite se determină:

- Suprafaţa umpluturii S_{ump}, suprafaţa săpăturii $S_{săp}$, suprafaţa secţiunii zidului de sprijin S_{zid} în fiecare pichet al drumului
- Volumul umpluturii V_{ump}, volumul săpăturii $V_{săp}$, volumul zidului de sprijin V_{zid} pe intreprofile prin multiplicarea suprafeţelor cu distanţa aplicabilă r, precum şi pe întregul sector de drum considerat, prin însumarea volumelor intreprofilelor.
- Costul fiecărui intreprofil, prin înmulţirea volumelor cu costuri unitare corespunzătoare C_u, C_{ST}, C_Z precum şi costul total, prin însumarea costurilor intreprofilelor.
- Gradienţii necesari trecerii de la un pas la altul al algoritmului, în determinarea poziţiei optime a liniei roşii.

4-3. O metodă de programare neliniară dat de I. Marusciac și F. Radulescu și posibilitatea aplicării ei în elaborarea liniei roșii optime.

Se poate aplica o metodă de rezolvare a problemei de programare convexă dată de autorii lucrărilor [23], [24] în elaborarea liniei roșii optime la profilul longitudinal.

In cele ce urmează se prezintă această metodă:

4-3-1. Descrierea metodei.

Fie $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ o funcție de n variabile $x_1, x_2, \dots, x_n$ continuă și care admite derivate f'_{x_i} $(i=1,2,\dots,n)$ continue într-o regiune Ω din spațiul euclidian al variabilelor $x_1, x_2, \dots, x_n$ definită de inegalitățile

$$\Delta_i(x) = \sum_{k=1}^{n} a_{ik}x_k - b_i \geqslant 0 \qquad , i = 1, 2, \dots, m \qquad (4-3-1)$$

In cele ce urmează, se va presupune că mulțimea Ω nu este vidă și că funcția $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ este o funcție convexă pe punctele mulțimii Ω adică pentru orice punct $x^0=(x_1, \dots, x_n^0)$ din corpul finit de

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) \leqslant f(x_1^0, x_2^0, \dots, x_n^0)$$

este un corp convex.

Problema de programare de care ne ocupăm este următoarea:

Să se găsească minimul funcției $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ în condițiile ca punctul $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ să aparțină mulțimii Ω

Se observă că dacă unul din punctele care realizează minimul absolut al funcției $f(x_1, \dots, x_n)$ este conținut în Ω atunci acesta constituie soluția problemei. De aceea se presupune că punctele de minim absolut nu aparțin lui Ω

Se trece acum la descrierea algoritmului.

Se pleacă dela un punct arbitrar $x^0=(x_1^0, \dots, x_n^0)$ din domeniul Ω și se consideră suprafața de nivel

$$f(x_1, \dots, x_n) = f(x_1^0, \dots, x_n^0) \qquad (4-3-2)$$

Se presupune mai întîi că în x avem $\Delta_i(x) > 0$, i = 1, 2, ..., m. Din acest punct deplasarea se face pe direcția gradientului funcției $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ spre interiorul corpului

$$f(x) \leq f(x^0) \qquad (4-3-3)$$

unde s-a notat pentru prescurtare cu $x=(x_1, \dots, x_n)$, $x^0=(x_1^0, \dots, x_n^0)$ pînă ce se întîlnește cu unul din planele

$$\Delta_i(x) = 0 \qquad i = 1, 2, \dots, m \qquad (4-3-4)$$

sau pînă la punctul în care $f(x)$ ia valoarea minimă.

Pentru aceste se calculează gradientul funcției-obiectiv $f(x)$ în punctul x^0, adică vectorul $Z^0 = (\zeta_1^0, \dots, \zeta_n^0)$ unde

$$\zeta_k = \left[\frac{f_{x_k}}{\pm\sqrt{\sum f'^2_{x_k}}} \right]_{x=x_0} \qquad k = 1, 2, \dots, n \quad 4-3-5$$

și se alege semnul din fața radicalului în așa fel ca

$$\left[\frac{d}{dt} f(x_0 + tZ^0) \right]_{t=0} < 0$$

adică funcția $f(x)/(x=x^0+tz^0)$ să descrească pe această direcție.

Se calculează apoi valorile lui t din expresiile

$$\sum_{k=1}^{n} a_{ik}(x_k + t\zeta_k^0) = b_i \qquad i = 1, 2, \dots, m$$

adică

$$t = t_i = -\frac{\Delta_i(x^0)}{\sum_{k=1}^{n} a_{ik}\zeta_k^0} \qquad i = 1, 2, \dots, m$$

Fie $\tau_0' = \min\limits_{(i)} t_i > 0$

se presupune că τ_0' este atins pentru $i = 1$ și numai pentru aceasta. (In caz că minimul este atins pentru mai mulți indici, acest pas nu există și trece dintr-o dată la pasul următor)

Se calculează apoi minimul funcției $g(t) = f(x^0 + tZ^0)$

Fie τ_0'' cea mai mică valoare a lui t pentru care $g(t)$ își atinge minimul. Se notează cu $\tau_0 = \min(\tau_0', \tau_0'')$

A doua aproximație va fi punctul $x^1 = x^0 + \tau_0 Z^0$

Dacă $\tau_0 < \tau_0'$ atunci punctul x^1 joacă rolul lui x^0 și, prin urmare, se trece la punctul x^2 urmînd aceeași cale prin care s-a trecut de la x^0 la x^1.

Dacă $\tau_0 = \tau_0'$ adică punctul x^1 se găsește în planul $\Delta_1(x) = 0$, se consideră suprafața de nivel $f(x) = f(x^1)$ și se determină versorul gradientului funcției $f(x)$ în punctul x^1 după formulele (4-3-5), luate în punctul x^1 alegînd și aici semnul din fața radicalului astfel ca funcția $f(x)$ să fie descrescătoare, adică aşa încît

$$\left[\frac{d}{dt} f(x^1 + tv^1)\right]_{t=0} < 0$$

unde cu $v^1=(v_1^1, v_2^1, \ldots, v_n^1)$ s-a notat versorul gradient al funcţiei $f(x)$ în punctul x^1.

Dacă pentru t suficient de mic punctele $x = x^1 + tv^1$ verifică toate ecuaţiile sistemului (4-3-1), atunci se deplasează în continuare pe această direcţie. Pentru aceasta se observă că e suficient să se verifice numai inegalitatea $\Delta_1(x^1 + tv^1) > 0$, ceeace revine la a verifica expresia

$$\sum_{k=1}^{n} a_{1k}v_k^1 \geq 0 \qquad (4-3-6)$$

deoarece din $\Delta_i(x^1) > 0$ pentru $i \neq 1$ rezultă că se are şi $\Delta_i(x^1 + tv^1) > 0$ dacă t este suficient de mic.

Dacă inegalitatea (4-3-6) este verificată, atunci din punctul x^1 deplasarea se face pe direcţia vectorului $z^1 = v^1$ ca şi în cazul precedent.

Dacă $\sum_{k=1}^{n} a_{1k} v_k^1 < 0$, atunci deplasarea se face de-a lungul proiecţiei versorului v^1 pe planul $\Delta_1(x) = 0$, adică se determină versorul $z_1=(\zeta_1^1, \ldots, \zeta_n^1)$ din formula, [48]

$$\zeta_k^1 = v_k^1 + \lambda_1 a_{1k} \qquad k= 1, \ldots, n \quad 4-3-7$$

unde λ_1 se determină punînd condiţia ca z^1 să fie conţinutul în planul $\Delta_1(x) = 0$ adică

$$\lambda_1 = - \frac{\sum_{k=1}^{n} a_{1k} v_k^1}{\sum_{k=1}^{n} a_{1k}^2}$$

Din punctul x^1 deplasarea se face pe direcţia versorului z^1 pînă se ajunge din nou fie la un alt plan de ecuaţie (4-3-1), fie la un punct de minim al funcţiei $f(x^1 + tz^1)$ în raport cu t.

Se presupune că procedînd în modul arătat mai sus s-a ajuns la un punct $x^p = (x_1^p, \ldots, x_n^p)$ pentru care

$$\Delta_1(x^p) = \Delta_2(x^p) = \dots = \Delta_q(x^p) = 0 \qquad 1 \le q \le n$$
$$\Delta_i(x^p) > 0 \qquad i = q+1, q+2, \dots, n$$

Se consideră şi de data aceasta suprafaţa de nivel $f(x) = f(x^p)$ şi se construieşte versorul gradient $v^p = (v_1^p, \dots, v_n^p)$ al funcţiei $f(x)$ în punctul x înspre interiorul corpului mărginit de suprafaţa $f(x) = f(x^p)$ adică calculînd componentele sale după formula

$$v_k^p = \left[\frac{f'_{x_k}}{\pm \sqrt{\sum f'^2_{x_k}}} \right]_{x = x^p} \qquad k = 1, 2, \dots, n \qquad (4\text{-}3\text{-}8)$$

şi alegînd semnul din faţa radicalului astfel ca

$$\left[\frac{d}{dt} f(x^p + t v^p) \right]_{t=0} < 0$$

Dacă acest versor este conţinut în domeniul Ω atunci deplasarea se face pe această direcţie pînă se ajunge la un nou punct x^{p+1}, care este sau punctul minim pentru $f(x)$, sau este situat pe un alt plan din planele (4-3-4) diferit de primele q plane.

Analitic aceasta se verifică analizînd semnul sumelor $\sum_{k=1}^{n} a_{ik} v_k^p$

Dacă

$$\sum_{k=1}^{n} a_{ik} v_k^p \geq 0 \qquad i = 1, 2, \dots, q$$

atunci versorul v^p se găseşte în domeniul Ω. In acest caz funcţia $f(x)$ poate fi micşorată mergînd pe această direcţie şi procedînd ca la primul pas.

Dacă există un plan $\Delta_{i_0}(x) = 0$, $(1 \le i_0 \le q)$ pentru care

$$\sum_{k=1}^{n} a_{i_0 k} v_k^p < 0$$

atunci versorul v^p nu intră în Ω şi deci nu se poate deplasa pe această direcţie. In acest caz deplasarea se face pe proiecţia versorului v^p pe muchia comună a planelor $\Delta_1(x) = 0, \dots, \Delta_q(x) = 0$ adică pe direcţia versorului $\zeta^p = (\zeta_1^p, \dots, \zeta_n^p)$ determinat din relaţia

$$\zeta_k^p = v_k^p + \sum_{j=1}^{q} \lambda_j a_{jk} \qquad k = 1, 2, \dots, n \qquad (4\text{-}3\text{-}9)$$

unde parametri $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_q$ se determină din condiţiile

$$\sum_{k=1}^{n} \left(v_k^p + \sum_{j=1}^{q} \lambda_j a_{jk} \right) a_{ik} = 0 \quad , \quad j = 1, 2, \dots, q \qquad (4\text{-}3\text{-}10)$$

Acest sistem poate fi rezolvat uşor, observînd că dacă se notează cu $a_i = (a_{i1}, a_{12}, \dots, a_{in})$, i = 1,2,...,m vectorii normali ai planelor (4-3-4), determinantul sistemului

$$\sum_{j=1}^{q} \left(\sum_{k=1}^{n} a_{jk} a_{ik} \right) \lambda_j = - \sum_{k=1}^{n} a_{ik} v_k \qquad (4\text{-}3\text{-}11)$$

sau $\sum_{j=1} (a^i a^j)\lambda_j = -(a^i v^p)$ (4-3-12)

este un determinant a lui Gram [4]

$$D = \begin{vmatrix} (a^1 a^1) & (a^1 a^2) & \dots & (a^1 a^q) \\ (a^2 a^1) & (a^2 a^2) & \dots & (a^2 a^q) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (a^q a^1) & (a^q a^2) & \dots & (a^q a^q) \end{vmatrix} \qquad (4\text{-}3\text{-}13)$$

Dacă se notează cu D_j determinantul corespunzător numărătorului lui λ_j adică

$$D_j = \begin{vmatrix} (a^1 a^1) \dots (a^1 a^{j-1}) & (a^1 v^p) & (a^1 a^{j+1}) \dots (a^1 a^q) \\ (a^2 a^1) \dots (a^2 a^{j-1}) & (a^2 v^p) & (a^2 a^{j+1}) \dots (a^2 a^q) \\ \dots \quad \dots \quad \dots & \dots & \dots \quad \dots \quad \dots \\ (a^q a^1) \dots (a^q a^{j-1}) & (a^q v^p) & (a^q a^{j+1}) \dots (a^q a^q) \end{vmatrix}$$

atunci

$$\lambda_j = -\frac{D_j}{D} \qquad (4\text{-}3\text{-}14)$$

Proiecţia z^p a gradientului v^p pe planele $A_i(x) = 0$ care trec prin punctul x^p se poate calcula din aproape în aproape după formulele următoare: [25], [23]

$$\begin{aligned} u^1 &= a^1 \\ u^2 &= a^2 + {}_{21}u^1 \\ u^3 &= a^3 + {}_{31}u^1 + {}_{32}u^2 \\ &\dots\dots\dots\dots \\ u^q &= a^q + \alpha_{q1}u^1 + \alpha_{q2}u^2 + \dots + \alpha_{q,q-1}u^{q-1} \\ z^p &= v^p + \alpha_{o1}u^1 + \alpha_{o2}u^2 + \dots + \alpha_{oq}u^q \end{aligned} \qquad (4\text{-}3\text{-}14b)$$

unde

$$\alpha_{ij} = -\frac{a_i u^{j'}}{u^j u^{j'}}, \quad i \quad j, \quad i \neq o$$

$$\alpha_{oj} = -\frac{v^p u^{j'}}{u^j u^{j'}}$$

$u^{j'}$ este matricea transpusă a matricii u^j

Deoarece în cazul nostru determinantul D este diferit de zero, căci vectorii $a^1,\dots,a^q$ sînt liniar independenţi rezultă că sistemul (4-3-12) este totdeauna compatibil. Prin urmare z^p se poate totdeauna determina şi dacă $z^p \neq 0$, atunci se ajunge la următoarele aproximaţii, mergînd pe această direcţie, la fel ca şi în cazurile precedente.

Dacă $Z^p=o$, atunci gradientul v este perpendicular pe muchia comună a planelor $\Delta_1(x)=o,\ \Delta_2(x)=o,\ \dots,\ \Delta_q(x)=0$ (4-3-15)
adică aceasta din urmă se află în planul tangent la suprafaţa de nivel $f(x)=f(x^p)$ şi în orice direcţie de pe această varietate $n-q$ dimensionată ne am deplasa, valoarea funcţiei creşte.

Condiţiile analitice pentru $Z^p=o$ se obţine din

$$v_k^p+\sum_{k=1}^{q}\lambda_j a_{jk}=0 \qquad k=1,2,\dots,n$$

Inlocuind pe λ_j cu valorile din (4-3-14) se obţine

$$D\,v_k^p-\sum_{j=1}^{q}D_j a_{jk}=o \qquad k=1,2,\dots,n \quad (4\text{-}3\text{-}16)$$

cea ce reprezintă tocmai condiţia ca muchia comună planelor (4-3-15) să fie conţinută în planul tangent la suprafaţa de nivel în punctul x^p.

Pentru a găsi o altă direcţie admisă, considerăm proiecţiile gradientului v^p pe planele (4-3-15), care determină după formule analoage cu (4-3-7), adică notînd cu $Z^i=(\zeta_1^i,\dots,\zeta_n^i)$ proiecţiile lui v^p pe planul $\Delta_i(x)=o$ se obţine

$$\zeta_k^i=v_k^p-\frac{a^i v^p}{a^i a^i}a_{ik}, \quad k=1,2,\dots,n \quad i=1,2,\dots,q$$

Se verifică dacă unul din vectorii Z^i se păstrează în Ω adică dacă

$$(a^i a^i)(a^j v^p)-(a^i v^p)(a^i a^j)\geqslant 0 \quad j=1,2,\dots,q \qquad (4\text{-}3\text{-}17)$$

pentru un i fixat. Dacă pentru un anumit $i=i_1$ are loc (4-3-17) atunci deplasarea se face pe direcţia Z^{i_1} Dacă inegalităţile (4-3-17) nu au loc pentru nici un $i=1,2,\dots,q$, atunci punctul x^p este un punct optimal, deoarece se poate arăta uşor că în acest caz orice direcţie care intră în Ω este de partea exterioară a planului tangent dus în punctul x^p la suprafaţa de nivel $f(x)=f(x^p)$.

Condiţia analitică de optim în acest caz este verificarea relaţiilor (4-3-16) şi în plus a relaţiilor

$$(a^i a^i)(a^{j_1} v^p)-(a^i v^p)(a^i a^{j_1})<0 \quad i=1,2,\dots,q \qquad (4\text{-}3\text{-}18)$$

pentru cel puţin un j_1 $(1\leq j_1\leq q)$

Să se presupună că s-a continuat procesul de mai sus ajungîndu-se într-un punct x^s în care se are

$$\Delta_1(x^s)=\Delta_2(x^s)=\dots=\Delta_r(x^s)=0 \qquad r\geqslant n$$

adică la un punct situat pe planele

$$\Delta_1 x = 0, \ldots, \Delta_r x = 0 \qquad (4\text{-}3\text{-}19)$$

Se consideră şi în acest caz suprafaţa de nivel $f(x^s)$ şi gradientul $v^s = (v_1^s, \ldots, v_n^s)$ al funcţiei $f(x)$ în punctul x^s, îndreptat înspre interiorul corpului definit de $f(x) \leqslant f(x^s)$

Dacă versorul v^s intră în Ω adică

$$\sum_{k=1}^{n} a_{ik} v_k^s \geqslant 0 \qquad i = 1, 2, \ldots, r \qquad (4\text{-}3\text{-}20)$$

atunci deplasarea se face pe direcţia acestui vector ajungînd astfel la un alt punct de aproximaţie mai bună.

Dacă printre expresiile $\sum_{k=1}^{n} a_{ik} v^s$, $i = 1, 2, \ldots, r$ există cel puţin una negativă, atunci se procedează în felul următor:

Fie ρ rangul matricei coeficienţilor sistemului $(4\text{-}3\text{-}19)$

Dacă $\rho <$ n, atunci planele $(4\text{-}3\text{-}19)$ au în comun o muchie dimensională şi se procedează, prin urmare, ca la cazul precedent, cînd prin punctul x^p trecem mai puţin de n plane din $(4\text{-}3\text{-}4)$.

Dacă $\rho =$ n atunci planele $(4\text{-}3\text{-}19)$ au în comun un punct (punctul x^s). Se consideră toate muchiile determinate de cîte n-1 plane din $(4\text{-}3\text{-}19)$ şi se proiectează vectorul gradient v^s pe aceste drepte. Fie de exemplu, muchia determinată de planele $\Delta_1(x) = 0, \ldots, \Delta_{n-1}(x) = 0$. Proiectîndu-se vectorul v^s pe această dreaptă şi notîndu-se cu $Z^s = (\zeta_1^{s}, \ldots, \zeta_n^{s})$ vectorul-proiecţie obţinut, se verifică dacă aceasta nu iese din domeniul Ω adică se are

$$\sum_{k=1}^{n} a_{ik} \zeta_k^{s} \geqslant 0 \qquad i = n, n+1, \ldots, r \qquad (4\text{-}3\text{-}22)$$

Dacă cel puţin pentru un indice $i = i_0$ $(n \leq i_0 \leq r)$ are inegalitatea contrarie, atunci nu se poate deplasa pe această direcţie. Dacă însă relaţiile $(4\text{-}3\text{-}22)$ au loc, atunci deplasarea se face pe această direcţie ajungînd astfel la un alt punct de aproximaţie mai bună. Dacă relaţiile $(4\text{-}3\text{-}22)$ nu sînt verificate pentru această muchie se consideră o altă muchie, pînă se ajunge la una pentru care relaţiile analoage cu $(4\text{-}3\text{-}22)$ sînt verificate.

In cazul cînd pentru nici una din aceste muchii relaţiile $(4\text{-}3\text{-}22)$ nu sînt verificate, atunci acest punct x^s este un punct optimal.

4-3-2. Aplicaţia metodei amintite în elaborarea liniei roşii.

Observăm că problema de alegerea liniei roşii la profilul longitudinal are şi forma problemei de programare neliniare. Funcţia obiectiv după cum s-a definit în $(4\text{-}2\text{-}11)$ este o funcţie de gradul 2 în raport cu Z pentru că suprafaţa de umplutură şi de săpătură este funcţie de gradul 1 de

In partea 4-2 s-a determinat gradientul acestei funcţii deci putem aplica metoda amintită în elaborarea liniei roşii. Noi vom rezolva problema în cazul în care să luăm în considerare numai cheltuielile de construcţie fiindcă în cazul general cheltuielile de exploatare depind atît de linia roşie a profilului longitudinal cît şi de factorii exploatării deci nu putem aplica această metodă.

Considerînd un profil longitudinal arbitrar al căii ferate am observat:

-cînd cotele liniei roşii sînt mici, atunci lungimea căii în umplutură este mică, iar lungimea căii în săpătură este mare şi în schimb, cînd cotele liniei roşii sînt mari, atunci lungimea căii în umplutură este mare, iar lungimea căii în săpătură este mică. Această variaţie a liniei roşii provoacă modificarea funcţiei obiectiv, adică funcţia-obiectiv are forma dinamică.

-un profil transversal care depinde de cota liniei roşii, poate fi umplutură sau săpătură. Această variaţie de formă (umplutură sau săpătură) provoacă modificarea în calculul gradientului funcţiei-obiectiv.

De aceea nu putem folosi întregul algoritm scris mai sus, ci să aplicăm acest algoritm cu puţină modificare. Să facem algoritmul în felul următor:

1./ Se dă un punct arbitrar $Z^0=(Z_1^0, Z_2^0, \ldots, Z_n^0)$ adică linia roşie iniţială cu cotele de proiectare $Z_1^0, Z_2^0, \ldots, Z_n^0$.

Se înlocuiesc cotele liniei roşii iniţiale în restricţiile (1-2-a), (1-2-b), (1-2-d) şi se caută restricţiile care sînt satisfăcute ca egalităţi. Restricţiile (1-2-c), (1-2-e) au fost satisfăcute cînd se alege linia roşie iniţială.

-Dacă nu sînt restricţiile satisfăcute ca egalităţi atunci punctul de pornire se află în interiorul domeniului Ω (domeniul Ω a variantelor), se trece la punctul 2 al algoritmului.

-Dacă sînt unele din restricţiile (1-2-a), (1-2-b), (1-2-d) satisfăcute ca egalităţi, de exemplu se notează aceste restricţii cu $\Delta_1(Z^0) = \Delta_2(Z^0) = \ldots = \Delta_q(Z^0) = 0$ atunci se trece la punctul 3 al algoritmului.

2./ Se calculează gradientul u^0 a funcţiei-obiectiv în punctul Z^0 după formulele (4-2-20) - (4-2-37) şi se alege semnul gradientului calculat în aşa fel ca $\frac{d}{dt} f(Z^0 + tu^0) < 0$ adică se alege semnul invers în formule (4-2-2e) (4-2-37) 3-a./ Se calculează valorile lui t din restricţiile (1-2-a), (1-2-b) (1-2-d) în care se consideră că Z este înlocuit prin $Z^0 + tu^0$ şi restricţiile sînt considerate ca egalităţi. Dintre aceste valori calculate se alege valoarea pozitivă minimă: $\tau_0' = \min t_i$

3-b./ Se calculează funcţia $g(t) = f(Z^0 + tu^0)$ şi se caută valoarea $t = \tau_0''$ pentru care $g(t)$ atinge minimul.

Dintre valorile calculate din (3-a) şi (3-b) se alege valoarea minimă $\tau_0 = \min(\tau_0', \tau_0'')$

4./ O nouă aproximaţia va fi punctul $Z^1 = Z^0 + \tau_0 u^0$ adică linia roşie a doua cu cotele de proiectare $Z^1 = (Z_1^1, Z_2^1, \dots, Z_n^1)$

Dacă $\tau_0 < \tau_0'$ atunci punctul Z^1 joacă rolul lui Z^0, prin urmare se repetă procedeul descris luînd ca punct de plecare acest punct Z^1. Această reluare a procedeului se aplică fie pînă cînd ne mulţumim cu aproximarea găsită a punctului de extrem, fie cînd unul dintre punctele obţinute se află pe frontiera domeniului Ω. In ultimul caz se trece la punctul 5 al algoritmului.

Dacă $\tau_0 = \tau_0'$ atunci punctul Z^1 se află pe frontiera domeniului Ω, mai precis pe unul din hiperplanele ce mărginesc domeniul Ω (restricţia corespunzătoare este verificată ca egalitate de acest punct)

5./ Se presupune că procedînd în modul arătat mai sus s-a ajuns la un punct $Z^p = (Z_1^p, Z_2^p, \dots, Z_n^p)$ pentru care există q restricţii satisfăcute ca egalităţi: $\Delta_1(Z^p) = \Delta_2(Z^p) = \dots = \Delta_q(Z^p) = 0$

Se calculează gradientul u^p al funcţiei obiectiv în acest punct şi se verifică formula (4-3-6)

Dacă acest vector este conţinut în domeniul Ω se întoarce punctul 3 al algoritmului.

Dacă acest vector nu este în domeniul Ω nu se poate deplasa pe această direcţie. In acest caz se proiectează gradientul u^p mai întîi pe hiperplanul $\Delta_1(Z^p) = 0$

Dacă această direcţie este admisă atunci se construieşte iteraţia următoare după cele scrise mai sus punctele 3,4 . In caz contrar se trece la proiecţia pe hiperplanul $\Delta_2(Z^p) = 0$ cu care se procedează la fel.

Dacă nici una din aceste proiecții nu furnizează o direcție admisă, atunci se proiectează gradientul u^p pe muchia comună planelor $\Delta_1(Z^P) = \Delta_2(Z^P) = \dots = \Delta_q(Z^P) = 0$. Această proiecție se calculează cu ajutorul formulelor (4-3-14b), (4-3-9)

Procesul de calcul se oprește cînd valoarea funcției-obiectiv nu mai descrește atunci cînd ea începe să crească. Deci în sfîrșitul fiecărei iterații trebuie să se calculeze valoarea funcției obiectiv și se compar această valoare cu cea obținută în iterația precedentă. Dacă funcția obiectiv ia valoarea mai mică decît cea obținută în iterația precedentă, se face continuă procedeul de calcul. In caz contrar se oprește procedeul și se ia valoarea funcției obiectiv în iterația înainte imediata.

