

MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMINTULUI
INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA"
TIMISOARA
FACULTATEA DE CONSTRUCTII

Ing. Eugenia H. Filimon

CONTRIBUTII LA CALCULUL RETELELOR DE APA
INELARE

- Teză pentru obținerea titlului științific
de doctor inginer -

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

CONDUCATOR ȘTIINȚIFIC
Prof.dr.ing. CORNEL JURA

INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA	
BIBLIOTECA CENTRALĂ	
Volumul Nr.	304.781
Buclet	46 Lit. C

- Timișoara 1975 -

"Motto"

"Cercetarea științifică va fi organizată în strînsă concordanță cu cerințele producției materiale și activității sociale, asigurîndu-se dezvoltarea corespunzătoare atît a cercetării aplicative cît și a cercetării fundamentale de perspectivă. Ea trebuie să premeargă obiectivelor și necesităților dezvoltării societății prevăzute în programul partidului, în planurile cincinale și în prognozele pe termen lung, să acționeze pentru soluționarea din timp a acestora, dînd o perspectivă largă dezvoltării societății socialiste"

(Programul P.C.R. de făurire a societății socialiste multilateral dezvoltate și înaintarea României spre comunism, pg.95)

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

I N T R O D U C E R E

a) Probleme generale

Ritmul de creștere natural al populației apreciat de către organele centrale la oca 2% anual și implicit dezvoltarea rapidă a localităților, în special a orașelor, a determinat o creștere însemnată a consumului de apă, făcându-se simțită nevoia cunoașterii și prevederii consumului maxim. Pentru țara noastră problema de terminării consumului maxim este cu atât mai dificilă, cu cât privind problema în perspectivă, datorită dezvoltării impetuoase a industriei și economiei noastre în general, dezvoltarea centrelor populate a depășit ipotezele inițiale de calcul al sistemelor de alimentare cu apă, atât ca număr de consumatori cât și ca valoare a consumului specific. Acest element, consumul specific de apă este în continuă creștere. El exprimă, de pildă, asigurarea amenajărilor sanitare ale localităților, nevoi menajere, udarea plantațiilor, rezerve pentru incendii. Nu trebuie să uităm că industria națională modernă utilizează cantități de apă din ce în ce mai mari și în multe situații, de calitate, cantitatea și organizarea alimentării cu apă a întreprinderilor industriale depind, în mare măsură calitatea și prețul de cost al produselor respective.

Dar asigurarea consumului de apă necesar este o problemă complexă, pentru rezolvarea căreia se construiesc sisteme centrale puternice de alimentare cu apă care includ captarea apei, corectarea calităților apei captate și distribuirea ei la consumatori. Centralele de alimentare cu apă însă, sînt organic legate de alimentarea cu energie electrică, sistemul de canalizare, etc. De aceea, rezolvarea alimentării cu apă a unui obiectiv trebuie să țină seama de influența tehnică și economică reciprocă a tuturor acestor sisteme.

Regimul nostru socialist prin caracteristicile lui, puternic interesat în continua ridicare a nivelului de viață a oamenilor muncii oferă posibilități generoase pentru rezolvarea tehnică și științifică a problemei alimentării cu apă. Depinde doar de serioșitatea cercetării ca să se aleagă soluția cea mai justă economic și tehnic.

Lucrări de asemenea amploare, care depășesc cu mult volumul din trecut, pot fi realizate numai prin modificări de ordin calitativ în concepție, execuție și exploatare în vederea obținerii unei eficiențe tehnice și economice la nivelul cerințelor moderne.

Rezolvarea sistemelor de alimentare cu apă comportă urmă-

toarele aspecte: proiectare, execuție, (dezvoltare-extindere) și exploatare. Dintre acestea, în lucrarea de față, drept obiectiv larg îl constituie unele aspecte ale proiectării rețelei de distribuție a apei.

Rețeaua de distribuție reprezintă partea cea mai costisitoare din sistemul de alimentare cu apă potabilă a centrelor populate, ajungând uneori pînă la 60 % din costul total al investițiilor unui sistem de alimentare cu apă. Pe de altă parte, prin faptul că are o durată îndelungată cuprinsă între 50 - 100 ani, iar ponderea cea mai mare în costul apei o reprezintă cotele de amortizare a mijloacelor fixe, apare evident, ca extrem de importantă studierea reducerii costului investițiilor pentru rețelele de distribuție. Evident însă, că la proiectare trebuie dată o atenție deosebită pentru a se găsi prin calcule tehnico-economice comparative, soluția cea mai avantajoasă nu numai din punct de vedere al costului de investiții, ci și a cheltuielilor de exploatare, luînd în considerare ansamblul de construcții și instalații din componența sistemului.

Tinînd seama de istoricul problemei sistemelor de alimentare cu apă, dacă ne referim la primele sisteme de alimentare, ele erau atît de simple, încît metodele de calcul pe baze empirice satisfăceau proiectarea și exploatarea. Ulterior rezultatele puteau fi corectate.

Dezvoltarea centrelor populate a impus o astfel de evoluție sistemului de alimentare, respectiv rețelei de distribuție, încît proiectarea ei a necesitat stringent aplicarea unor metode cu baze riguroase științifice care să includă însă verificările experimentale, datele statistice și de perspectivă.

Desigur, unele din țelurile proiectanților unei rețele de distribuție este și garantarea siguranței în exploatare. Aceasta este astăzi posibilă datorită faptului că ipotezele de proiectare sînt verificabile practic prin gradul înalt de perfecționare și automatizare a aparatelor de măsură și control, a tehnicii de calcul.

Dacă ne referim la proiectarea unei extinderi de rețele, această necesitate poate fi motivată atunci cînd:

- dezvoltarea centrelor populate a depășit ipotezele inițiale de proiectare și deci extinderea devine necesară înaintea epuizării etapei pentru care s-a proiectat sistemul - extindere care în cele mai dese cazuri are caracter intensiv;

- cînd sistemul de alimentare funcționează în bune condițiuni, cu parametri de funcționare corect prevăzuți, dar în vatra

oraşului, apare un obiectiv industrial nou, cu o tehnologie aparte, care reclamă un consum brusc ridicat de apă și care completează extensiv trama stradală.

Proiectarea extinderilor înseamnă de fapt modificarea unor elemente din sistem intensiv și extensiv, astfel ca să corespundă noilor condiții impuse de consum. Dar în acest caz, schema generală se complică foarte mult, funcționarea devine complexă și în primul rând este afectată rețeaua care nu se pretează ca și celelalte elemente ale sistemului la o dezvoltare în principal prin adaus de noi unități. Extinderea unei rețele de distribuție se poate face sau prin dublări sau prin înlocuirea conductelor existente, prin conducte cu secțiuni superioare.

Aceasta reprezintă un motiv în plus ca proiectarea noilor rețele să ia în considerare de așa manieră factorii determinanți, încât rețeaua să corespundă real pentru perioada de timp prevăzută în calcule. Proiectarea rapidă (folosirea mașinilor de calcul) și corectă științific este cu atât mai necesară cu cât s-a constatat că în ultimii ani problema extinderilor în general a cerut sisteme și amenajări hidrotehnice complexe pentru satisfacerea cantităților de apă necesare, amenajări cu implicații deosebite ce reclamă investiții ce ajung frecvent la ordinul a 500-600 milioane lei.

Se impune deci, ca studiile necesare proiectării, calculului rețelelor de apă, să urmărească cunoașterea cât mai apropiată de realitate a tuturor parametrilor necesari proiectării: debite, consumuri specifice pe categorii de beneficiari etc, să aibă în vedere folosirea de metodologii moderne în calculul tehnologic și de rezistență, să găsească soluții de optimizare, să se preocupe de stabilirea caracteristicilor tehnice ale materialelor de construcții.

b) Obiective ale cercetării rețelelor inelare

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

Rețelele de distribuție a apei pot fi alcătuite în sistem ramificat sau inelar.

Rețelele inelare sînt aplicate cu precădere deoarece asigură o continuitate deplină în livrarea consumului, la parametri apropiați de cei stabiliți în proiect. Chiar dacă intervine scoaterea din lucru a unei artere, în tranzitul debitelor se stabilesc alte condiții de echilibrare, fără a cauza însă prejudicii grave în rîndul consumatorilor.

Alcătuirea inelară a unei rețele de distribuție este justificată de o mai mare siguranță în exploatare (mai ales în caz de incendiu) concomitent cu posibilitatea de a face față mai bine

decît reţeaua ramificată la un regim hidraulic variat (micşorează acţiunea loviturii de berbec) permiţînd interconectarea mai multor surse de injecţie în reţea. Reţeaua inelară permite posibilităţi mai bune de etapizare. În schimb are dezavantajul unor lungimi mai mari de conducte iar calculul regimului hidraulic este sensibil mai dificil .

La proiectarea unei reţele inelare, intervin o multitudine de factori de care trebuie să se ţină seama pentru stabilirea soluţiei celei mai avantajoase din punct de vedere tehnic şi economic .Din multitudinea acestor factori trebuie selectaţi şi studiaţi sub aspect tehnic şi economic toţi acei parametri care au o influenţă hotărîtoare pentru buna funcţionare şi exploatare a reţelei. Selectarea acestor parametri este necesară deoarece o considerare a tuturor parametrilor fără a ţine seama de gradul lor determinant ar dăuna echilibrului tehnico-economic.

Trebuie luate în considerare şi folosite diferitele proprietăţi geometrice, diferitele particularităţi şi caracteristici ale reţelelor inelare. Alegerea şi aprecierea formei reţelei, modul de transformare legat de metodele de calcul, determinarea relaţiilor între debite şi presiuni pentru diferitele elemente ale reţelei, aprecierea gradului de siguranţă, toate acestea sînt legate de utilizarea şi de analiza relaţiilor dintre elementele reţelei ca figuri geometrice, grafuri .

Necesarul actual de apă şi în special prognoza acestei probleme exclude ferm orice bază empirică de calcul. Se impune un studiu hidraulic atent, pe baze matematice riguroase. Se cere însă şi o concordanţă deplină a regimului hidraulic real de mişcare a apei în reţea şi cel considerat teoretic în proiectare prin aplicarea unor formule anumite. De asemenea, se cere o verificare experimentală a bazelor hidraulice teoretice ale reţelelor .

Odată cu apariţia calculatoarelor electronice, metoda de calcul Lobacev-Cross stă la baza algoritmilor folosiţi pentru întocmirea programelor de calcul. Cross a indicat două căi de echilibrare a reţelelor ,din care însă ,numai una a devenit uzuală (calea egalizării presiunilor). Intrînd în actualitate posibilitatea utilizării mijloacelor moderne rapide de calcul, se ridică problema reconsiderării ambelor căi, cu avantajele şi dezavantajele lor. De asemenea, merită o studiere atentă şi problema convergenţei iteraţiilor. Este de presupus că, îmbunătăţirile aduse metodei Lobacev-Cross de diferiţi autori, precum şi celelalte metode de calcul, primesc perspective noi în cadrul noilor cerinţe ale proiectării. Astfel este întotdeauna bine

venit un studiu căre, chiar dacă nu aduce înovări certe, scoate în relief un aspect sau altul pentru aceste metode.

În cadrul metodelor de calcul și verificare, posibilitățile de analogie, de modelare sînt din ce în ce mai prețuite. Ele reprezintă o posibilitate de confirmare a presupunerilor teoretice de calcul, întrucît aduc la baza studiului un model fizic. În ce privește analogia hidraulică, aceasta reprezintă desigur o metodă eficientă de echilibrare a rețelelor de distribuție. Totuși, realizarea similitudinii geometrice a modelului crează o serie de dificultăți care cresc enorm la rețelele mari. Dar, eventualitatea utilizării rețelelor echivalente precum și posibilitățile crescînde de dotare a laboratoarelor, reprezintă o motivare serioasă de studiu în această direcție.

Calculul desfășurat al rețelelor inelare devine adeseori deosebit de laborios și pune la încercare capacitatea calculatoarelor mici și mijlocii. Prin stabilirea și aplicarea principiilor de echivalență, sistemele mari de distribuție pot fi aduse la scheme de calcul cu un număr mult mai mic de inele. Astfel devine posibilă aplicarea unor metode variate și judicioase de studiu preliminar, de proiectare și de verificare experimentală.

Utilizarea calculatoarelor moderne facilitează analiza matematică a funcției de cost a rețelei de apă. În lumina unei proiectări juste din punct de vedere economic, în studiu trebuie să se țină seama de aspecte ca : o situație anumită de exploatare, condiții anumite de exploatare, configurație geometrică, condiții tehnice.

Utilizarea mașinilor electronice de calcul a devenit curentă în proiectarea rețelelor cu un număr de inele mai mare de 8 - 15, iar uneori chiar la dimensionarea și studiul complet al rețelelor mici. Astfel a devenit necesar și posibil ca studiile teoretice care duc la optimizarea proiectării rețelelor să folosească un instrument matematic riguros, care să ducă la ridicarea gradului de precizie a rezultatelor. Mai mult, calculatoarele electronice de mare capacitate permit introducerea unui număr mai mare de parametri în calculul rețelei.

Enumerarea de mai sus a unor aspecte din studiul legat de proiectarea rețelelor inelare, sugerează complexitatea acestei probleme și desigur calculul laborios necesar pentru întocmirea unui proiect de rețea. Greutățile ivite în calcule, necesitatea de a clarifica unele aspecte, de a confirma altele, de a ușura munca de proiectare, motivează suficient studiul lor. Este de remarcat faptul că acest studiu are o frumusețe aparte datorită

aspectului puternic umanitar al realizării unei rețele de alimentare cu apă.

C A P I T O L U L 1

1. BAZELE CALCULULUI REȚELELOR INELARE

1.1. Principii de calcul ale rețelelor inelare

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

Dacă la rețelele ramificate se cunoaște repartiția debitelor iar necunoscutele sînt numai diametrele d_i ale conductelor, la rețelele inelare sînt necunoscute debitele (Q_i) pe tronsoane, cît și diametrele conductelor, (D_i).

Din examinarea legilor de mișcare a apei într-o rețea inelară rezultă două condiții hidraulice care se pun sistemului și care permit elaborarea unui număr suficient de ecuații pentru determinarea necunoscutelor căutate și anume:

- suma debitelor intrate în nod este egală cu suma debitelor ieșite, plus debitul nodului. Ținînd seama de convenția de semn, se poate scrie pentru nod:

$$\sum Q_i = 0 \quad (1.1)$$

- în fiecare inel suma pierderilor de sarcină ($\sum h_p$) a sectoarelor care au sensul direct de curgere este egală cu suma pierderilor de sarcină a sectoarelor care au un sens invers de curgere.

Atribuind pierderilor de sarcină un semn algebric convențional, se poate scrie pentru fiecare inel:

$$\sum h_p = 0, \quad (1.2)$$

ceea ce indică implicit și faptul că presiunea într-un punct are o valoare unică.

Relațiile de mai sus sînt analoage cu legile de trecere a curentului în circuitele electrice stabilite de Gustav Robert Kirchhoff.

Dacă se consideră un sistem inelar cu un număr n de inele, m noduri și p sectoare, pentru orice configurație a rețelei va fi valabilă relația:

$$p = m + n - 1 \quad (1.3)$$

respectiv se pot scrie $(m-1)$ ecuații de tipul $\sum Q_i = 0$ și n ecuații de tipul $\sum h_p = 0$. Dacă pentru fiecare latură sînt necunoscute debitele și diametrele, sistemul de ecuații rezultă nedeterminat; respectiv se pot scrie p ecuații cu $2p$ necunoscute. Este evident că o rezolvare este posibilă numai dacă se consideră cunoscute p valori, scriind un sistem de p ecuații cu p necunoscute.

Din acest motiv, în practica proiectării se recurge la o predimensionare a rețelei de distribuție, stabilind o distribuție inițială a debitelor pe baza cărora se stabilesc diametrele economice. Se observă astfel că se împletesc în rezolvarea problemei

condițiile hidraulice cu cele economice. Cu aceste rezultate se verifică îndeplinirea condițiilor hidraulice.

Formula pierderilor de sarcină, în general utilizată, este:

(1.4)

unde:

$$h_r = M_i Q_i^\beta$$

M = modulul de rezistență a tronsonului de conductă;

β = exponentul debitului.

Rezolvarea sistemului de ecuații permite corectarea distribuției inițiale a debitelor față de diametrii considerați. Dar pentru a alege soluția cea mai economică cu un cost minim de exploatare, se studiază mai multe variante stabilind diferite distribuții inițiale ale debitului; desigur se compară apoi aceste variante din punct de vedere economic.

Calculul hidraulic al rețelelor inelare se efectuează prin următoarele metode [89,90,73] :

a.- metoda secțiunilor, este cea mai puțin precisă și se utilizează practic, în scopuri orientative. Este o bază de predimensionare pentru rezolvarea corectă a sistemului de ecuații hidraulice. Metoda constă în transformarea rețelei inelare în rețea ramificată, cu verificarea ca, în punctele de tăiere ale conductelor diferența de cota piezometrică între cele 2 capete să fie mai mică de 0,50 m. Unii autori nici nu o consideră ca o metodă aparte ci ca o posibilitate de predimensionare [73] la oricare din metodele de calcul propriu-zise;

b.- metoda algebrică. Este o metodă generală de rezolvare pe cale algebrică a sistemului de p ecuații cu p necunoscute;

Necunoscutele Q_i sînt la puterea întâi în ecuațiile de la noduri și la puterea β în ecuațiile pierderilor de sarcină pe inele. Rezolvarea ecuațiilor pentru o rețea cu un număr mare de inele este foarte greoaie.

c. - metoda de calcul prin aproximații succesive. Au fost elaborate de mai mulți autori în diferite țări după anul 1932. Principalii autori au fost Hardy Cross în SUA și M.M.Andriasev și V.G.Lobacev în URSS.

În principiu metoda prin aproximații succesive constă din rezolvarea sistemului de ecuații de tipul $\sum M_i Q_i^\beta = 0$ prin iterații (fig.1.1), unde necunoscutele sînt corecțiile de debite în inele.

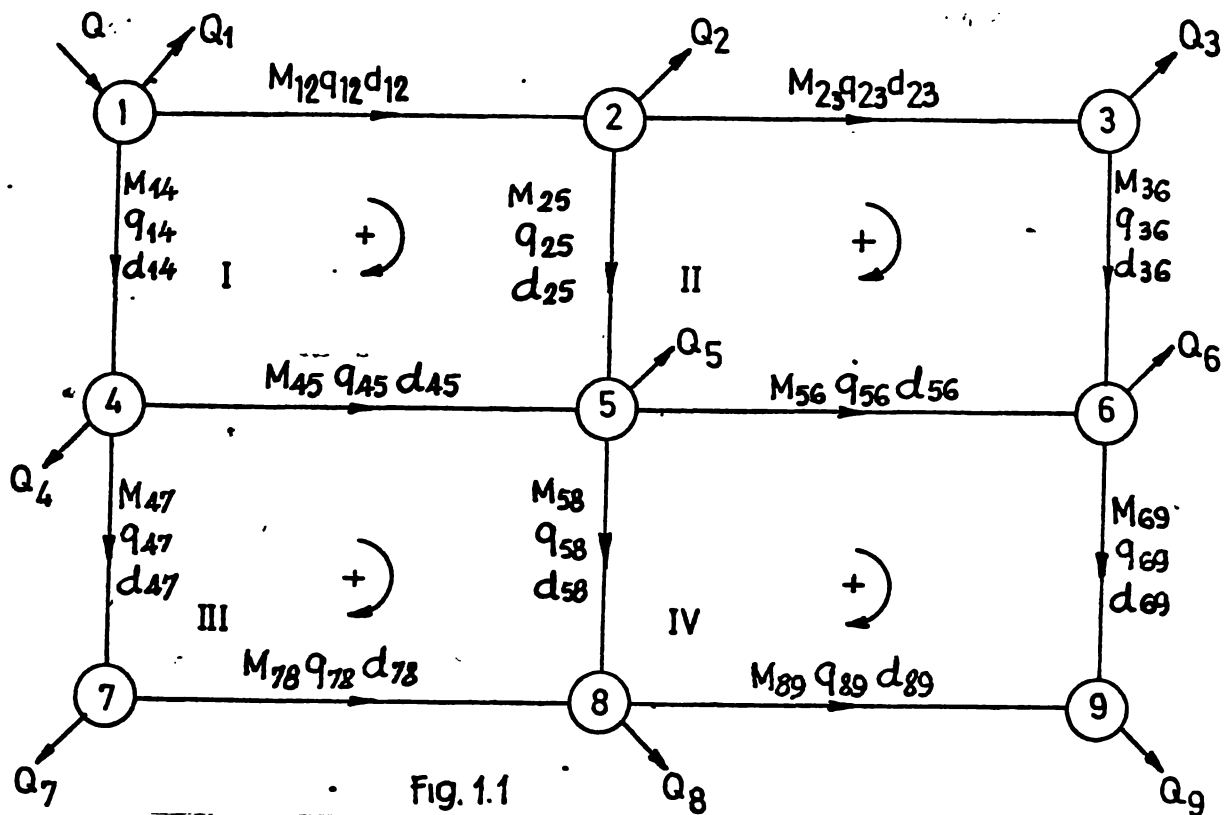
Rețeaua se predimensionează, apoi se calculează pe fiecare inel neînchiderea pierderilor de sarcină sub forma:

$$\sum h_i = \sum (M_i Q_i^\beta)_j \quad (1.5)$$

în care: j = inel; i = tronson al inelului.

Acest sistem de ecuații permite să se calculeze debitul de corecție (separat pentru fiecare inel) cu formula:

$$\Delta Q_j = - \frac{\Delta h_j}{\beta \sum (M_i Q_i^{\beta-1})} \quad (1.6)$$



De remarcat că debitele de corecție sînt simplificate, neglijîndu-se termenii ce conțin debitele de corecție pentru inelele vecine și corecțiile de debite la puterea β .

Debitele noi corectate pe fiecare tronson vor fi de forma:

$$Q_{ic} = Q_i + \sum \Delta Q_j \quad (1.7)$$

unde: Q_{ic} = debitul corectat și $\sum \Delta Q_j$ = suma algebrică a debitelor de corecție determinate pe inelele adiacente tronsonului respectiv.

Este necesar acum să se calculeze din nou pierderile de sarcină și se determină $\Delta h_{jc} = 0$. Operația se repetă pînă cînd diferențele de închidere se înșcriu în toleranța admisă, de 0,50 L pe inelul de contur al rețelei.

Acest rezultat atestă că debitele și diametrele conductelor pe tronsoane au fost alese corect, respectiv problema hidraulică este rezolvată.

Se face și verificarea, dacă, ținînd seama de relieful terenului, sînt asigurate și presiunile de serviciu în noduri.

Rezolvarea prin aproximații succesive (iterații) în modul descris mai sus aparține lui Lobacev și a fost adoptată la noi în țară prin STAS 4163/67. De asemenea, această metodă de iterație se aplică și la verificarea rețelelor cu ajutorul calculatoarelor electronice.

Metoda prin aproximații succesive după Cross aplică transmiterea corecțiilor în rețea cu ajutorul unei scheme aleoatuite de

transformarea rețelei prin înlocuirea inelelor cu nodurile unui sistem poligonal. Figura 1.2 se referă la transformarea rețelei din fig. 1.1. În schemă se înscriu corecțiile ΔQ rezultate din

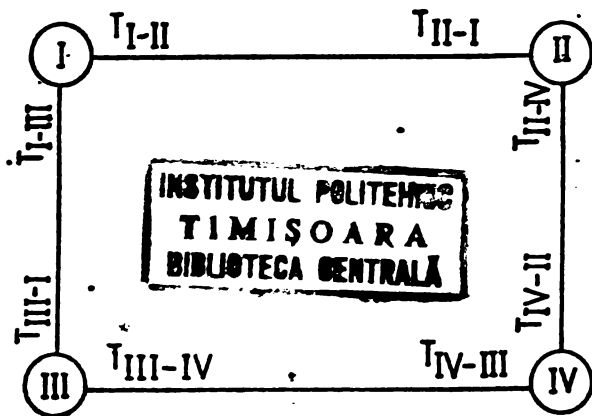


Fig.1.2.

prima aproximație. Evident, sînt rezultate din aceleași ecuații de bază, ca și în rezolvarea după Lobacev.

Coefficienții de transmisie ai debitelor de la un nod astfel obținut la cel vecin, se calculează cu expresiile:

$$T_{II-I} = \frac{(\mu Q_0)_{ij}}{\sum (\mu Q_0)_I} \quad (1.8.a)$$

$$T_{I-II} = \frac{(\mu Q_0)_{ji}}{\sum (\mu Q_0)_I} \quad (1.8.b)$$

unde: T_{II-I} - este coeficientul de transmisie provenit din inelul II în I;

$(\mu Q_0)_{ij}$ - se referă la conductele comune inelelor I și II;

$\sum (\mu Q_0)_I$ - se integrează pe inelul în care se face transmiterea;

Urmează calculul valorilor ΔQ_j prin transmiterea la noduri conform metodei Cross folosite la calculul structurilor în formă de cadru (cadre static nedeterminate). Cu valorile ΔQ astfel obținute, se corectează debitele pe tranșoane.

Acest procedeu asigură o convergență mai rapidă a valorilor ΔQ decât după Lobacev.

În 1957 inginerii români R. Agent și I. Schubert au introdus această metodă în calculul rețelelor inelare. În principal, autorii propun ca la fiecare treaptă de calcul rezolvarea prin iterație a sistemului de ecuații de bază să fie dusă pînă la sfîrșit în loc de a fi oprită la prima aproximație [6].

Formula corecțiilor de debit va fi, considerînd $\beta=2$:

$$\Delta Q_j = -\frac{\sum (\mu Q_0^2)_j}{2 \sum (\mu Q_0)_j} + \sum \frac{\mu Q_0 i k}{\sum (\mu Q_0)_j} \cdot \Delta Q_i \quad (1.9.a)$$

$$\Delta Q_i = -\frac{\sum (\mu Q_0^2)_i}{2 \sum (\mu Q_0)_i} + \sum \frac{\mu Q_0 i k}{\sum (\mu Q_0)_i} \cdot \Delta Q_j \quad (1.9.b)$$

d. - calculul cu ajutorul mașinilor analogice.

Este o metodă modernă de calcul. Metoda se bazează pe analogia dintre procesul de mișcare al apei, cu alte procese care exprimă sistemele de ecuații și care pot fi realizate și studiate în condiții de laborator. Analogia considerată permite crearea unui model de sistem de alimentare cu apă.

În majoritatea cazurilor se utilizează analogia electrohidrodinamică, respectiv analogia dintre legile de circulație a apei și legile de trecere a curentului electric prin conductoare

cu dispoziție inelară. Sistemul electric de curent continuu care înlocuiește rețeaua de distribuție a apei, conține trei tipuri de celule : celule sursă, celule-conductă și celule-consumator.