Pentru cazul general cînd trebuie să se ia în considerare cheltuielile de exploatare se aplică următoarea măsură:

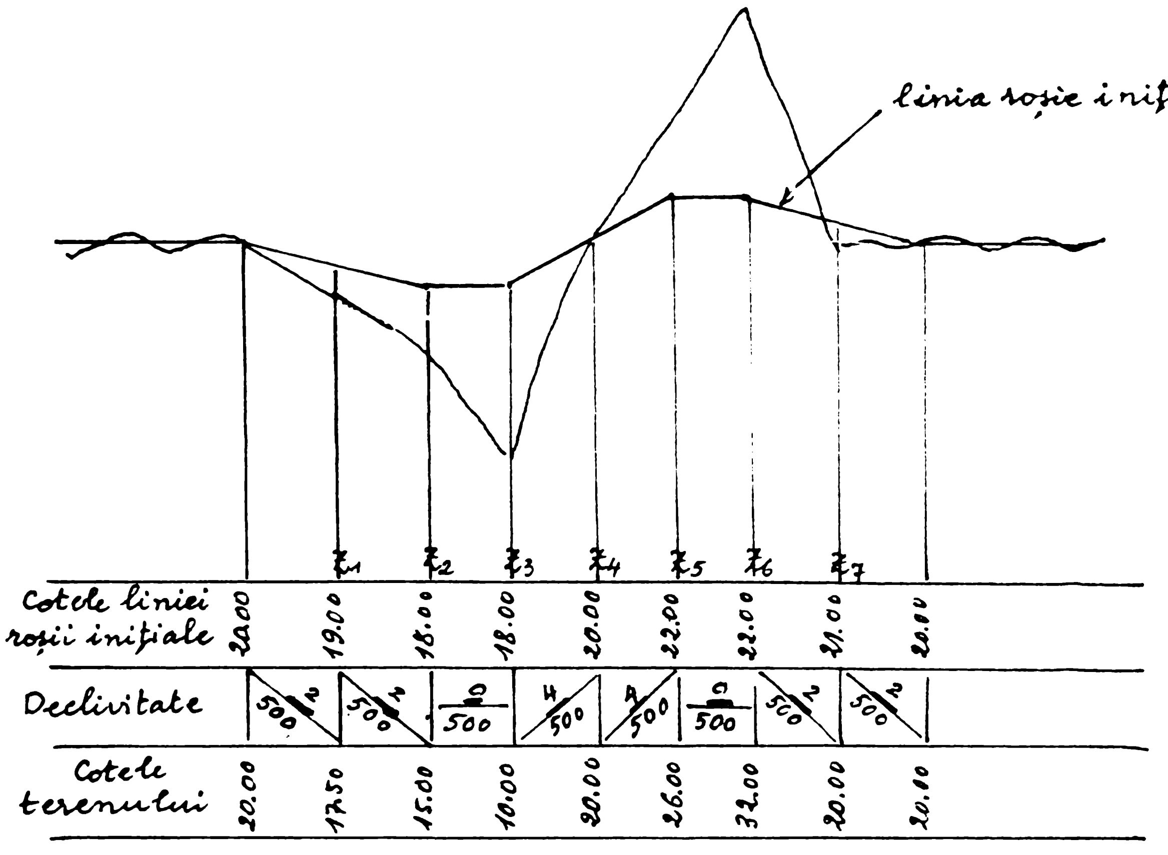
După ce s-a obținut linia roșie optimă pentru cheltuielile de construcții, în zona de groapă și în zona de vîrf ale profilului longitudinal se determină punctele 1,2,3,... ca și cele făcute în fig 4-1-4. Considerîndu-se că aceste puncte sînt punctele obligatorii prin care se trece variantele noi. Se realizează variantele noi cu ajutorul algoritmului scris mai sus. Pentru fiecare variantă se calculează cheltuielile de construcții, și de exploatare, apoi se determină valorile funcției-obiectiv după formula (1-1-a) și se compar între ele.

Ridicarea poziției liniei roșii în zona de groapă și coborîrea poziției ei în zona de vîrf se execută pînă cînd valoarea funcției obiectiv nu începe să crească. Astfel se obține soluția optimă a problemei,

4-3-3. Rezolvarea unui exemplu

Pentru claritatea algoritmului prezentat mai sus se mai folosește un exemplu dat în partea 4-1-4

fig. 4-3-1. Profilul longitudinal al căii ferate cu linia roșie inițială dată de proiectant.



Funcția obiectiv are forma următoare:

$$f(Z) = C_{ST} \sum_{i}^{săp} r_i S_{si} + C_u \sum_{j}^{ump} r_j S_{uj} \qquad (4\text{-}2\text{-}11)$$

Să se minimeze funcția cu condițiile:

-Suma valorii absolute a declivității liniei și rezistența dată de curbă este mai mică sau celmult egală cu valoarea maximă admisă a declivității la proiectarea profilului longitudinal al căii ferate:

$$\left| \frac{Z_{i+1} - Z_i}{l_i} \right| + r_{ci} \leq 8 ‰ \qquad (1\text{-}2\text{-}a)$$

-Diferența dintre valorile declivităților elementelor alăturate în profilul longitudinal este mai mică sau cel mult egală cu diferența admisă

$$\left| \frac{Z_{i+1} - Z_i}{l_i} - \frac{Z_i - Z_{i-1}}{l_{i-1}} \right| \leq 8 ‰ \qquad (1\text{-}2\text{-}b)$$

-Lungimea elementului de profil este mai mare sau cel puțin egală cu lungimea admisă la proiectare:

$$l_i \geq l_{adm} \;,\quad l_{adm} = 500^m \qquad (1\text{-}2\text{-}c)$$

-Nivelul platformei căii este mai mare sau cel puțin egal cu nivelul necesar Z^* al punctelor particulare $Z \geq Z^*$ (1-2-d)

-Punctele schimbărilor de declivitate pe profilul longitudinal nu sînt

amplasate pe poduri fără balast sau pe curbe de racordare (1-2-c)

In formulele amintite:

C_{ST} -costul săpăturii şi transportul în umpluturi, în unităţi băneşti. In acest exemplu C_{ST}= 5o unităţi băneşti

C_u -costul umpluturii, în unităţi băneşti. In acest exemplu C_u= 1o u.b.

S_{si} -suprafaţa profilului transversal de săpătură

S_{ui} -suprafaţa profilului transversal de umplutură

r_i -distanţa dintre picheţi

Z_i -cotă de proiectare a liniei roşii, în m

Rezolvarea acestei probleme poate fi descrisă în felul următor:

1.- Se dă o linie roşie iniţială ca cea prezentată în fig. 4-B-1

Se ia lungimea elementelor de profil de 5oo m. Cotele liniei roşii iniţiale sînt: Z_1^0= 19, Z_2^0= 18, Z_3^0= 18, Z_4^0= 2o, Z_5^0= 22, Z_6^0= 22, Z_7^0= 21

-Se notează pentru prescurtare cu Z^0= (19,18,18,2o,22,22,21) cotele liniei roşii iniţiale.

-Se înlocuiesc cotele liniei roşii iniţiale în restricţiile (1-2-a) (1-2-b) şi se observă că nu sînt restricţiile satisfăcute cu egalităţile, deci această linie se află în interiorul mulţimii Ω. (Pentru simplificare în acest exemplu nu se ia în considerare rezistenţa dată de curbă)

1-a. Se calculează gradientul funcţiei-obiectiv, în punctul Z^0 după formulele (4-2-2o)-(4-2-37). (In acest exemplu nu se iau în considerare picheţii intermediari dintre ~~extremele~~ extremităţile elementelor de profil)

$$u^0 = (-1050,\ -1500,\ -3000,\ -600,\ +8500,\ +14500,\ -900)$$

1-b. Se calculează apoi valorile lui t din restricţiile (1-2-a),(1-2-b) care se ia în considerare ca egalităţi şi se alege valoarea positivă minimă dintre ele

$$\tau_0' = \min t_1 > 0$$
$$\tau_0' = 0{,}00014$$

1-c. Se calculează ~~minul~~ minimul funcţiei $g(t) = f(Z^0 + tu^0)$ Pentru aceasta se pune

$$\frac{Z_1-19}{-1050} = \frac{Z_2-18}{-1500} = \frac{Z_3-18}{-3000} = \frac{Z_4-20}{-600} = \frac{Z_5-22}{+8500} = \frac{Z_6-22}{+14500} = \frac{Z_7-20}{-900} = t \qquad t \in$$

de unde

$$Z_1 = 19-1050t,\ Z_2 = 18+1500t,\ Z_3 = 18-3000t,\ Z_4 = 20-600t$$

BUPT

$$Z_5 = 22+85oot, \quad Z_6 = 22+145oot, \quad Z_7 = 2o-9oot$$

Inlocuindu-se aceste expresii în formulele (4-1-18) pentru calculul suprafeţei profilului longitudinal, se obţin:

$$S_1 = \left[6+1,5(19-1o5ot-17,5)\right](19-1o5ot-17,5) = 1.653.75ot^2 - 11o25t + 12,375$$

$$S_2 = \left[6+1,5(18-15oot-15)\right](18-15oot-15) = 3.375.ooot^2 - 225oot + 31$$

$$S_3 = \left[6+1,5(18-3ooot-1o)\right](18-3ooot-1o) = 13.5oo.ooot^2 - 9ooot + 144$$

$$S_4 = \left[6+1,5(2o-6oot-2o)\right](2o-6oot-2o) = 54o.ooot^2 - 36oot$$

$$S_5 = \left[9+(26-22-85oot)\right](26-22-85oot) = 72.25o.ooot^2 - 1445oot + 52$$

$$S_6 = \left[9+(32-22-145oot)\right](32-22-145oot) = 21o,25o.ooot^2 - 42o5oot + 19o$$

$$S_7 = \left[6+1,5(2o-9oot)\right](2o-9oot-2o) = 1.215.ooot^2 - 54oot$$

(In acest exemplu nu se iau în considerare suprafeţele profilelor ~~tr~~ transversale ale pichetilor intermediare dintre ~~extremele~~ extremităţile elementelor de profil)

Inlocuindu-se aceste valori ale lui S în funcţia-obiectiv şi se obţine:

$$g(t) = 1.o24.88o\ t^2 - 2.116\ t + 1$$

Valoarea lui t pentru care $g(t)$ atinge minmul este:

$$\tau_o'' = t = o,oolo2$$

Se alege valoarea cea mai mică a lui t dintre valorile τ_o' şi τ_o''

In acest caz această valoare este $t = \tau_o' = o,ooo14$

A doua aproximaţie va fi punctul $Z^1 = Z^o + tu^o$ adică linia roşie a doua cu cotele de proiectare:

$$Z^1 = (18,85,\ 17,79,\ 17,58,\ 19.92,\ 23.19,\ 24.o3,\ 2o.87)$$

2.- Inlocuind aceste cote în restricţiile (1-2-a), (1-2-b) şi se observă că restricţia următoare care este satisfăcută cu egalitatea:

$$\frac{Z_7 - Z_6}{5oo} - \frac{Z_6 - Z_5}{5oo} = 8‰$$

sau

$$Z_5 - 2Z_6 + Z_7 + 4 = 0$$

2.a- Calculind gradientul funcţiei-obiectiv se obţine:

$$u^1 = (-1oo5, -1437, -2874, +458o, +731o, +1246o, -86o)$$

Se verifică dacă vectorul u^1 intră în domeniu λ după formula (4-1-6)

$$(1 -2 +1)\begin{pmatrix} +731o \\ +1246o \\ -86o \end{pmatrix} < 0$$

ceeace se arată ca vector gradient u^1 nu este în Ω. Se construieşte proiecţia vectorului u^1 pe hiperplanul $Z_5 - 2Z_6 + Z_7 + 4 = o$ cu ajutorul formulelor (4-3-7)

$$u'^{1} = \begin{pmatrix} -1oo5 \\ -1437 \\ -2874 \\ +458o \\ +731o \\ +1246o \\ -86o \end{pmatrix} - \frac{1(+731o) -2(+1246o) +1(-86o)}{1^2 + (-2)^2 + 1^2}\begin{pmatrix} o \\ o \\ o \\ o \\ 1 \\ -2 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1oo5 \\ -1437 \\ -2874 \\ +458o \\ +1o388 \\ +63o4 \\ +2218 \end{pmatrix}$$

Se va deplasa în continuare de-a lungul vectorului u'^1

2.b- Ca şi în punctul 1-b se calculează valorile lui t din restricţiile (1-2-a), (1-2-b), pe care se ia în considerare ca egalităţi şi se alege valoarea pozitivă minimă dintre ele:

$$\tau_1' = \min t_i > 0$$

In cazul de faţă $\tau_1' = \frac{o,73}{58o8} = o,ooo126$

2.c- Se calculează funcţia $g(t) = f(Z^1 + tu'^1)$ ca şi în punctul 1-c şi se obţine $g(t) = 86728o\ t^2 - 2213\ t + 1$

Valoarea lui t pentru care $g(t)$ atinge minimul este $\tau_1'' = t = o,oo127$

Se alege valoarea cea mai mică dintre τ_1' şi τ_1'' adică se alege $t = \tau_1'$

A treia aproximaţie va fi punctul $Z^2 = Z^1 + tu'^1$ adică linia roşie a treia cu cotele de proiectare:

$Z^2 = (18.72,\ 17.61,\ 17.22,\ 2o.49,\ 24.49,\ 24.82,\ 21.15)$

3.- Inlocuind aceste cote în restricţiile (1-2-a), (1-2-b) şi se observă că restricţiile următoare care sînt satisfăcute cu egalităţile:

$$Z_4 - Z_5 - 4 = 0$$

$$Z_5 - 2Z_6 + Z_7 + 4 = 0$$

adică am ajuns deci în punctul Z^2 pe intersecţia dintre 2 hiperplane

$$Z_4 - Z_5 - 4 = 0 \quad \text{şi} \quad Z_5 - 2Z_6 + Z_7 + 4 = 0$$

3.-a- Gradientul funcţiei obiectiv u^2 calculat în punctul Z^2

este: $u^2 = -966, -1303, -2760, -747, +6010, +11680, -945$

Se verifică dacă vectorul u^2 întră în domeniu Ω după formula 4-3-6

$$(1 \; -1)\begin{pmatrix} -747 \\ +6010 \end{pmatrix} < 0$$

$$(1 \; -2 \; +1)\begin{pmatrix} +6010 \\ +11680 \\ -945 \end{pmatrix} < 0$$

ceace se arată că vectorul u^2 nu este în Ω Trebuie să se calculeze proiecţia vectorului u^2 pe muchia determinată de hiperplanele

$$z_4 - z_5 - 4 = 0$$

$$z_5 - 2z_6 + z_7 + 4 = 0$$

cu ajutorul formulelor 4-3-14 b

$$s^1 = (0 \; 0 \; 0 \; 1 \; -1 \; 0 \; 0)$$

$$s^2 = (0 \; 0 \; 0 \; 0 \; 1 \; -2 \; 1) + \alpha_{21}(0 \; 0 \; 0 \; 1 \; -1 \; 0 \; 0)$$

$$\alpha_{21} = -\frac{(0 \; 0 \; 0 \; 0 \; 1 \; -2 \; 1)\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}}{(0 \; 0 \; 0 \; 1 \; -1 \; 0 \; 0)\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}} = +\frac{1}{2}$$

$$s^2 = (0 \; 0 \; 0 \; \tfrac{1}{2} \; \tfrac{1}{2} \; -2 \; 1)$$

$$u'^2 = u^2 + \alpha_{a1}s^1 + \alpha_{b2}s^2$$

$$\alpha_{o1} = - \frac{(-966\ -1383\ -2760\ -747\ +6010\ +11680\ -945)\begin{pmatrix}0\\0\\0\\1\\-1\\0\\0\end{pmatrix}}{(0\ 0\ 0\ 1\ -1\ 0\ 0)\begin{pmatrix}0\\0\\0\\1\\-1\\0\\0\end{pmatrix}} = 3378$$

$$\alpha_{o2} = - \frac{(-966\ -1383\ -2760\ -747\ +6010\ +11680\ -945)\begin{pmatrix}0\\0\\0\\0.5\\0.5\\-2\\1\end{pmatrix}}{(0\ 0\ 0\ 0.5\ 0.5\ -2\ 1)\begin{pmatrix}0\\0\\0\\0.5\\0.5\\-2\\1\end{pmatrix}} = 3941$$

$$u'^2 = \begin{pmatrix}-966\\-1983\\-2760\\-747\\+6010\\+11680\\-945\end{pmatrix} + 3378\begin{pmatrix}0\\0\\0\\1\\-1\\0\\0\end{pmatrix} + 3941\begin{pmatrix}0\\0\\0\\0.5\\0.5\\-2\\1\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}-966\\-1383\\-2766\\+4602\\+4602\\+3799\\+3000\end{pmatrix}$$

3.-b Se calculează valorile lui t din restricțiile (1-2-a), (1-2-b) pe care și le ia în considerare ca egalități și se alege valoarea pozitivă minimă dintre ele $\tau_2' = \min t_1 > 0$

In cazul de față $\tau_2' = \frac{0.34}{3751}$

3.-c Se calculează minimul funcției $g(t) = f(Z^2 + tu'^2)$. Pentru aceasta se procedează calculul ca și în punctul 1-c și se obține

$$\tau_2'' = t > \tau_2'$$

deci se alege $t = \tau' = \frac{0.34}{3751}$

A 4-a aproximație va fi punctul $Z^3 = Z^2 + tu'^2$ adică soluția a 4-a cu cotele de proiectare:

$$Z^3 = (18.69,\ 17.55,\ 17.11,\ 20.67,\ 24.67,\ 24.97,\ 21.27)$$

Procedînd în continuu ca și cele amintite se obține soluția a 5-a cu cotele de proiectare:

$$z^4 = (18.16,\ 17.16,\ 17.16, 21.16,\ 25.16,\ 25.42,\ 21.68)$$

şi soluţia a 6-a cu cotele de proiectare

$$z^5 = (17.92,\ 18.00,\ 18.00,\ 22.00,\ 26.00,\ 27.00,\ 24.00)$$

care este aproape de soluţia găsită în rezolvarea acestei probleme cu metoda programării dinamice.

4-4 Metoda gradientului proiectat a lui Rosen şi posibilitatea aplicării ei în elaborarea liniei roşii la profilul longitudinal al căii ferate.

Metoda gradientului proiectat este o metodă de rezolvare a problemelor de programare neliniară convexă, cu restricţii liniare sau nu, unde funcţia obiectiv $f(x)$ este convexă şi diferenţiabilă în R^n [8], [12], [13], [22]

4-4-1. Descrierea algoritmului

In cele ce urmează se descrie algoritmul gradientului proiectat în cazul restricţiilor liniare.

Se consideră problema

$$\min f(x) \qquad (4\text{-}4\text{-}1)$$

cu restricţiile liniare

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j \leq b_i \quad , \quad i = 1, \dots , m$$

şi

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j = b_i \quad , \quad i = m+1, \dots , m_1 \qquad (4\text{-}4\text{-}2)$$

în care sînt incluse şi eventualele restricţii de nenegativitate pentru variabile.

Fie x^{k-1} o soluţie admisibilă a problemei la iteraţia $k-1$

Atunci

$$x^k = x^{k-1} + td^{k-1} \qquad (4\text{-}4\text{-}3)$$

unde vectorul $d^{k-1} \in R^n$ reprezintă direcţia de explorare, iar t se determină astfel încît noul punct x^k să satisfacă (4-4-2) şi evident $f(x^k) < f(x^{k-1})$

Se notează cu

$$I^{k-1} = \left\{ i \;\middle|\; \sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j^{k-1} = b \; , \; i = 1,2,\dots,m_1 \right\} \qquad (4\text{-}4\text{-}4)$$

mulţimea indicilor i ai restricţiilor care sînt satisfăcute cu egalitatea de către punctul x^{k-1}, şi

$$H_i^{k-1} = \left\{ x \;\middle|\; \sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j = b_i \quad , \quad i \in I^{k-1} \right. \qquad (4\text{-}4\text{-}5)$$

hiperplanele corespunzătoare restricţiilor i, $(i \in I^{k-1})$. Direcţia d^{k-1} este dată de proiecţia vectorului $-\nabla f(x^{k-1})$ pe varietatea liniară obţinută prin intersecţia hiperplanelor restricţii H_i, $i \in I^{k-1}$

Dacă se notează cu A_{k-1} matricea formată din vectorii linie $(a_{i1}, a_{i2}, \dots , a_{in})$, $i \in I^{k-1}$, atunci matricea de proiecţie a unui vector pe subspaţiul paralel cu varietatea liniară dată de intersecţia hiperplanelor restricţii care conţin punctul x^{k-1} este:

$$P_{k-1} = I - A'_{k-1} (A_{k-1} A'_{k-1})^{-1} A_{k-1} \qquad (4-4-6)$$

unde

I - matricea unitate

A'_{k-1} -matricea transpusă a matricei A_{k-1}

$(A_{k-1} A'_{k-1})^{-1}$ -matricea inversă

Prin urmare

$$d^{k-1} = P_{k-1} \left[-\nabla f(x^{k-1}) \right] \qquad (4-4-7)$$

Condiţia ca un punct astfel obţinut să fie optim este dat de teorema lui Rosen:

Condiţia necesară şi suficientă ca soluţia admisibilă x^{k-1} să fie optimă este ca

$$P_{k-1} \left[-\nabla f(x^{k-1}) \right] = 0 \qquad (4-4-8)$$

şi

$$(A_{k-1} A'_{k-1})^{-1} A_{k-1} \left[-\nabla f(x^{k-1}) \right] \geqslant 0 \qquad (4-4-9)$$

1.- Dacă punctul x^{k-1} este astfel în cît $P_{k-1}[-\nabla f(x^{k-1})] \neq 0$ se determină noul punct x^k cu ajutorul formulei (4-4-3), unde direcţia d^{k-1} se calculează conform relaţiei (4-4-7)

Pentru ca x^k să rămînă o soluţie admisibilă trebuie să verifice (4-4-2), deci

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j^{k-1} + t \sum_{j=1}^{n} a_{ij} d_j^{k-1} \leqslant b_i \quad , i=1,2, \dots , m$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j^{k-1} + t \sum_{j=1}^{n} a_{ij} d_j^{k-1} = b_i \quad , i= m+1, \dots, m_1$$

Rezultă

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} d_j^{k-1} \leqslant 0 \quad \text{pentru } i \in I^{k-1} \qquad (4-4-10)$$

Condiţie verificată pentru d^{k-1} dat de (4-4-7) şi

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} d_j^{k-1} = 0 \quad \text{pentru } i= m+1, \dots, m_1 \qquad (4-4-11)$$

Pentru $i \notin I^{k-1}$, $i=1,2,\dots,m$ trebuie ca

$$t \sum_{j=1}^{n} a_{ij} d_j^{k-1} \leqslant b_i - \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j^{k-1} \qquad (4-4-12)$$

Dacă (4-4-10) şi (4-4-11) sînt verificate, condiţia (4-4-12) este verificată pentru orice $0 \leqslant t \leqslant \tau_0$ unde

$$\tau_0' = \min_i \frac{b_i - \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j^{k-1}}{\sum_{j=1}^{n} a_{ij} d_j^{k-1}} \qquad \text{pentru } i \notin I^{k-1}, \ i=1,\dots,m \qquad (4\text{-}4\text{-}13)$$

şi $\sum_{j=1}^{n} a_{ij} d_j^{k-1} > 0$

$\tau_0' = \infty$ dacă nu există $i \notin I^{k-1}$, $i=1,2,\dots,m$

şi $\sum_{j=1}^{n} a_{ij} d_j^{k-1} > 0$

Pentru ca să se obţină o scădere maximă a funcţiei pe direcţia d^{k-1}, se consideră pasul $t \in (0, \tau_0')$ pentru care funcţia $g(t)$ să ia valoarea minimă adică

$$g(t) = \min_{t \in (0, \tau_0')} f(x^{k-1} + t d^{k-1}) \qquad (4\text{-}4\text{-}14)$$

Se determină astfel x^k şi procesul iterativ continuă

2. Dacă x^{k-1} verifică condiţia (4-4-8) şi este verificată şi condiţia (4-4-9), x^{k-1} este punctul de optim conform teoremei lui Rosen. Dacă (4-4-9) nu este îndeplinită, înseamnă că există cel puţin o componentă negativă a vectorului.

$$U = (A_{k-1} A_{k-1}')^{-1} A_{k-1}[-\nabla f(x^{k-1})] \qquad (4\text{-}4\text{-}15)$$

Există deci un indice i^*, $i^* \in I^{k-1}$ astfel încît $u_{i^*} < 0$

Notînd cu $\bar{A}_{k-1}$ matricea obţinută din A_{k-1} prin suprimarea liniei i, se determină matricea de proiecţie corespunzătoare cu ajutorul formulei (4-4-6) şi iteraţiile continuă.

4-4-2. Aplicaţia metodei gradientului proiectat a lui Rosen în elaborarea liniei roşii la profilul longitudinal.

După observaţii în partea 4-3-2 se poate aplica şi metoda amintită în elaborarea liniei roşii la profilul longitudinal al căii ferate. Algoritmul se face în felul următor:

1.- Plecînd de la un punct admisibil z^k situat pe frontiera domeniului Ω a variantelor, adică pornind de la o linie roşie iniţială dată de proiectant ca cotele de proiectare

$$z^k = (z_1^k, z_2^k, \dots, z_n^k)$$

Cu cotele de proiectare ale acestei linii roşii iniţiale există cel puţin una din restricţiile (1-2-a), (1-2-b), (1-2-d) satisfăcută ca egalitate te. Dacă pleeînd de la un punct arbitrar în interiorul domeniului Ω ajungem la un punct pe frontieră cu ajutorul algoritmului scris în partea 4-3-2. Se calculează gradientul $-\nabla f(Z)$ cu ajutorul formulelor (4-2-20) + (4-2-37).

2. Se determină matricea A^k, care este formată din coeficienții restricțiilor satisfăcuți cu egalități.

3. Se calculează matricea de proiecție P_k cu formula (4-4-6).

4. Se determină direcția d^k cu formula (4-4-7).

5. Se calculează valorile lui t din restricțiile (1-2-a), (1-2-b) (1-2-d) care sînt luate în considerare ca egalități și în aceste restricții Z este înlocuit prin $Z^k + td^k$. Dintre valorile calculate se alege valoarea pozitivă minimă $\tau_o' = \min t_1$

6. Se calculează funcția $g(t) = f(Z^k + td^k)$ și se caută valoarea lui t pentru care funcția $g(t)$ atinge minimul:

$$t = \tau_o''$$

7. Se alege valoarea minimă dintre τ_o' și τ_o''

$$t = \min(\tau_o', \tau_o'')$$

8. Se determină punctul $Z^{k+1} = Z^k + td^k$ adică se obține linia roșie a-k+1-a cu cotele de proiectare

$$Z^{k+1} = (Z_1^{k+1}, Z_2^{k+1}, \dots, Z_n^{k+1})$$

9. Se calculează valoarea funcției-obiectiv în punctul Z^{k+1} apoi se compară valoarea obținută cu cea calculată în punctul Z^k

Dacă valoarea funcției-obiectiv în punctul Z^{k+1} este mai mică decît cea calculată în punctul Z^k se repetă procedeul, luînd ca punct de plecare punctul Z^{k+1}.

Dacă valoarea funcției-obiectiv în punctul Z^{k+1} este mai mare decît cea calculat în punctul Z^k se oprește procedeul luînd ca punct de staționare punctul Z^k.

Pînă aici se obține linia roșie optimă pentru care cheltuielile de construcții sînt minime. In cazul în care trebuie să se ia în considerare și cheltuielile de exploatare, se face algoritmul la fel ca cel prezentat în sfîrșitul părții 4-3-2.

4-4-3 Rezolvarea unui exemplu

Pentru claritate se folosește și exemplu dat în partea 4-3-8

Rezolvarea acestei probleme se face în felul următor:

1.- Pornind de la un punct admisibil situat pe frontiera domeniului Ω adică de la linia roșie inițială dată de proiectant cu cotele de proiectare de exemplu de la punctul

$$z^1=(18.85,\ 17.79,\ 17.58,\ 19.92,\ 23.19,\ 24.03,\ 20.87)$$

- Se calculează gradientul funcției-obiectiv cu ajutorul formulelor (4-2-20)~(4-2-37). In acest exemplu nu se iau în considerare pichetii intermediari dintre extremele elementelor de profil

itățile

$$-\nabla f(z) \begin{pmatrix} -1005 \\ -1437 \\ -2874 \\ +4580 \\ +7310 \\ +12460 \\ -860 \end{pmatrix}$$

- Se înlocuiesc valorile lui $Z^1=(18.85,\ 17.79,\ 17.58,\ 19.92,\ 23.19,\ 24.03,\ 20.87)$ în restricțiile (1-2-a), (1-2-b) și se observă că restricția următoare care este satisfăcută cu egalitate de către punctul Z^1:

$$\left|\frac{Z_7-Z_6}{500}-\frac{Z_6-Z_5}{500}\right| = 8\,‰$$

$$\text{sau}\quad Z_5-2Z_6+Z_7+4=0$$

Se determină matricea $A_1=(0\ 0\ 0\ 0\ 1\ -2\ 1)$

Matricea transpusă

$$A_1'=\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ -2 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Se calculează matricea P_1 de proiecție după formula (4-4-6)

$$A_1\,A_1'=(0\ 0\ 0\ 0\ 1\ -2\ 1)\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ -2 \\ 1 \end{pmatrix}=6$$

$$(A_1\,A_1')^{-1}=\frac{1}{6}$$

$$A_1'(A_1 A_1')^{-1} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ -2 \\ 1 \end{pmatrix} \frac{1}{6} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1/6 \\ -2/6 \\ 1/6 \end{pmatrix}$$

$$A_1'(A_1 A_1')^{-1} A_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1/6 \\ -2/6 \\ 1/6 \end{pmatrix} (0\ 0\ 0\ 1\ -2\ 1) = \frac{1}{6} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -2 & 4 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$P_1 = I - A_1'(A_1 A_1')^{-1} A_1 = \frac{1}{6} \begin{pmatrix} 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 2 & 5 \end{pmatrix}$$

d^1 *este dată de* proiecţia gradientului $\nabla f(Z^1)$ pe hiperplanul $Z_5 - 2Z_6 + Z_7 + 4 = 0$

$$d^1 = P_1[-\nabla f(Z^1)] = \frac{1}{6} \begin{pmatrix} 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & [illegible] & [illegible] \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 2 & 5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -1005 \\ -1437 \\ -2874 \\ +4580 \\ +7310 \\ [illegible] \\ -860 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1005 \\ -1437 \\ -2874 \\ +4580 \\ +10338 \\ +6303 \\ +2218 \end{pmatrix}$$

Se calculează valorile lui t din restricţiile (1-2-a), (1-2-b) care sînt luate în considerare ca egalităţi şi se alege valoarea pozitivă minimă dintre ele:

$$\tau_0' = \min t_i > 0$$

In cazul de faţă $\tau_0' = 0,000126$

Apoi se calculează funcţia $g(t) = f(Z^1 + td^1)$. Pentru aceasta se pune

$$\frac{Z_1 - 18,85}{-1005} = \frac{Z_2 - 17,79}{-1437} = \frac{Z_3 - 17,58}{-2874} = \frac{Z_4 - 19,92}{4580} = \frac{Z_5 - 23,19}{10388} = \frac{Z_6 - 24,03}{6303} =$$

$$= \frac{Z_7 - 20,87}{2218} = t \qquad t > 0$$

de unde

$Z_1 = 18,85 - 1005t$, $Z_2 = 17,79 - 1437t$, $Z_3 = 17,58 - 2874t$, $Z_4 = 19,92 + 4580t$

$Z_5 = 23,19 + 10388t$, $Z_6 = 24,03 + 6303t$, $Z_7 = 20,87 + 2218t$

Inlocuindu-se aceste expresii în formulele (4-1-10) pentru calculul suprafeţei profilului longitudinal, se obţin:

$$S_1 = 1515\ 037\ t^2 - 10100\ t + 11$$

$$S_2 = 3097\ 453\ t^2 - 20650\ t + 28$$

$$S_3 = 12389\ 814\ t^2 - 82599\ t + 132$$

$$S_4 = 20976\ 400\ t^2 - 114500\ t + 1$$

$$S_5 = 107910\ 544\ t^2 - 151873\ t + 33$$

$$S_6 = 39690\ 000\ t^2 - 157500\ t + 136$$

$$S_7 = 7392\ 000\ t^2 + 19302\ t + 6$$

In acest exemplu nu se iau în considerare suprafeţele profilelor transversale ale pichetilor intermediare dintre extremităţile elementelor de profil

Inlocuindu-se aceste valori ale lui S în funcţia-obiectiv şi se obţine:

$$g(t) = 867\ 280\ t^2 - 2213\ t + 1$$

Valoarea lui t pentru care $g(t)$ atinge minimul este

$$\tau_0'' = t = 0{,}00127$$

- Dintre τ_0' şi τ_0'' se alege $t = \min(\tau_0', \tau_0'') = 0{,}000126$

- A doua aproximaţie va fi punctul $Z^2 = Z^1 + 0{,}000126\ d^1$ adică

$$Z^2 = (18{,}72,\ 17.61,\ 17.22,\ 20.49,\ 24.49,\ 24.82,\ 21.15)$$

2.- Se calculează gradientul funcţiei-obiectiv în acest punct şi se obţine:

$$-\nabla f(z^2) = \begin{pmatrix} -966 \\ -1383 \\ -2760 \\ -747 \\ 6010 \\ 11680 \\ 945 \end{pmatrix}$$

- Se înlocuiesc valorile lui $Z^2 = (18.72,\ 17.61,\ 17.22,\ 20.49,\ 24.49,\ 24.82,\ 21.15)$ în restricţiile (1-2-a), (1-2-b) şi se observă că restricţiile următoare care sînt satisfăcute ca egalităţi:

$$Z_4 - Z_5 - 4 = 0$$

$$Z_5 - 2Z_6 + Z_7 + 4 = 0$$

- Se determină matricea A_2

$$0\ \ 0\ \ 0\ \ 1\ -1\ \ 0\ \ 0$$

$$A_2 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -2 & 1 \end{vmatrix}$$

- Se calculează matricea de proiecţie a vectorului $\nabla f(z^2)$ pe subspaţiul paralel cu varietatea liniară dată de intersecţia hiperplanelor restricţii amintite:

$$P_2 = I - A_2'(A_2 A_2')^{-1} A_2 = \frac{1}{11} \begin{vmatrix} 11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 11 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 11 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5 & 5 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 5 & 5 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 2 & 3 & 4 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 4 & 9 \end{vmatrix}$$

Direcţia d^2 dată de proiecţia vectorului $\nabla f(z^2)$ pe varietatea liniară obţinută prin intersecţia hiperplanelor restricţii amintite este

$$d^2 = P_2\left[-\nabla f(z^2)\right] = \begin{vmatrix} -966 \\ -1383 \\ -2760 \\ 4602 \\ 3799 \\ 2996 \end{vmatrix}$$

- Se calculează valorile lui t din restricţiile (1-2-a), (1-2-b) şi valoarea lui t pentru care $g(t) = f(z^2 + t \times d^2)$ *atinge minimul* ca şi cele prezentate în iteraţia 1, apoi se alege valoarea pozitivă minimă dintre ele: t = 0,000039

- Aproximaţia a 3-a va fi punctul $z^3 = z^2 + 0{,}000039 \times d^2$ adică linia roşie a 3-a cu cotele de proiectare:

$z^3 = (18.69,\ 17.55,\ 17.11,\ 20.67,\ 24.67,\ 24.97,\ 21.27)$

Procedînd continuu în acelaşi mod ca pînă acum se obţin:

aproximaţia a 4-a

$z^4 = (18.16,\ 17.16,\ 17.16,\ 21.16,\ 25.16,\ 25.42,\ 21.68)$

aproximaţia a 5-a

$z^5 = (17.92,\ 18.00,\ 18.00,\ 22.00,\ 26.00,\ 27.00,\ 24.00)$

Procesul de calcul se opreşte în iteraţia a 5-a pentrucă dacă se mai face continuu, funcţia-obiectiv nu mai descreşte, ea începe să crească. Soluţia a 5-a este aproape de soluţia găsită în rezolvarea acestei probleme cu programarea dinamică.

4-5 Metoda variaţiilor locale şi aplicarea ei în elaborarea liniei roşii optime la profilul longitudinal al căii ferate [6],[46],[47]

In această parte se va da un procedeu iterativ de obţinere a minimului unei funcţionale neliniare şi se reprezintă aplicaţia acestuia procedeu în elaborarea liniei roşii optime la profilul longitudinal al căii ferate.

4-5-1 Descrierea metodei

Fie X un spaţiu Banach reflexiv.

Se notează cu $f(x)$ o funcţională neliniară definită pe X, continuă, strict convexă şi coercitivă, adică

$$\lim_{\|x\|\to\infty} f(x) = +\infty \qquad (4\text{-}5\text{-}1)$$

In aceste condiţii există un element x^*, unic, astfel că

$$f(x^*) = \min_{x\in X} f(x)$$

Demonstraţia acestei teoreme se găseşte în [46]

Fie $\{X_n\}$ un şir de subspaţii de dimensiune finită, conţine în X şi $\bigcup_{n=1}^{\infty} X_n$ densă în X, adică $\overline{\bigcup_{n=1}^{\infty} X_n} = X$

Considerăm o bază a lui X_n formată cu elementele

$$\{e_1, e_2, \ldots, e_n\}$$

Fie $\rho > 0$ arbitrar şi X_n mulţimea tuturor elementelor de forma $x = \sum_{i=1}^{n}\alpha_i e_i \in X_n$, unde α_i sînt de forma $\alpha_i \pm \rho$ Se notează cu

$$
\begin{aligned}
f^* &= f(x^*) = \inf_{x\in X} f(x) \\
f_n^* &= f(x_n^*) = \inf_{x\in X_n} f(x) \qquad (4\text{-}5\text{-}2)\\
f_n^{*\rho} &= f(x_n^{*\rho}) = \inf_{x\in X_n^\rho} f(x)
\end{aligned}
$$

In [46] se demonstrează

1.- $f_n^* \to f^*$ cînd $n \to \infty$

2.- $f_n^{*\rho} \to f_n^*$ cînd $\rho \to 0$

3.- $x_n^* \to x^*$ cînd $n \to \infty$

4.- $x_n^{*\rho} \to x_n^*$ cînd $\rho \to 0$

In fapt, această metodă constă în a găsi o aproximaţie a lui x_n^*

Fie $$g(\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n) = f(\alpha_1 e_1 + \cdots + \alpha_n e_n) \qquad (4\text{-}5\text{-}3)$$

Atunci problema revine la a minimiza o funcţie de mai multe variabile, $g : R^n \to R$

$$\inf_{(\alpha_i)_1^n} g(\alpha_1,\alpha_2,\ldots,\alpha_n) = \inf_{x\in X_n} f(x) \qquad (4\text{-}5\text{-}4)$$

Se alege o valoare inițială $(\alpha_1^0,\alpha_2^0,\ldots,\alpha_n^0)$ și un număr arbitrar ρ

Fie

$$\begin{aligned} \nabla_i &= g(\alpha_1^0,\ldots,\alpha_{i-1}^0,\ \alpha_i^0\ ,\alpha_{i+1}^0,\ldots,\alpha_n^0)\\ \nabla_i^+ &= g(\alpha_1^0,\ldots,\alpha_{i-1}^0,\ \alpha_i^0+\rho,\ \alpha_{i+1}^0,\ldots,\alpha_n^0) \\ \nabla_i^- &= g(\alpha_1^0,\ldots,\alpha_{i-1}^0,\ \alpha_i^0-\rho,\ \alpha_{i-1}^0,\ldots,\alpha_n^0)\end{aligned} \qquad (4\text{-}5\text{-}5)$$

Fie α_1^ρ punctul din mulțimea $(\alpha_1^0,\alpha_1^0+\rho,\alpha_1^0-\rho)$ care realizează minimul în mulțimea $\{\nabla_1,\nabla_1^+,\nabla_1^-\}$ Se înlocuiește apoi α_1^0 prin α_1^ρ în $\nabla_2,\nabla_2^+,\nabla_2^-$.

Se notează cu α_2^ρ punctul din mulțimea $(\alpha_2^0,\alpha_2^0+\rho,\alpha_2^0-\rho)$ care realizează minimul lui $\{\nabla_2,\nabla_2^+,\nabla_2^-\}$ și se înlocuiesc în $(\nabla_3,\nabla_3^+,\nabla_3^-)$ α_1^0 prin α_1^ρ iar α_2^0 prin α_2^ρ

Se face continuu procedeul pînă cînd se obține α_n^ρ

Se obține astfel vectorul $(\alpha_1^\rho,\alpha_2^\rho,\ldots,\alpha_n^\rho)$ și se face continuu procesul cu valoarea inițială $(\alpha_1^\rho,\alpha_2^\rho,\ldots,\alpha_n^\rho)$ pînă cînd se obține un punct staționar, adică

$$\begin{cases} \nabla_1^+ \geq \nabla_1 \\ \nabla_1^- \geq \nabla_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \nabla_i^+ \geq \nabla_i \\ \nabla_i^- \geq \nabla_i \\ \\ \nabla_n^+ \geq \nabla_n \\ \nabla_n^- \geq \nabla_n \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} g(\alpha_1^\rho+\rho,\ \alpha_2^\rho,\ldots,\alpha_n^\rho) \geq g(\alpha_1^\rho,\alpha_2^\rho,\ldots,\alpha_n^\rho) \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ g(\alpha_1^\rho,\ \alpha_2^\rho,\ \ldots,\alpha_n^\rho-\rho) \geq g(\alpha_1^\rho,\alpha_2^\rho,\ldots,\alpha_n^\rho) \end{cases} \qquad (4\text{-}5\text{-}6)$$

Pentru n și ρ fixați, metoda conduce într-un număr finit de pași către existența unui vector $(\alpha_1^\rho,\alpha_2^\rho,\ldots,\alpha_n^\rho)$ care verifică relația (4-5-6)

Intr-adevăr, notînd cu x_n^ρ vectorii de componente $(\alpha_1^\rho,\alpha_2^\rho,\ldots,\alpha_n^\rho)$ ce intervin în procesul de calcul precedent, se obține

$$\| x_n \| \leq C$$

(C -o constantă pozitivă), căci $\| x_n \| \to +\infty \Rightarrow \lim f(x_n^\rho) = +\infty$

cea ce nu este posibil căci $f(x_n^\rho)$ descrește.

Deci există o constantă astfel că $|\alpha_i^\rho| \leq K$, i =1,2,...

Obținînd staționaritatea se divizează ρ cu 2 și se continuă procesul

Se notează cu $x_n^{*\rho} = (\alpha_1^\rho, \alpha_2^\rho, \dots, \alpha_n^\rho)$ vectorul obținut prin procesul descris.

Fie $f_n^{*\rho} = f(x_n^{*\rho})$ și se presupune că funcția g admite derivate parțiale continue în α_i. In lucrarea [46] se demonstrează $f_n^{*\rho} \to f_n^*$ cînd $\rho \to c$

cînd $x_n^{*\rho} \to x_n$ cînd $\rho \to c$

4-5-2 Aplicația metodei variațiilor locale în elaborarea liniei roșii optime la profilul longitudinal al căii ferate

In metoda variațiilor locale se dă o soluție inițială, apoi se îmbunătățește această printr-o serie de iterație continuă. Aplicarea acestei metode în elaborarea liniei roșii optime se face în felul următor:

I. Proiectantul dă o linie roșie inițială cu cotele punctelor schimbătoarelor de declivitate, fig. 4-5-1 . Pentru această linie se calculează:

-lungimea și declivitatea elementelor de profil

-cotele de proiectare ale picheților aflate în fiecare element de profil

-volumul de umplutură și de săpătură

-cheltuielile de construcții

-cheltuielile de exploatare pentru ambele sensuri de circulație ale trenurilor

-cheltuielile anuale adică valoarea funcției-obiectiv după relația (1-1-a)

II. Se execută prima variație locală pentru partea o-1-2, fig. 4-5-1

II-1. Construirea și calculul variantei ridicate.

a.- Pentru aceasta se ridică poziția liniei roșii inițiale în punctul 1 cu o valoare pozitivă arbitrară δ

$$z_1^p = z_1^o + \delta$$

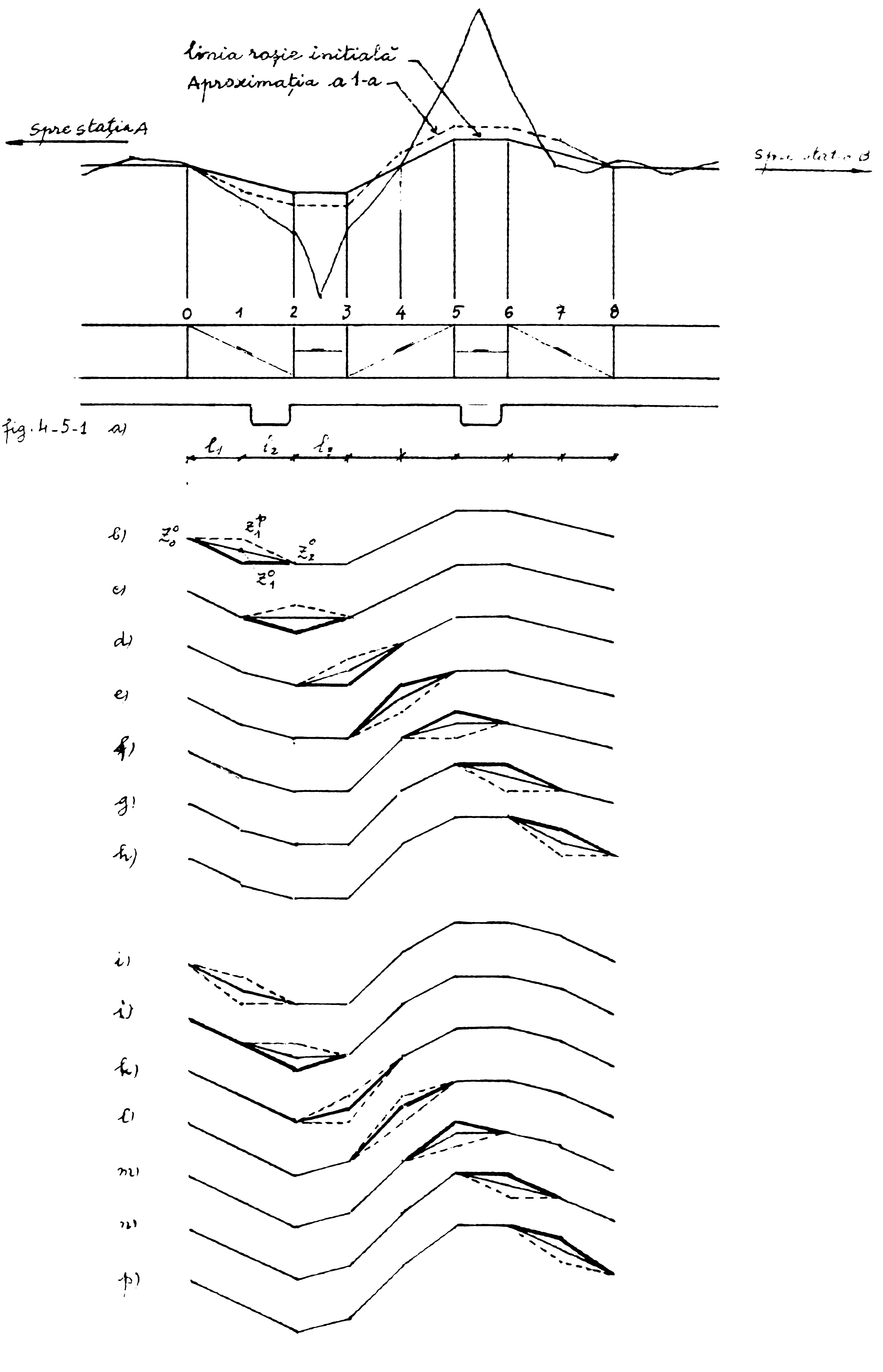
b.- Se calculează declivitatea pentru variantele ridicată

$$i_1^p = \frac{z_1^p - z_o^o}{l_1}$$

unde. l_1 -lungimea părții o-1 a profilului longitudinal

Se verifică restricția (1-2-a):

$$|i_1^p| + z_{c_1} \leq i_{adm}$$


linia roşie iniţială
Aproximaţia a 1-a
Spre staţia A
Spre staţia B
0 1 2 3 4 5 6 7 8
fig. 4-5-1 a)
l_1 l_2 l_3
b)
z_0^o
z_1^p
z_2^o
z_1^o
c)
d)
e)
f)
g)
h)
i)
j)
k)
l)
m)
n)
p)

τ_{c1} -rezistenţa dată de curbă în partea o-1 a profilului

i_{adm} -valoarea maximă admisă a declivităţii la proiectare

- Dacă la această inegalitate nu este satisfăcută se elimină această variantă şi se trece la construirea şi calculul variantei coborîte.

- Dacă această inegalitate este satisfăcută se calculează

$$i_2^p = \frac{z_2^o - z_1^p}{l_2}$$

Se verifică restricţia (1-2-a) : $|i_2^p| + \tau_{c2} \leq i_{adm}$

- Dacă această inegalitate nu este satisfăcută se elimină această variantă şi se trece la construirea şi calculul variantei coborîte.

- Dacă această inegalitate este satisfăcută se trece la punctul următor al algoritmului.

c.- Se calculează diferenţa algebrică dintre valorile declivităţilor elementelor alăturate în profilul longitudinal:

$$\Delta i_1 = i_1^p - i_o^o$$

Se verifică restricţia (1-2-b) : $|\Delta i_1| \leq \Delta i_{adm}$

-Dacă această inegalitate nu este satisfăcută se elimină această variantă şi se trece la construirea şi calculul variantei coborîte.

-Dacă această inegalitate este satisfăcută se calculează

$$\Delta i_2 = i_2^p - i_1^p$$

Se verifică restricţia (1-2-b) : $|\Delta i_2| \leq \Delta i_{adm}$

-Dacă această inegalitate nu este satisfăcută se elimină această variantă şi se trece la construirea şi calculul variantei coborîte

-Dacă această inegalitate este satisfăcută se calculează

$$\Delta i_3 = i_3^o - i_2^p$$

Se verifică restricţia, (1-2-b) : $|\Delta i_3| \leq \Delta i_{adm}$

-Dacă această inegalitate nu este satisfăcută se elimină această variantă şi se trece la construirea şi calculul variantei coborîte.

-Dacă această inegalitate este satisfăcută se trece la punctul următor al algoritmului.

d.- Se verifică restricţia (1-2-d) pentru punctele avînd cotele obligatorii aşezate în părţile o-1 şi 1-2

-Dacă această restricţie nu este satisfăcută se trece la construirea şi calculul variantei coborîte

-Dacă această restricţie este satisfăcută se trece la următorul punct al algoritmului

e.- Se calculează cotele de proiectare ale pichetilor aşezate în fiecare element de profil, volumul de umplutură şi săpătură, cheltuielile de construcţii

f.- Se determină cheltuielile de exploatare pentru ambele sensuri de circulaţie a trenurilor

g.- Se calculează cheltuielile anuale (adică valoarea funcţiei obiectiv)

II-2 <u>Construirea şi calculul variantei coborîte</u>

Se procedează la fel ca cele prezentate pentru varianta ridicată şi după aceea se trece la punctul următor.

II-3 <u>Se compară cele trei variante</u> varianta iniţială, varianta ridicată şi varianta coborîtă şi <u>se alege varianta cu cheltuielile anuale minime.</u>

III- <u>Se execută variaţiile următoare</u> (pentru partea 1-2-3, 2-3-4, etc) la fel ca cele prezentate mai sus pînă la sfîrşitul profilului. Astfel se obţine linia roşie care corespunde ultimei variaţii. Această linie roşie se numeşte linia de proiectare a primei schimbări sau aproximaţia întîia. Acum aproximaţia întîia joacă rolul liniei roşii iniţiale şi plecînd de la această aproximaţie procesul de îmbunătăţire se continuă.

Se mai îmbunătăţeşte soluţia obţinută după fiecare schimbare a liniei de proiectare pînă cînd valoarea funcţiei obiectiv nu se mai modifică.

In algoritmul scris mai sus nu trebuie să se verifice restricţiile (1-2-c), (1-2-e) despre lungimea elementelor de profil şi despre poziţia punctul schimbătoarelor de declivitate pentru că aceste restricţii au fost satisfăcute în procesul iniţial cînd proiectantul a trasat linia roşie iniţială. In procesul iterativ lungimea elementelor de profil şi poziţia schimbătoarelor de declivitate nu se schimbă.

Lungimile elementelor de profil pot fi egale sau diferite dar cu condiţia $l_i \geq l_{adm}$

Pentru economia timpului la calculator se poate aplica următoarelor măsuri:

- La început se caută linia roşie cea mai bună după algoritmul scris mai sus, dar în acest algoritm se folosesc formulele mai simple de calculat. Se pot folosi formulele pentru calculul volumelor de terasament neţinînd seama de înclinarea terenului şi de geologie. Se poate lua viteza de echilibru a trenului pentru calculul cheltuielilor de exploatare. După ce s-a obţinut linia roşie cea mai bună cu ajutorul acestei măsuri, se caută linia roşie optimă cu formulele mai exacte.

- La început se ia valoarea mare pentru δ. Cînd obţine punctul staţionar se divizează δ cu 2.

4-5-3 <u>Un exemplu</u>

Pentru claritatea algoritmului scris mai sus se ia profilul longitudinal dat în fig. 4-5-1 In acest exemplu pasul de variaţie este constantă şi are valoarea de 500 m. Valoarea lui δ este 1 m.

Procesul de îmbunătăţire a liniei roşii se execută după algoritmul amintit, adică se face în felul următor:

1.- Se dă o linie iniţială, fig. 4-5-1a ;

2.- Se efectuează punctele - de la punctul II-1 până la punctul II-3 - ale algoritmului şi se obţine soluţia cea mai bună coborîndu-se poziţia liniei roşii iniţiale cu 1 m în punctul 1, fig. 4-5-1b, pentru că aceasta reduce cheltuielile de construcţie şi cheltuielile de exploatare dacă se iau aceste cheltuieli în considerare

3.- Variaţia locală a-2-a (pentru partea 1-2-3) se construieşte cu condiţi că punctul 1 s-a coborît în variaţia locală precedentă. După executarea algoritmului se obţine soluţia cea mai bună coborîndu-se poziţia liniei roşii cu 1 m în punctul 2, fig. 4-5-1c.