În aceste condiții relațiile hidraulice: $\sum Q_i = 0$ la noduri și $\sum h_r = 0$ pe inele, se asimilează cu:

$$\sum I = 0 \text{ la noduri; } \cdot \sum U = 0 \text{ pe inele; } \quad (1.10; 1.11)$$

unde: I = intensitatea curentului electric;

U = diferența de potențial electric.

Construcția unei astfel de mașini trebuie să rezolve problema găsirii unor astfel de dispozitive electrice care să permită ca ecuația de legătură dintre parametri să fie aceeași cu ecuația pierderii de sarcină prin conducte. De fapt una dintre principalele dificultăți a electromodelării sistemelor hidraulice constă în faptul că intensitatea curentului în conductori electrice și căderea de potențial sînt legate printr-o relație lineară:

$$U = R_i I \quad (1.12)$$

în care R_i = rezistența electrică a conductorului în timp ce căderea de presiune în liniile rețelei de apă este legată de debit în mod nelinear.

Pentru ca modelul electric al conductei de apă să reproducă legea rezistenței hidraulice, trebuie să avem $R = MQ^\beta$ adică rezistența conductei în model trebuie să varieze proporțional cu intensitatea curentului la puterea β .

În particular, pentru zona patrată a rezistențelor în rețeaua de conducte de apă trebuie să avem $R = SI$, ceea ce ne dă $U = SI^2$ [5].

O asemenea lege a căderilor de potențial poate fi rezolvată în cazul aplicării celulelor conducte din becuri electrice incandescente la tensiuni moderate.

Pe modelul electric se reprezintă:

- debitul, prin intensitatea curentului electric;
- cotele piezometrice prin tensiuni;
- pierderile de sarcină prin diferențe de potențial electric

(pentru care se alege scheme care să redea relația :

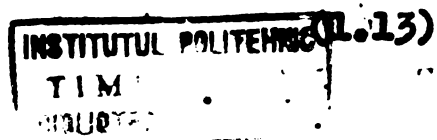
$$U = R_i I^\beta$$

pentru asimilarea cu relația: $h_r = MQ^\beta$

- sensul de curgere prin polaritate.

După modelarea sistemului de distribuție, după instalarea circuitelor electrice necesare, cu anumite condiții de margine se pot analiza toți parametri curgerii prin rețea.

Aparatul de măsură pentru tensiuni și intensități ne permite citirea pierderilor de sarcină pe tronsoane și repartitia debitelor pe tronsoane și în punctele de consum.



Dispozitivul analog trebuie să permită întocmirea unei scheme de rețea pentru toți diametrii standard existenți și să se adapteze la orice lungime dată. Schema electrică considerată trebuie să fie geometric asemenea cu rețeaua de apă considerată.

Problema cea mai simplă care se rezolvă cu ajutorul modelului electric este găsirea distribuției debitelor de apă din rețea cu rezistențele date ale tronsoanelor cu consumul dat în noduri și cu alimentarea la presiunea constantă (rezervor cu nivel constant analog cu o sursă de curent continuu cu tensiunea invariabilă).

Mai complicată este problema găririi parametrilor de funcționare a diferitelor elemente ale sistemului în cazul funcționării concomitente. Pentru sisteme cu pompe de alimentare și cu consum variabil în rețea, trebuie să se creeze analogii electrice respective.

Calculul cu mașina analogică pentru o soluție durează câteva ore. Schema de analogie electrică pentru o rețea cu 2 inele este prezentată în figura 1.3 [90].

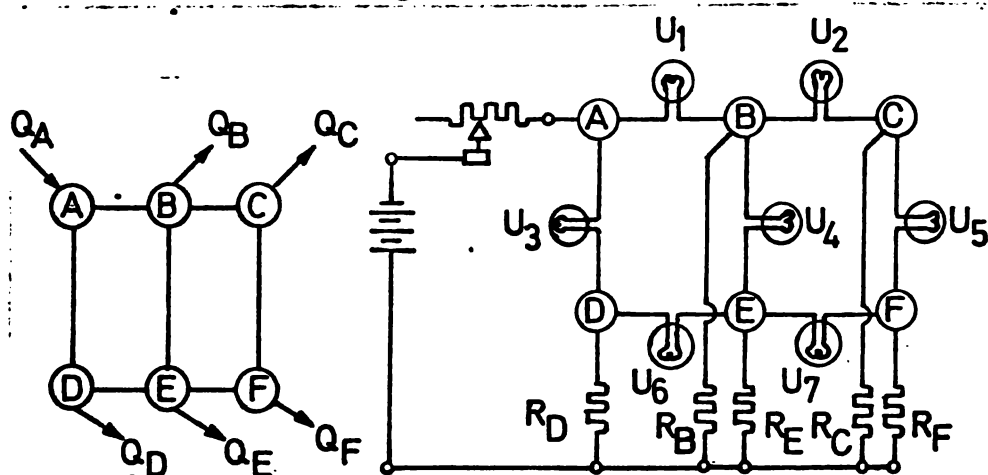


Fig. 1.3.

Avantajul mașinii analogice constă în posibilitatea de a efectua numeroase calcule cu scheme puțin modificate (întreruperea unei conducte a rețelei datorită unei avarii, introducerea unor stații de pompare de injecție în rețea, execuția etapizată a rețelei etc.). Nu trebuie uitat că acest procedeu modern de calcul permite găsirea soluțiilor celor mai economice de extinderea rețelelor de distribuție [90].

Principiul mașinii analogice a fost folosit încă din 1922 de către Pavlovski pentru studiul căilor de filtrare a apei sub fundațiile construcțiilor hidrotehnice în cazul regimului laminar de curgere.

Primele încercări de folosire a dispozitivelor analoge pentru analiza și calculul rețelelor de apă au fost realizate de profesorii Universității din Massachusetts Camp T.R. și Hazen H.L.

prin 1935 care au realizat o reglare manuală a rezistențelor electrice. Autorii au folosit modelul electric pentru găsirea distribuției curenților de apă în tronsoanele rețelei inelare cu lungimile date ale conductelor și diametrii dați. De observat este faptul că aceste lucrări au fost efectuate cu cca. 2 ani înaintea creării metodei Lobacev-Cross pentru coordonarea rețelelor.

În 1948 Mr. Illroy înlocuiește celulele-conducte cu fluistori (tuburi cu vacuum și filament de Wolfram), niște rezistențe variabile la care scăderea de tensiune este proporțională cu intensitatea curentului la puteri cuprinse între 1,85 și 2 [46.]

În continuare Mr. Illroy M.S. a realizat tocmai tipul de model în care conductele au fost modelate cu rezistențe electrice nelineare a căror mărime este proporțională cu intensitatea curentului. Acest dispozitiv este cu adevărat un simulator de rețea.

În URSS, lucrările începute în 1936 VNII Vodgeo, au fost continuate de profesorul Moșnin și în 1940 s-a creat o mașină analogă complexă folosindu-se rezistențele automate sub formă de automate electromecanice nelineare.

În prezent, dispozitivele analogice specializate de diferite tipuri se folosesc pe scară largă pentru efectuarea tuturor calculelor necesare la proiectarea sistemelor de distribuție a apei și chiar pentru controlul funcționării rețelei (VNII VODGEO).

Mașini analogice perfecționate pentru calculul rețelei se construiesc azi în SUA, R.F. Germania, URSS, Anglia, Franța etc.

În ce privește analogia hidraulică, aceasta reprezintă de asemenea o metodă eficientă de echilibrare a rețelelor de distribuție a apei.

Totuși, realizarea similitudinii geometriei a modelului crează o serie de dificultăți prin greutatea date de criteriul Reynolds, fapt ce ar conduce la dimensiuni foarte mari ale modelului, sau la necesitatea de a se crea viteze foarte mari pe model:

$$Re_{model} = Re_{natură} ; \frac{v d}{\nu} model = \frac{V D}{\nu} natură$$

În acest scop s-a căutat să se introducă diferite tipuri de dispozitive de rezistență (diafragme, tuburi capilare, robinete etc.)

În cazul modelării cu ajutorul robinetelor se poate utiliza relația rezistențelor hidraulice: $h_r = M Q^2$ cu precizarea că, în regimul turbulent pătratic coeficientul $M = \text{constant}$ este o condiție importantă a modelării și trebuie delimitat în gama debitelor studiate, domeniu în care valorile M pot fi considerate constante sau cu mici abateri acceptabile.

e. - calculul cu ajutorul mașinii electronice.

Este un mijloc modern de rezolvare care, avînd o vechime de

aprox. 20 ani, este în continuă perfecționare. Principalul avantaj pe care îl prezintă este timpul extrem de redus, necesar pentru calcul, (comparativ cu cel manual) indiferent de metoda adoptată. Evident că acest caz oferă și posibilitatea comparării unui număr mare de variante, ceea ce conduce la soluția cea mai justă tehnico-economică.

Efectuarea calculului comportă următoarele etape:

e_1) Pregătirea prealabilă a mașinii care constă în :

- stabilirea algoritmului de calcul;
- sistematizarea numerotării tronsoanelor, a nodurilor, stabilirea sensului pozitiv și efectuarea programării.

Pentru numerotarea nodurilor se recomandă transformarea rețelei înelare într-una ramificată fictivă prin tăierea unor tronsoane.

Numerotarea rețelei se face în sensul de curgere al apei la rezervor spre capetele extreme, astfel fiecare tronson este denumit după numărul nodului aval, iar sensul pozitiv al debitelor este în sensul crescător al numerelor. În punctele de tăiere mașina va indica debite de trecere (rețeaua nefiind în realitate ramificată).

e_2) Programarea cuprinde stabilirea tipului de calcule pe care mașina le are de efectuat respectiv calculul pierderilor de sarcină cunoscând modulul de rezistență M al conductelor și debitul, corecția debitelor, calculul costului total etc.

Programul cuprinde instrucțiuni date mașinii, transcrise în limbajul mașinii și transmise în memoria calculatorului prin intermediul imprimării pe o bandă magnetică.

Datele numerice sînt înscrise pe cartele perforate sau pe bandă perforată. Astfel în memoria mașinii se înregistrează:

- programul și datele de calcul;
- lista pierderilor unitare de sarcină;
- lista prețurilor;
- lista caracteristicilor pompelor;
- cotele rezervoarelor, debitele specifice în rețea;
- datele fizice ale rețelei predimensionate (L , d , material, Q în noduri, schema rețelei);
- gradul de aproximație cerut pentru calcul.

Mașina efectuează apoi calculul pe baza programului general și a datelor numerice concrete ale rețelei propuse.

De observat că procedeul examinat se referă la verificarea rețelelor în diferite momente caracteristice de calcul.

În etapa de dimensionare economică se aplică diferite procedee între care:

- metoda debitelor limită, cea mai mult utilizată;
- optimizarea prin variația diametrelor în rețea și obținerea unui minim de investiție sau cheltuieli de exploatare;
- inițierea calculului cu diametrii minime și amplificarea lor continuă până la obținerea condițiilor tehnice impuse.

În calculul automat se aplică noi procedee foarte diferite după natura și amploarea problemelor cercetate.

1.2. Aspecte din bazele matematice

Pornind de la situația cea mai simplă, când alimentarea rețelei se face de la o singură sursă și când în rețea există consumatori permanenți, problema se reduce la a găsi un număr de p debite q_i în conductele rețelei în ipoteza predimensionării, adică se cunosc diametrii conductelor, rezistențele hidraulice M_i în baza unei distribuții inițiale a debitelor (q_i^0).

Sistemul de ecuații nelineare se poate prezenta sub forma generală astfel:

$$\begin{aligned} F_I(q_1, q_2, \dots, q_p) &= 0 \\ F_{II}(q_1, q_2, \dots, q_p) &= 0 \\ \dots & \\ F_n(q_1, q_2, \dots, q_p) &= 0 \end{aligned} \quad (1.14)$$

De observat că fiecare ecuație corespunde unui inel și cuprinde numai debitele conductelor inelului respectiv. Deoarece numărul n al ecuațiilor este mai mic decât numărul p al debitelor necunoscute, sistemul de ecuații (1.14) este considerat concomitent cu sistemul de $n-1$ ecuații nodale: $\sum q_i + Q_{nod} = 0$

Dacă sistemul se rezolvă de exemplu după metoda lui Newton, față de distribuția inițială a debitelor (q_i^0), se adaugă corecția Δq_i și deci suma ($q_i^0 + \Delta q_i$) trebuie să fie valoarea reală a debitelor care satisfac sistemul (1.14); care devine:

$$\begin{aligned} F_I(q_i^0 + \Delta q_i, q_2^0 + \Delta q_2, \dots, q_p^0 + \Delta q_p) &= 0 \\ F_{II}(q_i^0 + \Delta q_i, q_2^0 + \Delta q_2, \dots, q_p^0 + \Delta q_p) &= 0 \\ \dots & \\ F_n(q_i^0 + \Delta q_i, q_2^0 + \Delta q_2, \dots, q_p^0 + \Delta q_p) &= 0 \end{aligned} \quad (1.15)$$

În acest sistem, necunoscutele sînt corecțiile Δq_i . Sub formă matricială (vectorială) acest sistem se prezintă astfel:

$$f(q_i^0 + \Delta q_i) = 0 \quad (1.16)$$

Dacă se dezvoltă membrul stîng după puterile vectorului și se păstrează doar termenii lineari, se obține:

$$f(q_i^0) + f'(q_i^0) \Delta q_i = 0 \quad (1.17)$$

unde: q_i^0 reprezintă valorile inițiale ale debitelor iar derivata $f'(q_i^0)$ reprezintă matricea lui Iacobi:

$$f(q^0) = \begin{vmatrix} \frac{\partial F_I}{\partial q_1} & \frac{\partial F_I}{\partial q_2} & \dots & \frac{\partial F_I}{\partial q_p} \\ \frac{\partial F_{II}}{\partial q_1} & \frac{\partial F_{II}}{\partial q_2} & \dots & \frac{\partial F_{II}}{\partial q_p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial F_n}{\partial q_1} & \frac{\partial F_n}{\partial q_2} & \dots & \frac{\partial F_n}{\partial q_p} \end{vmatrix} \quad (1.18)$$

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

Sub formă dezvoltată, matricea devine:

$$\begin{aligned} F_I(q_1^0, q_2^0, \dots, q_p^0)_I + \left(\frac{\partial F_I}{\partial q_1} \cdot \bar{\Delta q}_1 + \frac{\partial F_I}{\partial q_2} \cdot \bar{\Delta q}_2 + \dots + \frac{\partial F_I}{\partial q_p} \cdot \bar{\Delta q}_p \right) &= 0 \\ F_{II}(q_1^0, q_2^0, \dots, q_p^0)_{II} + \left(\frac{\partial F_{II}}{\partial q_1} \cdot \bar{\Delta q}_1 + \frac{\partial F_{II}}{\partial q_2} \cdot \bar{\Delta q}_2 + \dots + \frac{\partial F_{II}}{\partial q_p} \cdot \bar{\Delta q}_p \right) &= 0 \\ \dots & \dots \\ F_n(q_1^0, q_2^0, \dots, q_p^0)_n + \left(\frac{\partial F_n}{\partial q_1} \cdot \bar{\Delta q}_1 + \frac{\partial F_n}{\partial q_2} \cdot \bar{\Delta q}_2 + \dots + \frac{\partial F_n}{\partial q_p} \cdot \bar{\Delta q}_p \right) &= 0 \end{aligned} \quad (1.19)$$

Sistemul (1.19) este un sistem de ecuații lineare în raport cu corecțiile Δq_i pentru valorile debitelor considerate q_i^0 . Valorile corecte ale debitelor se obțin prin iterație deoarece în sistem sînt înlăturați termenii în afara celor lineari și deci apare un anumit grad de imprecizie.

Cu alte cuvinte, mărimile $F_j(q_1^0, q_2^0, \dots)$ în inelul j ca regulă, după prima determinare vor fi diferite de zero și vor $(\sum h_i)_j = \Delta h_j$, adică pierderea de sarcină în inelul j . Cu cât această valoare va fi mai mare (+, -) cu atît distribuția inițială a debitelor va fi mai departe de valorile reale pentru diametrii considerați.

Dar expresiile de forma $F_j = (\sum h_i)_j$ sînt egale cu $\sum (M_i q_i^\beta)_j$, a căror derivate parțiale în raport cu debitul (q_i) a fiecărui tronson de conductă (i) sînt chiar coeficienții corecțiilor necunoscutelor $\bar{\Delta q}_i$. deci:

$$\frac{\partial F_i}{\partial q_i} = \beta M_i (q_i^0)^{\beta-1} \quad (1.20)$$

Ținînd seama de observațiile de mai sus, făcînd înlocuirile necesare, sistemul (1.19) de ecuații se va transforma în (1.21):

$$\begin{aligned} \Delta h_I + \beta M_1 (q_1^0)^{\beta-1} \bar{\Delta q}_1 + \beta M_2 (q_2^0)^{\beta-1} \bar{\Delta q}_2 + \dots + \beta M_f (q_f^0)^{\beta-1} \bar{\Delta q}_f &= 0 \\ \Delta h_{II} + \beta M_g (q_g^0)^{\beta-1} \bar{\Delta q}_g + \beta M_h (q_h^0)^{\beta-1} \bar{\Delta q}_h + \dots + \beta M_k (q_k^0)^{\beta-1} \bar{\Delta q}_k &= 0 \\ \dots & \dots \\ \Delta h_n + \beta M_l (q_l^0)^{\beta-1} \bar{\Delta q}_l + \beta M_m (q_m^0)^{\beta-1} \bar{\Delta q}_m + \dots + \beta M_p (q_p^0)^{\beta-1} \bar{\Delta q}_p &= 0 \end{aligned} \quad (1.21)$$

De observat că numărul total de corecții căutate Δq_i este egal cu p în timp ce numărul de ecuații este $n < p$, deci este necesar să se amintească că acest sistem de ecuații trebuie considerat împreună cu ecuațiile bilanțului debitelor în noduri ($m-1$) ecuații.

Se demonstrează că satisfacerea acestor ecuații permite exprimarea tuturor celor „ p ” corecții pentru debitele conductelor din inele; mărimile Δq_i sau q_i reprezintă datele de contur pentru diferitele inele. Asemenea debite, parcurgînd inelul, în fiecare nod adaugă și extrag mărimile egale Δq_i adică nu schimbă bilanțul debitului în noduri considerat la distribuția inițială a curentului.

Astfel, efectuarea debitelor permite automat să se satisfacă sistemul de ecuații $\sum q_i + Q_I = 0$ în fiecare pas al iterației.

Ecuațiile sistemului (1.21) se pot exprima prin debitele de corecție Δq_j pe inel, ceea ce separă pierderea de sarcină pe inel adică Δh_j . Se obține astfel sistemul de ecuații (1.22)

$$\begin{aligned} \Delta h_I + \beta \sum (\mu q^{\beta-1})_I \Delta q_I + (\beta \mu^{\beta-1})_{cc1} \Delta q_{cc1} + (\beta \mu^{\beta-1})_{cc2} \Delta q_{cc2} + \dots = 0 \\ \Delta h_{II} + \beta \sum (\mu q^{\beta-1})_{II} \Delta q_{II} + (\beta \mu^{\beta-1})_{cc'1} \Delta q_{cc'1} + (\beta \mu^{\beta-1})_{cc'2} \Delta q_{cc'2} + \dots = 0 \end{aligned} \quad (1.22)$$

$$\Delta h_n + \beta \sum (\mu q^{\beta-1})_n \Delta q_n + (\beta \mu^{\beta-1})_{cc^n1} \Delta q_{cc^n1} + (\beta \mu^{\beta-1})_{cc^n2} \Delta q_{cc^n2} + \dots = 0$$

În acest sistem, începînd cu termenul al III-lea, sînt reprezentate lăgăturile inelului considerat cu inelele vecine [5].

Exemplificarea ecuațiilor de bază se face pe o rețea cu 4 inele și o sursă (fig. 1.1).

În rețea se consideră regimul de mișcare ca fiind turbulent pătratic deci $\beta = 2$. Rețeaua are 12 conducte și 9 noduri, sensul de curgere pozitiv al apei fiind sensul acelor de ceasornic. Se dau valorile debitelor inițiale, respectiv rețeaua se predimensionează $(q_{ij}, d_{ij}, L_{ij}, \mu_{ij})$.

Forma generală a sistemului de 4 ecuații pentru determinarea celor 4 debite de corecție $\Delta q_I, \Delta q_{II}, \Delta q_{III}$ și Δq_{IV} , este:

$$I. \mu_{12} (q_{12}^0 + \Delta q_I)^2 + \mu_{25} [q_{25}^0 + (\Delta q_I + \Delta q_{II})]^2 - \mu_{45} [-q_{45}^0 + (\Delta q_I + \Delta q_{III})]^2 - \mu_{14} (-q_{14}^0 + \Delta q_I)^2 = 0$$

$$II. \mu_{23} (q_{23}^0 + \Delta q_{II})^2 + \mu_{36} (q_{36}^0 + \Delta q_{II})^2 - \mu_{25} [-q_{25}^0 + (\Delta q_{II} + \Delta q_I)]^2 + \mu_{56} [-q_{56}^0 + (\Delta q_{II} + \Delta q_{IV})]^2 = 0$$

$$III. \mu_{45} [q_{45}^0 + (\Delta q_{II} + \Delta q_{III})]^2 + \mu_{50} [q_{50}^0 + (\Delta q_{III} + \Delta q_{IV})]^2 - \mu_{47} (q_{47}^0 + \Delta q_{III})^2 - \mu_{78} (q_{78}^0 + \Delta q_{III})^2 = 0$$

$$IV. \mu_{56} [q_{56}^0 + (\Delta q_{IV} + \Delta q_{III})]^2 + \mu_{69} (q_{69}^0 + \Delta q_{IV})^2 - \mu_{50} [-q_{50}^0 + (\Delta q_{IV} + \Delta q_{III})]^2 - \mu_{89} (q_{89}^0 + \Delta q_{IV})^2 = 0 \quad (1.23)$$

Se observă că nu sînt cunoscute mărimile și semnele corecțiilor, deci ele se determină în procesul de rezolvare a sistemului de ecuații (1.23).

Se dezvoltă în serie binomul și se păstrează doar valorile lineare pentru Δq_I etc. Se obține sistemul de ecuații lineare (1.23 a) în raport cu debitele necunoscute:

$$\begin{aligned} \Delta h_I + 2\Sigma(\mathcal{M}q)_I \Delta q_I + 2\mathcal{M}_{25} q_{25} \Delta q_{II} + 2\mathcal{M}_{45} q_{45} \Delta q_{III} &= 0 \\ \Delta h_{II} + 2\Sigma(\mathcal{M}q)_{II} \Delta q_{II} + 2\mathcal{M}_{25} q_{25} \Delta q_I + 2\mathcal{M}_{56} q_{56} \Delta q_{IV} &= 0 \\ \Delta h_{III} + 2\Sigma(\mathcal{M}q)_{III} \Delta q_{III} + 2\mathcal{M}_{45} q_{45} \Delta q_I + 2\mathcal{M}_{58} q_{58} \Delta q_{IV} &= 0 \\ \Delta h_{IV} + 2\Sigma(\mathcal{M}q)_{IV} \Delta q_{IV} + 2\mathcal{M}_{56} q_{56} \Delta q_{II} + 2\mathcal{M}_{58} q_{58} \Delta q_{III} &= 0 \end{aligned} \quad (1.23a)$$

Acest sistem se poate transforma astfel încît coeficienții necunoscutelor să aibe o matrice simetrică:

$$\begin{aligned} 2\Sigma(\mathcal{M}q)_I \Delta q_I + 2\mathcal{M}_{25} q_{25} \Delta q_{II} + 2\mathcal{M}_{45} q_{45} \Delta q_{III} + 0 &= -\Delta h_I \\ 2\mathcal{M}_{25} q_{25} \Delta q_I + 2\Sigma(\mathcal{M}q)_{II} \Delta q_{II} + 0 + \mathcal{M}_{56} q_{56} \Delta q_{IV} &= -\Delta h_{II} \\ \mathcal{M}_{45} q_{45} \Delta q_I + 0 + 2\Sigma(\mathcal{M}q)_{III} \Delta q_{III} + \mathcal{M}_{58} q_{58} \Delta q_{IV} &= -\Delta h_{III} \\ 0 + \mathcal{M}_{56} q_{56} \Delta q_{II} + \mathcal{M}_{58} q_{58} \Delta q_{III} + 2\Sigma(\mathcal{M}q)_{IV} \Delta q_{IV} &= -\Delta h_{IV} \end{aligned} \quad (1.23b)$$

Sub formă matriceală se obține sistemul $A \cdot \Delta q_{ik} = b$. Calculul elementelor matriței se face destul de simplu. Un sistem asemănător pentru determinarea debitelor de legătură Δq_I și deci a corecțiilor de debite în porțiunea $i-k$; $\overline{\Delta q}_{ik}$ a fost propus de Lobacev în 1934 și Cross [60, 5]. În concluzie, trebuie să se țină seama că la rezolvarea acestor probleme de hidraulică tehnică, sistemul principal de necunoscute este dat de debitele în conductele rețelei. Ele trebuie să satisfacă sistemul de ecuații nelineare (1.14). Determinarea mărimilor corecțiilor $\overline{\Delta q}_{ik}$ este doar o cale de aflare a necunoscutelor principale q_{ik} . Se determină Δq_j în sistemul nelinear de ecuații, se calculează corecțiile $\overline{\Delta q}_{ik}$, care se introduc în sistemul fundamental de ecuații nelineare (1.22) și pe care trebuie să îl satisfacă. Deoarece la acest sistem a apărut o imprecizie datorită păstrării doar a termenilor lineari ai dezvoltării, atunci determinînd valorile corecțiilor $\overline{\Delta q}_{ik}$ din sistemul de ecuații lineare nu se poate asigura o satisfacere exactă a sistemului fundamental (1.17 și 1.19), adică nu se pot obține mărimile respective între limitele admise direct ci prin mai multe iterații.

1.3. Metoda Lobacev - Cross

Dacă în sistemul (1.23 b) se înlocuiesc cu zero toți termenii din afara celor din diagonala principală, se obțin

ecuații independente fiecare cu o necunoscută Δq_I .

$$\sum (Mq)_I \Delta q_I = -\frac{\Delta h_I}{2}$$

$$\sum (Mq)_{II} \Delta q_{II} = -\frac{\Delta h_{II}}{2}$$

$$\sum (Mq)_{III} \Delta q_{III} = -\frac{\Delta h_{III}}{2}$$

$$\sum (Mq)_{IV} \Delta q_{IV} = -\frac{\Delta h_{IV}}{2}$$

(1.24)

Dar aceasta înlătură influența reciprocă a inelelor scoțînd în evidență legătura între mărimea debitului și pierderea de sarcină, de ex.:

$$\Delta q_I = -\frac{\Delta h_I}{2 \sum (M_{IK} q_{IK})_I} \quad (1.25)$$

sau în cazul regimului nepătratic adică $\beta \neq 2$ formula devine :

$$\Delta q_I = -\frac{\Delta h_I}{\sum \beta (M_{IK} q_{IK}^{\beta-1})_I} \quad (1.26)$$

Dacă modul de obținere a acestor formule simplifică mult calculul, în schimb aproximația se mărește. Introducînd corecțiile debitelor în toate inelele rețelei se obțin debitele corectate q_{ik} cu ajutorul cărora se calculează pierderile de sarcină h_{ik} respectiv $\sum (h^*)_I$ și $\sum (Mq^{\beta-1})_I$. Introducînd aceste mărimi în formulă (1.26), se obțin noi valori pentru corecții Δq pentru toate inelele și operația se repetă pînă la atingerea valorilor admise pentru pierderea de sarcină în toate inelele. În forma ei de bază, metoda a fost propusă de Lobacev și separat de Cross.

Cross arată două posibilități de folosire a acestei metode; și anume:

a. - principiul egalizării presiunilor;

b. - principiul egalizării debitelor;

a. - se ține seama de condiția $\sum Q = 0$ în nod și se introduce corecția de debit pînă cînd se realizează $\sum h = 0$ în inel cu precizia cerută;

b. - în procesul calculelor se menține $\sum h = 0$ în inele și se introduc corecțiile respective pentru mărimea debitelor pînă se satisface $\sum Q = 0$ în noduri. Acest principiu este indicat în cazul în care se cunosc presiunile în punctele de surse și consum ale apei, respectiv în cazul reconsiderării și extinderii rețelei.

Cross dă doar unele indicații și anume (Obs. se păstrează notațiile lui Cross) :

- În rețea se consideră o distribuție inițială a debitelor

Q_0 .

- Se determină $h = r Q_0^n$, ținînd seama de semne și $\sum h$ pentru toate inelele.

- Se determină mărimile $n r Q_0^{n-1}$ pentru conducte și r pentru inele.

- Se determină debitul de echilibrare $\Delta q = \frac{-\sum r Q_0^n}{\sum n r Q_0^{n-1}} = \frac{-\sum h}{\sum R}$

- Se introduc corecțiile corespunzătoare în distribuția inițială a debitelor.

Procedeu se repetă pînă la precizia necesară (mărimea R variază puțin în cazul corecțiilor succesive).

La distribuția corectă a debitelor în inel, $\sum r Q^n = 0$.

Debitul real $Q = Q_0 + \Delta$ unde Δ este corecția, deci :
 $r Q^n = r(Q_0^n + nQ_0^{n-1}\Delta + \dots)$. Dacă mărimea Δ este mică în comparație cu Q_0 , atunci ceilalți termeni ai dezvoltării se pot neglija. Astfel: $\sum r Q_0^n = -\sum nr Q_0^{n-1} \Delta$ deci $\Delta = \frac{\sum r Q_0^n}{n \sum r Q_0^{n-1}}$.

Autorul nu expune bazele teoretice ale rețelelor cu mai multe inele, nu analizează sistemul de ecuații pentru aflarea debitelor de corecție, și nici convergența procesului de legătură. În exemplele de calcul pe care le dă, precizia cerută apare după a patra corecție, pierderea de sarcină finală se reduce (în diferite inele) în comparație cu cea inițială de 30 - 100 ori.

Autorul efectuează și calculul a două rețele spațiale cu particularitățile lor, precum și expunerea esenței egalizării debitelor cu două exemple numerice [5] și [23].

Este interesant de observat că articolul lui Cross în care el în 1936 și-a expus metodele de calcul, are un volum foarte redus, în timp ce despre această lucrare s-au scris sute de pagini.

Spre deosebire de Cross, Lobacev dă un sistem de ecuații lineare pentru aflarea debitelor de corecție în rețea cu mai multe inele cu două variante.

Una din variante reprezintă interpretarea pur algebrică a legii a II-a a lui Kirchoff (asemănătoare cu Cross) ținînd seama de influența reciprocă a inelelor. A doua variantă se bazează pe dezvoltarea în serie a funcției f (q inițial + corecția Δq).

În metoda practică, $\Delta q = -\frac{\Delta h}{2 \sum M q}$ pentru $\beta = 2$, procedeu Cross și Lobacev corespund în întregime.

Studiile efectuate în paragraful 1.1, 1.2, 1.3 asupra procedeelor efectuate de diferiți autori în legătură cu calculul rețelelor inelare, s-au bazat pe principiul egalizării presiunilor. Nu este lipsit de interes să se studieze și a doua cale de cal

1.4. Egalizarea debitelor [4], [21]

Calculul rețelelor inelare se poate efectua luînd ca necunoscute principale debitele sau presiunile. În cazul în care unul din grupurile de necunoscute este determinat, se poate găsi celălalt grup. În cadrul acestei metode se ține seama de condiția $\sum \Delta h = 0$ în inel și se introduc corecțiile de pierderi de sarcini

nă pînă cînd se va satisface condiția $\sum Q = 0$ în fiecare nod.

Pentru determinarea necunoscutelor h_i se rezolvă sistemul nelinear de forma :

$$\begin{aligned} \varphi_I (h_1, h_2, \dots, h_p) &= 0 \\ \varphi_{II} (h_1, h_2, \dots, h_p) &= 0 \\ \dots \dots \dots \\ \varphi_{m-1} (h_1, h_2, \dots, h_p) &= 0 \end{aligned} \quad (1.27)$$

Expresiile de mai sus sînt scrise pentru (m-1) noduri. În ecuațiile fiecărui nod intră pierderile de sarcină aferente nodului respectiv. Alegînd drept valori aproximative h_{ik} acele valori care corespund diferenței date de presiune între punctul inițial și final al sistemului, astfel ca pe inel să fie satisfăcută condiția $h_{ik} = 0$, fiecărui inel i se va acorda o corecție \bar{h}_{ik} . În acest caz sistemul (1.27) se scrie sub forma :

$$\begin{aligned} \varphi_I (h_1 + \bar{\Delta}h_1, h_2 + \bar{\Delta}h_2, \dots, h_p + \bar{\Delta}h_p) &= 0 \\ \varphi_{II} (h_1 + \bar{\Delta}h_1, h_2 + \bar{\Delta}h_2, \dots, h_p + \bar{\Delta}h_p) &= 0 \\ \dots \dots \dots \\ \varphi_{m-1} (h_1 + \bar{\Delta}h_1, h_2 + \bar{\Delta}h_2, \dots, h_p + \bar{\Delta}h_p) &= 0 \end{aligned} \quad (1.28)$$

Dezvoltînd în serie funcția φ_j și reținînd primii doi termeni, se obține:

$$\begin{aligned} \varphi_I (h_1, h_2, \dots, h_p) + (\bar{\Delta}h_1 \frac{\partial \varphi_I}{\partial h_1} + \bar{\Delta}h_2 \frac{\partial \varphi_I}{\partial h_2} + \dots + \bar{\Delta}h_p \frac{\partial \varphi_I}{\partial h_p}) &= 0 \\ \varphi_{II} (h_1, h_2, \dots, h_p) + (\bar{\Delta}h_1 \frac{\partial \varphi_{II}}{\partial h_1} + \bar{\Delta}h_2 \frac{\partial \varphi_{II}}{\partial h_2} + \dots + \bar{\Delta}h_p \frac{\partial \varphi_{II}}{\partial h_p}) &= 0 \end{aligned} \quad (1.29)$$

$$\varphi_{m-1} (h_1, h_2, \dots, h_p) + (\bar{\Delta}h_1 \frac{\partial \varphi_{m-1}}{\partial h_1} + \bar{\Delta}h_2 \frac{\partial \varphi_{m-1}}{\partial h_2} + \dots + \bar{\Delta}h_p \frac{\partial \varphi_{m-1}}{\partial h_p}) = 0$$

Membrul stîng al acestor funcții reprezintă φ_I pentru valorile inițiale h_{ik} . Sub forma explicită funcția φ_I reprezintă deja corecția debitelor în inelul I.

$$\Delta q_i = \sum (\pi_{ik} h_{ik}^{\frac{1}{\beta}})_I + Q_1 ; \quad \pi_{2k} = \left(\frac{1}{M_{ik}} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (1.30; 1.31)$$

în care: Q_1 - consumul din nodul A; Δq - debitul de corecție;

M_{ik} - rezistența hidraulică a conductei ik.

În cazul regimului pătratic

$$Q_{ik} = \pi_{ik} \cdot h_{ik}^{\frac{1}{2}} ; \quad \pi_{ik} = \sqrt{\frac{1}{M_{ik}}} \quad (1.32; 1.33)$$

Derivatele de forma $\frac{\partial \varphi}{\partial h_{ik}}$ ale membrului drept din ecuație se pot scrie sub forma:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial h_{ik}} = \frac{1}{\beta} \pi_{ik} (h_{ik})^{\frac{1}{\beta} - 1} \quad (1.34)$$

iar pentru regimul pătratic:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial h_{ik}} = \frac{1}{2} \pi_{ik} h_{ik}^{-\frac{1}{2}} \quad (1.35)$$

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

Astfel analog cu procedeul folosit la egalizarea presiunilor după regruparea termenilor din ecuația $\varphi_I (h_{ik})$ se obține:

$$\left(\frac{1}{\beta} \sum \bar{J}_{ik} h_{ik}^{\frac{1}{\beta}-1}\right)_I \Delta H_I + \left(\frac{1}{\beta} \bar{J}_{ik} h_{ik}^{\frac{1}{\beta}-1}\right)_{k1} \Delta H_{k1} + \frac{1}{\beta} \left(\bar{J}_{ik} h_{ik}^{\frac{1}{\beta}-1}\right) \Delta H_{L2} + \dots = -\Delta q_I$$

$$\left(\frac{1}{\beta} \sum \bar{J}_{ik} h_{ik}^{\frac{1}{\beta}-1}\right)_I \Delta H_I + \left(\frac{1}{\beta} \bar{J}_{ik} h_{ik}^{\frac{1}{\beta}-1}\right)_{k2} \Delta H_{k2} + \frac{1}{\beta} \left(\bar{J}_{ik} h_{ik}^{\frac{1}{\beta}-1}\right) \Delta H_{L2} + \dots = -\Delta q_{II}$$

$$\left(\frac{1}{\beta} \sum \bar{J}_{ik} h_{ik}^{\frac{1}{\beta}-1}\right)_{m-1} \Delta H_{m-1} + \left(\frac{1}{\beta} \bar{J}_{ik} h_{ik}^{\frac{1}{\beta}-1}\right)_{km-1} \Delta H_{km-1} + \frac{1}{\beta} \left(\bar{J}_{ik} h_{ik}^{\frac{1}{\beta}-1}\right) \Delta H_{L_{m-1}} + \dots = -\Delta q_{m-1} \quad (1.36)$$

Primul termen al fiecărei din aceste ecuații conține corecția căutată a presiunii date ΔH_I iar ceilalți termeni reprezintă influența nodurilor vecine.

Neglijând termenii care conțin corecțiile impuse de nodurile vecine, se obține o relație unică pentru determinarea presiunilor în fiecare nod:

$$\Delta H_I = \frac{\Delta q_I}{\frac{1}{\beta} \sum (\bar{J}_{ik} h_{ik}^{\frac{1}{\beta}-1})_I} \quad (1.37)$$

Utilizarea acestei căi de calcul impune cunoașterea debitelor inițiale în fiecare din tronsoanele rețelei. Ca rezultat al calculului se obțin numai diferențele presiunilor. Pentru acest aspect este suficient să se cunoască presiunea inițială și presiunile în punctele finale.

Soluționarea sistemului de p ecuații nelineare cu p necunoscute poate utiliza metoda generală, metoda aproximațiilor succesive, calculatoare numerice sau analogice, mărimilor piezometrice în nodurile rețelei și nu mărcile propriu zise.

1.5. C o n c l u z i i

Evident că aceste metode, principii, mijloace de calcul pentru rețelele inelare nu pot fi considerate drept infailibile. Ele au avantaje și dezavantaje față de anumite situații date ale rețelelor de distribuție inelare. Sînt însă verificate în calcule practice și constituie un anumit grad de certitudine pentru proiectant, iar pentru cercetător un imbold spre optimizare.

Reconsiderarea atentă a principiilor de calcul frecvent folosite în practica proiectării, devine necesară în fața mijloacelor noi de calcul și a posibilităților experimentale crescînde. Aceste două coordonate permit utilizarea unui instrument matematic riguros care se impune pentru sistematizarea și precizia ce o poate aduce în calculele tehnice și în final economic. Autorul recomandă cuprinderea în standard a unor îmbunătățiri în calcul, de ex. cele aduse de ing. Agent și Schubert pentru

ridicarea gradului de precizie al metodei de bază. De asemenea, datorită avantajelor reliefate în paragraful 1.4, recomandă și aplicarea egalizării debitelor, cale complet nefolosită la proiectarea rețelelor inelare, deși este pe deplin justificată . . . mai ales în cazul calculelor de verificare a rețelelor inelare.

Astfel acestui capitol i se poate aplica exprimarea plastică a regretatului Acad. G. Moșil : „Despre necesitatea de a rezolva o problemă rezolvată” .

METODOLOGIA VERIFICĂRII REȚELOR INELARE

În practica studierii și proiectării rețelelor de apă înelare, metodele iterative au cunoscut cea mai mare răspândire.

În dezvoltarea metodelor de calcul se vor cerceta procedeele iterative de verificare în primul rând a calculului analitic și în continuare în calculul automatizat al rețelelor.

2.1. Procedee iterative în calculul analitic2.1.1. Problema convergenței

Pentru metoda Lobacev-Cross este caracteristic faptul că se calculează simultan toate inelele elementare ale rețelei și corecțiile obținute în prima etapă se introduc în toate inelele pentru efectuarea celei de a doua etape de calcule.

După crearea metodei Lobacev-Cross au apărut o serie de publicații cu aprecieri și tendințe de îmbunătățire, de exemplu:

În SUA articole semnate de Doland, Dodge, Fair etc. [30,37,43]

Asfel Fair a propus pentru determinarea debitelor următoarea modificare a formulei lui Cross:

$$\Delta q = \frac{\sum h}{n \sum \frac{h}{q}} \quad (2.1)$$

În practica proiectării s-a observat că metoda Lobacev-Cross în cazul rețelelor cu mai multe surse de alimentare, cu consumatori variabili, la rețele spațiale nu întotdeauna conduce la convergență. De asemenea, la alegerea sistemului de contururi teoretice în locul sistemului de inele elementare.

Astfel, apare necesitatea practică de analizare matematică a procesului de convergență a metodei și de a scoate în evidență indicii de convergență.

Se remarcă în acest domeniu lucrările lui Dubin [26,27], Cao [24], Hasilev [44], Korte și Vielhaber [58], Serek [87], Viber [94].

Dubin observă convergența lentă a metodei lui Cross (se neglijează termenii de gradul doi Δq^2 și Δq de gradul unu al inelelor vecine). De asemenea, observă importanța relației dintre rezistențele hidraulice ale conductelor pentru convergența procesului. Ajunge însă la concluzia că metoda Cross dă, întotdeauna o convergență, dacă rețeaua are un singur rezervor.

Cercetătorul Cao (Italia) studiind convergența, dă indici:

posibili de convergență ajungînd la următoarele concluzii:

- Procesul iterativ este cu atît mai rapid cu cît mai mic este modulul maxim al valorilor proprii ale matricii $\varphi(x)$ a oăru elemente (Lobacev-Cross) sînt:

$$\varphi'(\Delta q) = \delta - \frac{\sum_{ik} \pm \mu_i q_i^{\beta-1}}{\sum_I \mu_i q_i^{\beta-1}} \quad (2.2)$$

unde: $\delta = 1$ pentru elementele diagonalei principale a matricii și $\delta = 0$ pentru celelalte elemente; numărătorul reprezintă conductele comune.

Ca rezultat, în diagonala principală a acestei matrici se vor afla zerouri. Numărătorii celorlalte elemente vor fi simetrice față de diagonala principală.

De exemplu, pentru rețeaua din figura 1.1, la care se consideră cazul general, debitul la puterea β , această matrice va avea forma (2.3) :

$$\begin{array}{cccc} 0 & \frac{(\mu q^{\beta-1})_{I-II}}{\sum (\mu q^{\beta-1})_I} & \frac{(\mu q^{\beta-1})_{I-III}}{\sum (\mu q^{\beta-1})_I} & 0 \\ \frac{(\mu q^{\beta-1})_{I-I}}{\sum (\mu q^{\beta-1})_I} & 0 & 0 & \frac{(\mu q^{\beta-1})_{II-IV}}{\sum (\mu q^{\beta-1})_II} \\ \frac{(\mu q^{\beta-1})_{I-II}}{\sum (\mu q^{\beta-1})_III} & 0 & 0 & \frac{(\mu q^{\beta-1})_{II-IV}}{\sum (\mu q^{\beta-1})_III} \\ 0 & \frac{(\mu q^{\beta-1})_{II-IV}}{\sum (\mu q^{\beta-1})_IV} & \frac{(\mu q^{\beta-1})_{III-IV}}{\sum (\mu q^{\beta-1})_IV} & 0 \end{array} \quad (2.3)$$

$$\begin{array}{cccc} \sum (\mu q^{\beta-1})_I & (\mu q^{\beta-1})_{I-I} & (\mu q^{\beta-1})_{I-III} & 0 \\ (\mu q^{\beta-1})_{I-I} & \sum (\mu q^{\beta-1})_II & 0 & (\mu q^{\beta-1})_{II-IV} \\ (\mu q^{\beta-1})_{I-II} & 0 & \sum (\mu q^{\beta-1})_III & (\mu q^{\beta-1})_{III-IV} \\ 0 & (\mu q^{\beta-1})_{II-IV} & (\mu q^{\beta-1})_{III-IV} & \sum (\mu q^{\beta-1})_IV \end{array} \quad (2.4)$$

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

Se observă ușor că această matrice (2.3) se obține din matricea coeficienților ecuațiilor (1.23 b), adică din matricea (2.4), dacă toate elementele fiecărei linii a matricii se împart

respectiv, cu $\sum (\mu q^{\beta-1})_I$ și mărimile obținute se scad din unitate pentru elementele diagonalei principale și din zero pentru elementele celelalte.

Cao propune pentru stabilirea criteriului de convergență însumarea valorilor absolute din diferitele linii ale matricii (2.3) și alegerea celei mai mari din aceste sume; apoi însumarea elementelor coloanelor alegând cea mai mare. Cea mai mică din aceste valori va fi criteriul de convergență pentru sistemul respectiv de ecuații rezolvat prin metoda Lobacev-Cross; matricea (2.5). Dacă această mărime este mai mică decât unu, procesul este convergent și cu atât mai repede cu cât este mai mic. Și alți autori arată acest lucru [5], [44], [24], [26], [27], [59], [94].

Pentru același exemplu de rețea din figura 1.1, dar valori-ficată în figura 2.6, se consideră $\beta = 2$ și deci matricea devine (2.5), valorile numerice fiind luate din tabela 2.2 coloana 8, de exemplu: $0,294 = 124,85 : 424,45$;

0	0,294	0,554	0
0,143	0	0	0,355
0,309	0	0	0,179
0	0,244	0,107	0

Tabelul 2.1.

(2.5);

INEL	I	II	III	IV
coloane	0,453	0,538	0,661	0,634
linii	0,848	0,498	0,488	0,354

Efectuând sumele pe coloane și linii se primește tabelul 2.1 din care, conform indicațiilor lui Cao, criteriul de convergență este asigurat, respectiv $0,634 < 1$.

În metoda Lobacev-Cross, toate elementele matricii care nu se află pe diagonala principală se înlocuiesc cu zerouri și se obține astfel formula cunoscută:

$$\Delta q_I = \frac{\Delta h_I}{\beta \sum (\mu q^{\beta-1})_I} \quad (2.6)$$

pentru fiecare inel în fiecare pas al procesului iterativ.

Convergența (rapidă) depinde de predominarea (ponderea) elementelor aflate pe diagonala principală față de celelalte elemente. În rețelele reale toate elementele matricii depind de mărimile conductelor și modulul de rezistență al conductelor. Pe diagonala principală se află sumele produselor μq pentru fiecare inel al rețelei inclusiv liniile independente și porțiunile din ramificații. În rest sînt mărimile μq pentru diferite conducte ale rețelei. Deci elementele diagonalei predomină, ceea ce asigură faptul că determinantul format de matrice este diferit de zero și procesul este convergent pentru rețele plane. Hasilev ajunge la concluzia convergenței acestor rețele pe baza ipotezei că egalitatea $\sum h=0$ este valabilă pentru toate inelele rețelei și corespunde valorii minime a energiei consumate pentru învingerea rezistenței hidrau-

lice în rețea .

2.1.2. Considerații asupra aspectului energetic

Este important să se observe că distribuția curenților de apă în conductele rețelei inelare corespunde unui consum minim de energie pentru învingerea forțelor de frecare la mișcarea apei [5]. De fapt, pentru orice conductă din rețea, această energie E_T poate fi exprimată astfel:

$$E_T = q_i h_i = \mu_i q_i^3 \quad (2.7)$$

(pentru legea practică a rezistenței).

Pentru fiecare inel elementar al rețelei, la fel ca și pentru oricare din contururile închise, debitele tuturor conductelor care intră aici, pot fi exprimate prin debitul unei singure conducte și consumurile nodale.

Pentru figura 2.4, toate debitele q_i se pot exprima prin debitul conductei 1-2:

$$q_{23} = q_{12} - (Q_{II} + q_{2n}) \quad (2.8)$$

$$q_{43} = (Q_{III} + q_{3m} + q_{3p} - q_{23}) = (Q_{II} + Q_{III}) + (q_{2n} + q_{3m} + q_{3p}) - q_{12} \quad (2.9)$$

$$q_{14} = (Q_{II} + Q_{III} + Q_{IV}) + (q_{2n} + q_{3m} + q_{3p} + q_{4k}) - q_{12} \quad (2.10)$$

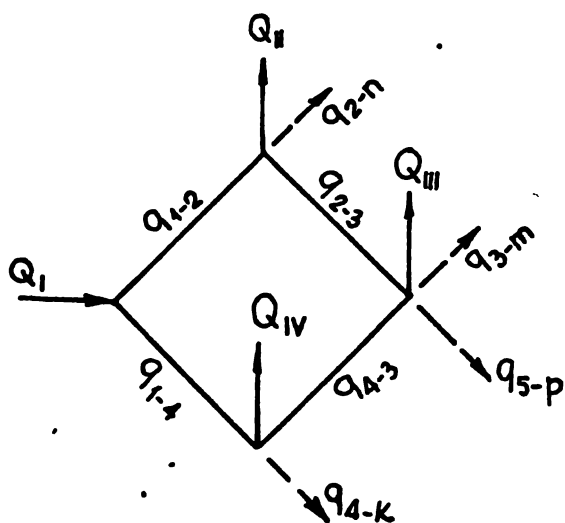


Fig. 2.4

În relație, suma reprezintă consumurile nodale date iar celelalte, debitele aduse de la nodurile 2, 3 și 4 în conductele inelelor vecine. Aceste debite sunt independente de q_{12} și se determină prin mărimile date ale consumului în celelalte noduri ale rețelei. Mărimea totală a energiei

consumate în inelul considerat pentru învingerea forțelor de frecare exprimată de debitul q_{12} , va fi:

$$E_T = \mu_{12} q_{12}^3 + \mu_{23} [q_{12} - (Q_{II} + q_{2n})]^3 + \mu_{43} [q_{II} + Q_{III} + (q_{2n} + q_{3m} + q_{3p}) - q_{12}]^3 + \mu_{14} [(Q_{II} + Q_{III} + Q_{IV}) + (q_{2n} + q_{3m} + q_{3p} + q_{4k}) - q_{12}]^3 = 0 \quad (2.11)$$

Valoarea extremă a lui E_T va fi găsită din relația :

$$\frac{\partial E_T}{\partial q_{12}} = 0, \text{ deci:}$$

$$3\mu_{12} q_{12}^2 + 3\mu_{23} [q_{12} - (Q_{II} + q_{2n})]^2 - 3\mu_{43} [(Q_{II} + Q_{III}) + (q_{2n} + q_{3m} + q_{3p}) - q_{12}]^2 - 3\mu_{14} [(Q_{II} + Q_{III} + Q_{IV}) + (q_{2n} + q_{3m} + q_{3p} + q_{4k}) - q_{12}]^2 = 0 \quad (2.12)$$

Substituind aici în locul parantezelor pătrate mărimile q_{23} , q_{34} și q_{14} , se obține:

$$\mu_{12} q_{12}^2 + \mu_{23} q_{23}^2 - \mu_{43} q_{43}^2 - \mu_{14} q_{14}^2 = 0 \quad (2.13)$$

adică, de fapt este expresia legii a II-a a lui Kirchoff pentru inelul considerat.

Derivata a II-a este : $\frac{\partial^2 F_r}{(\partial q_{12})^2} = 6(\mu_{12} q_{12} + \mu_{23} q_{23} - \mu_{43} q_{43} - \mu_{14} q_{14}) \quad (2.14)$

această mărime este întotdeauna pozitivă deci expresia (2.13), adică distribuția debitelor de apă în conductele inelului, corespunde valorii minime a energiei consumate pentru reducerea forțelor de frecare a apei.

2.1.3. Considerații asupra accelerării procesului de convergență

Pentru accelerarea procesului de convergență a rețelelor s-au propus o serie de măsuri pentru îmbunătățirea metodei Lobačev-Cross, majoritatea acestora se împarte în două categorii:

a. - Prima categorie prevede în locul tuturor celor n inele elementare să se folosească sistemul de n' contururi special alese, ceea ce poate accelera procesul de legătură, de coordonare. În numărul acestor contururi intră și inelele elementare și contururile care cuprind grupuri de inele elementare.

b. - A doua categorie de propuneri de coordonare a rețelelor inelare, prevede înlocuirea corecțiilor introduse temporar în toate contururile teoretice ale inelului în fiecare pas al coordonării prin introducerea succesivă a corecțiilor în aceste contururi a căror coordonare poate da un efect posibil pozitiv optim. Acest procedeu poate fi folosit și în calculul sistemelor de inele elementare.

În sfârșit, unii cercetători recomandă combinarea metodelor de mai sus.

De observat că asupra rapidității convergenței, influențează :

- alegerea sistemului de contururi teoretice și
- alegerea corectă a debitelor de apă în conductele rețelei (distribuția primară).

2.1.3.1 Alegerea sistemului de contururi teoretice

S-a observat că procesul de coordonare este mai lent în

rețelele a căror conducte separate au valori diferite pentru rezistențele hidraulice (L și d diferite).