4.- Variaţiile locale următoare se fac analog cu cele prezentate, fig.4-5-1d, 4-5-1e, 4-5-1f, 4-5-1g, 4-5-1h , Astfel linia roşie care corespunde ultimei variaţii locale a fost construită. Ea se deosebeşte cu linia roşie iniţială în punctele 1,2,3 linia de proiectare iniţială a fost coborîtă cu 1 m, iar în punctele 4,5,6,7 linia de proiectare iniţială a fost ridicată cu 1m. Această linie se numeşte aproximaţia întîia.

Considerînd aproximaţia întîia ca linie roşie iniţială, procedeul se continuă şi se obţine aproximaţia a doua, fig.4.5-11 ÷ fig.4.5-1p

Se mai îmbunătăţeşte soluţia obţinută pînă cînd valoarea funcţie obiectiv nu se mai modifică.

Dacă se ia în considerare datele scrise în partea 4-1-4 pentru acest exemplu, se obţine linia roşie optimă coincisă cu soluţia obţinută din exemplul 4-144

CITEVA OBSERVATII ŞI CONCLUZII

A.- **Observaţii**

- Căutarea liniei roşii optime cu ajutorul metodei programării dinamice este complicată, timpul de rezolvare a problemei este mai ridicat, numărul de informaţii care trebuie să se introducă în calculator este mare.

Această metodă dă posibilitatea de a lua în considerare costurile terasamentelor ţinînd seama de repartizarea volumelor de terasament, de toate costurile lucrărilor de artă, etc.

- Elaborarea liniei roşii optime cu ajutorul metodelor de tip gradient (părţile 4-2, 4-3, 4-4 şi [45]) nu permite să ia în considerare toate caracteristicile existente în realitate, de exemplu, nu se pot calcula, costurile terasamentelor ţinîndu-se seama de repartizarea volumelor de terasament în cazul necesar.

Aceste metode au algoritmi simpli. Timpul de rezolvare a problemei, în general, nu este prea mare şi el depinde de linia roşie iniţială dată de proiectant. Numărul de informaţii care trebuie să se introducă în calculator nu este mare.

Elaborarea liniei roşii optime cu ajutorul metodei scrise în partea 4 4-2 nu dă posibilitatea de a fi aplicată în cazul în care majoritatea liniei se află în săpătură sau în umplutură, pentru că criteriul de optim nu este cu caracter general.

- Elaborarea liniei roşii optime cu ajutorul metodei variaţiilor locale este foarte simplă. Numărul de informaţii care trebuie să se introducă în calculator nu este mare şi în procesul de calcul nu trebuie să se păstreze mai multe informaţii ca şi în căutarea liniei roşii optime cu ajutorul metodei programării dinamice.

Introducerea în programul de calcul sau scoaterea din programul de calcul a subprogramelor arbitrare se face cînd este necesar şi nu trebuie să se scrie programul din nou. Această posibilitate permite să ia condiţiile diferite din realitate, de exemplu:

-se pot stabili costurile terasamentelor ţinîndu-se seama de repartizarea volumelor de terasament în cazul necesar.

-se pot stabili cheltuielile diferite pentru terasamente şi pentru lucrări de artă, ţinîndu-se seama de condiţiile diferite în fiecare localitate unde se află construcţia.

-etc.

In lucrarea de faţă se foloseşte metoda variaţiilor locale pentru a construi programul de elaborare a liniei roşii optime la profilul longitudinal al căii ferate.

B.- Concluzii

In urma studiilor efectuate pentru elaborarea unei metode de alegere a liniei roşii optime a profilului longitudinal al căii ferate se consemnează următoarele rezultate mai importante obţinute de autor:

1.- S-a făcut o strîngere a metodelor de calcul al volumelor de terasament la calculatoare electronice şi se foloseşte o metodă cerînd un număr mai mic de informaţii iniţiale şi un timp mai redus la calculator.

2.- Pentru a determina cheltuielile de exploatare s-a propus o metodă care cere un timp convenabil pentru calculul vitezei, al timpului de mers al trenului, al lucrului mecanic al forţei de tracţiune şi al forţei de rezistenţă.

3.- S-a făcut o sinteză a metodelor utilizate pînă în prezent pentru alegerea liniei roşii optime a profilului longitudinal al căii ferate.

4.- S-au propus două metode (metoda gradientului proiectat a lui Rosen şi o metodă a lui Hatmasciac I.) avînd posibilitate de a fi aplicată în elaborarea liniei roşii optime a profilului longitudinal al căii ferate.

5.- S-a conceput un program în limbaj FORTRAN pentru elaborarea liniei roşii optime a profilului longitudinal al căii ferate prin metoda variaţiilor locale.

6.- Studiile făcute de autor nu epuizează problema de alegere a liniei roşii optime a profilului longitudinal al căii ferate.

Sînt încă multe aspecte de rezolvat, care necesită cercetări în continuare, cum ar fi calculul volumelor de terasament, ţinînd seama de geologia regiunii, calculul cheltuielilor pentru lucrări de artă, conceptul programelor după metodele propuse și compararea acestor programe, etc.

Autorul își va orienta activitatea în viitor pe cercetarea acestor aspecte.

Programul conceput

Programul rezolva problema de alegere a liniei roşii optime la profilul longitudinal al căii ferate prin metoda variaţiilor locale, conform algoritmului descris la partea "Metoda variaţiilor locale şi aplicaţia ei în elaborarea liniei roşii optime la profilul longitudinal al căii ferate". El se numeşte C L I N O S şi este scris în F O R T R A N, [9], [31], [38]

1.- Descrierea datelor de intrare: Pentru a rezolva fiecare problemă sînt necesare următoarele date:

N - numărul elementelor de profil ale liniei roşii iniţiale date de proiectant

J1 - numărul total al pichetilor în tronsonul de studiu adică în tronsonul în care se caută linia roşie optimă

N (I) numărul pichetilor care se numerotează de la primul pichet pînă la sfîrşitul pasului I

NOP (I)- numărul punctelor obligatorii în *pasul* I

RC (I) - rezistenţa dată de curba în pasul I, în kgf/tf

SC (I) - lungimea curbelor în pasul I, în Km

CU (I) - costul unui m^3 de umplutură în pasul I, în unităţi băneşti

CS (I) - costul unui m^3 de săpătură în pasul I, în unităţi băneşti

ZO (I) - cota punctului schimbării de declivitate al liniei roşii iniţiale, în m

MOB (I,N1) - reprezintă forma punctelor obligatorii în pasul I

In acest program se presupune că în fiecare pas numărul punctelor obligatorii este mai mic sau cel mult egal cu 5,(N1≤5)

MOB (I,N1)= 1 exprimă inegalitatea ZT2 ≤ ZOP (I,N1)

MOB (I,N1)= 2 exprimă inegalitatea ZT2 ≥ ZOP (I,N1)

MOB (I,N1)= 0 exprimă inegalitatea ZT2 =ZOP (I,N1)

ZT2 -cota liniei roşii în punctul obligatoriu, în m

ZOP (I,N1) -cota *obligatorie a punctului* în m

X(I,N1) -distanţa măsurată de la începutul pasului I pînă la fiecare punct obligatoriu, în m

C(J) -cota terenului în pichetul de ordinul J, în m

P(J) -panta terenului în profilul transversal de ordinul J

Semnul-pantei este P(J) pozitiv cînd cota terenului la dreapta este mai mare decît cea la stînga. In cazul invers semnul pantei este negativ.

PADM -valoarea admisă a declivității la proiectarea dată în tema de proiectare în ‰

DADM -diferența admisă dintre valorile declivităților elementelor alăturate de profil, în ‰

DELTA-valoarea dată de proiectant cu care se formează varianta ridicată și varianta coborîtă, în m

H -echidistanța dintre pichetți, în m

VO -viteza trenului la începutul tronsonului de studiu, în km/h

NAB -numărul trenurilor care circulă pe direcția A-B de la începutul pînă la sfîrșitul tronsonului de proiectare

NBA -numărul trenurilor care circulă pe direcția B-A de la sfîrșitul pîn la începutul tronsonului de proiectare

A(K,L), VT(K,L), ST(K,L) -sînt coeficienți în ecuația de mișcare a trenului $V=c(S-e)+d$, (vezi capitolul 3)

În această ecuație coeficientul c este înlocuit prin A(K,L)

d este înlocuit prin VT(K,L)

e este înlocuit prin ST(K,L)

A(L),B(L) -coeficienți în ecuația $v=at^b$, (vezi capitolul 3). Aici coeficientul a este înlocuit prin A(L) iar coeficientul b prin B(L)CA 1 + CA 10

CA(1) + CA(10) -costurile de exploatare în formula(3-36)

SO(1), SO(2), SO(M) -lungimea elementului de ordinul 1,2,.. al profilului longitudinal

IO(1), IO(2), IO(3) -declivitatea elementului de ordinul 1,2,3,..

2.- Subrutinele necesare

a- Subrutina PRIMA se scrie după algoritmul următor:

- Se calculează lungimea elementului de profil SO(I), în m

- Se calculează declivitatea elementului de profil IO(I), în ‰

- Se calculează cotele de proiectare ale pichetilor aflate în elementul I al profilului longitudinal

- Se determină volumul de terasament în umplutură VUO(I) şi în săpătură VSO(I) prin chemarea subrutinei VOLUM
- Se calculează costul terasamentului CIA

b- Subrutina VOLUM

Se calculează volumul de terasament volumul umpluturii VUT şi volumul săpăturii VST pentru 4 cazuri:

1.- profilul transversal în săpătură
2.- profilul transversal în umplutură
3.- profilul transversal mixt cu umplutură la stînga şi cu săpătură la dreapta
4.- profilul transversal mixt cu săpătură la stînga şi cu umplutură la dreapta

Pentru a deosebi aceste patru cazuri se compară valorile lui HS (înălţimea de umplutură sau de săpătură la stînga) şi ale lui HD (înălţimea de umplutură sau de săpătură la dreapta) cu zero (vezi schema logică a subrutinei VOLUM)

- Dacă HS $\geq$ o şi HD $<$ o se obţine cazul 4
- Dacă HS $<$ o şi HD $>$ o se obţine cazul 3
- Dacă HS $<$ o şi HD $<$ o se obţine cazul 2

Alte valori pentru HS şi HD conduc la obţinerea cazului 1

In acest subprogram se folosesc datele următoare:

BU -jumătatea lăţimii platformei căii în umplutură, în m

BS -jumătatea lăţimii platformei căii în săpătură, în m (inclusiv lăţimea şanţurilor) şi se presupune că BU = 3,1 m, BS = 5 m

c,d- Subrutina SAP şi subrutina UMP

Se calculează suprafaţa secţiunii transversale în săpătură umplutură pentru 3 cazuri vezi schema logice :

1.-profilul transversal în săpătură(umplutură)fără zid de sprijin
2.-profilul transversal în săpătură(umplutură)cu zid de sprijin la stînga
3.-profilul transversal în săpătură(umplutură)cu zid de sprijin la dreapta

e- Subrutina UMSA

Se calculează suprafaţa secţiunii transversale mixte pentru n cazuri

1.- Cînd înălţimea umpluturii şi adîncimea săpăturii sînt mai mici sau cel mult egale cu o,lo m se consideră că suprafaţa secţiunii este egală cu zero.

2.- profilul mixt fără zid de sprijin

3.- profilul mixt cu zidul de sprijin la stînga

4.- profilul mixt cu zidurile de sprijin, unul la stînga şi altul la dreapta.

Pentru a deosebi aceste 4 casuri se compară valorile lui HS şi ale lui HD cu o,1 m.

Cînd HS $\leq$ o,1 şi HD $\leq$ o,1 se obţine cazul 1

Cînd aceste inegalităţi nu sînt satisfăcute se verifică relaţia 2-11 :

$$0,66 - |P(I)| < 0,3 \qquad (2\text{-}11a)$$

$$1 - |P(I)| < 0,45 \qquad (2\text{-}11b)$$

Dacă relaţiile (2-11a), (2-11b) sînt satisfăcute se obţine cazul 4

Dacă relaţiile (2-11a), (2-11b) nu sînt satisfăcute se verifică relaţiile:

$$0,66 - |P(I)| > 0,3$$

$$1 - |P(I)| > 0,45$$

Dacă aceste relaţii sînt satisfăcute se obţine cazul 2

Dacă aceste relaţii nu sînt satisfăcute se obţine cazul 3

In aceste subprogram se folosesc înclinările taluzulzi $t_u = 0,66$ şi $t_s = 1$ (Vezi schema logică a subrutinei UMSA)

f- <u>Subrutina SAUM</u>

Se calculează suprafaţa secţiunii transversale mixte pentru 4 cazuri:

1.- cînd adîncimea săpăturii şi înălţimea umpluturii sînt mai mici sau cel mult egale cu o,lo m se consideră că suprafaţa profilului transversal este egală cu 0

2.- profilul mixt fără zid de sprijin

3.- profilul mixt cu zidul de sprijin la dreapta

4.- profilul mixt cu zidurile de sprijin, una la dreapta şi alta la stînga

Pentru a deosebi aceste 4 cazuri se compară valorile lui HS și ale lui HD cu o,1 m

Cînd HS $\leq$ o,1 m și HD $\leq$ o,1 m se obține cazul 1

Cînd aceste inegalități nu sînt satisfăcute se verifică relațiile (2-11a), 2-11b

Dacă relațiile (2-11a), (2-11b) sînt satisfăcute se obține cazul 4

Dacă relațiile (2-11a), (2-11b) nu sînt satisfăcute se verifică relațiile:

$$o{,}66 - |P(I)| > o{,}3$$

$$1 \quad - |P(I)| > o{,}45$$

Dacă aceste relații sînt satisfăcute se obține cazul 2

Dacă aceste relații nu sînt satisfăcute se obține cazul 3

In acest subprogram se folosesc înclinările taluzului t_u=o,66 și t_s=1 (Vezi schema logică a subrutinei SAUM)

g- <u>Subrutina FEXPLØ</u>

După cum se știe în capitolulu 3, forma curbelor pentru viteza trenului sînt redate în fig. 5-1

Pentru ușurință în descrierea programului se schimbă notațiile în ecuațiile curbelor vitezei trenului:

pentru segmentul 0 : $V=A(M)xF^{B(M)}$ (3-12a)

pentru segmentul 1 : $V=A(1,M)x(F-ST(1,M))+VT(1,M)$ (3-13a)

pentru segmentul 2 : $V=A(2,M)x(F-ST(2,M))+VT(2,M)$

etc. unde indicele 1,2, ... reprezintă numele segmentelor

indicele M arată care este declivitatea elementului de profil pentru care se calculează curba de viteză.

In programul de calcul la mașina electronică indicii trebuie să fie pozitivi, dar valoarea declivității elementelor de profil poate fi și negativă. De aceea nu se poate folosi valoarea declivității în locul indicelui. In programul conceput pentru declivitatea caracteristică i_c= 8‰ se folosește formula $M = \frac{AM}{2} + 5$ în care AM este valoarea declivității elementului de profil pentru a arăta declivitatea elementului de profil.

AM	-8	-6	-4	-2	o	2	4	6	8
M	1	2	3	4	5	6	7	8	9

1- $V = A(1,M) \times (F - ST(1,M)) + VT(1,M)$

2- $V = A(2,M) \times (F - ST(2,M)) + VT(2,M)$

3- $V = A(3,M) \times (F - ST(3,M)) + VT(3,M)$

4- $V = A(4,M) \times (F - ST(4,M)) + VT(4,M)$

5- $V = A(5,M) \times (F - ST(5,M)) + VT(5,M)$

6- $V = VT(6,M)$

7- $V = A(7,M) \times F + VT(7,M)$

8- $V = A(8,M) \times (F - ST(8,M) + VT(8,M)$

9- $V = A(9,M) \times (F - ST(9,M) + VT(9,M)$

10- $V = A(10,M) \times (F - ST(10,M) + VT(10,M)$

11- $V = A(11,M) \times (F - ST(11,M) + VT(11,M)$

12- $V = VT(12,M)$

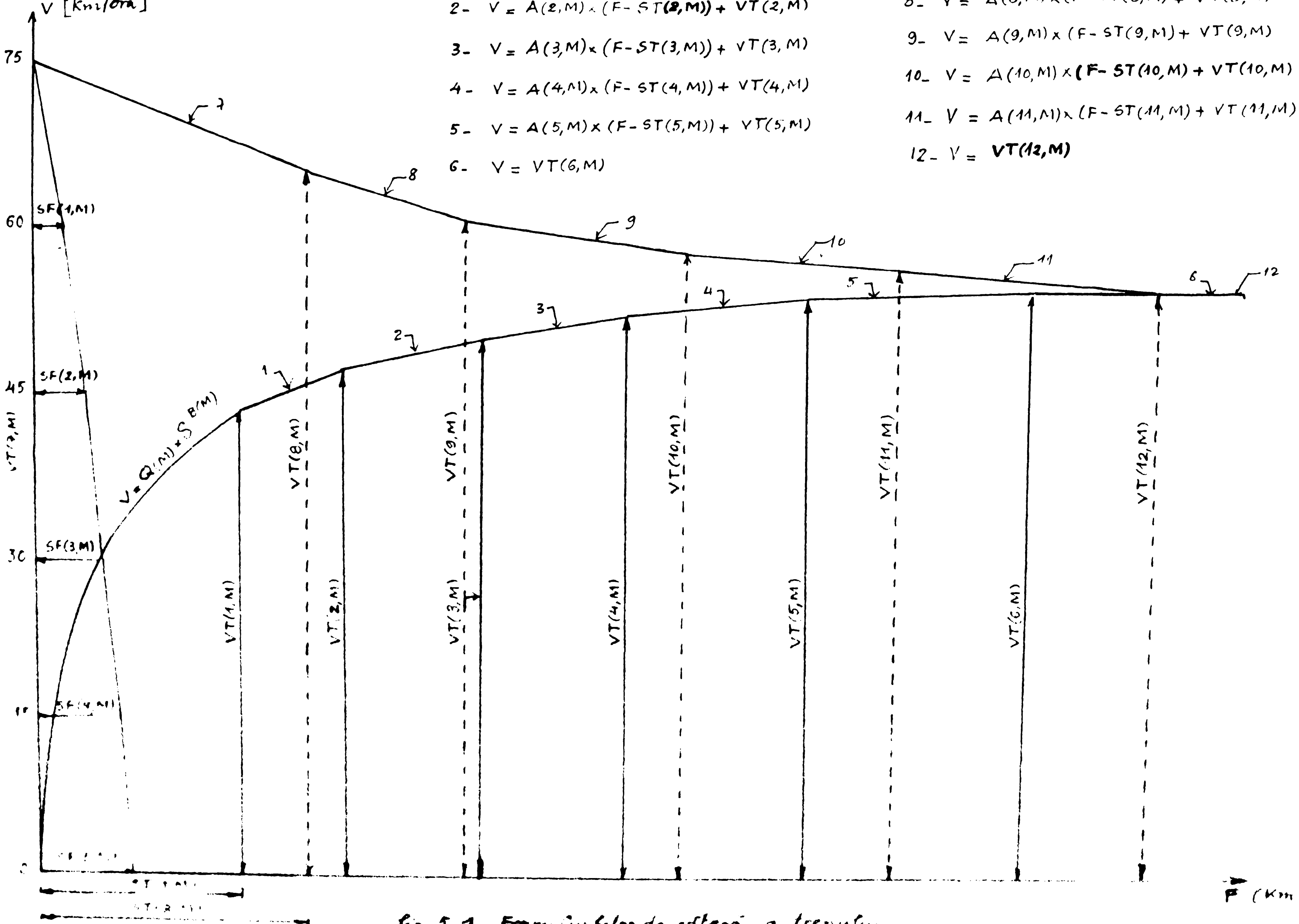


fig. 5-1. Forma curbelor de viteză a trenului

Conform metodei prezentate în capitolul 3 se scrie subprogramul PEXPLO cu ajutorul algoritmului următor:

1.- Se determină indicele K în ecuațiile de viteză a trenului

2.- Se calculează viteza VS, timpul T, lucrul mecanic al forței de tracțiune AF, lucrul mecanic al forțelor de rezistență AR pentru declivitatea corespunzînd indicelui K prin subrutine.

3.- Fiindcă curbele de viteză sînt determinate numai în anumite valori întregi ale declivităților, iar valoarea declivității elementelor de profil poate fi un număr arbitrar, trebuie să se compare valoarea declivității reale P(I) cu valoarea întreagă AM. Dacă P(I) = AM se adună valorile obținute în punctul 2 cu valorile inițiale ale lui VK, TK, AFK, ARK

Dacă P(I) ≠ AM se atribuie rezultatele obținute în punctul 2 ca valori pentru VA = VS, TA = T, AFA = AF, ARA = AR

Se calculează viteza, timpul, lucrul mecanic al forțelor care acționează asupra trenului pentru declivitatea corespunzînd indicelui (M - 1) și se atribuie rezultatele ca valori pentru:

VB = VS, TB = T, AFB = AF, ARB = AR

Se face interpolarea și se adună valorile obținute cu valorile inițiale ale lui VK, TK, AFK, ARK.

4.- Se calculează cheltuiala de exploatare după formula (3-36a) pentru un tren și pentru întregul tronson de proiectare.

In acest subprogram se folosesc următoarele variabile și date:

SK = 0

Sk - lungimea tronsonului de calcul măsurată de la valoarea ø pînă la sfîrșitul pasului de calcul în Km

TK - timpul de mers al trenului calculat de la început TK=o pînă la sfîrșitul pasului de calcul, în ore

AFK- lucrul mecanic al forței de tracțiune calculat de la valoarea AFK=o pînă la sfîrșitul pasului de calcul, în Km

ARK- lucrul mecanic al forțelor de rezistență care acționează asupra trenului calculat de la începutul ARK= o pînă la sfîrșitul pasului de calcul, în tfKm

VK - viteza trenului în sfîrșitul pasului de calcul, în Km/h

CALT -cheltuielile de exploatare pentru un tren circulînd ;e un sens de circulaţie

144 - numărul osiilor vagoanelor din tren (după exemplu dat în partea 3-3-2)

2050- greutatea brută a vagoanelor compuse din tren, în tf

CA (1) - CA (10) - costurile de exploatare vezi formula (3-36)

h- Subrutina VITILU pentru a calcula viteza VS, timpul de mers T, lucrul mecanic al forţei de tracţiune AF , lucrul mecanic al forţelor de rezistenţă care acţionează asupra trenului AR după formulele corespunzătoare scrise în capitolul 3.

In acest subprogram se folosesc următoarele variabile date:

VO -viteza trenului la începutul elementului de profil, în Km/h

SH -valoarea iniţială corespunzătoare a lui S în formulele (3-12a), (3-13a) cînd V = VO

TH -valoarea iniţială corespunzătoare a lui t în formulele (3-16), (3-17),(3-18) cînd V = VO

ARH -valoarea iniţială corespunzătoare a lucrului mecanic al forţei de resistenţă la mers cînd viteza trenului V VO

114 -greutatea locomotivei Diesel tip 060DA în serviciu (vezi partea 3-3-2)

2050-tonajul trenului (vezi partea 3-3-2)

$3,558+0,009672VS+0,000403VS^2$ -formula (3-25-a) pentru care se determină forţa specifică de rezistenţă a locomotivei cînd trenul circulă în regim de tracţiune

$2,3+0,035VS+0,0002VS^2$ - formula (3-25-b)

In acest subprogram se foloseşe următoarele funcţii formule

$$TIMP1(P1,\alpha 1,S1) = \frac{\overline{S1}^{\,1-\alpha 1}}{P1 x\ 1-\alpha 1} \quad \text{(vezi formula (3-16))}$$

$$TIMP2(R1,V1) = \frac{\ln^{V1}}{R1} \quad \text{(vezi formula(3-17))}$$

$$AREZ1(P1,\alpha 1,S1) = 4505.612S1+1,102608P1\ \frac{S^{\alpha 1+1}}{\alpha 1+1} + 1.327192\alpha 1^{+2}\ \frac{S^{2\alpha 1+1}}{2\alpha 1+1}$$

RGOLF (V1) = 1.3040 V1² + 3.99 V1 + 4362.2

RMERS (V1) = 1.3272 V1² + 1.1026 V1 + 4505.612

Funcția AREZ1 este formată din formula (3-24-b)', *iar funcțiile RGOLF, RMERS sînt formate din formula (3.24-b)''',*

$$AREZ2\ R1,V1 = \frac{1}{R1}\left(4505.612\,V1 + 0{,}551304\,V1^{2} + 0.[illegible]22379\,V1^{3}\right)$$

Această funcție este formată din formula (3-24-b)''

In general pentru a calcula viteza trenului, timpul de mers, lucrul mecanic ale forțelor care acționează asupra trenului trebuie să se știe coordonatele unui punct pe curbele de viteză, căruia îi corespunde viteza VO. Pentru aceasta se compară pe rînd viteza VO a trenului la începutul elementului de profil cu valorile O, VT(1,M), VT(2,M), ...(vezi fig. 5-1)

Se calculează valorile inițiale SH, Th, [illegible], cărora le corespunde viteza VO.

Se determină relația F = SH+S(I). Prin această relație se știe care segment din curbele de viteză va fi luat în considerare. Se calculează viteza trenului VS, timpul de mers T, lucrurile mecanic AR și AF în sfîrșitul elementului de profil cu ajutorul formulelor corespunzătoare.

i- <u>Subrutina VITILA</u> pentru a calcula viteza trenului, timpul de mers, lucrul mecanic al forței de rezistență la mers, cînd trenul circulă după ecuația (3-13)

Aici ecuația (3-13) în forma: $V=C(N,M)\times\left(F-[illegible](N,M)\right)+D\ N,M$

Se mai folosește funcțiile formule TIMP2 R1,V1 și AREZ2 R1,V1 în această subrutină.

Variabilele folosite în subrutina VITILA sînt la fel ca cele prezentate în subrutina VITILU.

In subrutinele VITILU, VITILA variabila $S(I) \leq 0{,}600$ Km.

Cînd lungimea elementului de profil este mai mare decît valoarea aceasta, se împarte în părți.

Aceste subprograme nu cuprind cazul în care trenul circulă în regim de frînare.

k- <u>Subrutina PERMUT</u>

Se știe că calculul cheltuielilor de exploatare se face pentru ambele sensuri de circulație. Cu ajutorul acestei subrutine se face permutarea elementelor de profil în vederea calculului cheltuielilor de exploatare în sensul invers de circulație.