Dubin în 1947, Woiles și Wilke (America 1962) au ajuns la concluzia că rapiditatea în convergență presupune condiția ca sumele rezistențelor hidraulice ale conductelor comune, vecine cu contururile sistemului dat, să fie minimă. Dubin [26],[27], Hasilev [25], Cao [24], Korte și Vielhaber [58] observă că dacă porțiunile comune conturilor teoretice au mărimi relativ reduse ale rezistenței hidraulice, atunci elementele corespunzătoare ale matricei sistemului de ecuații lineare care se află în afara diagonalei principale, vor fi relativ mici și predomină valorile elementelor diagonalei principale, ceea ce asigură o convergență mai rapidă a procesului.

Dubin arată că o alegere necorespunzătoare a sistemului de contururi teoretice poate distruge complet convergența. K. Cao [24] folosește criteriile de convergență pentru aprecierea și alegerea sistemului de contururi teoretice de rețele.

Cao, pentru aprecierea convergenței diferitelor sisteme de contururi, a folosit metoda aproximării propusă de el: „a razelor de localizare” care dă posibilitatea alegerii combinațiilor cele mai favorabile care necesită un șir mai mic de iterații.

Andreashev propune efectuarea unor calcule de coordonare în baza unor corecții care să cuprindă grupuri de inele elementare vecine cu același semn.

Această metodă a permis pentru redistribuția debitelor să nu se modifice bilanțul pierderilor de presiune în acele contururi unde a fost deja realizat.

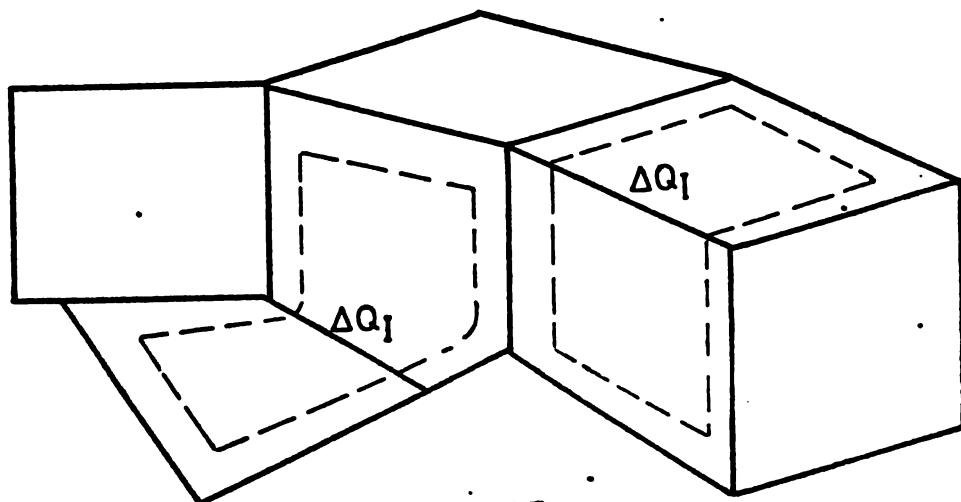


Fig. 25

Valoarea numerică a debitelor de legătură, corecției, s-a determinat pe baza formulei aproximative și foarte simple propusă de Andreashev și care reprezintă o modificare a formulei

Dacă se consideră valoarea medie a debitelor q_m pentru toate porțiunile din conturul respectiv și se înmulțește cu el numărătorul și numitorul, atunci se obține:

$$\Delta q = \frac{\Delta h}{2 \sum M q_m} \cdot \frac{q_m}{q_m} = \frac{q_m \cdot \Delta h}{2 \sum h} \quad (2.15)$$

Tot Andreasev a propus metoda numită a coordonărilor asemenea. Ea se bazează pe faptul că la efectuarea debitelor de coordonare, suma $\sum M q$ se schimbă pentru conturul dat foarte puțin, neglijabil. Considerînd această mărime constantă, din formula (2.6) pentru $\beta = 2$, se obține $\frac{\Delta q}{\Delta h} = \text{constant}$, deci $\frac{\Delta q_0}{\Delta h_0} = A$ pentru prima iterație, iar în rest va fi:

$$\Delta q = A \cdot \Delta h \quad (2.16)$$

Korte și Vielhaber [58] recomandă alegerea rațională a sistemului de contururi de coordonare, în rețeaua inelară, prin alegerea potrivită a ramificației.

În concluzie, dificultățile apărute în cazul coordonării după metoda Lobacev-Cross, a rețelei inelare cu mărimi diferite pentru rezistențele hidraulice, pot fi destul de mari, dar prin alegerea justă a sistemului de contururi teoretice această coordonare este mult accelerată (exemplificat la mașinile electronice).

Aceste procedee de sistematizare a calculului reprezintă în fond expresii ale metodelor de echivalență aplicate în sistematizarea metodicii.

În continuare se vor prezenta în lucrare, procedee propuse de autor pentru aplicarea echivalenței în rețele fizice cu un număr redus de inele.

2.1.3.2. Introducerea succesivă a corecțiilor în contururi teoretice

A doua cale principală de îmbunătățire a condițiilor de coordonare hidraulică a rețelelor inelare constă în înlocuirea coordonării simultane cu corecțiile introduse succesiv în diferite inele sau contururi. S-a constatat (calculatorul ETVM) că durata calculului crește dar stabilitatea convergenței este asigurată.

Mașină recomandă această metodă doar în acele inele în care la iterația dată, există neconcordanțe maxime.

Vasilenco a propus un sistem de coordonare a rețelelor folosind formule pentru determinarea debitelor de corecție în inele, ținînd seama de influența inelelor vecine ale rețelei.

Formulele lui Vasilenco se obțin ușor dacă toate ecuațiile sistemului (pentru exemplul luat), (1.23 b), pentru $\beta = 2$

se împart membru cu membru cu valorile $2\sum (\mu q)_I$. Mărimile :

$K_{jk} = \frac{(\mu q)_{ik}}{\sum (\mu q)_j}$ este coeficientul de influență a inelului J pentru sectorul ik care separă inelele K și J și $K_{jk} = \frac{(\mu q)_{ik}}{\sum (\mu q)_k}$ este coeficient de influență al inelului vecin K pentru aceeași porțiune ik [5].

Se obține sistemul (2.17) pentru rețeaua studiată din figura 1.1:

$$\begin{array}{rcccccc} \Delta q_I & + \frac{\mu_{25} q_{25}}{\sum (\mu q)_I} \Delta q_{II} & + \frac{\mu_{45} q_{45}}{\sum (\mu q)_I} \Delta q_{III} & + 0 & = & \frac{-\Delta h_I}{2\sum (\mu q)_I} \\ \frac{\mu_{25} q_{25}}{\sum (\mu q)_II} \Delta q_I & + \Delta q_{II} & + 0 & + \frac{\mu_{56} q_{56}}{\sum (\mu q)_II} \Delta q_{IV} & = & \frac{-\Delta h_{II}}{2\sum (\mu q)_II} \\ \frac{\mu_{45} q_{45}}{\sum (\mu q)_III} \Delta q_I & + 0 & + \Delta q_{III} & + \frac{\mu_{58} q_{58}}{\sum (\mu q)_III} \Delta q_{IV} & = & \frac{-\Delta h_{III}}{2\sum (\mu q)_III} \\ 0 & + \frac{\mu_{56} q_{56}}{\sum (\mu q)_IV} \Delta q_{II} & + \frac{\mu_{58} q_{58}}{\sum (\mu q)_IV} \Delta q_{III} & + \Delta q_{IV} & = & \frac{-\Delta h_{IV}}{2\sum (\mu q)_IV} \end{array} \quad (2.17)$$

Efectuînd substituția respectivă se obține sistemul (2.18) de ecuații lineare pentru rețeaua din fig. 1.1 în raport cu debitele de corecție Δq° , adică acelea care conțin influența inelelor vecine.

$$\begin{array}{rcccccc} \Delta q_I^{\circ} & + K_{I-II} \Delta q_{II}^{\circ} & + K_{I-III} \Delta q_{III}^{\circ} & + 0 & = & \Delta q_I \\ K_{II-I} \Delta q_I^{\circ} & + \Delta q_{II}^{\circ} & + 0 & + K_{II-IV} \Delta q_{IV}^{\circ} & = & \Delta q_{II} \\ K_{III-I} \Delta q_I^{\circ} & + 0 & + \Delta q_{III}^{\circ} & + K_{III-IV} \Delta q_{IV}^{\circ} & = & \Delta q_{III} \\ 0 & + K_{IV-II} \Delta q_{II}^{\circ} & + K_{IV-III} \Delta q_{III}^{\circ} & + \Delta q_{IV}^{\circ} & = & \Delta q_{IV} \end{array} \quad (2.18)$$

$q_{I,II,III,IV}$ sînt cunoscute de la prima distribuție a debitelor (Loșacev) iar pentru $\Delta q_{I,II,III,IV}^{\circ}$, se rezolvă sistemul de ecuații.

Această metodă se bazează pe premise juste dar, deși este mai rapid convergentă, operațiile de calcul sînt eterogene față de simplitatea și uniformitatea procedeelelor folosite acum.

În virtutea criteriului de convergență Witmeyer, în fiecare ecuație coeficientul a_{jj} al necunoscutei de pe diagonala principală Δq_j este mai mare sau cel puțin egal cu suma coeficienților a_{jk} ai celorlalte necunoscute din ecuație, în valoare absolută.

$$|a_{jj}| = 2\sum \mu q \quad (\sum \text{ se extinde la tot conturul inelului } j)$$

$$\sum |a_{jk}| = 2\sum \mu q \quad (\sum \text{ se extinde la toate conductele comune ale lui } j \text{ cu alte inele vecine } k).$$

Pentru inelele interioare $|a_{jj}| = \sum |a_{jk}|$ iar pentru cele de periferie relația este $|a_{jj}| > \sum |a_{jk}|$.

În sistemul de ecuații (2.19) sînt date valorile cerute de acest criteriu de convergență pentru rețeaua din figura 1.1

425	125	235	0
125	876	0	311
235	0	761	136
0	311	136	1277

Obs. Datele sînt (2.19)
din tabelul 2.2. coloană B

Metoda lui Cross din 1934, metodă de echilibrare a presiunii într-o rețea pe un număr de puncte obligate, a fost dezvoltată pentru sistemele în care relația elementară a fost exprimată de formula empirică a lui Hazen-William [5]

$$\Delta H = R * Q^e \quad (2.20)$$

în care : ΔH = căderea de presiune; Q = debit; R = rezistența hidraulică.

În concluzie, metoda poate fi utilizată numai pentru acele sisteme de distribuție a apei, care constau din conducte ce pot fi exprimate prin formula Hazen și cu un e constant pentru toate conductele. Evident, sistemul trebuie să fie în echilibru.

În 1960 Pherson a prezentat metoda „de egalizare a acumulării” („equalizing storage”), o formulă empirică bazată pe ipoteze ca : „sarcină proporțională folosită în analiză”. Această formulare nu poate fi aplicată cînd se folosesc valori diferite ale lui e = exponentul debitului pentru diferite variante de rețea.

Valabilitatea acestei formule a fost comentată de Adams [60]

Pînă în 1963, la baza unor programe de verificare a rețelelor s-a folosit metoda iterației Newton-Raphson, aceasta fiind rapid convergentă cînd ipotezele inițiale sînt aproape de soluția reală [61].

Metoda prezintă însă dezavantaje cînd este folosită pentru a rezolva sisteme de ecuații algebrice nelineare.

S-a realizat însă o metodă modificată Newton-Raphson care datorită unei noi tehnici reduce timpul necesar unei iterații [62].

Se consideră drept o realizare faptul că s-a reușit ca prin calculator să se genereze un sistem de ecuații nelineare ale nodurilor, adică un program de calculator care să genereze un sistem de ecuații automat. (Pe măsură ce dimensiunea sistemului crește, e tot mai greu să se scrie seria completă de ecuații fără erori. Ulterior, pe măsură ce sistemul se modifică, sistemul de ecuații variază) [62].

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

2.1.4. Coordonarea diametrelor inelare prin metoda c ei debitelor

Distribuția inițială a debitelor permite să se aleagă diametrii conductelor, respectiv să se obțină rezistențele hidraulice ale conductelor.

Pentru utilizarea căii de egalizare a debitelor, trebuie să se cunoască pierderile inițiale de sarcină în conducte sau în noduri. Aceasta este ușor în sisteme gravitaționale sau cu stațiunea de pompare existentă. În aceste cazuri este posibilă stabilirea orientativă a mărcilor piezometrice în nodurile rețelei, pentru determinarea pierderilor de sarcină în rețea. Rămân neschimbate pentru întreg proces de coordonare, numai mărimile date ale presiunii inițiale și finale adică, presiunea totală existentă în rețea.

Schema considerată la începutul calculului pentru distribuția presiunilor nodale, determină valorile inițiale ale pierderilor de presiune în conducte corespunzătoare valorii debitelor. Inșă, dacă rezistențele hidraulice nu sînt cunoscute în prealabil atunci și prin această metodă a coordonării trebuie să se cunoască distribuția inițială a debitului, chiar și aproximativ, pentru a stabili diametrii și rezistențele conductelor. De aici apare posibilitatea introducerii în calcul a egalizării debitelor pentru rețele unde mărimea presiunii avute la dispoziție nu este dată [5],[21]. Se stabilește distribuția inițială a curenților în rețea, se determină valoarea inițială a debitelor în conducte, păstrînd condiția $\sum q_{ik} + Q_I = 0$ și din mărimea q_{ik} se alege diametrul conductei și se calculează mărimile necoordonărilor $\sum h_{ik}$, în toate inelele, după care se efectuează redistribuția pierderilor de presiune în conducte astfel încît în toate inelele să fie

$\sum h_{ik} = 0$. Apoi se determină

$$q_{ik} = \frac{1}{\sqrt{M_{ik}}} \sqrt{h_{ik}} \text{ respectiv } \Delta q_I = Q_I + \sum q_{ik} \quad (2.21; 2.22)$$

Deci ecuația bilanțului debitului în noduri nu va mai fi satisfăcută. Coordonarea ulterioară a rețelei constă în determinarea succesivă a mărimilor h_{ik} în porțiunile rețelei, în conformitate cu noile valori ale presiunilor nodale A , pînă cînd valorile corespunzătoare ale debitelor au valorile asigurate ecuației nodale $\sum q_{ik} + Q = 0$. Introducînd corecțiile în presiunile nodale, se continuă satisfacerea automată a egalității $\sum h_{ik} = 0$ în toate inelele, adică păstrarea continuității de presiune în rețea în tot timpul întregului proces de coordonare.

nare.

Ca rezultat al coordonării rețelei, debitele în rețea pot fi diferite de cele inițiale. Coordonarea dă relația dintre debite în diferite sectoare ale rețelei și nu valorile lor absolute.

De exemplu, Iaresco [5] propune analizarea necoordonării respective din inel ca o presiune neechilibrată $\sum h_{ik} = -\Delta H$. Pentru înlăturarea acestei necoordonări, se propune introducerea în fiecare porțiune a inelului a unei corecții de presiune de forma :

$$\Delta h_{ik} = -\frac{M_{ik} Q_{ik}}{\sum (M_{ik} Q_{ik})_I} \cdot \Delta H_I = -K_{ik} \Delta H_I \quad (2.22a)$$

Evident că $\sum K_{ik}$ pentru fiecare inel = 1.

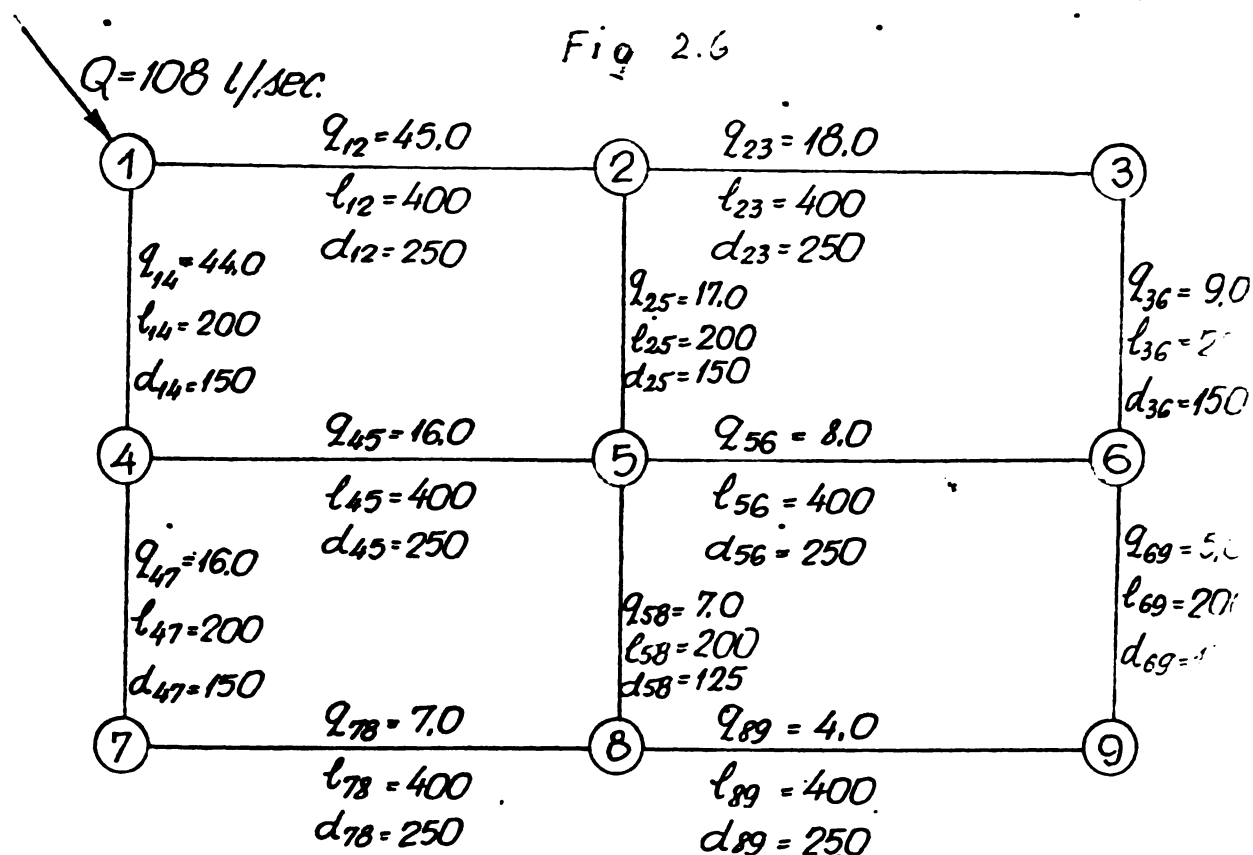
Se menționează că : $h_{ik} = H_i - H_k$.

Astfel autorul a elaborat o metodă de coordonare a rețelei în următoarele 2 variante :

1. - Cu determinarea aproximativă a coeficienților K_{ik} și a ține seama de influența reciprocă a inelelor. În acest caz soluția se obține după unele aproximații succesive.

2. - Cu determinarea exactă a lui K_{ik} ținând seama de influența reciprocă a inelelor. În acest caz, ca rezultat al unui ciclu se obține o soluție destul de exactă.

Exemplificările numerice de până acum se referă la figura 2.6, care reprezintă valorificarea datelor generale pentru figura 1.1.



Obs. : debitele sînt în l/sec ., d în mm și L în m.

În scopul reconsiderării persuasiv favorabile a căii de egalizare a debitelor, precum și a urmării procesului de con-

Tabelul 2.2

Nr. Trans. inel	ℓ (m)	D (mm)	α (°/m ⁶)	M=α/ℓ (°/m ⁵)	Q ₀ (ℓ/s)	MQ (δ ² /m ²)	h=MQ ² (m)	ΔQ _j	ΔQ _k	Q' (12)	MQ' (13)	h' (14)	ΔQ _j ' (15)	ΔQ _k ' (16)	Q'' (20)	ΔQ'' inel (21)	ΔQ'' inel/vecin (22)	ΔQ'' (23)	MQ''' ² (19)	MQ'' (18)	MQ''' ² (19)	Q''' (24)		
I	1-2	400	2,41	964	45	43,38	1,952	0,73	-	45,73	44,08	2,016	-1,26	-	44,47	0,04447	0,000040	0,04487	1,906	42,860	0,04447	0,000040	0,04487	1,9405
	2-5	200	36,72	7334	17	124,85	2,122	0,73	0,98	18,71	137,41	2,571	-1,26	0,10	17,55	0,01755	0,000040	0,01832	2,261	128,832	0,01755	0,000040	0,01832	2,46024
	5-4	400	36,72	4688	-16	235,01	-3,760	0,73	0,61	-14,66	215,33	-3,156	-1,26	0,28	-15,64	0,01564	0,000040	-0,01521	-3,593	229,731	0,01564	0,000040	-0,01521	-3,39293
	4-1	200	2,41	422	-44	21,21	-0,933	0,73	-	-43,27	20,86	-0,902	-1,26	-	-43,53	0,04353	0,000040	-0,04313	-0,913	20,974	0,04353	0,000040	-0,04313	-0,897
						424,45	-0,619				417,68	0,529				422,397			-0,339		422,397			0,110812
II	2-3	400	36,72	14688	18	264,38	4,756	-0,98	-	17,02	249,99	4,255	-0,1	-	16,92	0,01692	0,000037	0,01633	4,205	248,522	0,01692	0,000037	0,01633	3,907
	3-6	200	97,45	19450	9	175,05	1,575	-0,98	-	8,02	155,99	1,251	-0,1	-	7,92	0,00792	0,000037	0,00756	1,220	154,040	0,00792	0,000037	0,00756	1,1086
	6-5	200	97,45	38900	-8	311,20	-2,489	-0,98	0,43	-8,55	332,59	-2,844	-0,1	0,58	-8,07	0,00807	0,000037	-0,00824	-2,533	313,878	0,00807	0,000037	-0,00824	-2,9175
	5-2	400	36,72	7344	-17	124,85	-2,122	-0,98	-0,73	-18,71	137,41	-2,571	-0,1	1,26	-17,55	0,01755	0,000037	-0,01820	-2,261	128,832	0,01755	0,000037	-0,01820	-2,4602
						875,48	1,720				875,98	0,091				845,272			0,631		845,272			-0,36209
III	4-5	400	36,72	14688	16	235,01	3,760	-0,61	-0,73	14,66	215,33	3,156	-0,28	1,26	15,64	0,01564	0,00003	0,01521	3,593	229,731	0,01564	0,00003	0,01521	3,392
	5-8	200	97,45	19450	7	136,15	0,953	-0,61	0,43	6,82	132,650	0,905	-0,28	0,58	7,12	0,00712	0,00003	0,00685	0,986	138,483	0,00712	0,00003	0,00685	0,8947
	8-7	400	97,45	38900	-7	272,30	-1,906	-0,61	-	-7,61	296,029	-2,253	-0,28	-	-7,89	0,00789	0,00003	-0,007920	-2,420	306,717	0,00789	0,00003	-0,007920	-2,41
	7-4	200	36,72	7344	-16	117,50	-1,880	-0,61	-	-16,61	121,984	-2,026	-0,28	-	-16,89	0,01689	0,00003	-0,016920	-2,095	124,038	0,01689	0,00003	-0,016920	-2,100
						760,96	0,297				765,990	0,218				898,969			0,064		898,969			-0,22368
IV	5-6	400	97,45	38900	8	311,20	2,489	-0,43	0,98	8,55	332,59	2,844	-0,58	0,1	8,07	0,00807	0,00024	0,00866	2,533	313,878	0,00807	0,00024	0,00866	2,9175
	6-9	200	319,20	63840	5	319,20	1,596	-0,43	-	4,57	291,74	1,333	-0,58	-	3,99	0,00399	0,00024	0,00423	1,016	254,637	0,00399	0,00024	0,00423	1,08528
	9-8	400	319,20	127680	-4	510,72	-2,043	-0,43	-	-4,43	565,62	-2,505	-0,58	-	-5,01	0,00501	0,00024	0,004770	-3,200	638,722	0,00501	0,00024	0,004770	-2,8
	8-5	200	97,45	19450	-7	136,15	-0,953	-0,43	0,61	-6,82	132,650	-0,905	-0,58	0,28	-7,12	0,00712	0,00024	0,00685	-0,986	138,483	0,00712	0,00024	0,00685	-0,914
						1277,27	1,089				1322,59	0,767				1375,720			0,637		1375,720			0,308

vergență, s-a efectuat echilibrarea rețelei din fig.2.6 în baza următoarelor principii și metode :

În tabelul 2.2 sînt prezentate datele inițiale ale rețelei și efectuată echilibrarea prin metoda standardizată Lobacev în baza egalizării presiunilor. Se observă că au fost necesare patru trepte de calcul.

Tabelul 2.3

Corectie Cross					
1'	2'	Q_j	ΔQ_K	$Q \cdot$	$h = MQ^2$
1''	2''	10''	11''	12''	13''
I	1-2	-0,2	.	44,8	1,93 ✓
	2-5	-0,2	+1,20	18,0	2,38
	5-4	-0,2	+0,80	-15,40	-3,50
	4-1	-0,2		-44,20	-0,94
II	2-3	-1,25		16,80	4,15
	3-6	-1,25		7,80	1,18
	6-5	-1,25	+0,80	-8,40	-2,74
	4-1	-1,25	+0,20	-18,00	-2,38
III	4-5	-0,8	+0,2	15,4	3,50
	5-8	-0,80	+0,8	7,0	0,95
	8-7	-0,80		-7,8	-2,36
	7-4	-0,80		-16,8	-2,08
IV	5-6	-0,8	+1,25	8,4	2,74
	6-9	-0,8		+4,2	1,12
	9-8	-0,8		-4,8	-2,93
	8-5	-0,8	+0,80	-7,0	-0,95

În tabelul 2.3 ,care de fapt este o continuare a tabelului 2.2 , de la coloana 10 este efectuat calculul prin îmbunătățirea adusă metodei Lobacev de inginerii Agent și Schubert.

Avantajele acestei îmbunătățiri sînt prezentate în [6] .

În tabelul 2.4 ,considerat ca o continuare a tabelului 2.2, de la coloana 10 pînă unde sînt cuprinse datele de bază, s-a efectuat echilibrarea rețelei în baza principiului egalizării debitelor.

Calcululele demonstrează că prin două trepte de calcul valorile obținute s-au încadrat în norme.

Cantitativ calea egalizării debitelor poate fi comparată cu îmbunătățirile aduse de ing. Agent și Schubert.

În figura 2.7 sînt trecute debitele definitive, corecte obținute prin calea egalizării debitelor.

Se observă că sînt în echilibru perfect.

∴

Tabelul 2.4.