Se folosesc următoarele variabile:

PA(I) -declivitatea elementului de profil, în

SA(I) -lungimea elementului de profil în Km

RCA(I)-rezistenţa dată de curbă în pasul I, în Kgf/tf

SCA(I)-lungimea curbelor aflate în pasul I, în Km

În programul nu *cuprinde* subprogramul pentru a calcula costurile lucrărilor de artă. Se poate întocmi acest subprogram după formula (2-73)

In acest program se folosesc următoarele cartele:

a- cartela numărul 1, care conţine: M, J1, NAB, NPA, PARX, DELTA, N, VC, conform instrucţiunii FORMAT(3I5,5X,4F62,F8.3)

b- cartela numărul 2, care conţine: N(I), NCB(I), SC(I), RC(I), CU(I), CS(I), ZO(I) cu I=1, conform instrucţiunii FORMAT (2I5, 5F1o.2)

c- cartela numărul 3, care conţine: MOB(I, N1), X(I, N1), ZOB(I, N1)cu I=1, N1= 1÷3, conform instrucţiunii FORMAT(3I5, 5X, 6F1o.2)

d- cartela numărul 4, care conţine variabile ca cele prezentate în cartela 2 cu I=2

e- cartela numărul 5, care conţine variabile ca cele prezentate în cartela 3 cu I=2

Se repetă pe rînd: una, care conţine variabile ca cele prezentate în cartela 2 şi alta, care conţine variabile ca cele prezentate în cartela 3 pînă cînd I= M.

f- cartelele, care conţin C(J) cu J= 1÷J1 conform instrucţiunii FORMAT (1o F 7, 2)

g- cartelele, care conţin: P(J) cu J= 1÷J1 conform instrucţiunii FORMAT (1o F 7, 2)

i- cartelel, care conţin: A(K,L) cu L= 1÷9, K= 1÷12 conform instrucţiunii FORMAT(9F8.3)

k- cartelele, care conţin VT(K,L) cu L= 1÷9, K= 1÷ 12 conform instrucţiunii FORMAT(9F8.3)

l- cartelele, care conţin ST(K,L) cu L= 1÷ 9, K= 1÷12 conform instrucţiunii FORMAT(7F8.3, F9.3, F7.3) m- cartela, care conţine A(L) cu L= 1÷ 9 conform instrucţiunii FORMAT (7F8.3, F9.3, F7.3)

n- cartela, care conţine B(L) cu L= 1÷ 9 conform instrucţiunii FORMAT (7F8.3, F9.3, F7.3)

o- cartela, care conţine CA(I1) cu I1=1÷1o conform instrucţiunii FORMAT (1oF7.4)

p- cartela, care conţine PO(1), PO(2), IO(M), SO(1), SO(2), SO(M) conform instrucţiunii FORMAT (6F7.3).

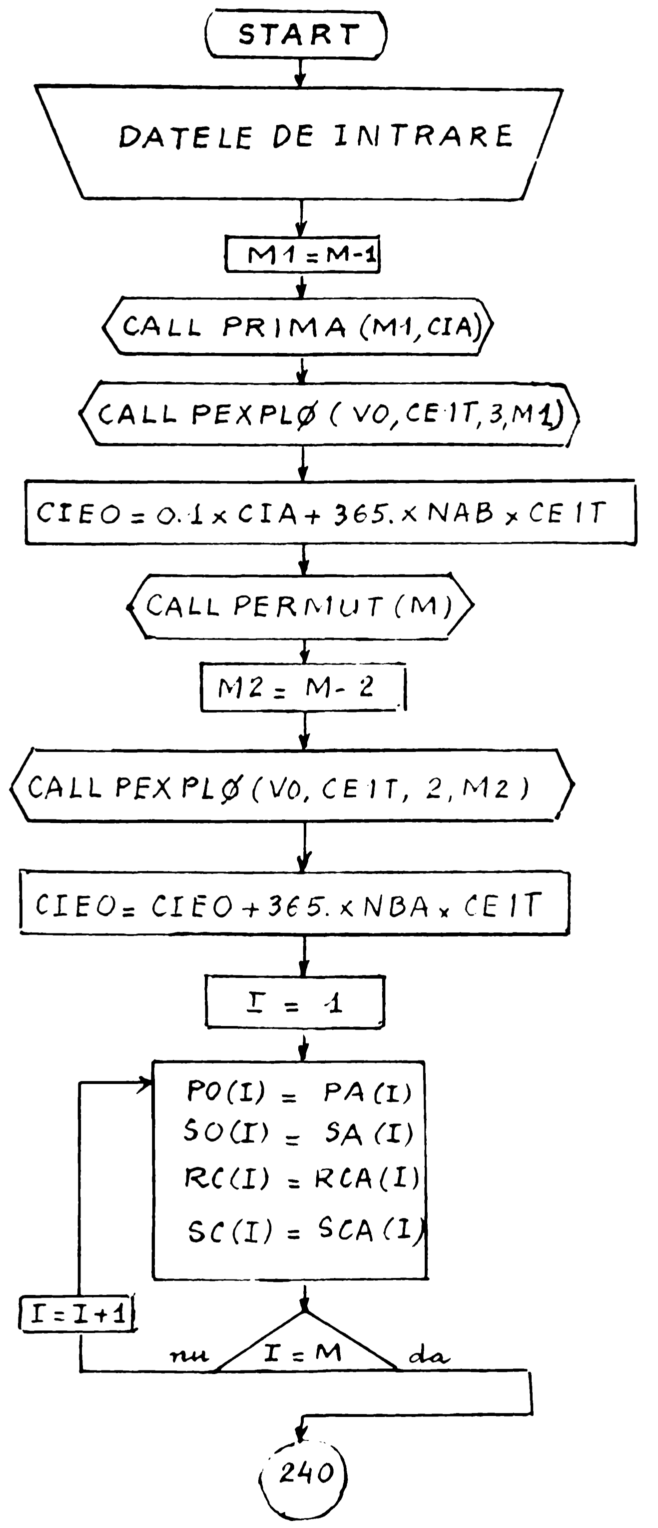
Programul conceput are lungimea de 40,7 Kbaiţi

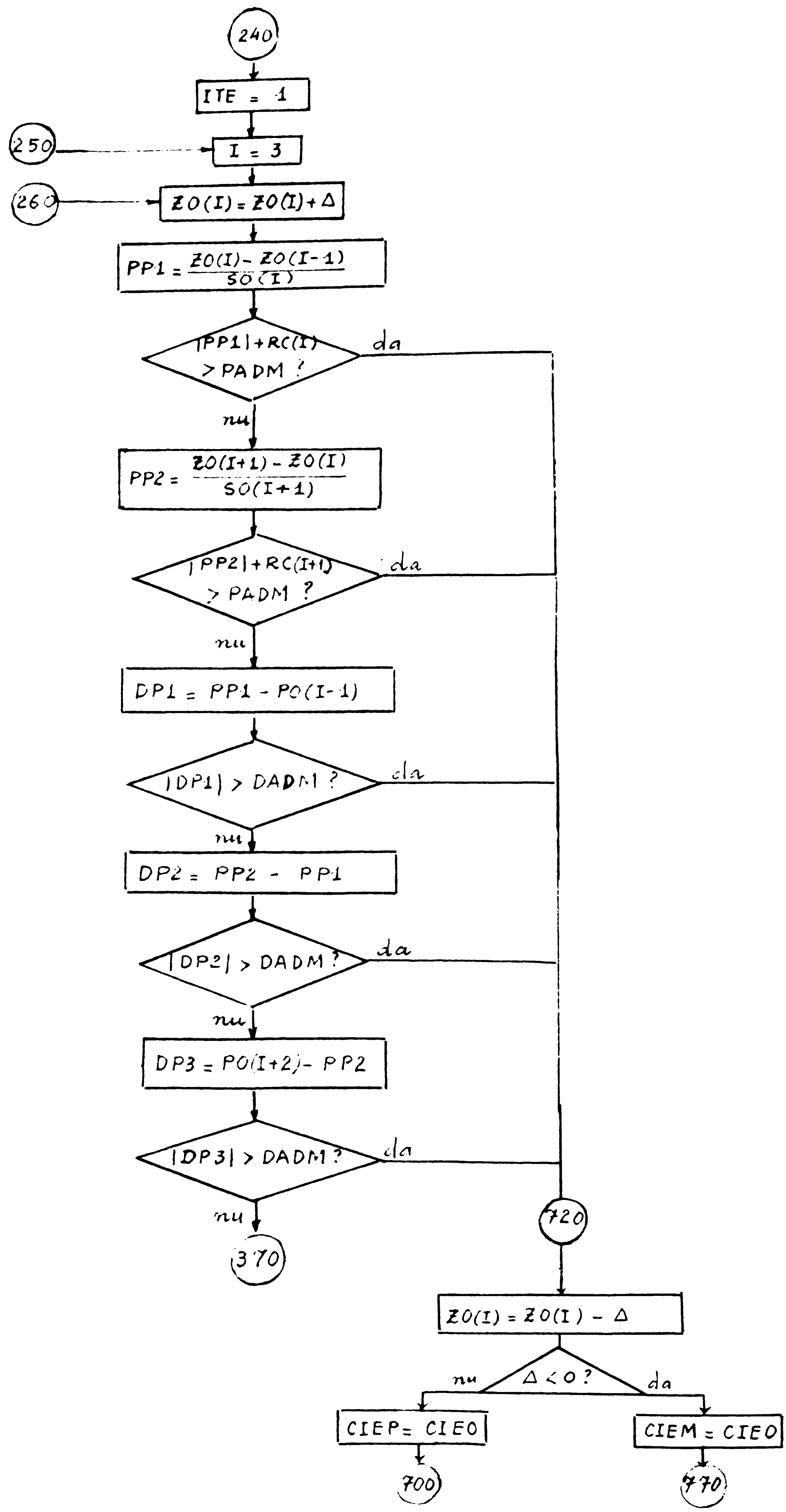
Pentru a rula la calculatorul cu capacitatea mică autorul a scris conform algoritmului mai su 2 programe, una numită OLIROS pentru căutarea liniei roşii cu cheltuielile de construcţii minime şi alta numită LIROP pentru calculul cheltuielilor de exploatare. Programul LIROP se scrie pentru declivitatea caracteristică de 8‰

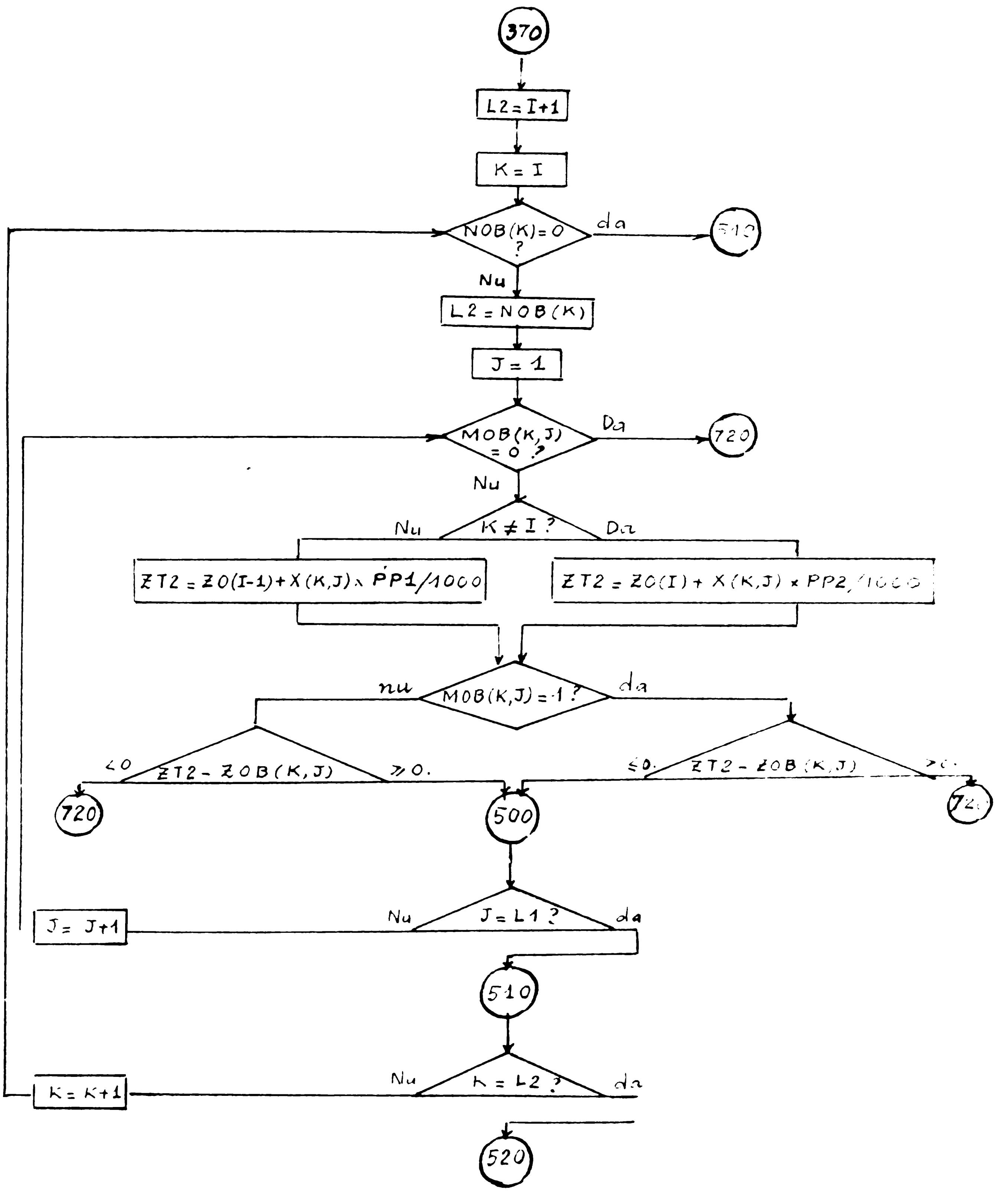
Autorul a rulat:

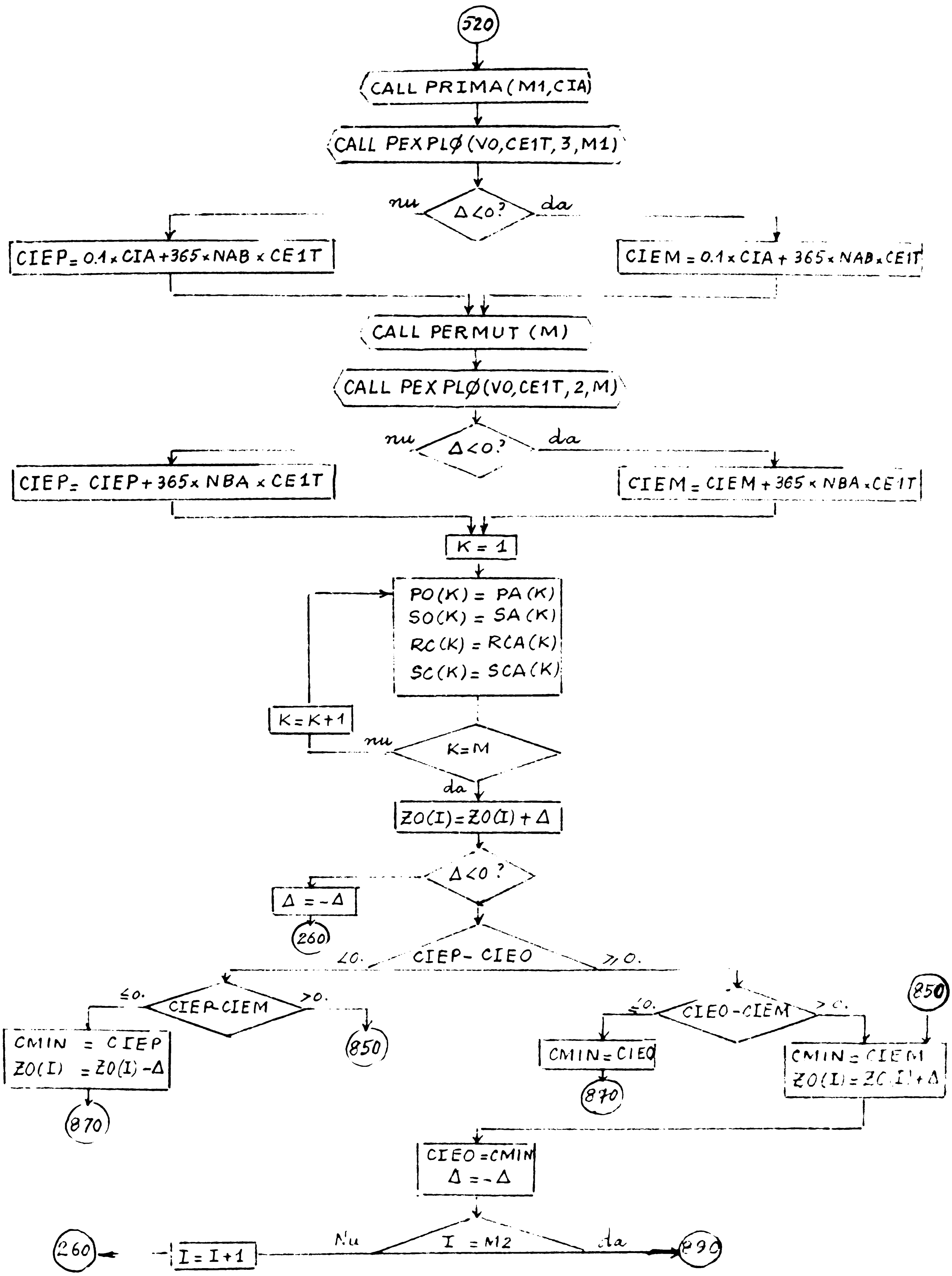
- programul OLIROS pentru un tronson de cale ferată de 4 Km (echidistanţa dintre picheţi r= 5o m) Timpul necesar la calculator este 2 min. 25 sec. adică 36 sec/Km

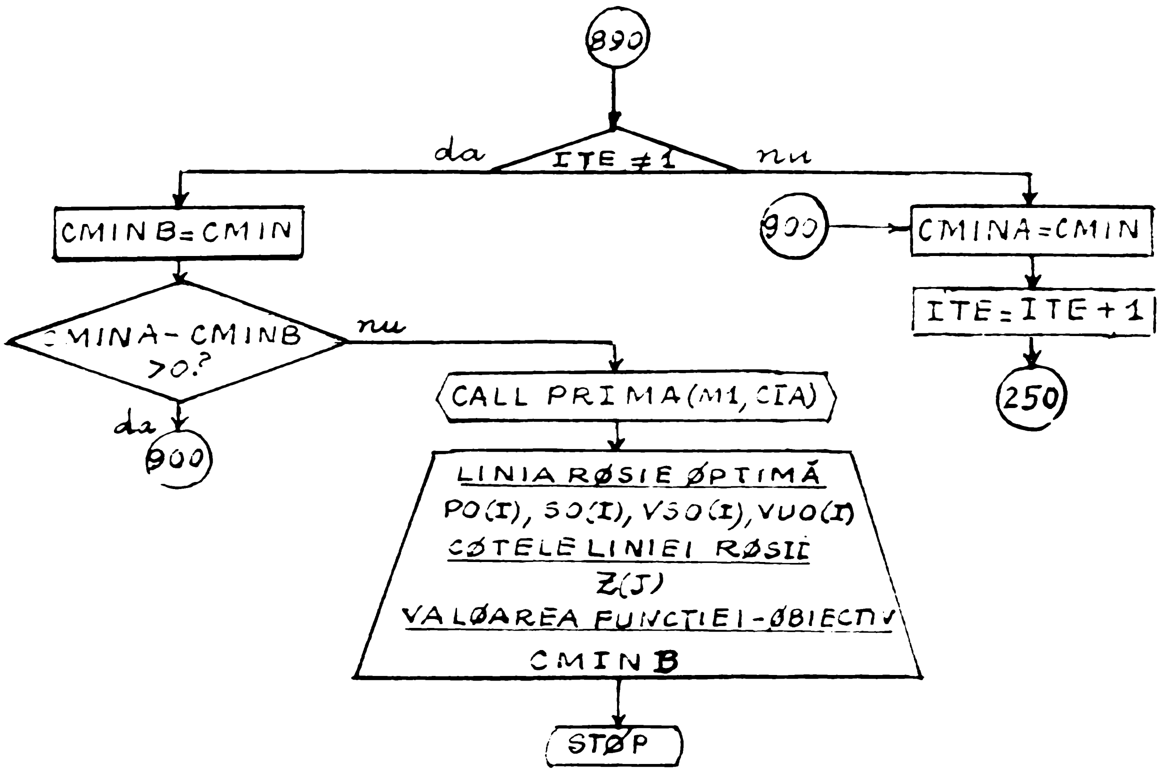
- programul LIROP pentru 5 variante de profilul longitudinal al căii ferate fiecare variantă are lungimea 4 Km Timpul necesar la calculator este 1 min 49 adică 55 sec/Km.


START
DATELE DE INTRARE
M1 = M-1
CALL PRIMA (M1, CIA)
CALL PEXPLØ (VO, CE1T, 3, M1)
CIEO = 0.1 x CIA + 365. x NAB x CE1T
CALL PERMUT (M)
M2 = M- 2
CALL PEXPLØ (VO, CE1T, 2, M2)
CIEO = CIEO + 365. x NBA x CE1T
I = 1
PO(I) = PA(I)
SO(I) = SA(I)
RC(I) = RCA(I)
SC(I) = SCA(I)
I = I+1
nu
I = M
da
240

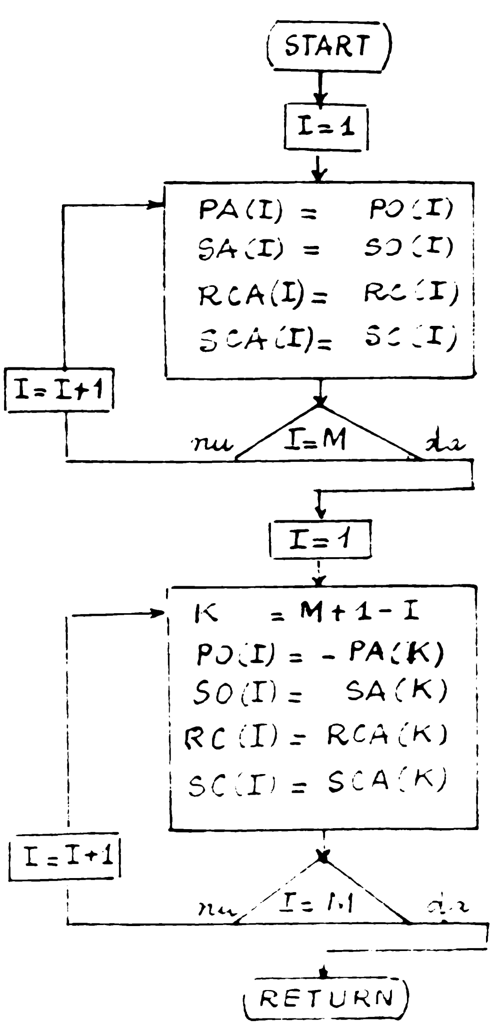

240
ITE = 1
250
I = 3
260
ZO(I) = ZO(I) + Δ
PP1 = (ZO(I) - ZO(I-1)) / SO(I)
|PP1| + RC(I) > PADM ?
da
nu
PP2 = (ZO(I+1) - ZO(I)) / SO(I+1)
|PP2| + RC(I+1) > PADM ?
da
nu
DP1 = PP1 - PO(I-1)
|DP1| > DADM ?
da
nu
DP2 = PP2 - PP1
|DP2| > DADM ?
da
nu
DP3 = PO(I+2) - PP2
|DP3| > DADM ?
da
nu
370
720
ZO(I) = ZO(I) - Δ
Δ < 0 ?
nu
da
CIEP = CIEO
CIEM = CIEO
700
770


370
L2 = I+1
K = I
NOB(K) = 0 ?
da
Nu
L2 = NOB(K)
J = 1
MOB(K,J) = 0 ?
Da
720
Nu
K ≠ I ?
Nu
Da
ZT2 = ZO(I-1) + X(K,J) × PP1/1000
ZT2 = ZO(I) + X(K,J) × PP2
nu
MOB(K,J) = 1 ?
da
<0
ZT2 - ZOB(K,J)
≥0.
≤0.
ZT2 - ZOB(K,J)
720
500
Nu
J = L1 ?
da
J = J+1
510
Nu
K = L2 ?
da
K = K+1
520

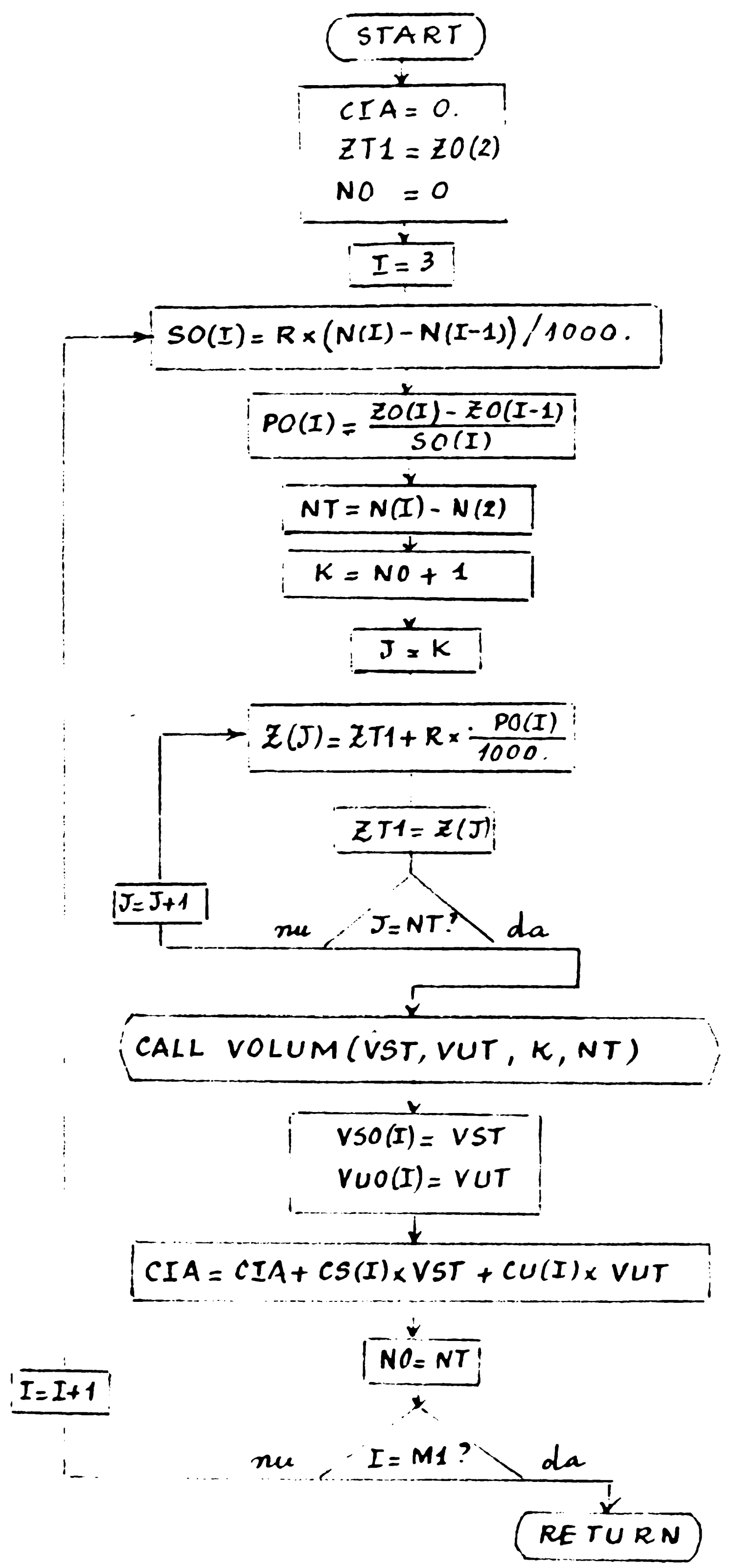

520
CALL PRIMA(M1,CIA)
CALL PEXPLØ(VO,CE1T,3,M1)
nu
Δ<0?
da
CIEP = 0.1 × CIA + 365 × NAB × CE1T
CIEM = 0.1 × CIA + 365 × NAB × CE1T
CALL PERMUT (M)
CALL PEXPLØ(VO,CE1T,2,M)
nu
Δ<0?
da
CIEP = CIEP + 365 × NBA × CE1T
CIEM = CIEM + 365 × NBA × CE1T
K = 1
PO(K) = PA(K)
SO(K) = SA(K)
RC(K) = RCA(K)
SC(K) = SCA(K)
K = K+1
nu
K=M
da
ZO(I) = ZO(I) + Δ
Δ<0 ?
Δ = -Δ
260
<0.
CIEP - CIEO
≥0.
≤0.
CIEP-CIEM
>0.
850
CMIN = CIEP
ZO(I) = ZO(I) -Δ
870
≤0.
CIEO-CIEM
>0.
850
CMIN = CIEO
870
CMIN = CIEM
ZO(I) = ZO(I) + Δ
CIEO = CMIN
Δ = -Δ
260
I = I+1
Nu
I = M2
da
890