		$k = \frac{MQ}{(\sum MQ)}$	$\Delta h_i = \frac{\Delta h_i}{\sum h}$	Δh_j	h'	$\frac{MQ}{\sum MQ}$	K'	$\Delta h'_i$	$\Delta h'_j$	h''	Q mc/sec
1'	2'	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
I	1-2	0,102	+0,163		2,015	44,07	0,106	-0,056		1,959	0,0450
	2-5	0,294	+0,182	+0,246	2,550	136,85	0,329	-0,175	+0,013	2,388	-0,0180
	5-4	0,554	+0,319	+0,286	-3,131	214,45	0,515	-0,273	-0,064	-3,468	-0,0154
	4-1	0,049	+0,039		-0,903	20,86	0,050	-0,026		-0,929	-0,0439
	+0,531 416,23										-0,051
II	2-3	0,302	-0,519		4,237	249,46	0,286	-0,023		4,214	0,0169
	3-6	0,201	-0,346		1,229	154,61	0,177	-0,015		1,214	0,0079
	6-5	0,335	-0,611	+0,266	-2,834	332,03	0,380	-0,031	0,196	-2,669	-0,0083
	5-2	0,143	+0,246	-0,182	-2,550	136,85	0,157	-0,013	+0,175	-2,388	-0,0180
	+0,032 872,95										0,371
III	4-5	0,309	-0,286	-0,343	3,131	214,45	0,281	0,064	+0,273	3,468	0,0154
	5-8	0,179	-0,166	+0,116	0,903	132,53	0,173	0,039	0,077	1,019	-0,0072
	8-7	0,358	-0,332		-2,238	295,06	0,386	0,088		-2,150	-0,0074
	7-4	0,154	-0,143		-2,023	121,89	0,160	0,036		-1,987	-0,0165
	-2,227 763,93										0,350
IV	5-6	0,244	-0,266	+0,611	2,834	332,03	0,252	-0,196	0,031	2,669	0,0083
	6-9	0,250	-0,272		1,324	290,73	0,221	-0,171		1,153	0,0042
	9-8	0,400	-0,436		-2,479	562,60	0,427	-0,331		-2,810	-0,0047
	8-5	0,107	-0,116	+0,166	-0,903	132,53	0,100	-0,077	-0,039	-1,019	-0,0072
	0,776 1317,89										-0,008

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMISOARA
BIBLIOTECA CENTRALA

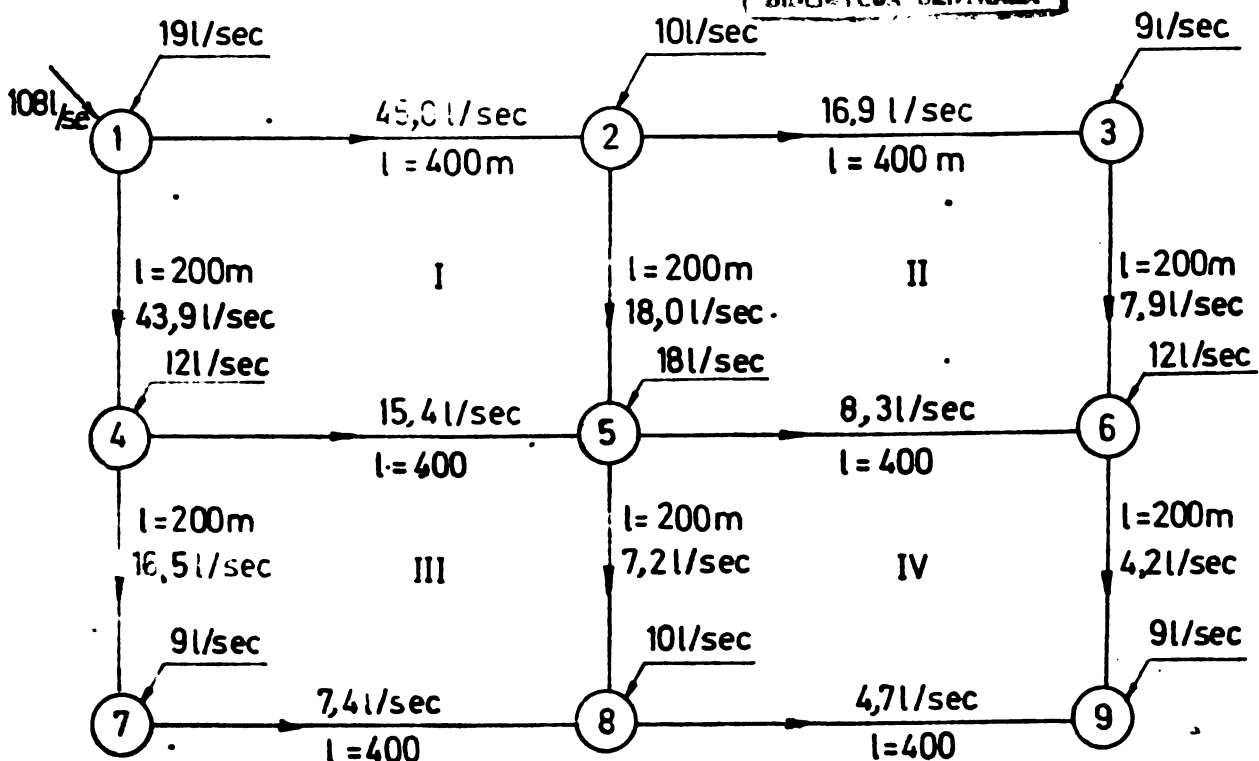


Fig. 2.7

2.1.5. Sublinieri

Privită în ansamblu, problema convergenței apare ca un aspect important al calculului rețelelor inelare. Din studiul de mai sus reiese că este necesară cunoașterea bazei teoretice, matematice, care aplicată judicios, dă indicații importante asupra justetei premizelor de proiectare.

Exemplele numerice clarifică și vin în sprijinul convingerii autorului de a se ține seama în mod curent (standardizat), în calculele de proiectare -verificare, de anumite criterii de convergență, de utilizarea principiului egalizării debitelor.

2.2. Observatii asupra cantității și calității datelor de proiectare prin calculator

În prezent, atât în țară cât și în străinătate, s-au elaborat și sînt în curs de perfecționare și se folosesc, programe pentru rezolvarea calculelor inițiale pentru sistemele de alimentare cu apă, coordonarea rețelei de distribuție, considerarea consumului variabil, calculul tehnico-economic, determinarea regimului optim de funcționare a stațiilor de pompare etc.

2.2.1. Considerații asupra cîtorva programe cu mai multă răspîndire în tehnică la noi în țară și în străinătate

În baza condițiilor hidraulice și economice ale rețelelor de distribuție inelare, s-au întocmit programe care conduc la rezolvarea tot mai completă a problemelor tehnice solicitate.

În general, în datele inițiale care trebuie să fie transmise mașinii pentru efectuarea calculelor, sînt cuprinse: de ex. VNII VODGEO în URSS (sub conducerea prof. L.F. Moșnin):

- Informații asupra geometriei sistemelor, adică forma rețelei, poziția reciprocă a conductelor (tronsoanelor), surselor, nodurilor etc. [VNII VODGEO]. De observat că transmiterea informațiilor asupra proprietăților geometrice ale sistemului necesită o transformare specială a rețelei și un sistem specific de numerotare a nodurilor și tronsoanelor. Transformarea fundamentală în acest caz este aceea a rețelei inelare într-una ramificată. Aceasta permite realizarea unui sistem special de numerotare și obținerea unor debite calculate automat, în tronsoanele rețelei conform primei legi a lui Kirchoff și calculului presiunilor în nodurile rețelei. Această transformare a rețelei ușu-

rează alegerea sistemului de contururi teoretice. Numerotarea nodurilor se face pe baza unui punct nodal inițial. În nodurile unde se adună mai multe ramuri, nu mai are loc seria naturală numerică din lista nodurilor ceea ce ne dă o noțiune asupra formei rețelei:

- Caracteristicile numerice ale elementelor sistemului, rezistențele specifice, lungimile tronsoanelor, caracteristicile pompelor, caracteristicile geodezice și piezometrice, consumuri, debite, date economice.

VEB Combinatul de construcții subterane (Halle) [52] stabilește în programul de intrare: - date generale, valori de pornire a stabilirii necesarului de apă, lista nodurilor, lista conductelor (tronsoane), rezervor suprateran, lista pompelor centrifuge. La fiecare listă de intrare se dau tipare de control și în cazul dat, semnalizări de erori. Prin mecanismul de imprimare, paralel cu programul de pot efectua în caz de necesitate și corecții respectiv completări de date.

Relațiile topologice sînt analizate complet în programul denumit „analiza rețelei” în baza teoriei graf, respectiv topologia complexelor de tronsoane de conducte. Fiecare tronson are trei date: numărul conductei și numerele celor două noduri de capăt (aceste date stau la dispoziție pe discul magnetic de informații).

Acest program permite analiza structurii unor rețele plane și spațiale oarecari. Este general aplicabil și independent de mediul de aprovizionare. Rezervoarele supraterane și pompele centrifuge intră în calculul hidraulic ca și conducte fictive și se includ în configurația rețelei. Valorile esențiale de emisie ale programului sînt: noduri de capăt ale conductelor; schema rețelei; noduri vecine cu ramuri laterale și tronsoanele ce duc la ele; bucle ale rețelei; numărul tronsoanelor ce pleacă de la fiecare nod; caracterul tronsoanelor (cu sau fără direcție de curgere univocă).

Aceste rezultate de calcul se emit ca tipare de control prin mecanismul de imprimare rapidă și se depozitează în discul magnetic de informații construit de programul „intrare” pentru folosirea în continuare în programele „stabilirea necesarului de apă și calculul hidraulic”. Un exemplu de schemă logică de calcul la programul calculului hidraulic este dat în figura 2.8 care aparține sistemului program VEB Halle.

În timpul calculului (la acest sistem program) are loc emisia unor imprimare de control cu ajutorul cărora se poate reconstrui desfășurarea calculului automat.

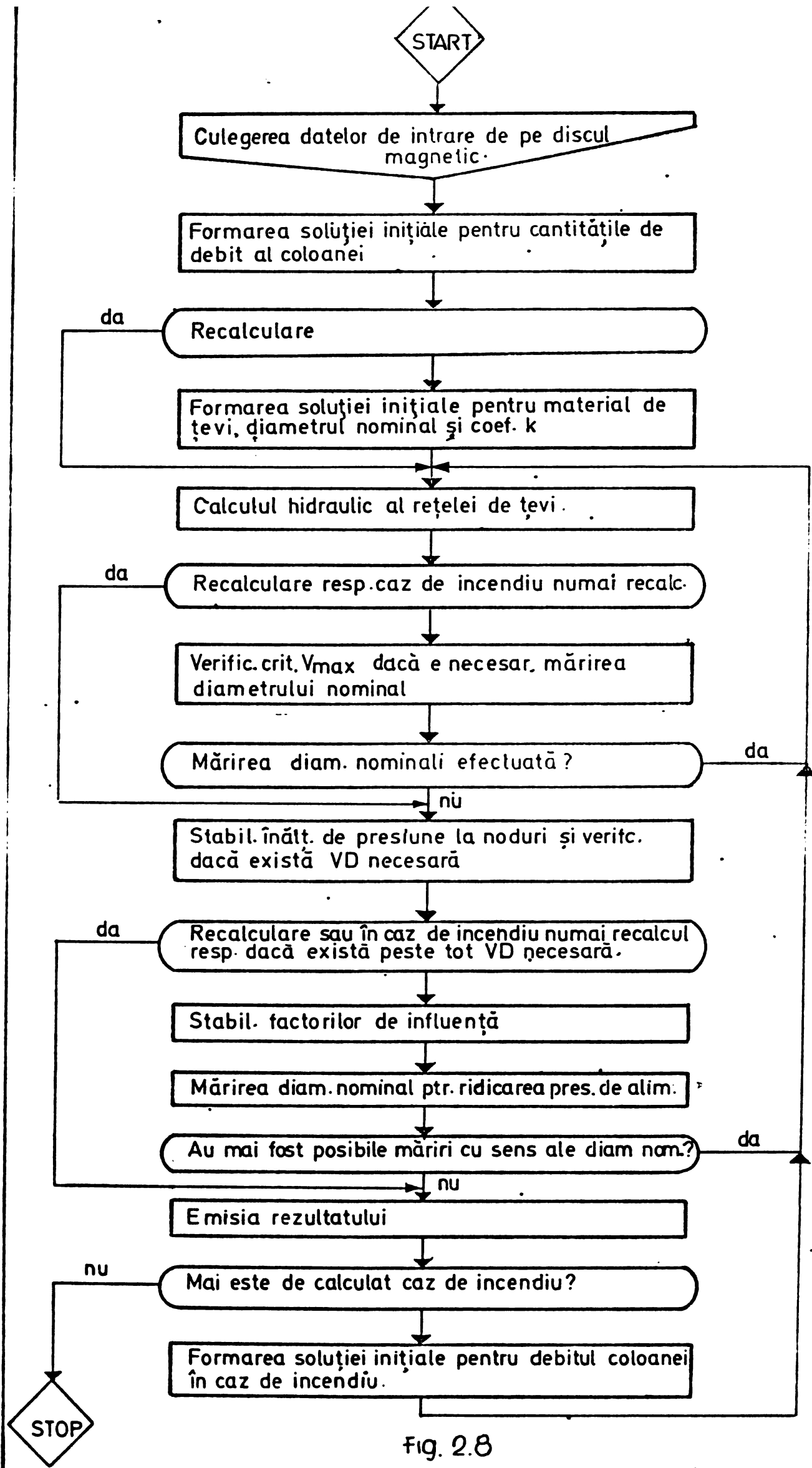


Fig. 2.8

Ele cuprind următoarele enunțuri: soluții inițiale stabilite desfășurarea iterației, rezultatele cele mai importante ale fiecărui calcul de rețea efectuat în cadrul dimensionării, mărimea și ordinea factorilor de influență, măriri de diametri nominali efectuați.

La noi în țară se impun în principal programele la calculatoarele CIFA, IBM, FELIX, MECIPT.

La aceste programe se prelucrează inițial datele:

- trasa stradală; aici se dau indicații asupra stabilirii traseului optim și interconectării conductelor în rețea;
- datele de bază asupra consumului în momentul caracteristicii luat în considerare pentru stabilirea datelor pe sectoare, a consumurilor concentrate și a debitelor;
- bloc de date tehnico-economice referitor la diametrele standard, debitele limită din condiții economice, caracteristicile hidrodinamice și costuri unitare.

Imediat după datele inițiale urmează controlul continuității debitului în noduri, predimensionarea, echilibrarea rețelei, verificarea pierderilor de sarcină pe conturul exterior, calculul cotei piezometrice în noduri și a prețului variantei. Față de aceste programe, atât în țară cât și în străinătate se observă mici variante dar fără îmbunătățiri esențiale, cel puțin în etapa actuală de folosire a calculatorului în domeniul proiectării rețelelor de distribuție a apei.

În principiu o schemă bloc are următoarea formă:

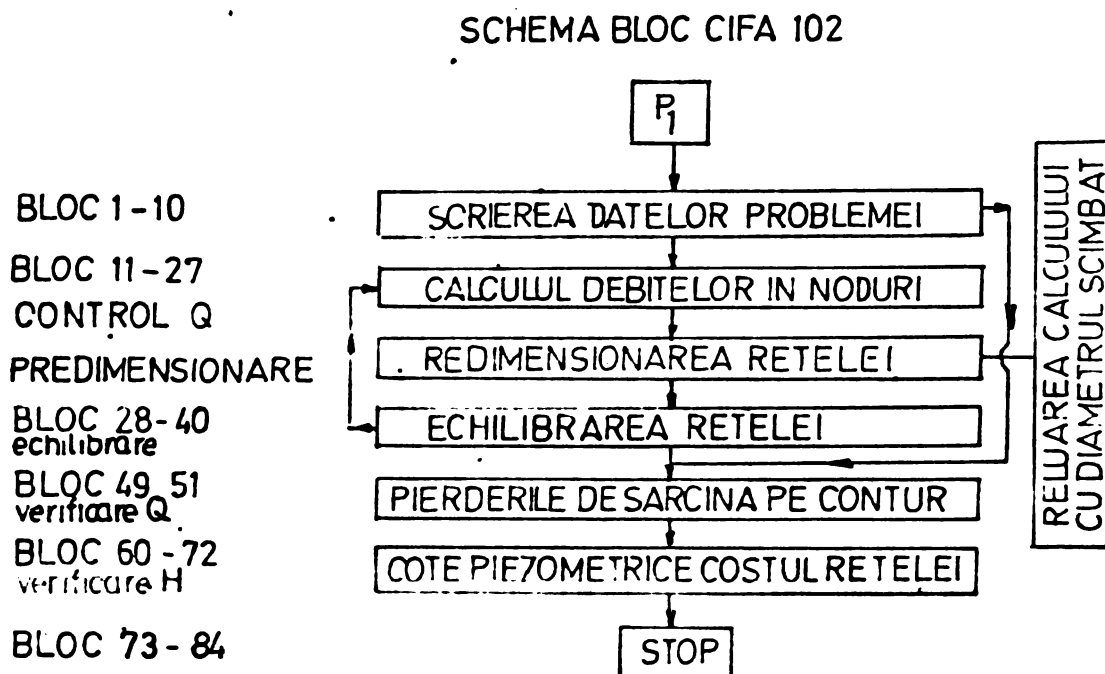


FIG. 2.9.

Astfel, din problemele de proiectare ridicate de realizarea unei rețele de distribuție, calculatorul electronic rezolvă la oră actuală următoarele probleme:

- predimensionează automat rețeaua. Pentru aceasta s-a luat în calcul viteza economică pe diferite conducte și pe diferite ipoteze, debite maxime, minime și optime care pot fi transportate;
- calculează debitele extrase sau introduse în noduri;
- verifică dacă nu s-au schimbat debitele extrase în noduri;
- verifică dacă pe un contur exterior suma căderilor de presiune este zero sau în limite admise de precizia calculului;
- programul asigură calculul prețului variantei respective.

La programele CIFA și MECIPT este de semnalat modul de introducere în program a condițiilor de verificare pe parcurs. Aceste programe, ca și altele folosite în etapa actuală pentru optimizarea rețelelor de apă înclare, pot prelua în medie 50-75% din volumul de calcul necesar în proiectare.

De remarcat la unele programe că operației de dimensionare la consum maxim orar îi poate urma calculul cazului de incendiu pentru unul sau mai multe noduri date în funcție de punerea problemei. La aceasta, prin programul de intrare pentru fiecare nod este controlabil dacă în caz de incendiu, se pune la dispoziție întreaga sau jumătate din cantitatea de captare a nodului. În afară de formarea soluției inițiale pentru cantitățile de debit pe tronsoane, calculul cazului de incendiu se desfășoară după aceleași faze de program ca mai sus. Ca imprimare a rezultatului apar aceleași liste cu indicația, pentru care noduri a fost calculat cazul de incendiu.

La marea majoritate a programelor s-a urmărit și realizat posibilitatea combinațiilor de recalculări și dimensionări.

De asemenea, un alt obiectiv este conceperea unui sistem de program care să folosească efectiv întreaga memorie a calculatorului și concomitent de a oferi celor ce aplică sistemul de program să rămână în contact cu automatul prin întreruperi de program și emisii de control (Centrul de calcul Leipzig DOS, ZOD construcții Berlin) etc.

Există tendința ca sistemele de program efectuate să atingă o aplicabilitate universală. Astfel, aceleași programe satisfac dimensionarea unor rețele complet noi dar și la analiza stării reale a unei rețele existente sau la extinderea ei. Posibilitatea luării în considerare a oricât de multe pompe centrifuge (sub respectarea limitelor programului), permite de a dimensiona

sau recalcula și instalații de captare cu apă cu fântini individuale [32].

O noutate în alcătuirea programelor de dimensionare hidraulică o reprezintă schimbarea progresivă a dimensiunii conductelor pînă la atingerea presiunilor de aprovizionare necesară. Prin aceasta se elimină pericolul de supradimensionare a anumitor elemente de rețea, ce există la principiul de dimensionare de pînă acum (numai după criteriul vitezei maxime de scurgere).

Ca rezultate certe ale calculatorului pentru calculul unei rețele complet noi, se poate conta pe:

- emiterea debitelor echivalente, presiunile în noduri, diametrul barelor, prețul variantei.

Avantajul principal al programului CIFA 102 etapa I este:

- ține seama de sensul de curgere a lichidului. Astfel, dacă în datele de bază s-a introdus debitul inițial cu un sens adoptat iar în timpul calculului debitul își schimbă sensul de curgere, în rezultate va apare debitul cu sens schimbat dar corect.

- Se operează succesiv pe un inel pînă cînd debitele pe acel inel nu sînt numai aproximative ci sînt exacte.

Astfel se îmbunătățește precizia foarte repede scurtîndu-se timpul de calcul.

Pentru un sistem mare este probabil avantajos să se despartă în subsisteme mai mici. Tehnica de despărțire și de rupere poate fi folosită în studiul unui sistem foarte mare.

O fază superioară în alcătuirea și aplicarea sistemelor de program pentru calculul rețelelor de alimentare cu apă o constituie preocuparea pentru stabilirea materialului și prețului pentru conductele de țevi, piese fasonate și armăturile aparținătoare rețelei de alimentare cu apă. S-a trecut la dimensionarea economică a rețelelor prin analiza mai multor variante ale rețelei respective și alegerea celei mai ieftine sau prin analiza matematică a funcției de preț a unei rețele, analiză care folosind tehnica calculatorului prin programul efectuat, ține seama de posibilitățile de calcul și analiză logică a calculatoarelor electronice. Astfel este programul pentru calculatorul CIFA 102 care suportă o rețea pînă la 512 bare.

O contribuție de seamă, care se impune să fie luată în considerare este tratarea analitică a problemei economice a rețelelor inelare și cuprinderea relațiilor de dimensionare economică, de tipul celor stabilite de prof. Moșnin în calculul sistemului. Echilibrarea debitelor fictive în rețea ar confirma repartiția cea mai rațională a debitelor teoretice de dimensionare economică.

prin care o repartiție inițială, devine caracteristica unui sistem economic astfel dimensionat.

2.2.2. Posibilități de îmbunătățire a programelor

2.2.2.1. Perfecționarea modelului matematic

Se consideră că sub două aspecte trebuie să se completeze și să se corecteze relațiile de bază utilizate în calculul automatizat al rețelelor.

În primul rând este indicat să se țină seama mai apropiat de condițiile reale ale mișcării apei, condiționate de rugozitatea conductelor și de viteza medie. La conductele netede în regim turbulent, domeniu mult utilizat în tehnica rețelelor, să se aplice relația de calcul a coeficientului pierderilor de sarcină liniare după relația lui Konakov :

$$\lambda = \frac{1}{(0,8 \log Re - 1,5)^2} \quad (2.23)$$

iar pentru domeniul de tranziție turbulent neted-turbulent rugos, de asemenea de foarte mare frecvență în condițiile reale de funcționare a conductelor industriale, să se aplice în același sens relația lui Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\mathcal{K}}{3,52D} \right] \quad (2.24)$$

Această ultimă relație de calcul poate fi utilizată și pentru acoperirea întregului domeniu al conductelor industriale asigurând o racordare acceptabilă și la particularitățile conductelor netede și la regimul turbulenței depline.

Si alte aspecte ale problemelor de regim hidraulic este indicat să își găsească o mai amplă prelucrare în cadrul programului. Ar trebui prinse în calcul efectele regimului nepermanent creat în conducte la opțurări ale curentului, de felul suprapresiunilor evaluate prin relații de forma :

$$\Delta H = \frac{a \cdot v_0}{n \cdot g} \quad (2.25)$$

în care funcțiunea n cuprinde multiplul de semiperioadă care intră în timpul tehnic de închidere sau de manevră a vanelor, sau cel puțin să se evalueze în calcul presiunile suplimentare care apar la oprirea accidentală sau uzinală a pompelor, fenomen care intervine întotdeauna în exploatare.

Considerarea efectelor regimului nepermanent permite identificarea zonelor în care apare cavitația :

$$H_{min} < H_0 - \frac{a v_0}{g} \quad (2.26)$$

de pe urma cărora pot de asemenea interveni modificări necesare a diametrelor unor artere. Astfel se evită reluarea calculelor,

în cazurile cînd la actuala procedură se găsesc deficiențe în exploatarea sistemului dimensionat, iar prin considerarea justă a regimului hidraulic, în locul relațiilor folosite la echilibrare în domeniul rezistențelor pătratice:

$$\sum a_{ji} Q_i |Q_i| S_{oi} L_i = 0 \quad (2.27)$$

urmează a se aplica relațiile adecuate de forma :

$$\sum h_i = \sum a_{ji} \lambda_i f(L_i, D_i, Q_i^n) = 0 \quad (2.28)$$

în care se detaliază și parametrii necesari deciziilor cerute de condițiile regimului nepermanent.

Tot pe linia îmbunătățirii modelului matematic, la calculul economic pe baza debitelor limită prestabilite, se poate trece la dimensionarea mai corectă, aplicată curent în calculul manual de dimensionare a rețelelor mici :

$$D_i = F^{\frac{1}{\alpha+m}} Q_i^{\frac{2}{\alpha+m}} (\chi_i Q_p)^{\frac{1}{\alpha+m}} \quad (2.29)$$

care permit, după metoda prof. Moșnin, echilibrarea debitelor fictive prin relații în sistem de forma :

$$\sum \chi_i = 0; \sum \chi_i^{-0,75} \cdot S_{oi} f_i l_i = 0 \quad (2.30)$$

Calcululele devin desigur mai cuprinzătoare și după dimensionare urmează echilibrarea în momentele caracteristice pe baza diametrelor standardizate aplicate de calculator, însă întregul proces de dimensionare se întemeiază pe date reale.

2.2.2.2. Perfecționarea blocurilor de date tehnice

Pentru micșorarea volumului de muncă manuală prestată în prealabil și pentru obținerea unor date mai certe, neeronate, apreciem că este posibil să se introducă pe sectoare coeficienții de neuniformitate zilnică și orară K_{zi} , K_o alături de multiplicatorii consumului specific, populație, agregate etc.

În locul blocului de date tehnico-economice aplicat urmează astfel să fie încredințate mașinii două serii de date în vederea prelucrării : directorii condițiilor tehnice și directorii condițiilor economice.

Principalii parametri ai calculului tehnic sînt:

- coeficienții de rugozitate absolută sau indicatorii pentru calculul rugozității relative pe sectoare,
- directorii pentru calculul numărului R_e și parametrii de stabilire a coeficienților pierderilor de sarcină,
- indicatorii pentru verificarea presiunilor minime și maxime, indicatorii de inerție ai agregatelor, condițiile cavității în raport cu datele certe asupra cotelor terenului.

Principalii parametri ai calculului economic devin:

- indicatori ai costului de investiție în conducte și agregate de pompare sau indicatorul sintetic E;
- indicatorii calculului economic α și m;
- sortimentele de diametre pentru dimensionare.

2.2.2.3. Amplificarea programului de calcul

Față de completarea datelor analitice pentru calculul debitelor pe sectoare, în procesul determinării debitelor concentrate în noduri urmează a se introduce instrucțiunile pentru citirea indicatorilor pe sectoare, formularea și aplicarea directorilor pentru calculul debitelor inițiale.

Predimensionarea devine mai amplă și pe alte baze teoretice și de metodică, anticipând echilibrările. Grupul de instrucțiuni care determină predimensionarea trebuie să cuprindă :

- citește directorii condițiilor tehnico-economice,
- stabilește debitele fictive inițiale,
- echilibrează debitele fictive,
- calculează diametrele economice și asigură în sortiment.

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

Echilibrarea hidraulică urmează pe baza relațiilor, care țin seama de regimul de mișcare a apei în sectoarele rețelei.

Din compararea cotelor piezometrice, stabilite prin program, cu cotele terenului în noduri, la stație și rezervoare, se verifică presiunile minime și maxime, cu decizii asupra necesității eventuale a modificării unor diametre, deci viteze, din cauza prevenirii efectelor regimului nepermanent.

După ce se parcurg momentele caracteristice de calcul curenți sau dezvoltate în regimuri de restricții, devine posibilă coordonarea caracteristicilor rețelei cu acelea ale stației de pompare și ale rezervoarelor, în vederea verificării ciclului de compensare. Se apreciază oportunitatea întocmirii unui sub-program pentru închiderea ciclului de compensare.

În figura 2.10 se concentrează optimizarea rețelelor de apă înelare Schema bloc MECIPT I,II iar în figura 2.11 este arătată propunerea de amplificare a programului.

S u b l i n i e r i

Programele întocmite și aplicate la generațiile noastre de calculatoare sînt valoroase și deosebit de utile.

Pentru mărirea eficienței proiectării cu ajutorul calculatoarelor se perfecționează : modelul matematic pentru calculul hidraulic și economic al arterelor de apă, blocul de date tehnico-economice pentru cuprinderea mai multor operațiuni prin progra-

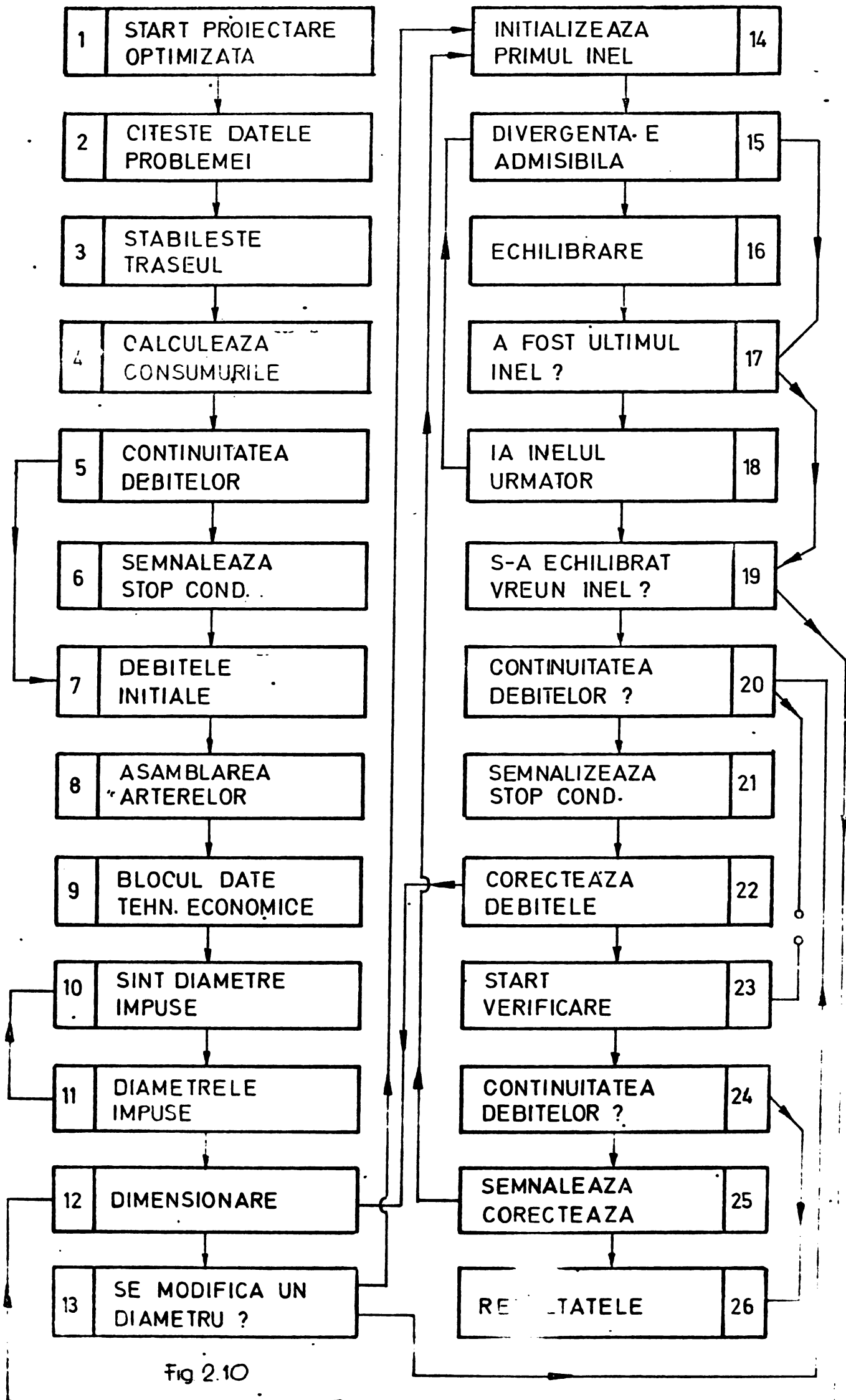


Fig 2.10

OPTIMIZAREA REȚELELOR DE APA INELARE SCHEMA BLOC

AMPLIFICAREA PROGRAMULUI

51

Dec. = $f(X_i, Q_i)$

rugozitatea

$\Sigma h_i = f_{\Sigma}(L_i, D_i, \lambda_i, Q_i)$

3 (T) CITESTE T_i

5 (E) CITESTE E_i

51 STABILESTE DEBITELE FICTIVE

52 ECHILIBREAZA DEBITELE FICTIVE

53 DIAMETRE DIN SORTIMENT

6 ECHILIBREAZA IN REGIM

δa

$H < H_{max} ?$

$H > H_{min} ?$

δb

$H_p = f(H_{nod}, sursă)$

$H_{rez.} = f(H_{racord})$

Fig. 2.11

mare respectiv se poate năzui la amplificarea programului pentru identificarea zonelor defectuoase sub raportul efectelor regimului nepermanent și corectarea parametrilor de calcul și dimensionare în acest sens, optimizarea fiind încheiată prin integrarea întregului sistem de distribuție și verificarea ciclului de compensare.

2.3. Analiza parametrilor determinanți în calculul rețelelor inelare

2.3.1. Prezentarea parametrilor funcționali ai rețelelor de distribuție

Studiul metodologic general de dimensionare - verificare al rețelelor inelare, precede unei analize mai apropiate a parametrilor determinanți în alegerea schemei optime, în concepția și rezolvarea concretă a rețelelor inelare.

Funcționarea unui sistem de alimentare cu apă, respectiv a rețelei de distribuție depinde direct sau indirect de o multitudine de factori. Nu toți acești factori pot participa simultan la proiectarea rețelelor. Studiile efectuate și experiența în exploatare au condus la limitarea și selectarea lor de așa manieră încât să fie practic posibilă dimensionarea rețelei de distribuție în ideea soluției celei mai avantajoase din punct de vedere tehnic și economic.

În rândul condițiilor determinante pentru definitivarea unei rețele, ca sistem complex pentru asigurarea satisfacerii consumului, intervin pe de o parte factorii naturali ai vetrei alimentate, cu obligațiile concrete privind locul consumatorilor, cantitățile de apă și presiunile care trebuie asigurate, iar pe de altă parte trebuie considerați parametrii tehnico-economici funcționali prin care se rezolvă direct problema.

Considerați în ansamblul lor, parametrii determinanți în calculul sistemelor inelare se prezintă după cum urmează:

- Configurația generală, forma generală a vetrei alimentate, cotele terenului și relațiile dintre elementele de sistematizare pe orizontală și verticală, constituie principalele coordonate ale cadrului fizic.

Toate aceste condiții naturale vor trebui să fie analizate, explicate și aplicate efectiv în realizarea rețelei de distribuție. Completată de condițiile tehnice ale distribuției, această secvență se va concretiza în topologia rețelei de distribuție.

- Succesiunea și densitatea consumatorilor, preponderența

zonelor industriale și înzestrarea tehnică a centrului studiat, orientarea curentului principal de alimentare, amplasamentul relativ al sursei și uzinelor de tratare, al stațiilor de pompare și rezervoarelor de compensare din rețea, exprimă încărcarea hidrotehnică a sistemului și conlucrează cu factorii naturali la definitivarea topologiei și la determinarea zonării orizontale a sistemului. Ținând seama de acești parametri, prin studii tehnico-economice comparative urmează a se stabili schema distribuției, fie ca rețea unică, fie ca rețele separate după calitatea apei asigurate consumatorilor. Problema separării rețelelor cât și problemele zonării nu formează în mod deosebit un obiectiv concret în dezvoltarea tezei, însă acest grup de factori determinanți trebuie luat în considerare ca forme particulare ale fiecărui caz în parte, în formularea rețelei care trebuie concret dimensionată.

- Schema rețelei de distribuție considerată ca unitate funcțională, indică nodurile de consum, arterele sistemului și principalele lucrări de artă care îi asigură funcționabilitatea. Nu se poate considera că ar exista procedee universale valabile pentru sistematizarea arterelor dintr-o rețea. Amplasamentul arterelor într-o rețea de distribuție ține seama de condițiile particulare ale fiecărei rețele și trebuie să răspundă favorabil atât la condițiile tehnice în ce privește siguranța distribuției, cât și la cerințele tehnico-economice.

- Considerând justificarea rețelelor inelare ca unități funcționale în distribuția apei trebuie subliniat faptul că ele răspund în primul rând condițiilor de siguranță în exploatare și numai în cadrul unei interpretări mai cuprinzătoare răspunde și condițiilor de economie. Funcționarea oricărui sistem de distribuție este caracterizat în fază inițială de un teritoriu mai restrâns și de consumuri mai mici. În timp, odată cu dezvoltarea consumului și cu extinderea vetrei alimentate, încărcarea sistemului crește considerabil și este imperios necesar ca arterele construite inițial să corespundă și în dezvoltarea de perspectivă, în acest fel soluția rațională în construcția unei rețele noi se prezintă în general ca soluție optimă a unei rețele de bază ramificate care ulterior urmează a se transforma într-o rețea inelară cu o capacitate sporită, corespunzătoare cerințelor în perspectivă.

- Debitele specifice, debitele convenționale în nodurile schemei fundamentale precum și oscilațiile consumului exprimate prin modificări apreciabile ale debitelor de calcul constituie

fără îndoială parametrii determinanți în calculul rețelelor. Creșterile de debit se justifică în primul rând prin creșterea consumului specific datorită înzestrării centrului și în mod curent și prin creșterea numărului de consumatori. În cele ce urmează se va prezenta mai apropiat metodologia de calcul, a consumului de apă în dimensionarea rețelelor inelare.

Cotele liniilor de presiune verificate pe baza punctelor obligate alese în sistem reprezintă un alt grup al parametrilor determinanți de mare însemnătate economică și cu un rol tehnologic hotărâtor. Din punct de vedere tehnic, în acest compartiment studiul trebuie să se concentreze asupra elementelor potențiale care asigură presiunea în sistem: stațiile de pompare și rezervoarele de compensare, necesitând un îngrijit calcul hidraulic pentru verificarea pierderilor de sarcină în sistem. Atât sub aspectul calculului tehnic cât și prin asigurarea condițiilor de economie în calculul acoperirii presiunilor necesare intervin adeseori considerații pline de interes legate de zonarea verticală a vetrei. Problemele zonării verticale de asemenea, nu constituie un obiectiv aparte al tezei, însă calculul hidraulic îngrijit și corect urmează să fie amplu analizat și îmbunătățit în cadrul lucrării.

- Alegerea materialului conductelor, aprofundarea condițiilor de rugozitate și evoluția stării de uzură a conductelor grupează o altă serie de parametrii de maximă importanță în calculul hidraulic și în general în concepția și soluționarea unei rețele de distribuție. Legând necesitatea îmbunătățirii calculului hidraulic în condițiile tehnicii actuale de problema rugozității, trebuie subliniat faptul că odată cu perfecționarea tehnologiei de confecționare a tuburilor de presiune precum și odată cu introducerea pe scară largă a conductelor premo, din azbociment și în mare măsură a conductelor din mase plastice respectiv a conductelor din sticlă în perspectivă, concepția clasică asupra rugozității conductelor de apă nu mai corespunde în actuala perioadă și trebuie deschise posibilitățile actualizării acestor probleme. Considerarea conductelor netede și în deosebi considerarea regimului turbulent tranzitoriu în calculul hidraulic al conductelor primește astfel o semnificație deosebită și urmează să fi reprezentate în dezvoltarea acestei lucrări.

- Justificarea tehnică-economică a soluției rețelelor de distribuție este legată în fine de grupul factorilor tehnico-economici, de asemenea apreciate în rindul parametrilor determinanți în condițiile studiului. Fiind un număr deosebit de mare, para-

etrii calculelor tehnico-economice se grupează treptat într-un număr mai restrâns de factori sintetici cuprinși în relațiile economice fundamentale de dimensionare a rețelelor. Legînd aspectele tehnice cu esența problemelor economice ale rețelelor, după aprofundarea problemelor tehnice fundamentale considerate în elaborarea tezei urmează a se aduce precizări și sistematizări asupra metodologiei de dimensionare a rețelelor inelare.

2.3.2. Analiza principalilor parametri funcționali ai rețelelor de distribuție inelare

Atenția trebuie concentrată în primul rînd asupra debitelor de calcul și asupra presiunilor care trebuie asigurate în sistem. În legătură cu modul de calcul al debitelor destinate consumului se consideră următoarele:

- În general, rețelele de distribuție se sistematizează în ideea unei singure rețele pentru satisfacerea tuturor nevoilor de apă de orice fel. În cazurile în care zonele industriale solicită debite de apă nepotabilă foarte mari, poate rezulta ca soluție economică a alimentării cu apă nepotabilă separată (Iași, Timișoara, București). Configurația rețelei urmărește trama stradală a localității respective și evident arterele principale - este indicat să străbată centrele de greutate a zonelor cu ponderi importante în consum.

În ultimul timp teoria grafurilor aplicată la problemele topologice ale rețelelor, simplifică și clarifică calculele de dimensionare (de ex. teoria grafurilor poate ajuta la alegerea traseelor optime pentru debitele de tranzit).

Pentru alegerea soluției celei mai avantajoase, se concep mai multe scheme de distribuție dintre care numai cîteva (2-3) variante sînt analizate tehnico-economic.

- Rețeaua de distribuție trebuie dimensionată astfel încît să poată transporta întregul necesar de apă a centrelor populate și a industriilor pe o anumită perioadă de timp. Stabilirea necesarului de apă respectiv consumul maxim se face pentru o perioadă de perspectivă de minim 15 - 20 ani.

Normativele în vigoare conțin norme orientative pentru necesarul de apă care să satisfacă diferitele categorii de nevoi de apă și care au fost stabilite pe baza cantităților de apă efectiv utilizate în diferite țări în condiții echivalente.

La noi în țară normele de necesar de apă sînt date de SR

Este util să se menționeze că debitul zilnic mediu al unui centru populat raportat la numărul de locuitori dă necesarul specific. Acesta este un indice care variază foarte mult în funcție de felul și gradul de dotare a clădirilor cu instalații interioare.

În debitul zilnic mediu nu intră debitele de incendiu care reprezintă o situație excepțională rezolvată ca atare și exprimată prin „Normativul republican pentru proiectarea și executarea construcțiilor din punct de vedere al prevenirii incendiilor (NPJ-1970)”.

În majoritatea statelor debitele de incendiu sînt stabilite de la caz la caz de către departamentele însărcinate cu paza contra incendiilor.

La stabilirea consumului de apă se ține seama și de nevoile tehnologice proprii ale sistemului de alimentare cu apă precum și de pierderile de apă. Ambele sînt luate în considerare prin coeficienți de spor cu valori orientative (de ex. $k_s = 1,0$ în cazul surselor subterane fără stație de tratare și $k_{pierderi} = 1,1$ în general) [89] dependenți de modul de alcătuire și diferitele tehnologii ale sistemului de alimentare adoptat.

O problemă deosebită o reprezintă variația necesarului de apă. Cantitatea de apă necesară diferă în cursul unei zile, săptămîni, sezon etc.; dar caracteristice sînt variația debitului orar în decursul unei zile (k_o) și variația debitului zilnic în decursul unui an (k_{zi}). Această variație apare în calcul sub forma unor coeficienți de neuniformitate k_{zi} și k_o . Acești coeficienți sînt practic invers proporționali cu dezvoltatea centrelor populate. La noi în țară k_o are valori cuprinse între 1,0 și 3,0 iar $k_{zi} = 1,1 - 1,5$.

În STAS 1343-72 sînt date valori orientative pentru variația orară a debitelor de apă în centrele populate.

În SUA se iau în considerare următoarele valori pentru coeficienții k_{zi} și k_o :

Tabelul 2.5 - Coeficienți de variație medie a consumului de apă [16]

Coeficienți de variație	Limite	Medie
Maxim zi - mediu zi	de la 1,2 la 2 - 1	1,5 - 1
Maxim orar - mediu orar	de la 2,0 la 3 - 1	2,5 - 1

Pentru determinarea cantităților lunare de apă necesare unui centru populat în cazul în care nu se dispune de înregistrări, se folosește formula:

$$K_{li} = \frac{t_i - t_a}{t_{mor} - t_a} (k_{zi} - 1,00) + 1,00$$

în care:

- K_{li} = coeficient de variație a debitelor medii lunare avînd fiecare din lunile anului considerat;
- t_a = temperatura medie a anului considerat;
- t_{lmax} = temperatura medie lunară maximă a anului considerat;
- t_{li} = temperatura medie lunară pentru fiecare din cele 12 luni ale anului pentru care s-a considerat.

De fapt, la ora actuală se dețin statistici suficiente asupra consumurilor de apă și a variației acestora pentru diversele tipuri de centre de locuit pentru a putea lua în calcule valori reale care la rîndul lor să conducă la soluții judicioase în proiectare. Faptul acesta nu poate însă da asigurări asupra justetei prognozei care se face în legătură cu dezvoltarea centrului populat cunoscut la data proiectului.

În ce privește presiunea de serviciu (pe care trebuie să o asigure orice rețea de distribuție la debitul maxim orar), se menționează că presiunile minime sînt cuprinse între 20 - 25 mca. Se obișnuiește ca la clădirile cu mai mult de 5 etaje, presiune necesară să se realizeze cu instalații proprii.

În ce privește debitele de apă caracteristice pentru dimensionarea sistemelor de alimentare cu apă, cantitatea de apă necesară se stabilește pentru o perioadă de 25 ani la centrele populate și 10-15 ani pentru industrii. O perioadă prea îndepătată nu mai este economică, deoarece odată cu dezvoltarea orașelor, se dezvoltă și tehnica ce poate aduce soluții noi și economice.

Rețeaua de distribuție putînd fi ușor extinsă, se calculează pentru etapa finală dar se execută numai pentru necesarul unei perioade de 5 - 10 ani.

Debitele de apă caracteristice sînt:

- Debitul zilnic mediu calculat cu formula:

$$\text{în care: } Q_{zi\text{m}} = K_p \cdot K_s \sum_1^n \frac{N_i q_i}{1000} \text{ m}^3/\text{zi}$$

K_p = coeficient de spor pentru pierderile de apă;

K_s = coeficient de spor pentru nevoi tehnologice proprii ale sistemului de alimentare cu apă;

N_i = numărul de consumatori inclusiv populația flotantă;

q_i = norma de necesar de apă în l/zi și consumator.

- Debitul zilnic maxim se calculează cu formula:

$$Q_{zi\text{max}} = K_p \cdot K_s \sum \frac{K_{zi} N_i q_i}{1000} \text{ m}^3/\text{zi}$$

- Debitul orar maxim se calculează cu formula:

$$Q_{oror\ max} = \frac{1}{24} K_p \sum \frac{K_o K_{zi} N_i Q_i}{1000} \quad m^3/h.$$

- Debitul de calcul pentru rețeaua de distribuție a apei din centrele populate și industrii este debitul orar maxim plus debitul hidranților interiori pentru toate incendiile simultane, adică,

$$Q_e = Q_{oror\ max} + Q'_{ii} \quad l/sec.$$

Verificarea rețelei de distribuție pentru caz de incendiu se face în două ipoteze: [60]

- la debitul orar maxim redus cu debitul pentru stropitul și spălatul străzilor și pentru stropitul spațiilor verzi ($Q'_{oror\ max}$), plus debitul hidranților exteriori pentru toate incendiile simultane (Q'_{ie}): $Q'_2 = Q'_{oror\ max} + Q'_{ie}$;

- la debitul orar maxim, redus cu debitul pentru stropitul și spălatul străzilor, pentru stropitul spațiilor verzi, plus debitul hidranților interiori pentru un incendiu, în plus debitul hidranților exteriori pentru celelalte incendii simultane (Q'_{ie}): $Q'_2 = Q'_{oror\ max} + Q'_{ii} + Q'_{ie} \quad l/sec$

În unele cazuri însă, condițiile de calcul sînt mai grele decît cele de verificare.

În literatura și standardele în vigoare se indică și formulele [73]: $Q_{oror\ calcul} = \frac{1}{3,6} Q_{oror\ max} + Q'_{ii}$ respectiv formulele de verificare: $Q_{oror\ verificare} = \frac{1}{3,6} Q_{oror\ max} + Q'_{ii}$ și $Q'_{oror\ verificare} = \frac{1}{3,6} Q'_{oror\ max} + Q'_{ii} + Q'_{ie}$

Verificarea rețelei de distribuție este indicată în STAS 4163/67 și se face prin cumulara debitului maxim orar cu debitul de incendiu considerat pentru o situație defavorabilă în rețea.

- Odată stabilit debitul pe care trebuie să-l distribuie rețeaua, se trece la stabilirea pierderilor de sarcină caracteristice fiecărei conducte din componența sistemului.

Pierderea de sarcină constituie un alt factor important care intervine în calculul rețelei. Deoarece coeficientul de frecare real variază în limite foarte largi în funcție de material, vîrsta conductei, caracteristicile chimice ale apei etc., el contribuie la introducerea unui oarecare grad de incertitudine în evaluarea reală a pierderilor de sarcină. În această problemă s-au făcut multe cercetări teoretice și experimentale începînd cu Levy (1864), Kutter, Manning, Hazen, Williams (1905), Scolei și Pavlovski (1925), Nicuradze și Colebrook (1936-1939), Scorilov (1950-1955) etc.

În urma a numeroase măsurători și determinări pe conducte de fontă și oțel cu diferite grade de uzură, au stabilit relații practice pentru determinarea pierderilor de sarcină, prin

frecare.

Prin aplicarea diferitelor formule stabilite pentru calculul pierderilor lineare, se obțin diferențe apreciabile. Eliminarea, limitarea acestor incertitudini nu se pot face decât prin experiența îndelungată de exploatare pentru un sistem dar cu cunoașterea eventualelor caracteristici corozive ale apei.

Dacă la conductele noi, caracteristicile hidraulice sînt destul de bine cunoscute, în prezent, și rămîn relativ aceleași pentru o perioadă de aproximativ 10 - 15 ani, peste această perioadă este obligatoriu să se ia în considerare schimbarea stării de rugozitate a pereților interiori ai conductelor respectiv modificările în valorile pierderilor de sarcină.

La stabilirea distribuției debitelor inițiale într-o rețea de distribuție, trebuie să se aleagă varianta cea mai ieftină din punct de vedere al costului de investiții dar care să asigure cantitățile de apă necesare tuturor punctelor din rețea atît pentru situația normală de funcționare, cît și în situații accidentale (avarii). Nerespectarea acestor condiții poate duce la reducerea siguranței de funcționare a întregii rețele. Cunoașterea debitelor inițiale este o problemă de foarte mare importanță tehnică și economică deoarece această distribuție determină toată soluția care se adoptă ulterior. Pînă în prezent, procedeul distribuției inițiale se efectuează manual sau folosindu-se calculatorul electronic satisfăcînd aproximativ Legea I-a a lui Kirchoff. În funcție de distribuția primară a debitelor, se fixează diametrele pe tronsoane, după care, calculatorul stabilește în fiecare secțiune debitele reale și pierderile de sarcină pentru fiecare inel în parte. Procedeul astfel folosit, nu este suficient justificat din punct de vedere al costului minim de investiție.

Din aceste considerente este necesar ca distribuția inițială a debitelor în rețea să se facă din punct de vedere al economiei și siguranței de funcționare.

Economia rețelei cuprinde problemele legate de trasarea rețelei, alegerea diametrilor conductelor, a surselor posibile de alimentare și a regimului lor de funcționare.

Siguranța în funcționare a rețelei trebuie făcută cu respectarea cerințelor impuse de normele în vigoare. Mărirea criteriilor de siguranță conduce la o majorare a costului pe ansamblu al rețelei. Condițiile de siguranță trebuiesc considerate încă de la distribuția inițială a debitului. În acest stadiu de funcționare evidența condițiilor de siguranță trebuie făcută numai aproximativ și necesită o verificare ulterioară dacă diametrii

roșelei sînt deja cunoscuți. Necesitatea acestor calcule de verificare este evidentă în cazul avariilor. În calculele de dimensionare și verificare se poate considera următoarea ordine de distribuție a curenților în rețea, după cum urmează:

a. - Se fixează pe rețea punctele de control în care trebuie asigurate presiunile de serviciu atît în cazul funcționării normale, cît și al avariilor.

b. - Se stabilesc căile principale paralele de scurgere a apei de la captare pînă în punctele de control. Căile principale de scurgere pot fi magistrale (de tranzit) sau de legătură.

c. - Se stabilesc mărimile debitelor pe tronsoanele principale pentru diferite ipoteze (fig. 2.12), ora de maxim consum (fig. 2.12.b) și ora de funcționare normală (fig. 2.12.a), cu alimentare atît de la sursa O cît și de la contrarezervor. La distribuția debitelor trebuie să se țină cont de lungimea și natura materialului conductei.