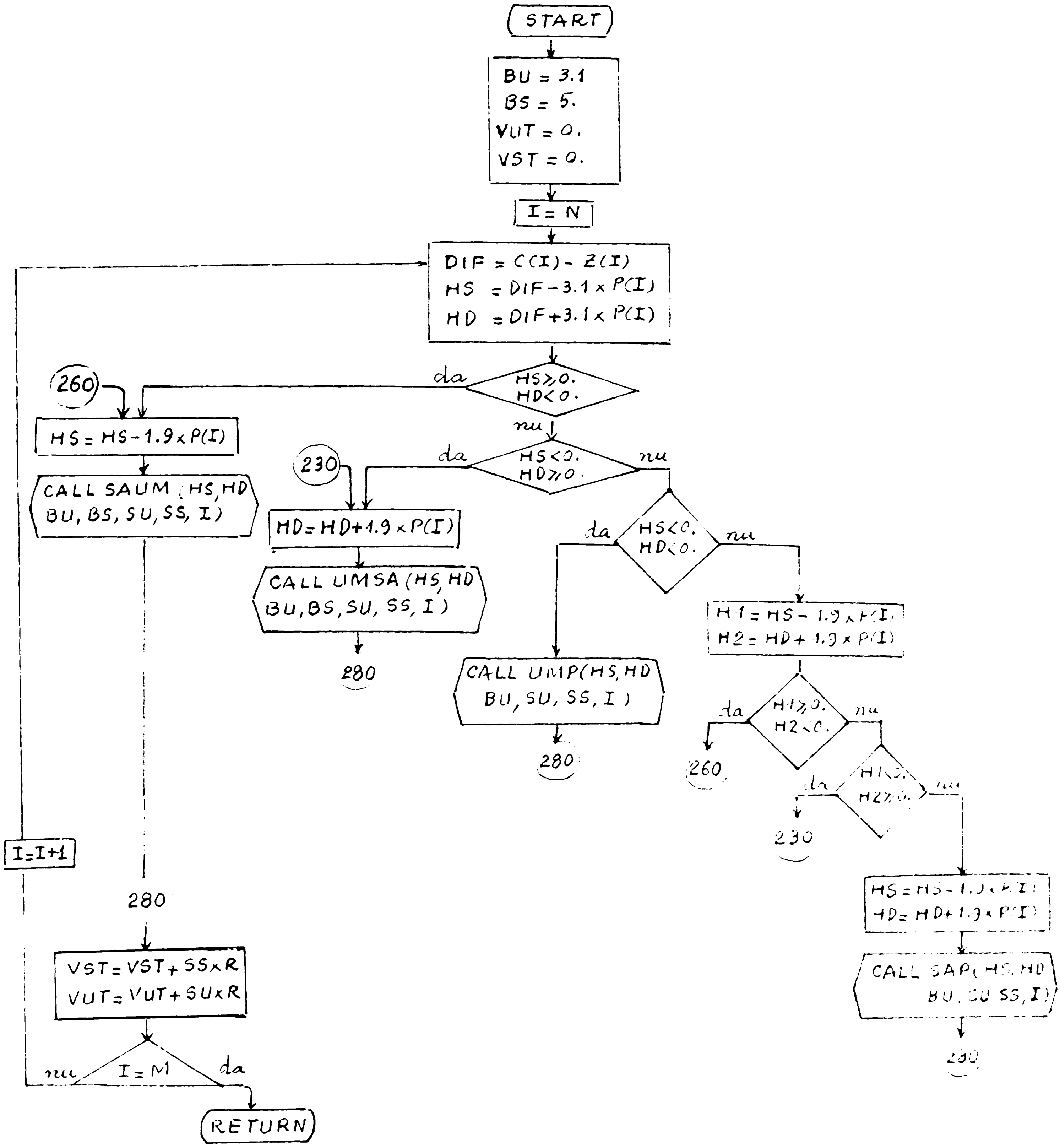
SUBRØUTINE PERMUT(M)

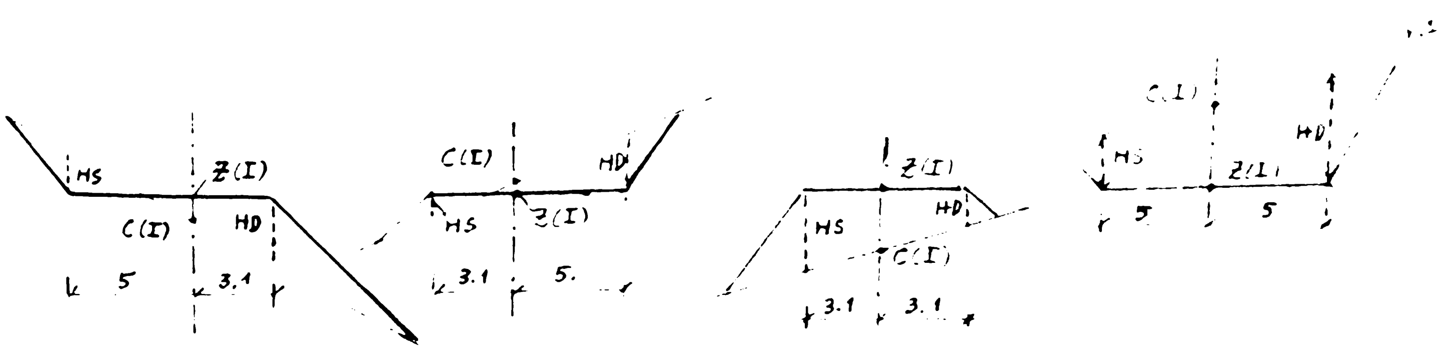


SUBRØUTINE PRIMA(M1, CIA)

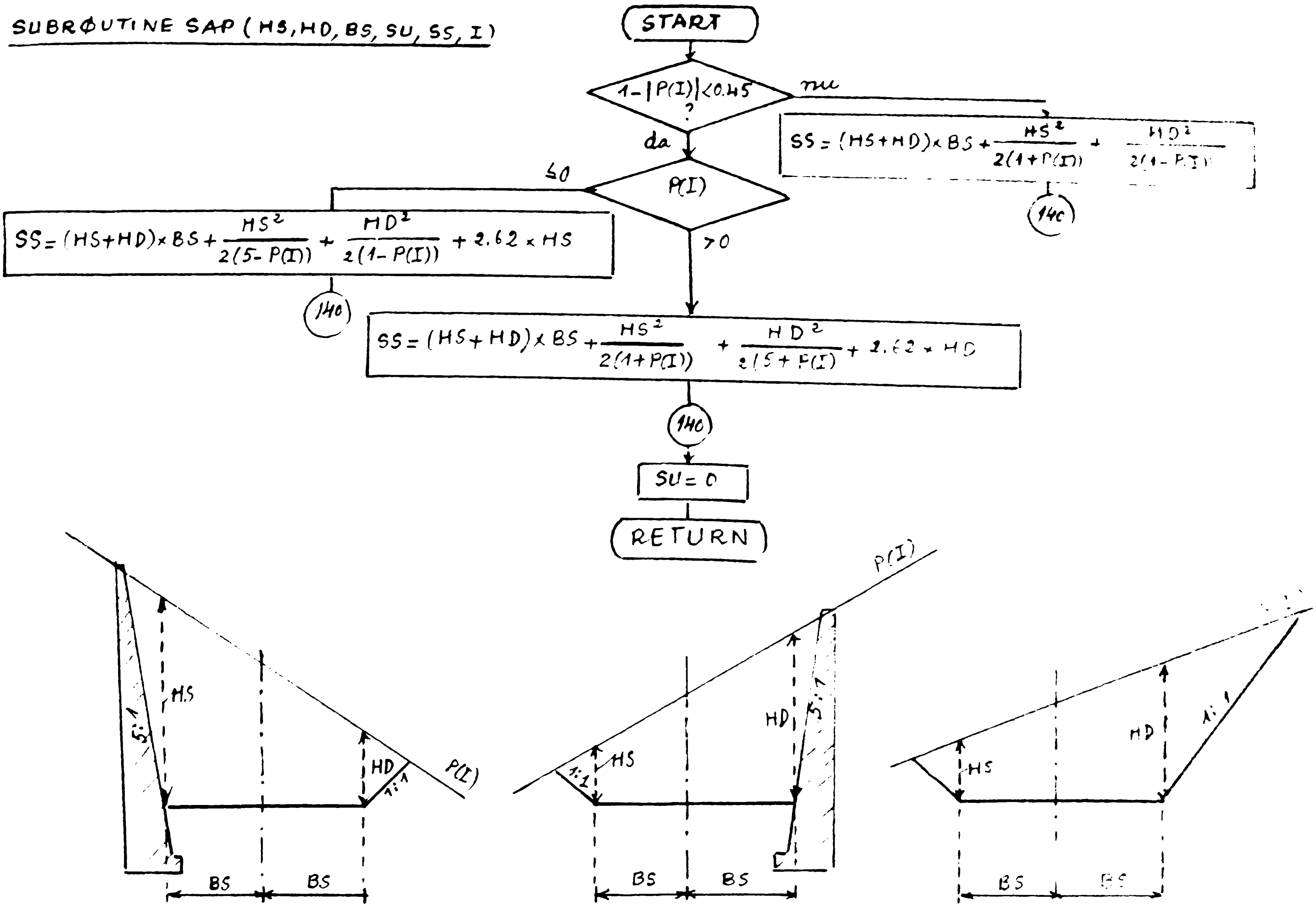


SUBROUTINE VOLUM (VST, VUT, N, M)

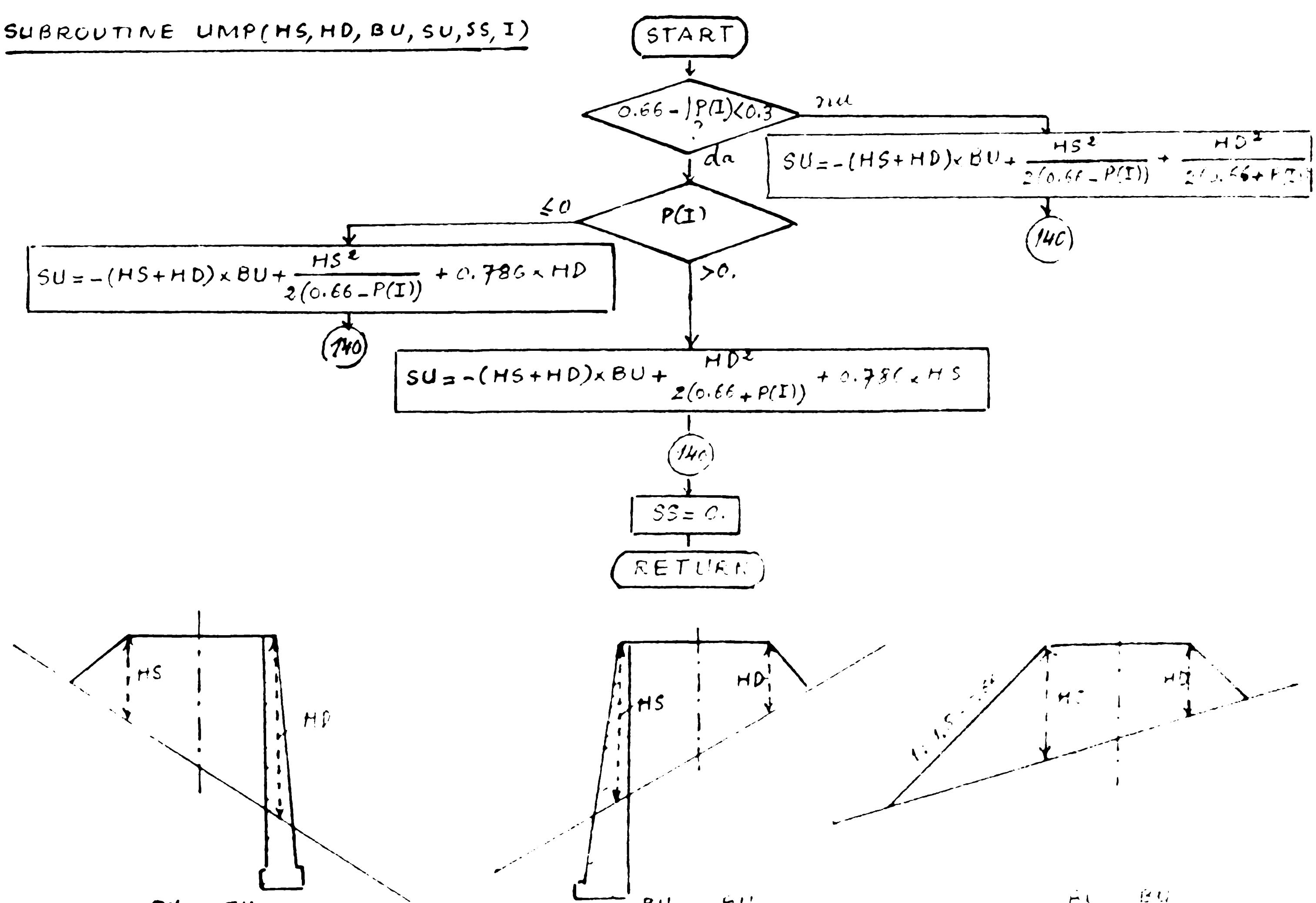




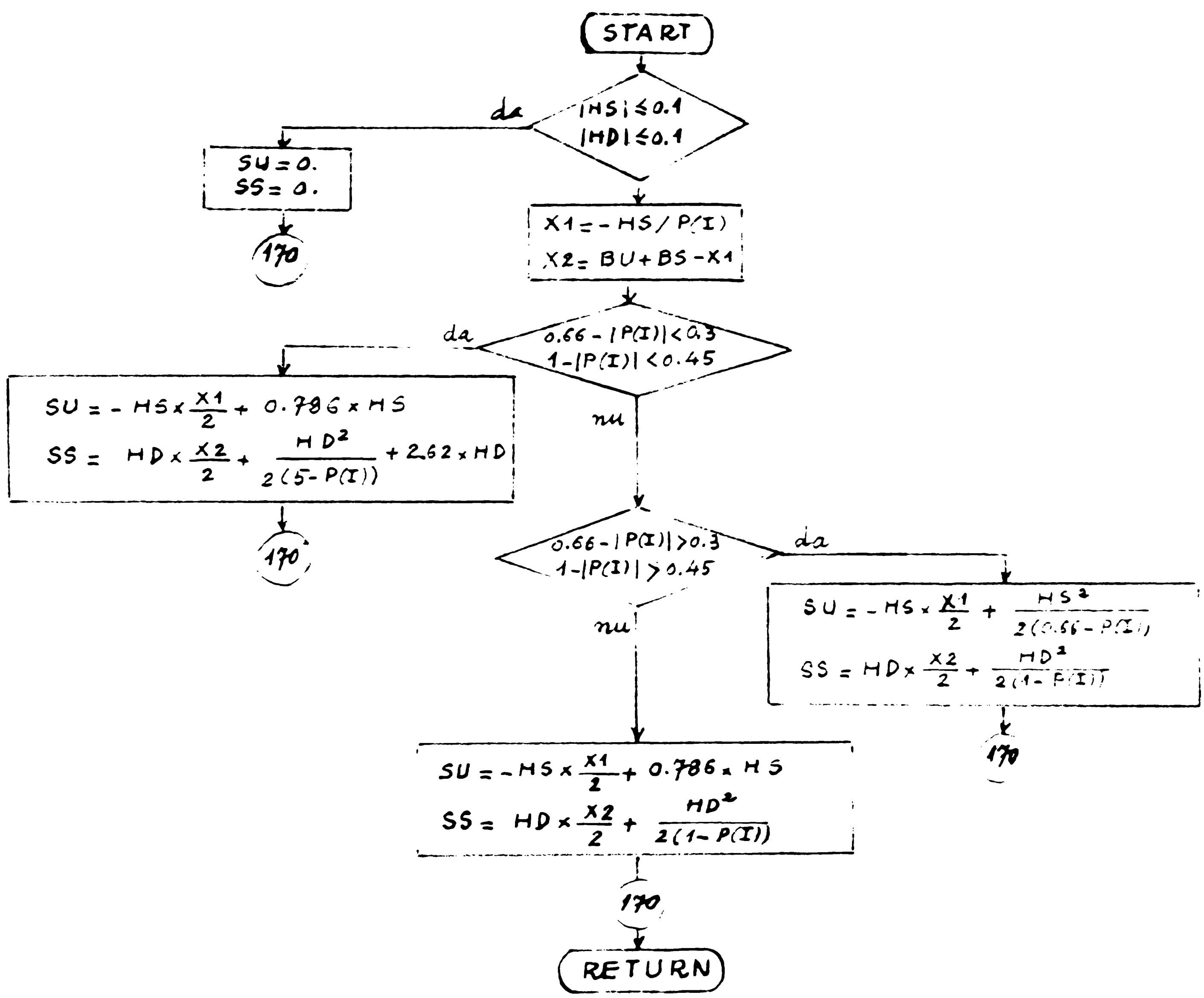
SUBRØUTINE SAP (HS, HD, BS, SU, SS, I)

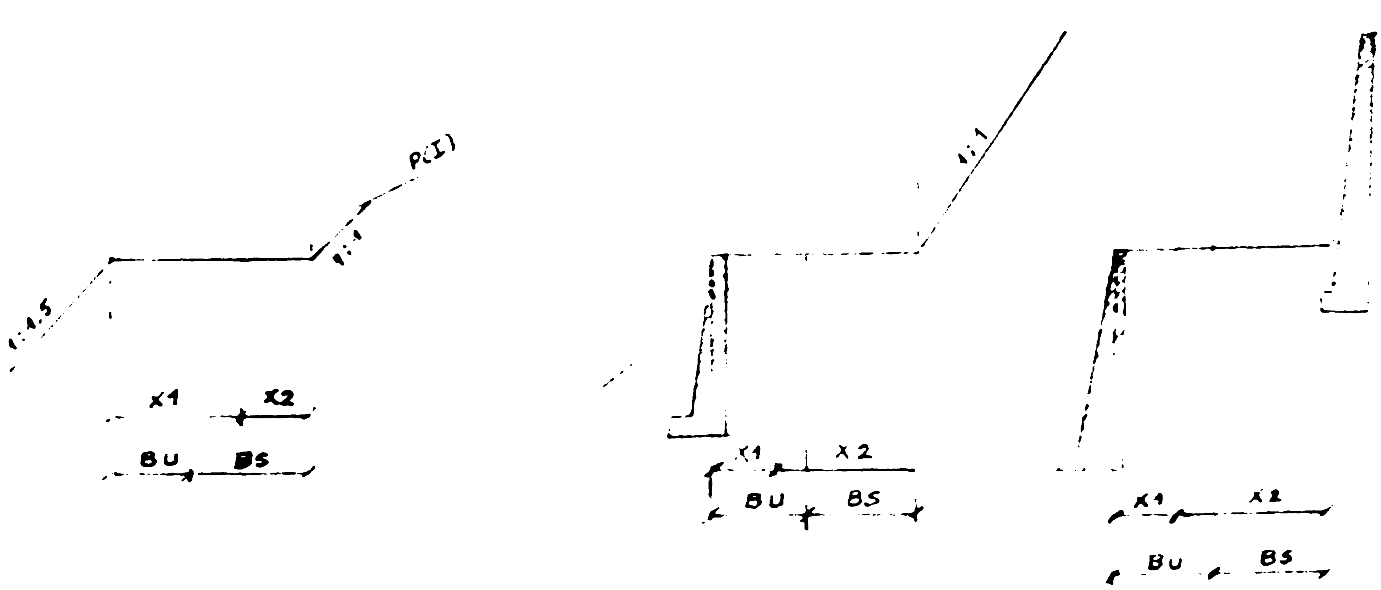


SUBROUTINE UMP(HS, HD, BU, SU, SS, I)

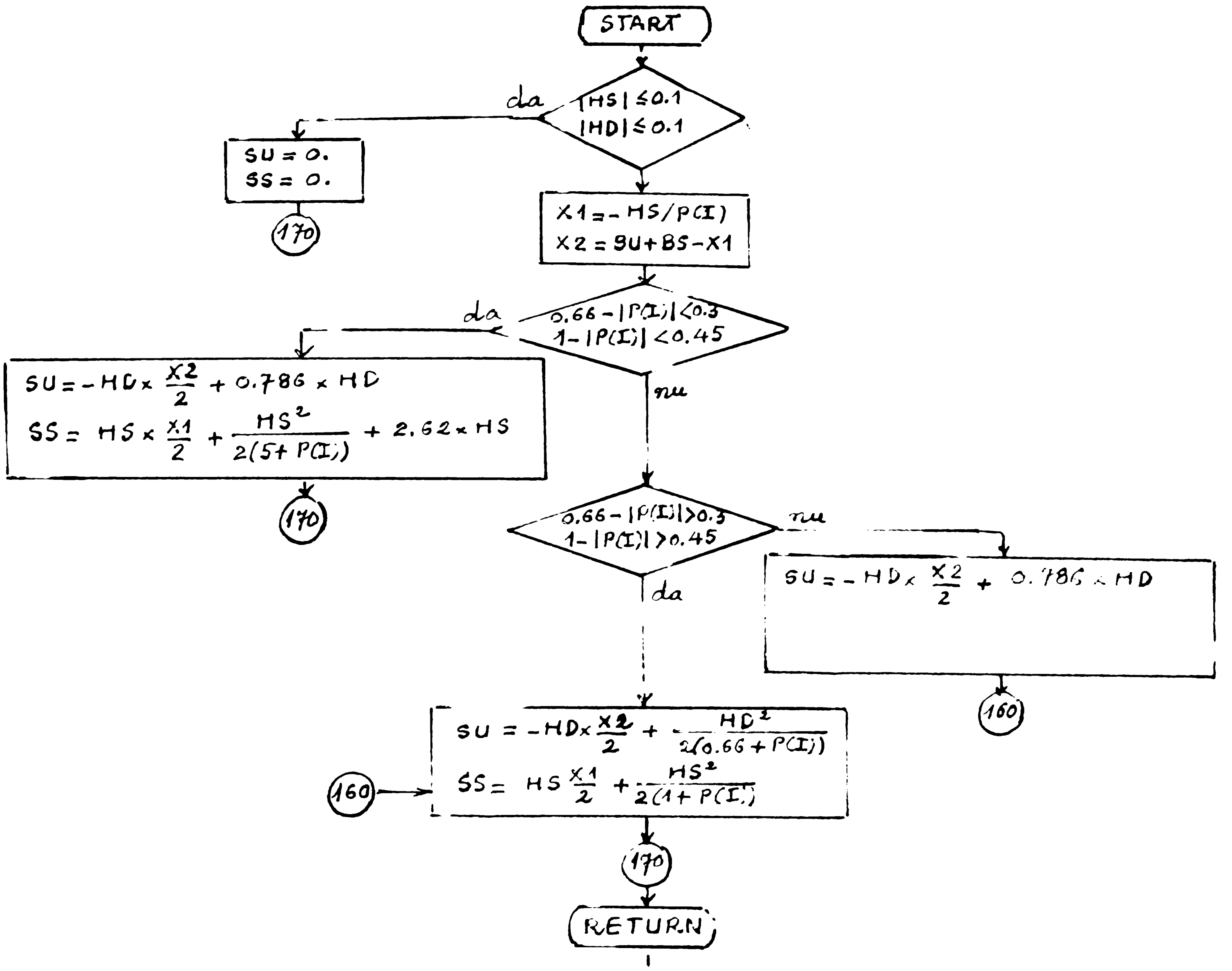


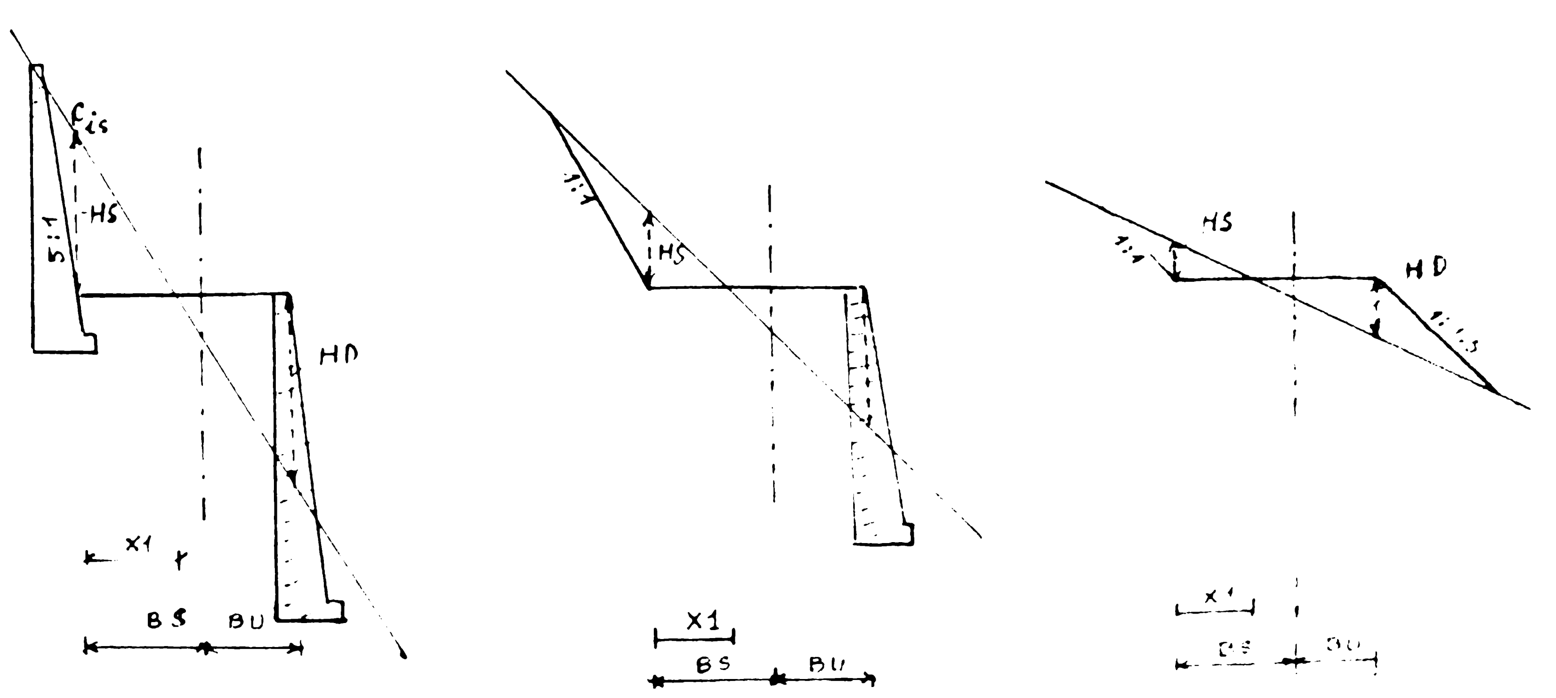
SUBRØUTINE UMSA (HS, HD, BU, BS, SU, SS, I)