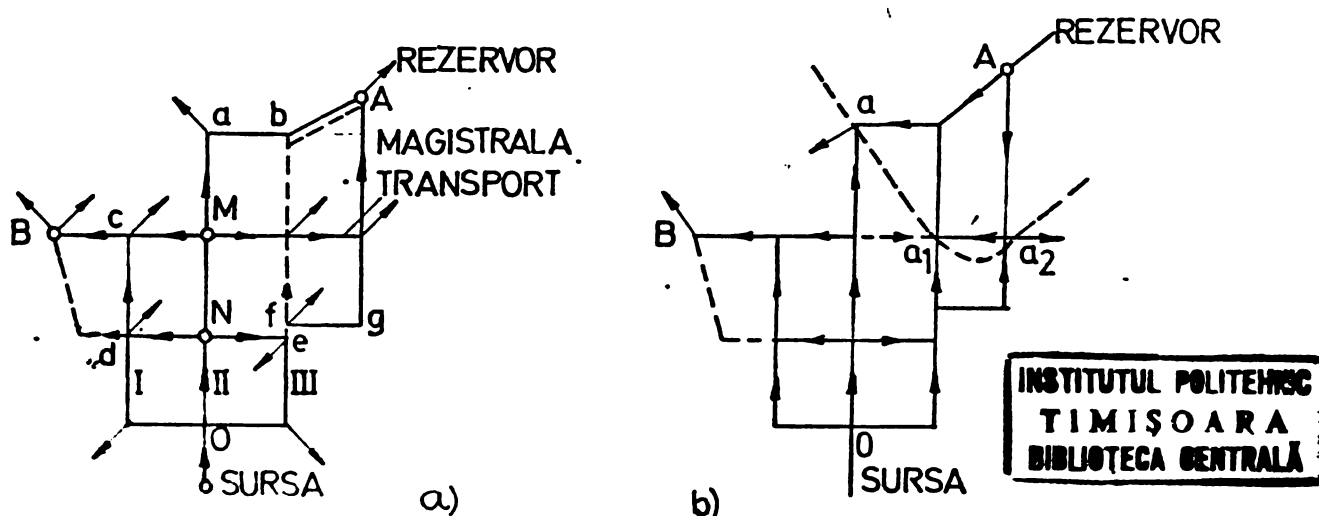


Fig. 2.12

d. - Se stabilesc diametrele pentru tronsoanele magistrale cît și pentru cele de legătură în funcție de sarcinile pe care acestea pot să le aibă.

e. - Se verifică rețeaua în diferite ipoteze de funcționare stabilindu-se totodată și coeficienții de siguranță pentru diferite porțiuni de rețea.

2.4. C o n c l u z i i

Capitolul 2 al prezentei lucrări reprezintă o selecție a unor probleme de mare actualitate în calculul rețelelor inelare. Această selecție se detașează din cadrul unui studiu aprofundat al metodologiei verificării rețelelor inelare în contextul noilor posibilități de calcul și a noilor cerințe. Deși este greu de realizat în condițiile noastre, certitudinile noastre, certitudinile noastre, certitudinile noastre,

dinea imaginii complete a tot ce s-a scris pînă acum despre o anumită problemă, în schimb se poate, și etic profesional există chiar obligația de a discerne:

- Informațiile căzute în desuetudine pentru care comentariile sînt inutile.

- Informațiile folosite curent, care eventual pot fi reconsiderate pentru anumite condiții și care fiind un amestec de îndoieli și certitudini, încită cercetătorul spre verificare.

- În fine, sînt informații - probleme - care păstrează amprenta ambiguității sau lipsei de profunzime. Ele solicită sistematizări, clarificări și pot răsplăti cercetătorul prin deschiderea de noi orizonturi.

Astfel, acest capitol cuprinde verificări, observații și propuneri precise.

Problema convergenței, privită în ansamblu, în urma cercetării mai multor exemple de calcul, atrage după sine următoarele observații:

Intr-un șir de aproximații succesive efectuate cu metoda egalizării presiunilor, corectarea treptată a debitelor din conducte (începînd cu debitele inițiale Q_0 și aduse succesiv la valori tot mai apropiate de cele corecte) apare în mod diferit la arterele longitudinale și la cele transversale. În calculele efectuate de autor în vederea optimizării, debitele pe sectoare se prezintă după $n = 1, 2, 3, \dots$ corecții succesive, după cum urmează :

a) în artere longitudinale, marginale, pe măsură ce transversalele puse în lucru concentrează debite tot mai importante prin corecție, debitele evaluează în scădere (fig. 2.13).

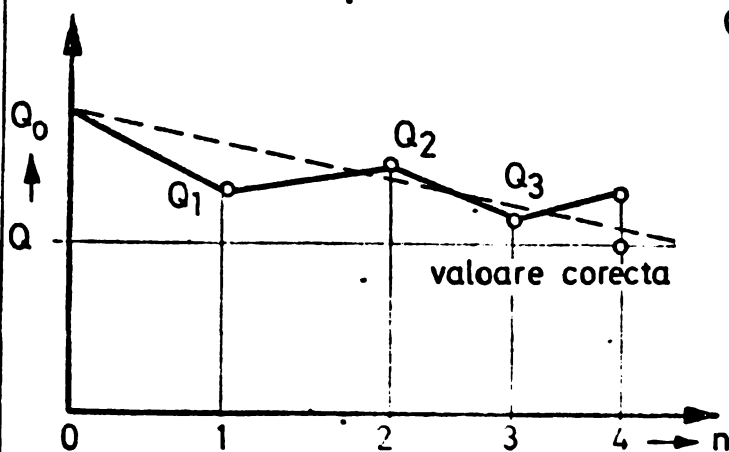


Fig. 2.13

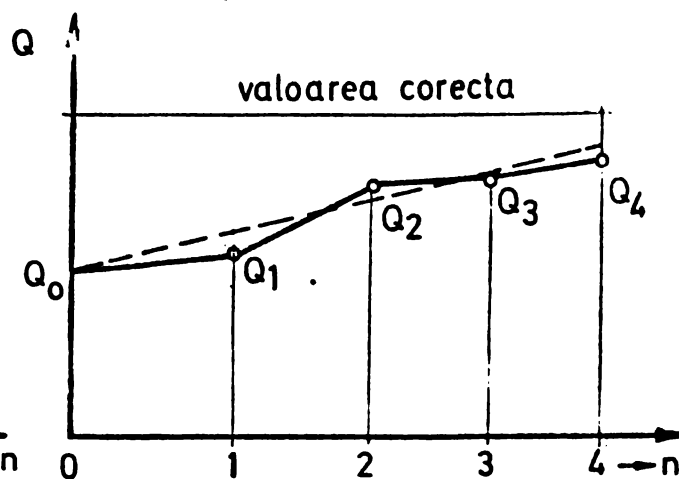


Fig. 2.14

b) Invers se prezintă situația în artere longitudinale centrale, la care debitele cresc continuu (fig. 2.14).

c) In transversale se poate întâmpla ca debitele succesive să cunoască o evoluție continuă în creștere sau descreștere, însă de cele mai multe ori se regăsesc pulsații mai mult sau mai puțin intense și anume (figura 2.15):

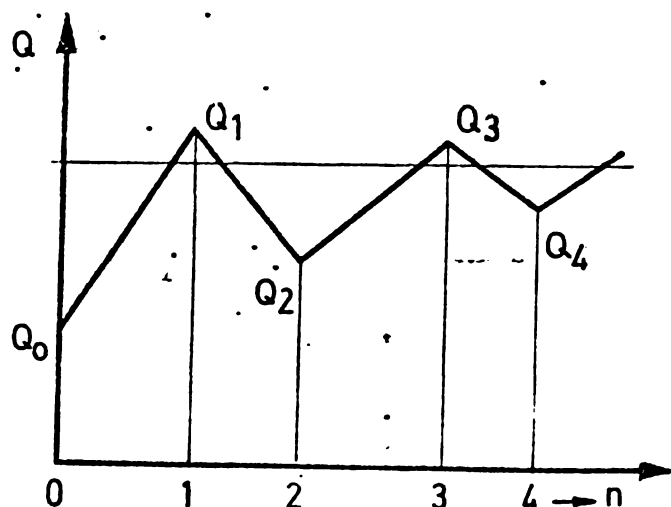


Fig. 2.15

In ce privește calea egalizării debitelor, se propune cu multă seriozitate reconsiderarea ei. Însăși Cross o consideră clară și rapidă. Faptul că este mai puțin simplă, nu reprezintă un dezavantaj, azi, când calculatoarele electronice stau la dispoziție. Este însă ferm avantajoasă pentru calculul sistemelor cu distribuție cunoscută a presiunilor.

Metodologia verificării rețelelor inelare este indicată la un nivel superior datorită utilizării calculatorului electronic. In urma cercetării programelor existente se constată posibilitatea optimizării rețelelor care depind de un număr mare de parametri (2.2.2). Astfel trebuie exploatată posibilitatea ca, prin folosirea calculatorului electronic să se înțeleagă exact fenomenele hidraulice care se produc într-o rețea, putându-se totodată cerceta rapid diferitele relații de exploatare care există în sistemul de alimentare cu apă.

Este posibil și necesar să se cerceteze și să se stabilească rapid capacitatea de transport a rețelelor existente:

- punctele slabe existente în rețea;
- acțiunea asupra întregii rețele a racordurilor noi.

La dimensionarea unei rețele noi se poate pretinde o dimensionare economică pentru o rețea de anumită configurație geometrică care trebuie să :

- corespundă unei anumite situații de exploatare (o anumită distribuție a debitelor);
- să corespundă unor anumite condiții de exploatare (asigurarea debitului de consum și a cotelor piezometrice);
- să corespundă unor condiții tehnice cerute (diametre normalizate, pozată în anumite condiții).

Considerarea justă a încărcării rețelei în momentele caracteristice, aplicarea metodelor moderne de calcul hidraulic și impunerea condițiilor de optimizare a rețelelor sub aspect economic, reprezintă premisele unei metodici superioare de calcul a

rețelelor de distribuție, care în principal formează obiectivul de studiu al precizărilor moderne.

În cadrul lucrării de față, calculul automat al rețelelor înelare a fost aplicat cu precădere la calculatorul MECIPT II avînd ca scop verificarea eficienței metodelor analitice și diversificarea procedeeleor hidraulice de calcul. De asemenea, în cadrul studiului de echivalență a rețelelor s-au recalculat în condițiile impuse de actualele cerințe de apă, atît rețeaua cu 22 de inele a municipiului Timișoara în diferite momente caracteristice, precum și rețeaua echivalentă redusă la 7 inele a aceleiași obiectiv.

Analiza parametrilor determinanți este necesară din cauza complexității lor. Selectarea, cu indicații asupra influenței pe care o au în rețea, conduce în final la studiul distribuției inițiale a debitelor. Se constată că distribuția inițială a curenților de apă este un parametru determinant, deoarece influențează considerabil raportul dintre mărimea diametrelor diferitelor linii din rețea.

La rîndul său, considerarea diametrelor liniei rețelei determină în întregime o rețea de configurație dată, doi indici importanți: economia și siguranța în funcționare.

În majoritatea metodelor propuse pentru calculul tehnico-economic, mărimea Q , în diferite tronsoane este deja dat și în procesul de calcul nu se modifică pînă la corecția finală. Găsirea unor căi optime pentru transportul apei se referă la problema găsirii unei distribuții optime a curenților de apă în rețea.

C A P I T O L U L 3

CONTRIBUTII LA CALCULUL RETELELOR INELARE REZOLVATE PRIN METODA GRAFURILOR

Indiferent care din metode (principii) se adoptă, rezolvarea propriei zisă a rețelei de distribuție se face avînd la bază diferite mijloace matematice care, (fiecare din ele) prezintă mai mult sau mai puțin interes în funcție de scopul urmărit sau de etapele de concepție, de proiectare, a lucrărilor legate de realizarea unei rețele de distribuție a apei.

Astfel, acest capitol urmărește un studiu asupra utilizării teoriei matematice a grafurilor în rezolvarea unor probleme aplicative de calculul rețelelor inelare de distribuție a apei.

De folosirea și analiza relațiilor dintre elementele sistemelor ca figuri geometrice, grafuri, sînt legate multe probleme ca :

- alegerea și aprecierea formei rețelelor;
- modul de transformare legat de metodele de calcul;
- determinarea relațiilor între debite și presiuni pentru diferitele elemente ale sistemului;
- aprecierea gradului de siguranță;
- analiza funcționării sistemelor de alimentare cu apă;
- probleme economice.

3.1. Incadrarea generală a problemei în limbajul adecvat teoriei grafurilor

3.1.1. Precizări

Definițiile matematice aparținînd grafurilor se realizează în sistemele de distribuție a apei astfel:

- sistemul de conducte reprezintă un graf finit și conex (număr finit de noduri și arce; fiecare nod putînd fi legat printr-un lanț de arce cu orice alt nod);
- arcul de legătură (conducta) reprezintă acel arc a cărui înlăturare (de ex. fig. 3.16 arc ab) conduce la divizarea rețelei în grafuri conexe componente ;
- graful topologic este reprezentarea în plan a structurii spațiale alcătuite din noduri și arce (conducte);
- lanțul de arce este un șir de arce parcurs succesiv și

o singură dată (fig. 3.17 lanțul A 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 B);

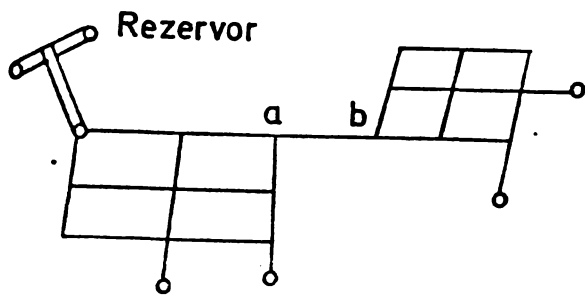


Fig. 3.16

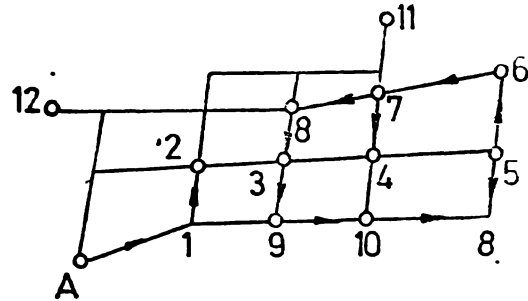


Fig. 3.17

- drum este lanțul în care fiecare nod este parcurs o singură dată (fig. 3.17 A - B);

- ciclu este drumul în care nodul inițial coincide cu cel final (de ex. fig. 3.17 - 4 5 6 7 4);

- ciclu minim cu inel elementar este ciclul în care nu există muchii care să intersecteze suprafața și care nu se împart în cicluri mai mici;

- gradul nodului este numărul de muchii care se unesc într-un nod.

În rețelele de distribuție a apei care sînt întotdeauna grafuri conexe, gradul nodului nu poate fi mai mic decît unul. Nodul zero îl are un punct izolat. Nodurile cu gradul 1 sînt noduri periferice.

Rețeaua inelară reprezintă un graf care nu are vîrfuri cu gradul mai mic decît doi.

În majoritatea cazurilor, rețeaua de distribuție a apei reprezintă un graf combinat care conține atît un sistem de

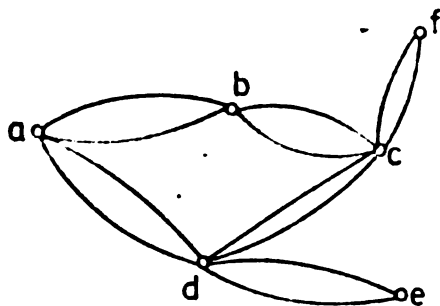


Fig. 3.18

închis, cît și un sistem de linii moarte care conduc la consumatori.

- Multigraf este figura în care una și aceeași pereche de vîrfuri este legată cu mai mult de o singură muchie. (În distribuția apei este posibil căci între 2 noduri vecine poate să existe orice număr de muchii de legătură (fig. 3.18)

3.1.2. Relația între numărul de noduri, muchii și cicluri în rețelele plane (planare)

Pentru grafurile planare, relația dintre numărul de muchii m , noduri n și inele f , este determinată pe baza teoremei lui

Euler, astfel:

$$m = n - f - 2$$

(3.1)

dacă pentru generalizarea deducțiilor în numărul inelurilor se include și inelul infinit care înconjoară conturul exterior al rețelei.

- În teoria grafurilor se folosește numărul ciclotomic $\nu = m - n + 1$, adică numărul maxim de cicluri independente. Pentru grafurile planare acesta este însă egal cu numărul de inele elementare, adică cu f ; deci $\nu = f$.

Pentru câteva cazuri particulare:

La rețeaua inelară - dacă $f = 2$, atunci $m = \nu + 1$; iar când $f = 1$, se obține o rețea cu un singur inel format din 2 muchii (fig. 3.19). Această relație se păstrează la multigrafuri.

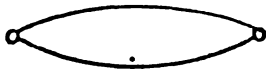


Fig. 3.19.

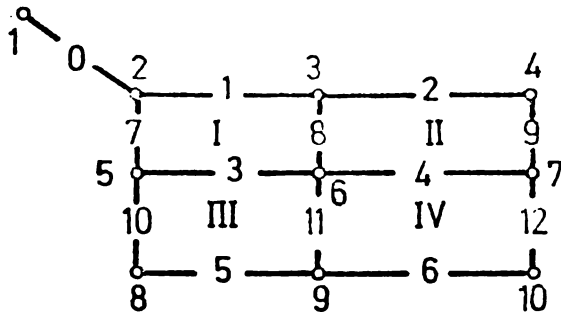


Fig. 3.20

Metodele teoriei grafurilor permite să se efectueze înregistrarea tuturor proprietăților geometrice principale și a formei rețelei prin întocmirea unor matrici.

Se pot întocmi de ex.: matricile vîrfurilor care stabilesc legătura între arce și noduri; matricile conturilor care caracterizează legătura între inele și conducte.

Astfel, considerînd o rețea cu 4 inele (fig. 3.20), se poate întocmi următoarea matrice (fig. 3.21) care reprezintă grafurile neorientate al rețelei luînd drept bază numărul nodurilor și marcînd cu 1 nodurile adiacente. Matricea este simetrică.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
3	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
5	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0
6	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
7	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1
8	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
9	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1
10	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0

Această matrice permite determinarea gradului nodurilor (adică numărul de muchii convergente în nod). (Gradul vîrfului 2 este 3).

Dacă se întocmește matricea vîrfurilor care stabilește legătura între arce și noduri, se obține (figura 3.22):

Fig. 3.21

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
6	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0
7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1

în care fiecare linie corespunde numărului nodului și fiecare coloană corespunde numărului muchiei de rețea.

Ex.: pentru muchia 0 incidentă vîrfurilor 1 și 2 în căsuțele corespunzătoare ale matricei se introduce 1 iar, în celelalte 0 etc.

Fig. 3.22

Observînd cele

două matrici, se poate reface ușor rețeaua inițială dată.

De ex., așezînd nodurile în orice ordine pe cerc și unindu-le cu muchii, în conformitate cu matricea se obține ^{rețeaua} care, cu toate că are o formă modificată în comparație cu cea inițială, păstrează proprietățile geometrice în întregime.

Matricele contur (inele) stabilesc legătura între porțiunile (conducte) și contururile rețelei. În acest caz pot fi considerate și sensurile curenților în muchiile rețelei. Pentru acelaș exemplu de rețea, o astfel de matrice are forma din fig. 3.23 reprezentînd de fapt un graf orientat (posibil valoric) finit conex.

		muchii											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
inele	I	+1	0	-1	0	0	0	-1	+1	0	0	0	0
	II	0	+1	0	-1	0	0	0	-1	+1	0	0	0
	III	0	0	+1	0	-1	0	0	0	0	-1	+1	0
	IV	0	0	0	+1	0	-1	0	0	0	0	-1	+1

Fig. 3.23

3.1.3. Transformarea rețelelor

Metodele moderne de calcul hidraulic și tehnico-economic al rețelilor inelare prevăd diferite transformări teoretice ale acestor rețele care să permită simplificarea și accelerarea calculelor.

Transformarea unei rețele inelare într-o rețea ramificată, poate avea drept scop:

- alegerea cu ușurință a sistemului de inele teoretice independente;

- definirea automată pentru mașini a mărimilor debitelor teoretice pentru liniile rețelei (ținând seama de legea I Kirchoff)

Astfel, ramificația considerată din rețeaua inelară reprezintă un graf parțial care include toate vîrfurile. Transformarea unei rețele inelare într-una ramificată se efectuează prin înlăturarea din fiecare inel a unei porțiuni ce îl închide. Desigur că sînt multe variante, dar ramificația obținută trebuie să îndeplinească următoarele cerințe:

- graful rețelei să rămînă conex;
- să se păstreze toate vîrfurile;
- în graful rețelei ramificate să nu rezulte muchii cu rezistențele hidraulice prea mari.

Cu referire la fig. 3.20 și urmărind transformarea rețelei inelare într-o rețea ramificată, acest lucru se poate face prin:

- înlăturarea secțiilor 8, 9, 11 și 12 obținînd rețeaua ramificată din figură 3.24;

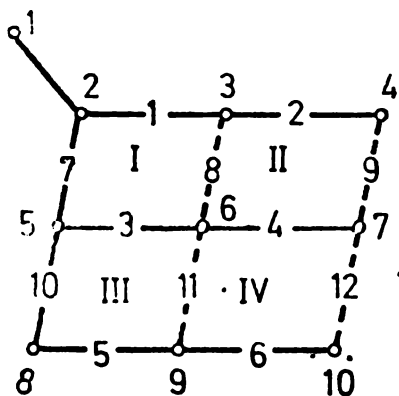


Fig. 3.24

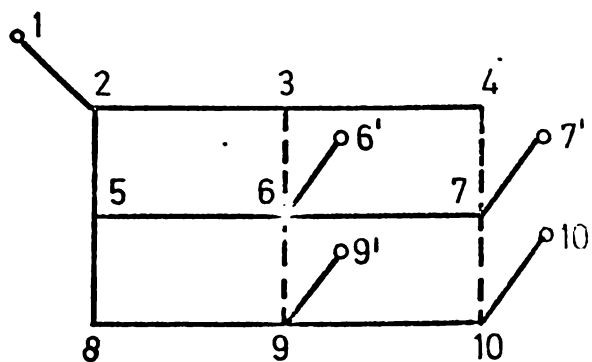


Fig. 3.25

- sau prin secționarea nodurilor respective cîte unul în fiecare ciclu.

În ultimul caz, numărul de muchii nu se schimbă dar numărul de noduri se mărește cu n , (figura 3.25).

S-a constatat că procedeul reprezentat în fig. 3.24 este indicat în calcule, căci micșorează numărul sau volumul informațiilor impuse mașinii.

Numărul de variante posibile de ramificații obținute din rețeaua inelară dată, este exprimat matematic în funcție de numărul muchiilor și a ciclurilor și crește odată cu creșterea acestora.

Numărul combinărilor posibile pe muchii din rețeaua in-

iară luate câte $p = n$ va fi egal cu numărul combinațiilor

$$C_m^n = \frac{m(m-1)\dots(m-n+1)}{n!} \quad (3.2)$$

Astfel, pentru exemplul luat în studiu, din fig. 3.20 numărul acestor combinații va fi 495 (număr combinații posibile din m luate câte $m-n$). Dar, din aceste combinații numai unele vor respecta condițiile inițiale formării ramificației. De ex.: una din variantele neluate în considerare este reprezentată în fig. 3.26, unde se observă că un nod rămîne izolat.

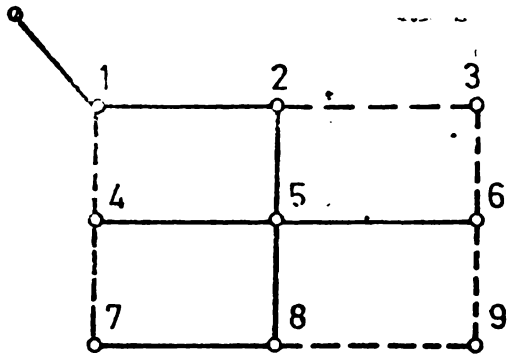


Fig. 3.26

Teoria grafurilor dă o metodă generală pentru determinarea numărului de variante posibile ale ramificațiilor care se formează din orice graf planar avînd cicluri.

Conform teoremei lui Trante [5], în graful G (fără bucle) numărul ramificațiilor care reprezintă situațiile par-

ticulare ale grafului, este egal cu numărul oricăruia din elementele diagonalei principale a matricei patrute (b_{ij}^i) de ordinul n . Elementele diagonalei principale a matricei reprezintă mulțimea $\{x_i\}$ de vîrfuri legate prin muchii cu vîrfuri X_i . Celelalte elemente ale matricei sînt egale cu -1 dacă vîrfurile corespunzătoare x_i și x_j aparțin mulțimii de muchii identice cu vîrfurile x_i iar în caz contrar sînt nule.

Pentru graful cel mai simplu care alcătuiește rețeaua inelară cu patru vîrfuri, matricea va avea forma din fig. 3.27 a, b, c:

<p style="text-align: center;">a)</p>	<table style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 0 10px;">a</td> <td style="padding: 0 10px;">b</td> <td style="padding: 0 10px;">c</td> <td style="padding: 0 10px;">d</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 2em;">[</td> <td style="padding: 0 10px;"> \sqrt{a} </td> <td style="padding: 0 10px;"> $a-b$ </td> <td style="padding: 0 10px;"> $-a-d$ </td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 10px;">b</td> <td style="padding: 0 10px;"> $a-b$ </td> <td style="padding: 0 10px;"> \sqrt{b} </td> <td style="padding: 0 10px;"> $b-d$ </td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 10px;">c</td> <td style="padding: 0 10px;"> $-$ </td> <td style="padding: 0 10px;"> $b-c$ </td> <td style="padding: 0 10px;"> \sqrt{c} </td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 10px;">d</td> <td style="padding: 0 10px;"> ad </td> <td style="padding: 0 10px;"> $-$ </td> <td style="padding: 0 10px;"> dc </td> </tr> <tr> <td style="font-size: 2em;">]</td> <td style="padding: 0 10px;"> \sqrt{d} </td> <td style="padding: 0 10px;"> $-$ </td> <td style="padding: 0 10px;"> $-$ </td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">b)</p>	a	b	c	d	[\sqrt{a}	$a-b$	$-a-d$	b	$a-b$	\sqrt{b}	$b-d$	c	$-$	$b-c$	\sqrt{c}	d	ad	$-$	dc]	\sqrt{d}	$-$	$-$	<table style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 0 10px;">a</td> <td style="padding: 0 10px;">b</td> <td style="padding: 0 10px;">c</td> <td style="padding: 0 10px;">d</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 2em;">[</td> <td style="padding: 0 10px;"> 2 </td> <td style="padding: 0 10px;"> -1 </td> <td style="padding: 0 10px;"> 0 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 10px;">b</td> <td style="padding: 0 10px;"> -1 </td> <td style="padding: 0 10px;"> 2 </td> <td style="padding: 0 10px;"> -1 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 10px;">c</td> <td style="padding: 0 10px;"> 0 </td> <td style="padding: 0 10px;"> -1 </td> <td style="padding: 0 10px;"> 2 </td> </tr> <tr> <td style="padding: 0 10px;">d</td> <td style="padding: 0 10px;"> -1 </td> <td style="padding: 0 10px;"> 0 </td> <td style="padding: 0 10px;"> 2 </td> </tr> <tr> <td style="font-size: 2em;">]</td> <td style="padding: 0 10px;"> -1 </td> <td style="padding: 0 10px;"> 2 </td> <td style="padding: 0 10px;"> -1 </td> </tr> </table> <p style="text-align: center;">c)</p>	a	b	c	d	[2	-1	0	b	-1	2	-1	c	0	-1	2	d	-1	0	2]	-1	2	-1
a	b	c	d																																															
[\sqrt{a}	$a-b$	$-a-d$																																															
b	$a-b$	\sqrt{b}	$b-d$																																															
c	$-$	$b-c$	\sqrt{c}																																															
d	ad	$-$	dc																																															
]	\sqrt{d}	$-$	$-$																																															
a	b	c	d																																															
[2	-1	0																																															
b	-1	2	-1																																															
c	0	-1	2																																															
d	-1	0	2																																															
]	-1	2	-1																																															

Fig. 3.27

Mărimea x_i se exprimă prin numărul de muchii care sînt atașate fiecăruia din vîrfurile x_i (în care x_i sînt a, b, c, d). În cazul considerat, în fiecare nod există cîte 2 muchii astfel, pe diagonală avem 2.