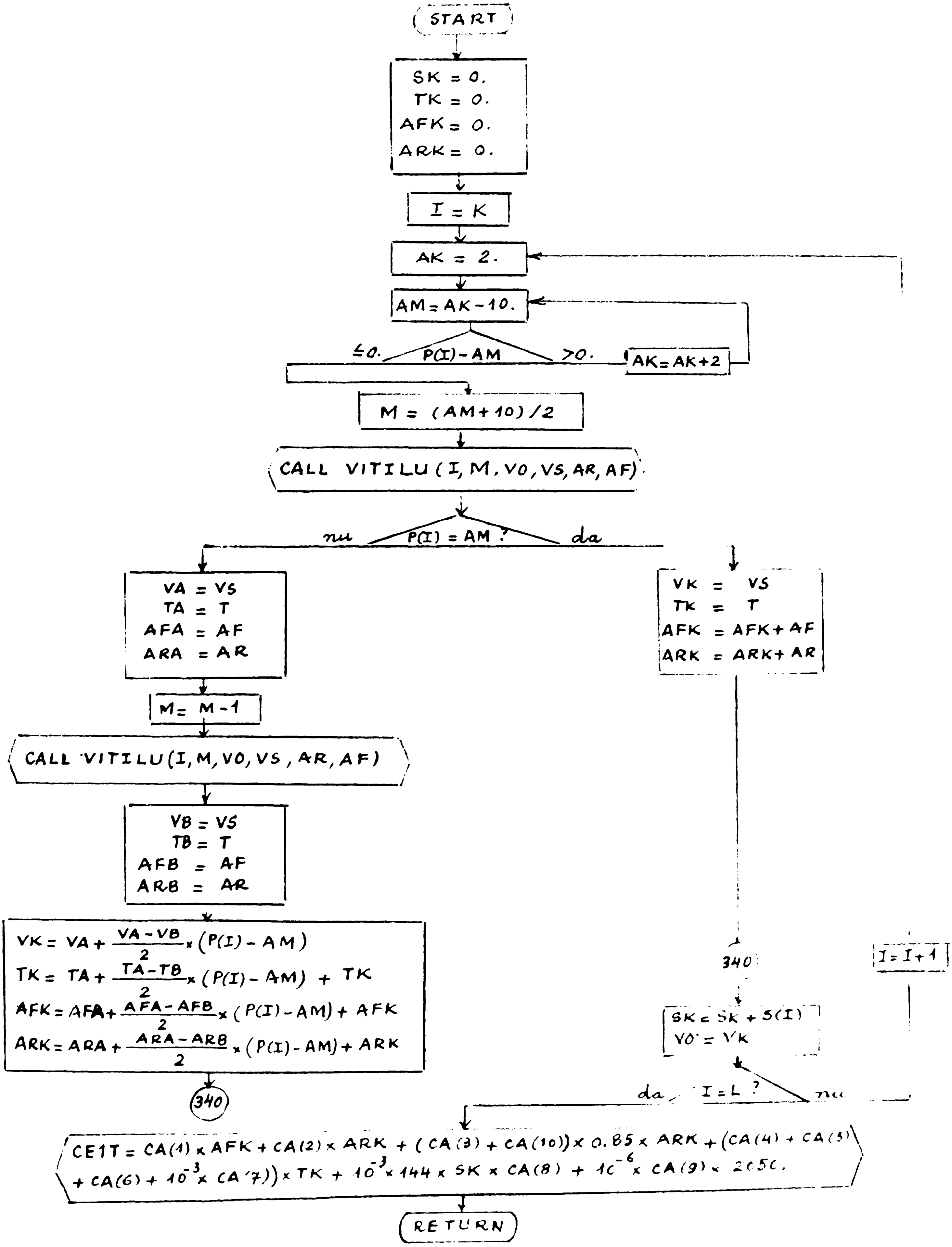


SUBROUTINE SAUM (HS, HD, BU, BS, SU, SS, I)

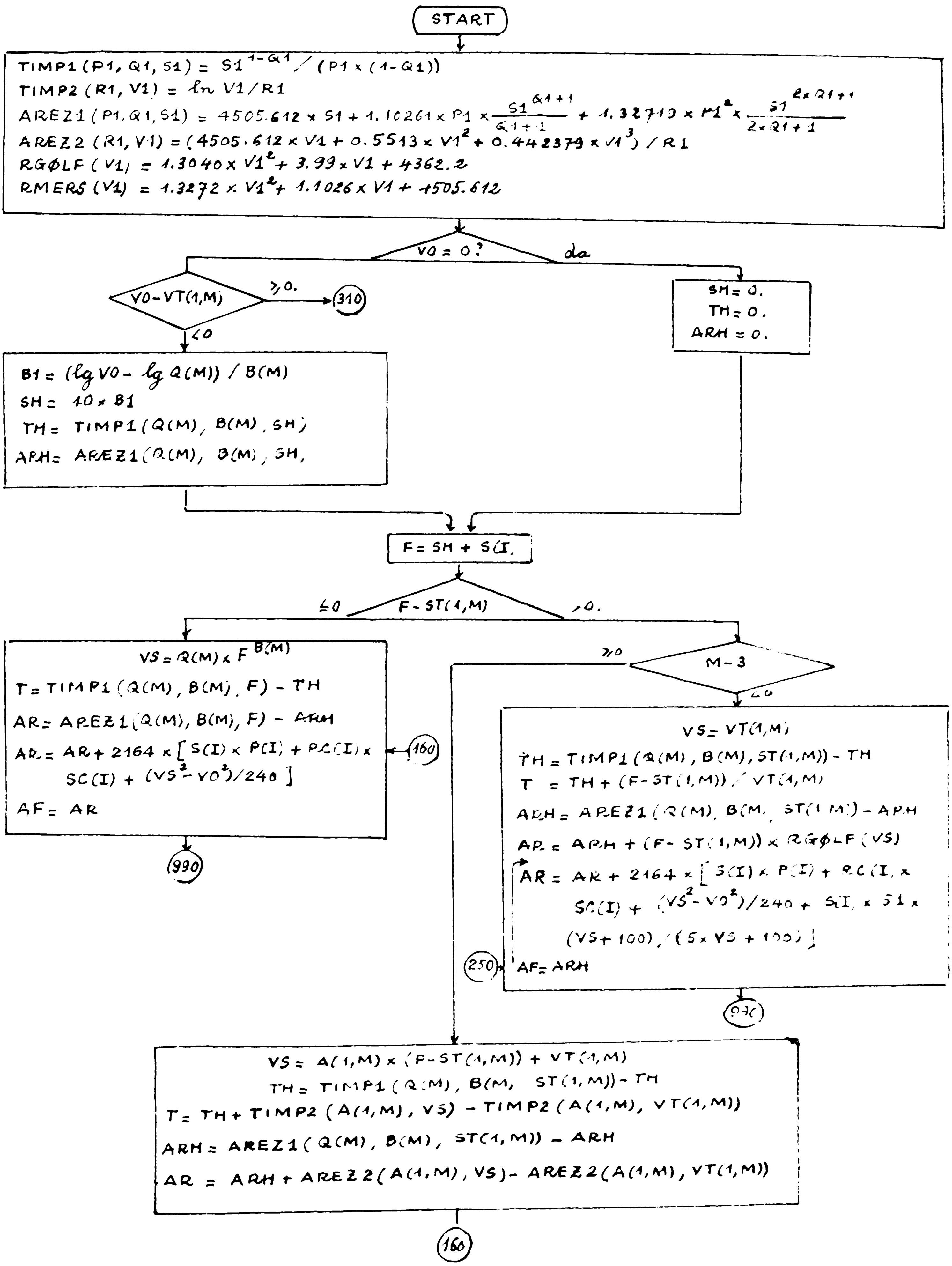


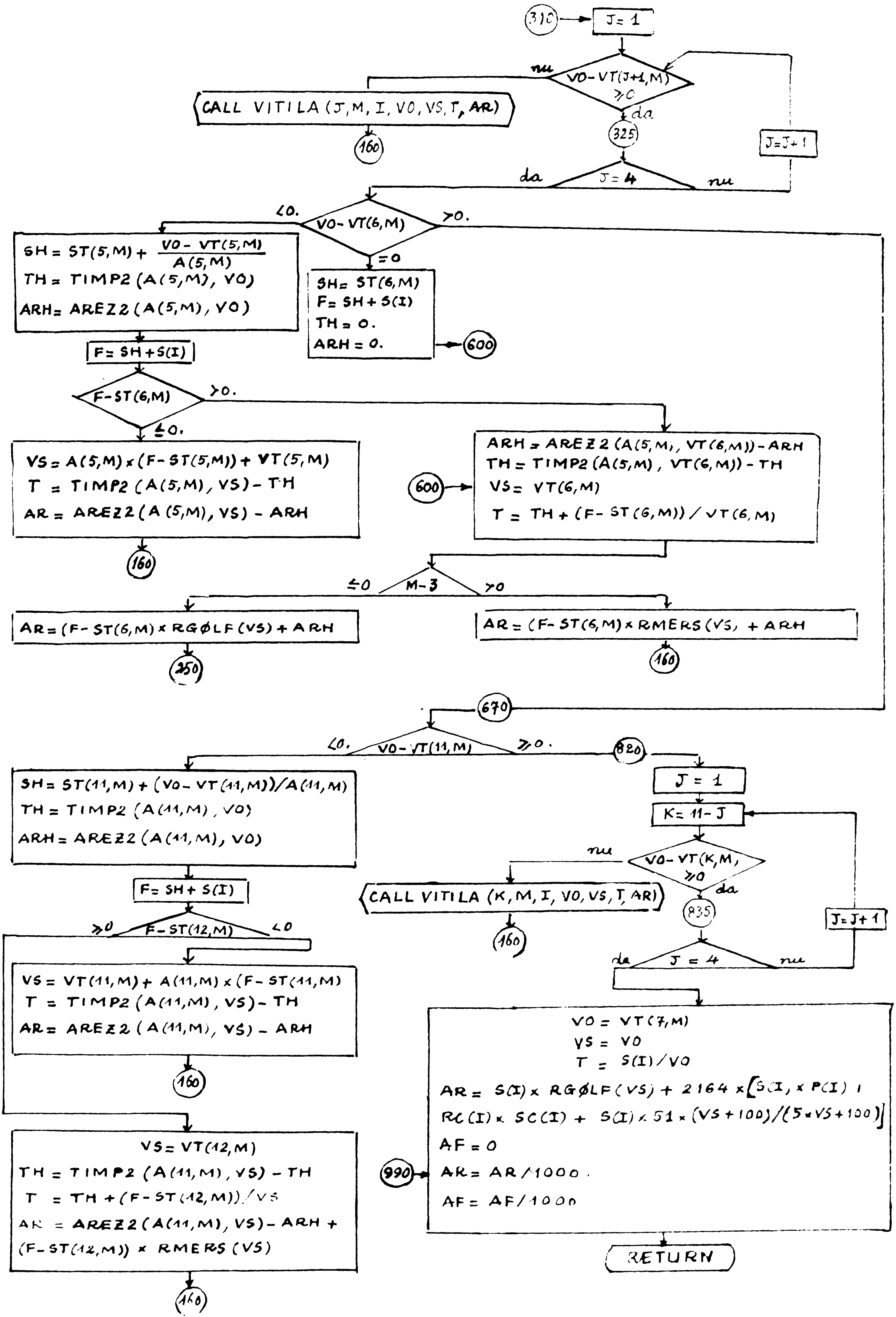


SUBRØUTINE PEXPLØ (VO, CE1T, K, L)

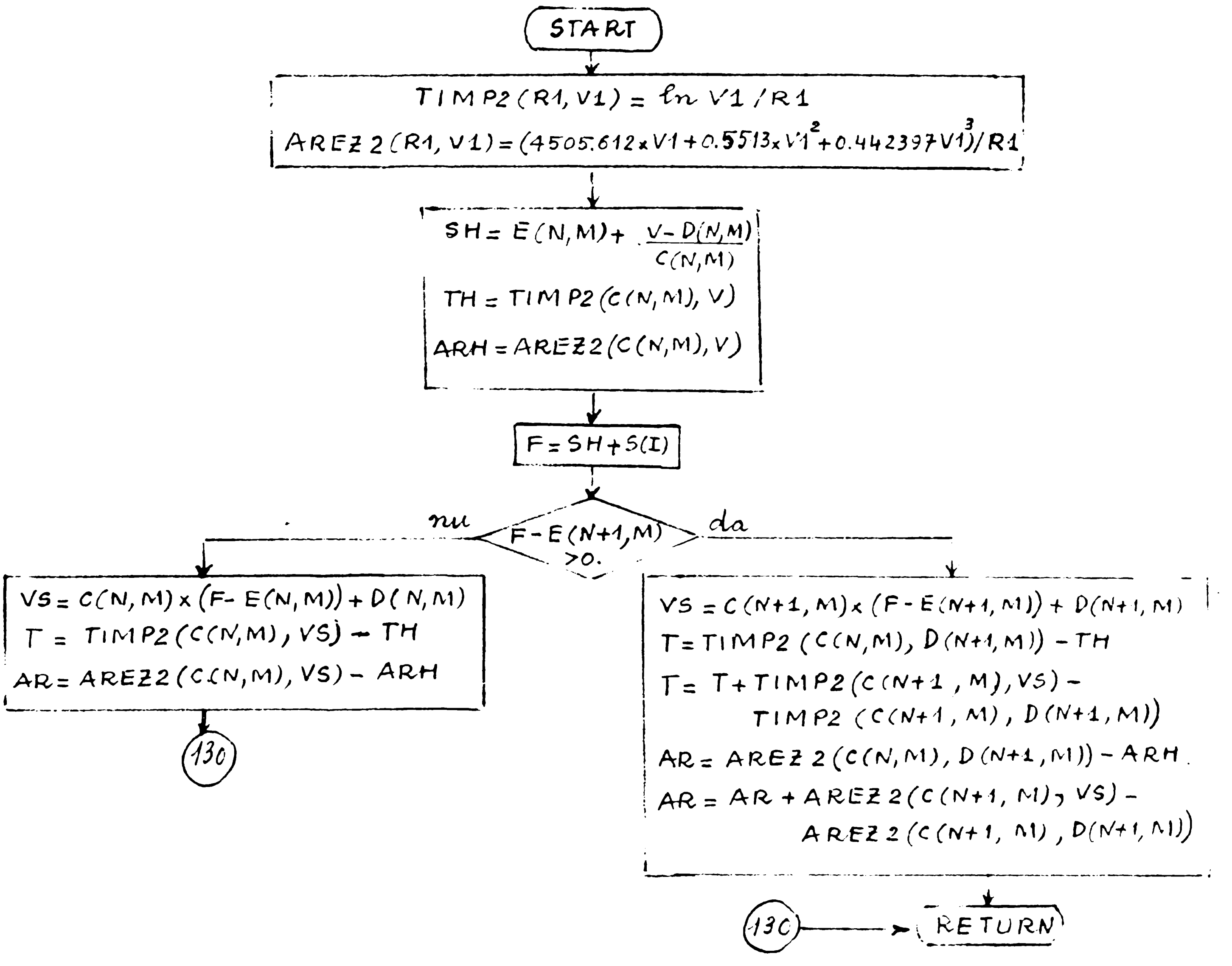


SUBRØUTINE VITILU (I, M, VO, /S, T, AR, AF)




310
J = 1
VO - VT(J+1,M) ≥ 0
nu
da
CALL VITILA (J, M, I, VO, VS, T, AR)
160
325
J = J + 1
J = 4
da
nu
VO - VT(6,M)
< 0.
> 0.
= 0
SH = ST(5,M) + (VO - VT(5,M)) / A(5,M)
TH = TIMP2 (A(5,M), VO)
ARH = AREZ2 (A(5,M), VO)
SH = ST(6,M)
F = SH + S(I)
TH = 0.
ARH = 0.
600
F = SH + S(I)
F - ST(6,M)
> 0.
≤ 0.
VS = A(5,M) x (F - ST(5,M)) + VT(5,M)
T = TIMP2 (A(5,M), VS) - TH
AR = AREZ2 (A (5,M), VS) - ARH
160
ARH = AREZ2 (A(5,M), VT(6,M)) - ARH
TH = TIMP2 (A(5,M), VT(6,M)) - TH
VS = VT(6,M)
T = TH + (F - ST(6,M)) / VT(6,M)
600
M - 3
≤ 0
> 0
AR = (F - ST(6,M) x RGØLF (VS) + ARH
250
AR = (F - ST(6,M) x RMERS (VS, + ARH
160
670
VO - VT(11,M)
< 0.
≥ 0.
820
SH = ST(11,M) + (VO - VT(11,M))/A(11,M)
TH = TIMP2 (A(11,M), VO)
ARH = AREZ2 (A(11,M), VO)
F = SH + S(I)
F - ST(12,M)
≥ 0
< 0
VS = VT(11,M) + A(11,M) x (F - ST(11,M)
T = TIMP2 (A(11,M), VS) - TH
AR = AREZ2 (A(11,M), VS) - ARH
160
VS = VT(12,M)
TH = TIMP2 (A(11,M), VS) - TH
T = TH + (F - ST(12,M)) / VS
AR = AREZ2 (A(11,M), VS) - ARH +
(F - ST(12,M)) x RMERS (VS)
160
J = 1
K = 11 - J
VO - VT(K,M) ≥ 0
nu
da
CALL VITILA (K, M, I, VO, VS, T, AR)
160
835
J = J + 1
J = 4
da
nu
VO = VT(7,M)
VS = VO
T = S(I)/VO
AR = S(I) x RGØLF (VS) + 2164 x [SC(I) x P(I) /
RC(I) x SC(I) + S(I) x 51 x (VS + 100)/(5 x VS + 100)]
AF = 0
990
AR = AR/1000.
AF = AF/1000
RETURN

SUBROUTINE VITILA (N, M, I, V, VS, T, AR)



```
LUONG

PI03

JOB OLIROS,AN:PI03,PN:LUONG
FORMAT 2,CTCD.(05:50)
COMPILE FORTRAN
FORTRAN  STARTED                                OLIROS     03/05/77   18.02:36

FORTRAN 00.00

C      C    PROGRAMUL DE ALEGEREA LINIEI ROSII OPTIME LA PROFILUL LONGITUDINAL
C      C    SUBPROGRAMELE NECESARE
C      C    SUBROUTINE PRIMA
C      C    SUBROUTINE VOLUM
C      C    SUBROUTINE SAP
C      C    SUBROUTINE UMP
C      C    SUBROUTINE UMSA
C      C    SUBROUTINE SAUM
C      C
            DIMENSION NOB(20),X(20,3),ZOB(20,3),MOB(20,3),ZA(20)
            COMMON SO(20),PO(20),PC(20),SC(20)
            COMMON /BLOCA/D(200)
            COMMON /BLOCD/VSO(20),VUO(20),N(20),ZO(20)/BLOCF/CU(20),CS(20)
            COMMON /BLOCE/Z(200),C(200),R
C      C
C      C    READ(105,10)M,J1,NAB,NBA,PADM,DADM,DELTA,R,VO
```

BUPT

LUONG

PIO3

```
      DO 9 I=1,M
      ...
      READ(105,20)N(I),NOB(I),SC(I),RC(I),CU(I),CS(I),ZO(I)
      READ(105,30)(MOB(I,N1),N1=1,3),(X(I,N1),N1=1,3),(ZOB(I,N1),N1=1,3)
   90 CONTINUE
      READ(105,40)(C(J),J=1,J1)
      READ(105,40)(P(J),J=1,J1)
      READ(105,70)PO(1),PO(2),PO(M),SO(1),SO(2),SO(M)
   10 FORMAT(4I5,5X,4F6.2,F8.3)
   20 FORMAT(2I5,5F10.2)
   30 FORMAT(3I5,5X,6F10.2)
   40 FORMAT(10F7.2)
   70 FORMAT(6F7.3)
      PRINT 11,M,J1,PADM,DADM,DELTA,R,VO
   11 FORMAT(20X,'M=',I5,'J1=',I5,'PADM=',F6.2,'DADM',F6.2,'DELTA=',F6.2
     *,'R=',F6.2,'VO=',F8.3)
      PRINT 12,(N(I),NOB(I),SC(I),RC(I),CU(I),CS(I),ZO(I),I=1,M)
   12 FORMAT(20X,'N(I)',5X,'NOB(I)',5X,'SC(I)',5X,'RC(I)',5X,'CU(I)',5X,
     *'CS(I)',5X,'ZO(I)'//15X,2I10,5F10.2)
      PRINT 13,(C(J),J=1,J1)
   13 FORMAT(20X,'C(J)'//3X,10F10.2)
      PRINT 14,(P(J),J=1,J1)
   14 FORMAT(20X,'P(J)'//3X,10F10.2)
      DO 16 I=1,M
      PRINT 15,(MOB(I,N1),N1=1,3),(X(I,N1),N1=1,3),(ZOB(I,N1),N1=1,3)
   15 FORMAT(20X,'MOB(I,N1)','X(I,N1)','ZOB(I,N1)'//10X,3I10,6F10.2)
   16 CONTINUE
      M1=M-1
      CALL PRIMA(M1,CIA)
      CIEO=CIA
      M2=M-2
RTRAN 00.00                                    OLIROS     03/05/77   18.02.36

      IT =1
      C
  250 DO 880 I=3,M2
  260 ZO(I)=ZO(I)+DELTA
      PP1=(ZO(I)-ZO(I-1))/SO(I)
      IF((ABS(PP1)+RC(I)).GT.PADM)GO TO 720
      PP2=(ZO(I+1)-ZO(I))/SO(I+1)
      IF((ABS(PP2)+RC(I+1)).GT.PADM) GO TO 720
      DP1=PP1-PO(I-1)
      IF(ABS(DP1).GT.DADM)GO TO 720
      DP2=PP2-PP1
      IF(ABS(DP2).GT.DADM)GO TO 720
      DP3=PO(I+2)-PP2
      IF(ABS(DP3).GT.DADM)GO TO 720
      L2=I+1
      DO 510 K=I,L2
      IF(NOB(K).EQ.0)GO TO 510
      L1=NOB(K)
      DO 500 J=1,L1
      IF(MOB(K,J).EQ.0)GO TO 720
      IF(K.NE.I)GO TO 460
      ZT2=ZO(I-1)+X(K,J)*PP1/1000.0
      GO TO 470
  460 ZT2=ZO(I)+X(K,J)*PP2/1000.0
  470 IF(MOB(K,J).EQ.1)GO TO 490
      IF(ZT2-ZOB(K,J))720,500,500
  490 IF(ZT2-ZOB(K,J))500,500,720
  500 CONTINUE
  510 CONTINUE
      CALL PRIMA(M1,CIA)
      IF(DELTA.LT.0.0)GO TO 560
      CIEP=CIA
      GO TO 630
  560 CIEM=CIA
  630 CONTINUE
      ZO(I)=ZO(I)-DELTA
      IF(DELTA.LT.0.0)GO TO 770
  700 DELTA=-DELTA
      GO TO 260
  720 ZO(I)=ZO(I)-DELTA
      IF(DELTA.LT.0.0)GO TO 760
      CIEP=CIEO
      GO TO 700
  760 CIEM=CIEO
  770 IF(CIEP-CIEO)780,820,820
  780 IF(CIEP-CIEM)790,790,850
  790 CMIN=CIEP
      ZO(I)=ZO(I)-DELTA
                                               OLIROS     03/05/77   18.02.36
RTRAN 00.00

      O TO
```

```
  820 IF(CIEO-CIEM)830,830,850
  830 CMIN=CIEO
      GO TO 870
  850 CMIN=CIEM
      ZO(I)=ZO(I)+DELTA
  870 CIEO=CMIN
  880 DELTA=-DELTA
      IF(ITE.NE.1)GO TO 950
  900 CMINA=CMIN
      DO 930 K=1,M
  930 ZA(K)=ZO(K)
      ITE=ITE+1
      GO TO 250
  950 CMINB=CMIN
      IF((CMINA-CMINB).GT.0.)GO TO 900
      CALL PRIMA(M1,CIA)
      WRITE(108,1010)(PO(I),SO(I),VSO(I),VUO(I),I=3,M1)
 1010 FORMAT(21X,'LINIA ROSIE OPTIMA'/21X,'******************'//14X,'PO(
     1I)',14X,'SO(I)',14X,'VSO(I)',14X,'VUO(I)'//4(10X,F10.2))
      WRITE(108,1020)(Z(J),J=1,J1)
 1020 FORMAT(21X,'COTELE LINIEI ROSII'/21X,'*******************'//10X,10
     1F8.2)
      WRITE(108,1080)ITE,CMINA
 1080 FORMAT(21X,'ITERATIE=',I5,'CMINA=',F10.2)
      STOP
      END
```

FORTRAN 00.00 OLIROS 03/05/77 18.02.58

```
      SUBROUTINE PRIMA(M1,CIA)
      COMMON SO(20),PO(20)
      COMMON /BLOCA/P(200)
      COMMON /BLOCE/Z(200),C(200),R
      COMMON /BLOCD/VSO(20),VUO(20),N(20),ZO(20)/BLOCE/CU(20),CS(20)
      CIA=0.0
      ZT1=ZO(2)
      NO=0
      DO 160 I=3,M1
      SO(I)=R*FLOAT(N(I)-N(I-1))/1000.0
      PO(I)=(ZO(I)-ZO(I-1))/SO(I)
      NT=N(I)-N(2)
      K=NO+1
      DO 110 J=K,NT
      Z(J)=ZT1+R*PO(I)/1000.0
  110 ZT1=Z(J)
      CALL VOLUM(VST,VUT,K,NT)
      VSO(I)=VST
      VUO(I)=VUT
      CIA=CIA+CS(I)*VST+CU(I)*VUT
  160 NO=NT
      RETURN
      END
```

FORTRAN 00.00 OLIROS 03/05/77 18.03.07

```
      SUBROUTINE VOLUM(VST,VUT,N,M)
      COMMON /BLOCA/P(200)
      COMMON /BLOCE/Z(200),C(200),R
      BU=3.1
      BS=5.0
      VUT=0.0
      VST=0.0
      DO 290 I=N,M
      DIF=C(I)-Z(I)
      HS=DIF-3.1*P(I)
      HD=DIF+3.1*P(I)
      IF(HS.GE.0.0.AND.HD.LT.0.0)GO TO 260
      IF(HS.LT.0.0.AND.HD.GE.0.0)GO TO 230
      IF(HS.LT.0.0.AND.HD.LT.0.0)GO TO 210
      H1=HS-1.9*P(I)
      H2=HD+1.9*P(I)
      IF(H1.GE.0.0.AND.H2.LT.0.0)GO TO 260
      IF(H1.LT.0.0.AND.H2.GE.0.0)GO TO 230
      HS=HS-1.9*P(I)
      HD=HD+1.9*P(I)
      CALL SAP(HS,HD,BS,SU,SS,I)
      GO TO 280
  210 CALL UMP(HS,HD,BU,SU,SS,I)
      GO TO 280
  230 HD=HD+1.9*P(I)
      CALL UMSA(HS,HD,BU,BS,SU,SS,I)
```

```
      GO TO 280
  260 HS=HS-1.9*P(I)
      CALL SAUM(HS,HD,BU,BS,SU,SS,I)
  280 VST=VST+SS*R
  290 VUT=VUT+SU*R
      RETURN
      END
```

FORTRAN 00.00 OLIROS 03/05/77 18.03.17

```
      SUBROUTINE SAP(HS,HD,BS,SU,SS,I)
      COMMON /BLOCA/P(200)
      IF((1.0-ABS(P(I))).LT.0.45) GO TO 90
      SS=(HS+HD)*BS+HS**2/(2.*(1.+P(I)))+HD**2/(2.*(1.-P(I)))
      GO TO 140
   90 IF(P(I))100,100,130
  100 SS=(HS+HD)*BS+HS**2/(2.*(5.+P(I)))+HD**2/(2.*(1.-P(I)))+2.62*HS
      GO TO 140
  130 SS=(HS+HD)*BS+HS**2/(2.*(1.+P(I)))+HD**2/(2.*(5.-P(I)))+2.62*HD
  140 SU=0.0
      RETURN
      END
```

FORTRAN 00.00 OLIROS 03/05/77 18.03.27

```
      SUBROUTINE UMP(HS,HD,BU,SU,SS,I)
      COMMON /BLOCA/P(200)
      IF((0.66-ABS(P(I))).LT.0.3)GO TO 90
      SU=-(HS+HD)*BU+HS**2/(2.*(0.66-P(I)))+HD**2/(2.*(0.66+P(I)))
      GO TO 140
   90 IF(P(I))100,100,130
  100 SU=-(HS+HD)*BU+HS**2/(2.*(0.66-P(I)))+0.786*HD
      GO TO 140
  130 SU=-(HS+HD)*BU+HD**2/(2.*(0.66+P(I)))+0.786*HS
  140 SS=0.0
      RETURN
      END
```

FORTRAN 00.00 OLIROS 03/05/77 18.03.37

```
      SUBROUTINE UMSA(HS,HD,BU,BS,SU,SS,I)
      COMMON /BLOCA/P(200)
      IF(ABS(HS).LE.0.1.AND.ABS(HD).LE.0.1)GO TO 90
      X1=-HS/P(I)
      X2=BU+BS-X1
      IF((0.66-ABS(P(I))).LT.0.3.AND.(1.0-ABS(P(I))).LT.0.45)GO TO 120
      IF((0.66-ABS(P(I))).GT.0.3.AND.(1.0-ABS(P(I))).GT.0.45)GO TO 150
      SU=-HS*X1/2.0+0.786*HS
      GO TO 160
   90 SU=0.0
      SS=0.0
      GO TO 170
  120 SU=-HS*X1/2.0+0.786*HS
      SS=HD*X2/2.+HD**2/(2.*(5.-P(I)))+2.62*HD
      GO TO 170
  150 SU=-HS*X1/2.+HS**2/(2.*(0.66-P(I)))
  160 SS=HD*X2/2.+HD**2/(2.*(1.-P(I)))
  170 RETURN
      END
```

FORTRAN 00.00 OLIROS 03/05/77 18.03.47

```
      SUBROUTINE SAUM(HS,HD,BU,BS,SU,SS,I)
      COMMON /BLOCA/P(200)
      IF(ABS(HS).LE.0.1.AND.ABS(HD).LE.0.1)GO TO 90
      X1=-HS/P(I)
      X2=BU+BS-X1
      IF((0.66-ABS(P(I))).LT.0.3.AND.(1.0-ABS(P(I))).LT.0.45)GO TO 120
      IF((0.66-ABS(P(I))).GT.0.3.AND.(1.0-ABS(P(I))).GT.0.45)GO TO 150
      SU=-HD*X2/2.0+0.786*HD
      GO TO 160
   90 SU=0.0
```

```
      SS=0.0
      GO TO 170
  120 SU=-HD*X2/2.0+0.786*HD
      SS=HS*X1/2.+HS**2/(2.*(5.+P(I)))+2.62*HS
      GO TO 170
  150 SU=-HD*X2/2.+HD**2/(2.*(0.66+P(I)))
  160 SS=HS*X1/2.+HS**2/(2.*(1.+P(I)))
  170 RETURN
      END
```

TRAN 00.00 OLIROS 03/05/77 18.03.47

```
MODULE   BLOCF      TYPE  C   LONGUEUR   0644 (01604)
MODULE   BLOCE      TYPE  C   LONGUEUR   00A0 (00160)
MODULE   BLOCD      TYPE  C   LONGUEUR   0140 (00320)
MODULE   BLOCA      TYPE  C   LONGUEUR   0320 (00800)
MODULE   F%BLK      TYPE  C   LONGUEUR   0140 (00320)
MODULE   F%MDATA    TYPE  P   LONGUEUR   109B (04248)
MODULE   BLOCE      TYPE  C   LONGUEUR   00A0 (00160)
MODULE   BLOCD      TYPE  C   LONGUEUR   0140 (00320)
MODULE   BLOCF      TYPE  C   LONGUEUR   0644 (01604)
MODULE   BLOCA      TYPE  C   LONGUEUR   0320 (00800)
MODULE   F%BLK      TYPE  C   LONGUEUR   00A0 (00160)
MODULE   PRIMA      TYPE  P   LONGUEUR   01E8 (00488)
MODULE   BLOCF      TYPE  C   LONGUEUR   0644 (01604)
MODULE   BLOCA      TYPE  C   LONGUEUR   0320 (00800)
MODULE   VOLUM      TYPE  P   LONGUEUR   02D8 (00728)
MODULE   BLOCA      TYPE  C   LONGUEUR   0320 (00800)
MODULE   SAP        TYPE  P   LONGUEUR   0208 (00520)
MODULE   BLOCA      TYPE  C   LONGUEUR   0320 (00800)
MODULE   UMP        TYPE  P   LONGUEUR   01B8 (00440)
MODULE   BLOCA      TYPE  C   LONGUEUR   0320 (00800)
MODULE   UMSA       TYPE  P   LONGUEUR   0288 (00648)
MODULE   BLOCA      TYPE  C   LONGUEUR   0320 (00800)
MODULE   SAUM       TYPE  P   LONGUEUR   0288 (00648)
```

**** FIN DE COMPILATION (PLUS HAUT NIVEAU D ERREUR RENCONTRE = 0) 18.04.00

```
PIO3

JOB LIROPT.AN:P103.PN:LUONG
FORMAT 2,CTCD.(05.S0)
COMPILE FORTRAN
FORTRAN STARTED
FORTRAN 00.00                                      LIROPT    29/04/77  17.12.57

C     C     CALCULUL CHELTUIELILOR DE EXPLOATARE ALE CAII FERATE
C     C     SUBROUTINE VITILU
C     C     SUBROUTINE VITILA
C     C
            COMMON S(20),P(20),RC(20),SC(20),Q(9),R(9),CA(10)
            COMMON /BLOCB/A(12,9),VT(12,9),ST(12,9)       *
            READ(105,1)K1,L1,VO
        1   FORMAT(2I5,F10.3)
        2   FORMAT(16F5.2)
            READ(105,2)(S(J),J=K1,L1)
            READ(105,2)(RC(J),J=K1,L1)
            READ(105,2)(SC(J),J=K1,L1)
            READ(105,50)((A(K,L),L=1,9),K=1,12)
            READ(105,50)((VT(K,L),L=1,9),K=1,12)
            READ(105,80)((ST(K,L),L=1,9),K=1,12)
            READ(105,80)(Q(L),L=1,9)
            READ(105,80)(R(L),L=1,9)
            READ(105,60)(CA(I1),I1=1,10)
       50   FORMAT(9F8.3)
       60   FORMAT(10F7.4)
       80   FORMAT(7F8.3,F9.3,F7.3)
            READ(105,2)(P(J),J=K1,L1)
            SK=0.0
            TK=0.0
            AFK=0.0
            ARK=0.0
            DO 350 I=K1,L1
            AK=2.0
       70   AM=AK-10.0
            IF(P(I)-AM)110,110,90
       90   AK=AK+2.0
            GO TO 70
      110   M=IFIX(AM)/2+5
            CALL VITILU(I,M,VO,VS,T,AR,AF)
            IF(P(I).EQ.AM)GO TO 300
            VA=VS
            TA=T
            AFA=AF
            ARA=AR
            M=M-1
            CALL VITILU(I,M,VO,VS,T,AR,AF)
            VB=VS
            TB=T
            AFB=AF
            ARB=AR
            VK=VA+(VA-VB)*(P(I)-AM)/2.0
            TK=TK+(TA-TB)*(P(I)-AM)/2.0+TA
FORTRAN 00.00                                      LIROPT    29/04/77  17.12.57

            AFK=AFK+(AFA-AFB)*(P(I)-AM)/2.0+AFA
            ARK=ARK+(ARA-ARB)*(P(I)-AM)/2.0+ARA
            GO TO 340
      300   VK=VS
            TK=TK+T
            AFK=AFK+AF
            ARK=ARK+AR
      340   SK=SK+S(I)
            PRINT 6,I,VK,ARK,AFK,TK
        6   FORMAT(20X,'I=',I5,'VK=',F7.3,'ARK=',F7.3,'AFK=',F7.3,'TK=',F7.5)
      350   VO=VK
            CE1T=CA(1)*AFK+CA(2)*ARK+(CA(3)+CA(10))*0.85*ARK+(CA(4)+CA(5)+CA(6
           *)+10.0**(-3)*CA(7))*TK+10.0**(-3)*144.0*SK*CA(8)+10.0**(-4)*CA(9)*
           *2050.0*SK
            PRINT 7,CE1T
        7   FORMAT(20X,'CE1T=',F9.5)
            STOP
            END
                                                   LIROPT    29/04/77  17.13.11
FORTRAN 00.00

            SUBROUTINE VITILU(I,M,VO,VS,T,AR,AF)
```

```
      COMMON S(20),P(20),RC(20),SC(20),Q(9),B(9)
      COMMON /BLOCB/A(12,9),VT(12,9),ST(12,9)
      TIMP1(P1,Q1,S1)=(S1**(1.-Q1))/(P1*(1.-Q1))
      TIMP2(P1,V1)=ALOG(V1)/P1
      AREZ1(P1,Q1,S1)=4505.612*S1+(1.10261*P1*(S1**(Q1+1.))/(Q1+1.))+(1.
     *32719*(P1**2)*(S1**(2.*Q1+1.))/(2.*Q1+1.))
      AREZ2(P1,V1)=(4505.612*V1+(0.5513*(V1**2))+(0.4397*(V1**3)))/P1
      RGOLF(V1)=1.3040*V1**2+3.09*V1+4362.2
      RMERS(V1)=1.3272*V1**2+1.1026*V1+4505.612
      IF(V0.EQ.0.0)GO TO 80
      IF(V0-VT(1,M))40,310,310
   40 B1=(ALOG10(V0)-ALOG10(Q(M)))/B(M)
      SH=10.0**B1
      TH=TIMP1(Q(M),B(M),SH)
      ARH=AREZ1(Q(M),B(M),SH)
      GO TO 110
   80 SH=0.0
      TH=0.0
      ARH=0.0
  110 F=SH+S(I)
      IF(F-ST(1,M))130,130,190
  130 VS=Q(M)*(F**B(M))
      T=TIMP1(Q(M),B(M),F)-TH
      AR=AREZ1(Q(M),B(M),F)-ARH
  160 AR=AR+2164.0*(S(I)*P(I)+RC(I)*SC(I)+(VS**2-V0**2)/240.0)
      AE=AR
      GO TO 990
  190 IF(M-3)200,280,280
  200 VS=VT(1,M)
      TH=TIMP1(Q(M),B(M),ST(1,M))-TH
      T=TH+(F-ST(1,M))/VT(1,M)
      ARH=AREZ1(Q(M),B(M),ST(1,M))-ARH
      AR=ARH+(F-ST(1,M))*RGOLF(VS)
  250 AE=ARH
      AR=AR+2164.0*(S(I)*P(I)+RC(I)*SC(I)+(VS**2-V0**2)/240.0+51.0*S(I)*
     *(VS+100.0)/(5.*VS+100.0))
      GO TO 990
  280 VS=A(1,M)*(F-ST(1,M))+VT(1,M)
      TH=TIMP1(Q(M),B(M),ST(1,M))-TH
      T=TH+(TIMP2(A(1,M),VS)-TIMP2(A(1,M),VT(1,M)))
      ARH=AREZ1(Q(M),B(M),ST(1,M))-ARH
      AR=ARH+AREZ2(A(1,M),VS)-AREZ2(A(1,M),VT(1,M))
      GO TO 160
  310 DO 325 J=1,4
      IF((V0-VT(J+1,M)).GE.0.)GO TO 325
      CALL VITILA(J,M,I,V0,VS,T,AR)
```

FORTRAN 00.00

```
      GO TO 160
  325 CONTINUE
      IF(V0-VT(6,M))440,530,670
  440 SH=ST(5,M)+(V0-VT(5,M))/A(5,M)
      TH=TIMP2(A(5,M),V0)
      ARH=AREZ2(A(5,M),V0)
      F=SH+S(I)
      IF(F-ST(6,M))490,490,580
  490 VS=A(5,M)*(F-ST(5,M))+VT(5,M)
      T=TIMP2(A(5,M),VS)-TH
      AR=AREZ2(A(5,M),VS)-ARH
      GO TO 160
  530 SH=ST(6,M)
      F=SH+S(I)
      TH=0.0
      ARH=0.0
      GO TO 600
  580 ARH=AREZ2(A(5,M),VT(6,M))-ARH
      TH=TIMP2(A(5,M),VT(6,M))-TH
  600 VS=VT(6,M)
      T=TH+(F-ST(6,M))/VT(6,M)
      IF(M-3)630,650,650
  630 AR=(F-ST(6,M))*RGOLF(VS)
      GO TO 250
  650 AR=(F-ST(6,M))*RMERS(VS)
      GO TO 160
  670 IF(V0-VT(7,M))[illegible]
  680 SH=ST(7,M)+[illegible]
      TH=TIMP2(A(7,M),[illegible]
      ARH=AREZ2(A(7,M),[illegible]
      F=SH+S(I)
      IF(F-ST(7,M))[illegible]
  730 VS=A(7,M)*(F-ST(7,M))[illegible]
      T=TIMP2(A(7,M),VS)-TH
      AR=AREZ2(A(7,M),[illegible]
      GO TO 160
  770 VS=VT(7,M)
      TH=TIMP2(A(7,M),VT(7,M))-TH
      T=TH+(F-ST(7,M))/VS
```

```
      AR=AREZ2(A(11,M),VS)-ARH+(F-ST(12,M))*RMERS(VS)
      GO TO 160
  820 DO 835 J=1,4
      K=11-J
      IF((V0-VT(K,M)).GE.0.)GO TO 835
      CALL VITILA(K,M,T,V0,VS,T,AR)
      GO TO 160
  835 CONTINUE
```

FTRAN 00.00 LIROPT 29/04/77 17.13.11

```
      V0=VT(7,M)
      VS=V0
      T=S(I)/V0
      AR=S(I)*RGOLF(VS)+2164.*(S(I)*P(I)+RC(I)*SC(I)+51.*(VS+100.)/(5.0*
     *VS+100.)*S(I))
      AF=0.0
  990 AR=AR/1000.
      AF=AF/1000.
      RETURN
      END
```

FTRAN 00.00 LIROPT 29/04/77 17.13.35

```
      SUBROUTINE VITILA(N,M,I,V,VS,T,AR)
      COMMON S(20)/BLOCB/C(12,9),D(12,9),E(12,9)
      TIMP2(R1,V1)=ALOG(V1)/R1
      AREZ2(R1,V1)=(4505.612*V1+(0.5513*(V1**2))+(0.442397*(V1**3)))/R1
      SH=E(N,M)+(V-D(N,M))/C(N,M)
      TH=TIMP2(C(N,M),V)
      ARH=AREZ2(C(N,M),V)
      F=SH+S(I)
      IF((F-E(N+1,M)).GT.0.0)GO TO 100
      VS=C(N,M)*(F-E(N,M))+D(N,M)
      T=TIMP2(C(N,M),VS)-TH
      AR=AREZ2(C(N,M),VS)-ARH
      GO TO 130
  100 VS=C(N+1,M)*(F-E(N+1,M))+D(N+1,M)
      T=TIMP2(C(N,M),D(N+1,M))-TH
      T=T+TIMP2(C(N+1,M),VS)-TIMP2(C(N+1,M),D(N+1,M))
      AR=AREZ2(C(N,M),D(N+1,M))-ARH
      AR=AR+AREZ2(C(N+1,M),VS)-AREZ2(C(N+1,M),D(N+1,M))
  130 RETURN
      END
```

FTRAN 00.00 LIROPT 29/04/77 17.13.35

MODULE	BLOCB	TYPE	C	LONGUEUR	0510 (01296)
MODULE	F%BLK	TYPE	C	LONGUEUR	0180 (00432)
MODULE	F%MDATA	TYPE	P	LONGUEUR	0840 (02112)
MODULE	BLOCB	TYPE	C	LONGUEUR	0510 (01296)
MODULE	F%BLK	TYPE	C	LONGUEUR	0188 (00392)
MODULE	VITILU	TYPE	P	LONGUEUR	1270 (04720)
MODULE	BLOCB	TYPE	C	LONGUEUR	0510 (01296)
MODULE	F%BLK	TYPE	C	LONGUEUR	0050 (00080)
MODULE	VITILA	TYPE	P	LONGUEUR	0520 (01312)

*** FIN DE COMPILATION (PLUS HAUT NIVEAU D'ERREUR RENCONTRE = 0) 17.13.48

0176 LIROPT AN = PI03 FAZA= 0001 DATA = 29/04/77

BIBLIOGRAFIE

1 Andrei Gh. Contribuţii la elaborarea proiectelor de suprastructură a căilor ferate pe calculatorul electronic. In "Revista căilor ferate romîne" nr. 11-1970

2 Babicicov A.M, Curskii P.A, Novicov A.F. Tiaga poezdov i tiagovîh rascioti Izdatelstvo "Transport", Moscova 1971

3 Bellman R. Reducerea matricelor simetrice generale la forma diagonală. Tradus din limba engleză Bucureşti 1969

4 Bîcov V.I, Sibirco. Modelirovanie na EVM (electronno-vîcislitelnîh maşinah) zadaci optimalnovo proectirovania prodolnovo profilia zeleznih dorog. In "Trudî vsesoiuznovo naucinoissledovatelscovo instituta transportnovo stroitelstava", vîpusk 63 "Voprosî proiectirovania zeleznîh dorog" Izdatelstvo "Transport", Moscova 1967

5 Brentein I.N, Semendiaev K.A. Spravocinic po matematike. Izdatelstvo "Progress", Moscova 1971

6 Ciernousco F.L. Metod localnîh variaţii dlia ciislennovo pesenia variatiennîh sadaci. In revista "Vicislitelnaia matematica i matematiceescaia fisica" nr. 4, Moscova 1965

7 Cotoranu A şi Neagru Al. Indreptarea profilelor reale de cale ferată cu ajutorul calculatoarelor electronice cifrice. In "Revista căilor ferate romîne" nr. 9 1972

8 Dancea I. Metoda de optimizare. Editura Dacia, Cluj Napoca 1976

9 Dimo P. Programarea în Fortran. Editura didactică, Bucureşti 1972

10 Dorobanţiu S. Contribuţii la studiul şi proiectarea liniei roşii optime la drumuri folosind calculatorul electronic. Teza de doctorat. Institutul de construcţii din Bucureşti 1974

11 Dorobanţiu S. Trasee şi terasamente. Institutul de construcţii din Bucureşti 1971

12 Dragomirescu M, Malîţia M. Programare neliniare. Editura ştiinţifică Bucureşti 1972

13 Dumitru V. Programare neliniară. Algoritmi, programare rezultate numerice. Editura academiei R.S.R. Bucureşti 1975

14 Gonsinov A.V. Izîscania i proectirovanie jeleznîh dorog. Izdatelstvo "Transport" Moscova 1969

15 Havkin E.A., Lagovski A.N. Proectirovania prodolnovo profilia avtomobilnîh dorog. (Metodî i avtomatizatiia). Izdatelstvo "Transport" Moscova 1966

16 Ilginu E, Donescu I, Negru A. Programare liniară cu aplicaţii în automatică. Editura tehnică Bucureşti 1974

17 Ivonin A. I. Podcet n rasxodov IVM expluataţionîh rahodov po elementam profilia puti. Proectirovanie i expluataţia jeleznîh dorog Trudî MIIT, vîpusk 246, Moscova 1967

18 Jimkin G.E, Babici V.V. Primenenie matematiceskih metod v planirovanii jeleznodorojnovo stroitelstva. Moscova "Transport" 1973

19 Jitkevici L.N., Krimmasonov A.N. Metodî polnosti obliakov jeleznodorojnovo zemlianova polotna na EVM. In "Transportnoe stroitelstvo", nr 1/1976

20 Laurenţiu N. Terasamente. Profiluri transversale ale terasamentelor de drumuri şi căi ferate. Institutul politehnic "Traian Vuia" Timişoara 1972

21 Lihovskii V.E, Mihailovici V.S, Sîcev V.I. Opredelenie na EVM naivîgodneisevo polojenia osnovnoi linii prodolnovo profilia na volnom hodu. In "Transportnoie stroitelstvo" nr. 4 1966

22 Maliţia M, Zidăroiu C. Matematica organizării. Editura tehnică, Bucureşti 1975

23 Maruşciac I. Metode de rezolvare a problemelor de programare neliniară Editura Dacia, Cluj 1973

24 Maruşciac I. şi Mihulescu O metodă de rezolvare a programării convexe. Studia Universitatis Babeş-Bólyai- Series mathematica- Physica. Fasciculus 1. Cluj 1966

25 Maruşciac I. şi Mihulescu . Une algorithme pour resoudre le probleme de la programmation quadratique. Studia Universitatis Babeş-Bólyai - Series mathematica - Phisica, t.7, Cluj 1965

26 Mămescu E, Mărie, Dumitru V. Metode matematice moderne aplicate în

organizarea şi planificarea lucrărilor de construcţii şi montaje. Editura academiei R.S.R. Bucureşti 1969

27 Metodicesckie uzasania po sravneniu variantâv proectnih resenii po novîm zelesnodorojnîm liniiam. Isdatelstvo "Transport" Moscova 1962

28 Mihailovici V.S, Bicov V.I, Sibirco A.N. K voprosu proectirovaniia optimalnovo prodolnovo doroghi. In "Transportnoe stroitelstvo" nr. 6- 1975

29 Mihoc Gh. şi Stefănescu A. Programarea matematică. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti 1973

30 Mantoan Cl. Tracţiunea trenurilor şi exploatarea materialului rulant Indrumător . Institutul politehnic "Traian Vuia", Timişoara 1973

31 Niculescu St. Iniţiere în FORTRAN. Editura tehnică Bucureşti 1972

32 Petrescu C. Calculele de tracţiune cu maşini electronice de birou "Olivetti-Programma 101". In "Revista căilor ferate române" nr. 9- 1970

33 Petrescu C. Calculul timpilor de mers şi al consumului de energie cu ajutorul calculatorului electronic "Siemens 4004/45 din dotarea Ministerului transporturilor şi telecomunicaţiilor. In "Revista căilor ferate române" nr. 10- 1971

34 Popa Al. Utilizarea calculatoarelor electronice în transportul feroviar Editura tehnică, Bucureşti 1971

35 Popa Al, Chimu N, Neagru Al. Tracţiunea trenurilor. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti 1965

36 Popescu C. Caracteristicile de tracţiune ale locomotivelor Diesel şi electrice

37 Preda M. şi Cristea P. Analiza şi sinteza circuitelor electrice. Editura tehnică, Bucureşti 1968

38 Programarea şi utilizarea calculatoarelor. Catedra de calculatoare Institutul politehnic "Traian Vuia", Timişoara 1974

39 Safiroiu M. Programare, optimizare, sisteme informaţionale. Institutul politehnic "Traian Vuia", Timişoara 1975

40 Rucovodstvo po sostavleniiu ishodnoi informatii k programme dlia podsceta obiemov zemlianova polotna na VM. Tentralnii naucino-isledovatelskii institut transportnovo stroitelstva TNIIS, Moscova 1962

41 Rumişişkii L.Z. Matematiceescaia obrabotca rezultatov experimenta. Isdatelstvo "Nauca", Moscova 1971

42 Săndulescu I. Folosirea calculatoarelor electronice în rezolvarea problemelor de proiectare. In "Revista căilor ferate române" nr. 5 1972

43 Select F.A. Tiagovie racetî teplovozov promîslennovo transporta. Moscova "Transport" 1978

44 Strucencov V.I, Solin V.V. Osnovî metodiki optimizatii prodolnovo profilia seleznoi doroghi na EVM. -In "Transportnoe stroitelstvo" nr.6 1974

45 Strucencov V.I, V.V. Kosmin, Fradeov A.B. Proectirovanie prodolnovo profilia doroghi na EVM. In "Transportnoe stroitelstvo" nr. 4- 1971

46 Şchiop A. I. Metode aproximative în analiza neliniară. Editura academiei R.S.R. Bucureşti 1972

47 Turbin V.I. Optimizaţia proectnoi linii prodolnovo profilia na osnove cislennovo resenîia variatiennoi zadaci. In "Transportnoe stroitestve" nr. 4- 1970

48 Văduva I, Dinescu C, Săvulescu B. Metodele matematice de organizarea şi conducerea producţiei. Editura didactică şi pedagogică, Bucureşti 1974

49 Virgil H. Căi ferate. Institutul de construcţii din Bucureşti 1975