Dacă în schema de mai sus se marchează cu 0 vîrfurile neadiacente cu cel considerat și restul cu -1, în final pentru graful respectiv avem forma din figura 3.27 c. Minorul oricărui element de pe diagonala principală, de ex. a_{11} , va fi = 4, adică egal cu numărul de variante posibile ale ramificației formate din graful dat; acest rezultat poate fi obținut și din formula $C_4^3 = 4$.

Dar dacă s-ar considera un graf complet G (figura 3.28), cu patru vîrfuri, cu trei inele, matricea b_{ij}^i va avea forma din fig. 3.28 a, adică numărul variantelor subgrafurilor din graful G, care reprezintă ramificația, va fi egal cu 16 (fig. 3.28 b).

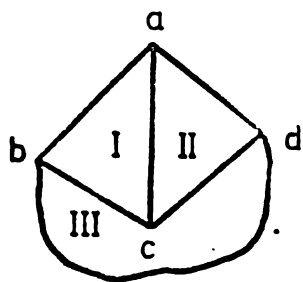


Fig. 3.28

	a	b	c	d	
b_{ij}	a	b	c	d	
	3	-1	-1	-1	
	-1	3	-1	-1	
	-1	-1	3	-1	
	-1	-1	-1	3	

$\Delta_f = \begin{bmatrix} 3 & -1 & -1 \\ -1 & 3 & -1 \\ -1 & -1 & 3 \end{bmatrix} = 16$

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

Fig. 3.28 a

Fig. 3.28 b.

Determinînd numărul total de combinații posibile din 6 muchii luate cîte 3, se obține însă $C_6^3 = 20$ [5].

Această deosebire se explică din faptul că din numărul total de combinații posibile, în patru din ele, cînd se înlătură 3 muchii care converg în același vîrf, se distruge conexitatea grafului, se formează noduri izolate și rămîn contururi închise. Folosind calculul minorilor în mod automat se pot obține combinațiile care dau ramificația respectivă.

3.1.4. Alegera sistemelor de contururi teoretice, pentru rețele inelare

Una din problemele principale pentru rețelele inelare este alegerea unor contururi independente în sistem, adică a unor cicluri.

Studiul sistemelor de contururi independente poate fi mai simplu decît studiul direct al compatibilității sistemului de ecuații prin metodele obișnuite din algebra liniară.

În conformitate cu teoria grafurilor, în graful rețelelor, numărul de contururi independente în fiecare sistem este egal cu numărul ciclotomic $\gamma = m - n + 1$. Pentru graful plan conex, cum s-a arătat mai sus, $\gamma = f$, adică reprezintă chiar numărul de inele elementare din rețea. În fiecare rețea inelară sau compusă se pot alege mai multe variante de sisteme de cicluri independente. Pentru sistemul ales trebuie să existe convingerea, că ciclurile intrate în el, adică contururile, sînt independente. Astfel, pentru o rețea cu 2 inele, există trei variante de sisteme de cicluri independente (fig. 3.29 a, b, c). Acest sistem de cicluri este determinat numai de numărul inelelor.

În general, la alegerea sistemelor de cicluri independente este bine să se țină seama de următoarele observații [5]:

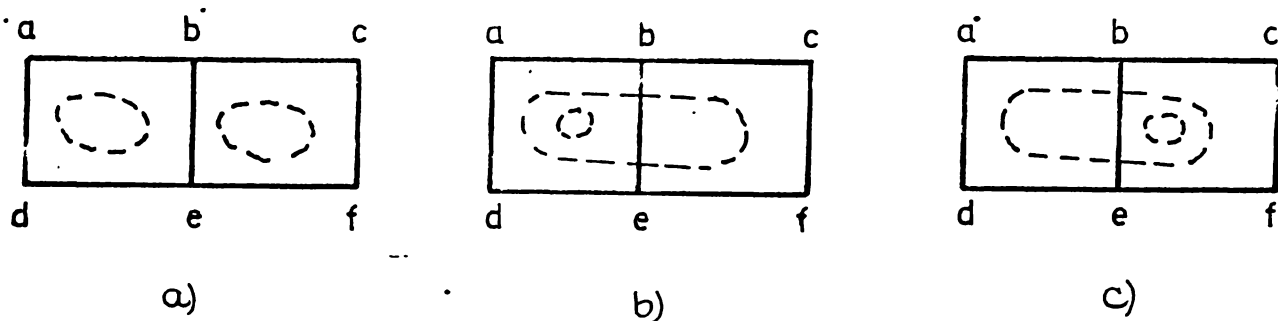


Fig. 3.29

1. - Sisteme compatibile care conțin numărul necesar de n cicluri independente vor fi acele sisteme care cuprind toate inelele elementare ale rețelei și în care toate muchiile rețelei vor intra cel puțin odată și cel puțin într-unul din ciclurile sistemului.

2. - Toate sistemele fundamentale sînt compatibile. Prin sistem fundamental se înțelege sistemul (care se poate construi și pe carcasă) de n contururi care închid cele n muchii înălțurate din rețea. În fiecare din cele n componente intră o singură muchie de închidere îndepărtată din rețeaua inelară.

3. - Sistemele de inele elementare ale rețelei sînt întotdeauna compatibile dar nu întotdeauna sînt fundamentale.

4. - Criteriul lui Bazel dă întotdeauna posibilitatea de a cunoaște compatibilitatea sistemului cu toate că folosirea acestui criteriu pentru diferite rețele cu mai multe inele este destul de complicat. Criteriul lui Bazel se bazează pe analiza matricilor din contur al rețelei pentru rețelele cu mai multe inele.

5. - Folosirea sistemului fundamental de contururi pentru

construirea căruia este necesară scoaterea în evidență a carcasa rețelei inelare, poate prezenta unele avantaje în sensul rapidității și siguranței de obținere a sistemului de cicluri independente. Prin carcasă se înțelege graful care să nu aibe cicluri și care se formează prin înlăturarea din fiecare inel elementar a unei muchii de convergență, de închidere.

6. - Degajarea carcasa, adică separarea carcasa ramificației dă posibilitatea includerii porțiunilor cu rezistențe hidraulice de așa natură încât să se permită accelerarea procesului de compatibilitate a rețelei precum și ușurarea numerotării nodurilor pentru transmiterea informației respective mașinilor de calculat.

7. - Folosirea sistemului fundamental pentru formarea unui sistem de calcul pentru cicluri conduce uneori la necesitatea includerii în descrierea conturilor a unui număr excedentă de linii pentru calculul cu ajutorul calculatorului electronic.

8. - La alegerea sistemului de contururi teoretice pe baza sistemului fundamental, numărul de parcurgeri ale diferitelor porțiuni din ramificație este uneori prea mare, ceea ce poate îngreuna procesul de calcul.

3.2. Grafuri conjugate

Pentru fiecare graf plan se poate alcătui un graf conjugat. Fiecarui nod al grafului principal îi corespunde un contur elementar (un inel) al grafului conjugat, iar fiecarui inel al grafului principal îi corespunde un nod al grafului conjugat. Se consideră planul care înconjoară graful principal ca o față infinit mare limitată de conturul exterior al grafului (figura 3.30). În figura 3.30 b se observă muchiile 0 ale grafului conjugat care pornesc către un punct 0 aruncat la infinit al grafului plan.

De obicei [5], trecerea la graf conjugat al unui graf dat, se face înlocuind mulțimea arcelor sale prin cea a muchiilor iar în graf conjugat se dă o orientare arbitrară muchiilor obținute. În cadrul acestui paragraf se propune, ca în cazul rețelei

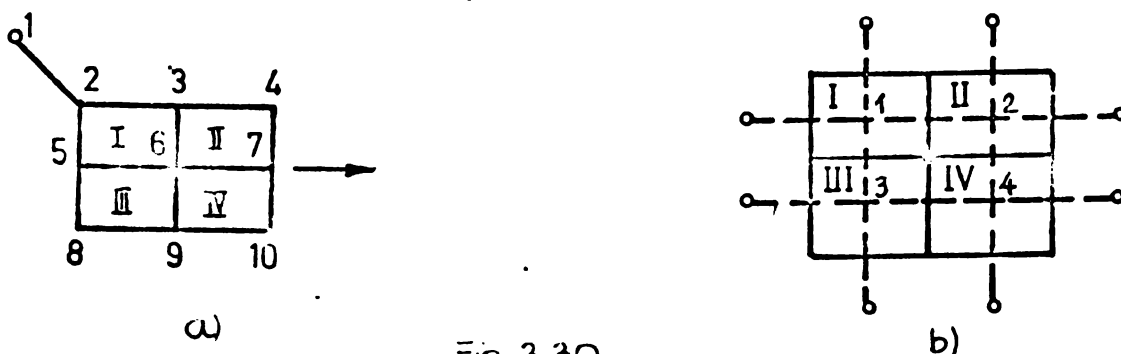


Fig 3.30

lelor inelare, să se aducă mai multă precizie în această direcție, prin introducerea unei reguli de orientare indusă a inelelor, folosind în acest scop numai mulțimea arcelor.

Pe de altă parte, pornind de la relația lui Euler, se poate asocia, în mod unic, unui astfel de graf, dat numai prin perechea (S, U) , mulțimea fețelor sale F , fapt care conduce la obținerea unei legături între numerele ciclotomice ale grafului dat și ale celui conjugat.

Aceste două aspecte au permis să se dea noțiunii de conjugare a grafurilor o individualizare specifică pentru grafurile rețelelor inelare.

Orice rețea inelară de alimentare cu apă poate fi reprezentată, ca model matematic, printr-un graf planar topologic (arcele sale nu se intersectează decât în vîrfuri, în care sînt adiacente), conex, finit și fără bucle de tip König - Berge.

Se notează acest graf prin $G = (X, \Gamma)$ sau $G = (S, U)$ - în care $S = \{x_i\}_{i \in I}$ ($I = \{1, 2, \dots, n\}$) este mulțimea vîrfurilor (reprezentînd nodurile rețelei) și aceasta coincide (pentru ea considerat cu domeniul de definiție X al aplicației multivoce Γ), iar $U = \{u_j\}_{j \in J}$ ($J = \{1, 2, \dots, m\}$) este mulțimea arcelor sale (reprezentînd tronșoanele rețelei). Prin U_x^+ și U_x^- se notează mulțimea arcelor incidente spre exterior, respectiv mulțimea arcelor incidente spre interior cu vîrful x .

Aplicația de dualizare

Se atribuie în cele următoare, vîrfurilor și arcelor grafului G , rolul comun de elemente ale mulțimii G și, utilizînd scrierea $G = \{x_1, \dots, x_n; u_1, \dots, u_m\}$ (cu $x_i \in S$, $u_j \in U$) se consideră, prin aceasta, că S și U sînt submulțimi ale lui G , ce constituie o partiție a acesteia.

Deoarece graful unei rețele inelare satisface proprietățile de mai sus, se poate aplica relația lui Euler

$$f = 2 - n + m, \quad (3.3)$$

în care $n = |S|$, $m = |\bar{U}|$ și $f = |F|$ reprezintă respectiv numărul muchiilor și numărul fețelor grafului $G = (S, U)$ al unei rețele inelare. Există întotdeauna $|U| = |\bar{U}|$, astfel că pentru asemenea graf mulțimea F este determinată dacă se dau mulțimile S și U ; numărul elementelor sale este dat de (3.3). În urma acestora se poate introduce:

Definiție. Se numește aplicație de dualizare a grafului G al unei rețele inelare, aplicația

$$*: G = (S, U) \rightarrow G^* = (S^*, U^*)$$

se satisface următoarele condiții:

- 1) restricția $^*|U$ la mulțimea arcelor este o bijecție a lui U pe U^* ,
- 2) restricția $^*|S$ la mulțimea vîrfurilor este o bijecție a lui S pe F^* ,

3) este o involuție,

unde S^* , U^* , F^* sînt respectiv mulțimea vîrfurilor, arcelor și fețelor lui G^* - numit graful conjugat al grafului G .

Pentru orientarea arcelor lui G^* se folosește următoarea regulă, indusă de orientarea fiecărui inel al lui K (figura 3.31 care este dată de sensul direct pe cercul γ (avînd centrul comun cu cel al inelului) :

« Prin conjugare, fiecărui inel K îi corespunde nodul dual k^* :

dacă arcul u și cercul γ -

- sînt la fel orientate, atunci

$$u^* \in U_{k^*}^+,$$

- au orientări opuse, atunci

$$u^* \in U_{k^*}^- . \gg$$

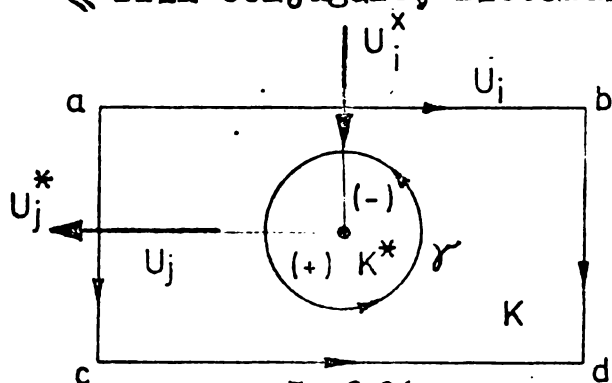


Fig. 3.31

În figura 3.32 graful G^* , conjugatul lui G , este reprezentat prin linii întrerupte.

Se observă imediat că G^* este un multigraf (2-graf), deoarece

există perechi de vîrfuri unite prin cîte două muchii.

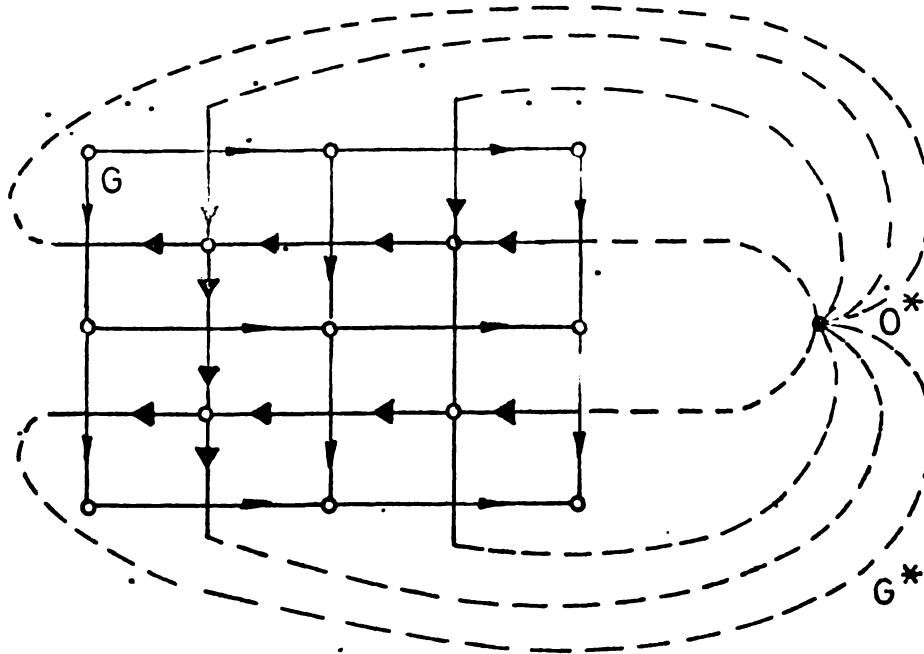


Fig. 3.32

există perechi de vîrfuri unite prin cîte două muchii.

Relația cu graful dat

Notînd prin m^* , n^* , p^* respectiv numărul muchiilor, nodurilor și componentelor conexe ale grafului conjugat, în baza de-

finiției date pentru aplicația de dualizare, există egalitățile

$$n = m^* ; f = n^* , p = p^* = 1. \quad [5.] \quad (3.4)$$

Dar, pentru un graf care are proprietățile enunțate la punctul 1. precum și proprietatea că $|U| = |\bar{U}|$ este cunoscută relația ([45], [188], ([13], [37])

$$\gamma(G) = m - n + p , \quad (3.4')$$

care definește numărul ciclomatic al grafului G .

Pentru G^* , în baza egalităților precedente, aceasta devine

$$\gamma(G^*) = m - f + 1. \quad (3.5)$$

Pe de altă parte, din relațiile (3.3) și (3.4'), se obține

$$\gamma(G) = f - 1 ,$$

astfel că (3.5) se va scrie

$$\gamma(G^*) = m - (f - 1) = m - \gamma(G)$$

sau, în definitiv,

$$\gamma(G^*) + \gamma(G) = n. \quad (3.6)$$

De asemenea, există și

$$\gamma(G^*) + \gamma(G) = m^* . \quad (3.6')$$

Pentru graful G numărul ciclurilor independente coincide cu numărul de inele ale rețelei.

Este important de remarcat faptul că relațiile (3.6) și (3.6') determină numărul ciclurilor independente ale grafului conjugat G^* în funcție de numărul ciclomatic $\gamma(G)$, fără a mai fi nevoie să se studieze, așa cum se procedează în mod obișnuit, relația de dependență liniară a vectorilor c_j^* ai ciclurilor grafului.

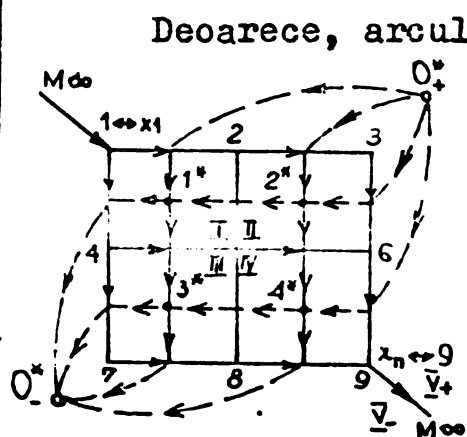


Fig. 3.33

Deoarece, arcul de închidere al rețelei $(x_n, x_1) = u_\infty$ poate fi considerat ca trecând prin punctul impropriu $M_\infty \leftrightarrow \infty$ al dreptei diagonale $D(x_1, x_n)$, se va nota prin 0^* (fig. 3.33), nodul grafului conjugat, care corespunde feței infinite a grafului dat și se va aplica pentru acesta operația de „secționare a nodului”, bazați pe observația că arcele grafului conjugat cu intrarea în acest nod sînt separate de cele cu ieșirea prevăzută în nodul respectiv prin arcul de închidere u_∞ al rețelei date, se va scrie $o_+^* + o_-^* = o^*$, în care o_-^* corespunde semiplanului inferior determinat de diagonala considerată, iar o_+^* - semiplanului superior.

Astfel, utilizarea grafurilor conjugate apare ca avantajoasă în asemenea cazuri prin aceea că oferă posibilitatea înlocuirii elementelor impropriu (arc de închidere, fața infinită, etc.) prin

elemente proprii ale grafului conjugat („arc nul” $(o_+^*, o_-^*) = u_0^*$, nodul o^* , etc.).

Se valorizează arcele lui G^* prin debitele de tranzit ale arcelor grafului G , punînd

$$l(U_j) = (Qt)_j, \quad (j \in J) \quad (3.7)$$

adică, arcului $u^* \in U^*$ i se atașează lungimea egală cu debitul arcului $u \in U$.

În acest fel, punîndu-se problema găsirii drumului de debit maxim, se va putea rezolva aceasta - trecînd la graful conjugat pentru care urmează a se căuta (cu procedeele enunțate în [45]) drumul de lungime maximă care merge de la o_+^* la o_-^* .

De asemenea de remarcat, că această proprietate a conjugării grafurilor corespunde principiului de interdependență între sistemele debitelor necunoscute de apă și presiunile necunoscute în cazul calculului hidraulic al rețelelor de apă.

3.2.1. Coordonarea rețelelor care reprezintă grafuri reciproc conjugate

Este interesant să se observe posibilitatea coordonării rețelei inelare de distribuție a apei alcătuită dintr-un graf conjugat cu graful rețelei date. Se constată că dacă există posibilitatea coordonării în rețeaua principală, atunci există și în rețeaua conjugată.

Aceasta are loc atît prin folosirea metodei egalizării debitelor cît și a egalizării presiunilor.

Referitor la forma de rețea care s-a luat în studiu de la început, în figura 3.34 sînt indicate mărimile și sensurile debitelor de apă în toate muchiile grafului rețelei principale precum și consumurile în noduri, la fel în rețeaua conjugată.

Revenind la exprimarea specifică disciplinei de alimentare cu apă :

- mărimile debitelor de apă q_{ik} și pierderilor de presiune h_{ik} sînt egale și se intersectează reciproc în muchiile rețelei principale și celei conjugate; la fel și în rețeaua conjugată.

O paralelă între rețeaua principală și cea conjugată, ar trebui să țină seama de următoarele :

Rețeaua principală:		Rețeaua conjugată:
q_{ik}	(sînt egale ca)	q_{ik}
h_{ik}	valoare	h_{ik}

Se intersectează reciproc ca reprezenta

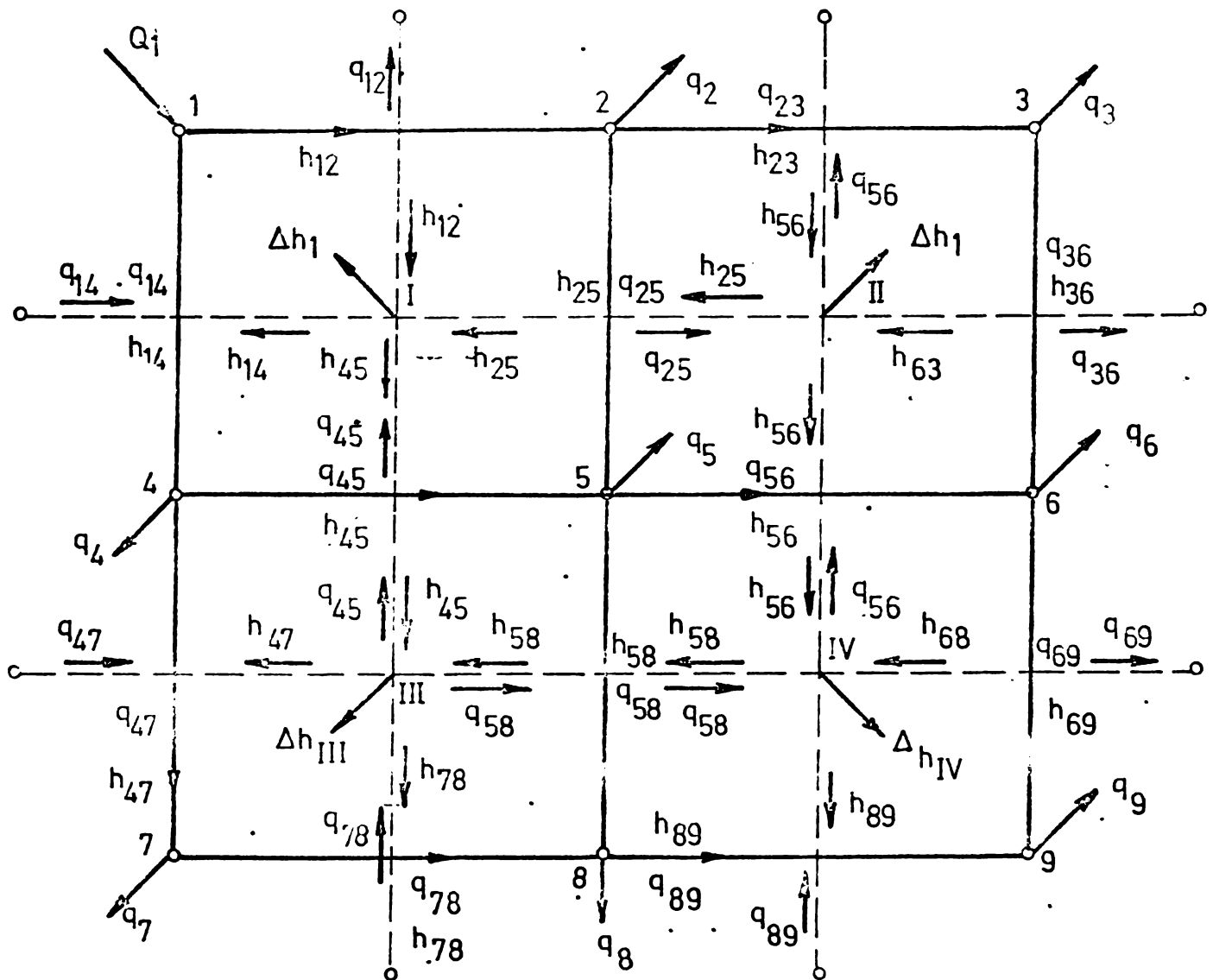


Fig. 3.34

- O muchie unește două noduri:
- debitelor care vin în nodurile rețelei principale li se acordă (+) și celor care pleacă(-);
- trebuie să aibe loc bilanțul debitelor în noduri $(q_{ik} + Q)_{nod} = 0$
- corespondența acestei muchii împarte două inele conjugate cu nodurile date în rețeaua principală:
- dacă muchia de inel a rețelei conjugate intersectează muchia rețelei principale unde debitul este (+), adică se apropie de nodul următor, atunci debitul în muchia corespunzătoare a rețelei conjugate este de asemenea (+) și deci pornește în inel pe direcția acelor ceasornicului;
- bilanțul debitelor în inele (adică la parcurgerea in-

- lului rețelei ($q_{ik} + Q_{inel} = 0$ conjugate) suma debitelor muchiilor și Q în nod = 0;
- debitole consumate în noduri în rețeaua principală sînt reprezentate în rețeaua conjugată prin debite care circulă în inelul conjugat;
 - se determină necoordonarea din inel $\Delta H_I = \sum (h_{ik})_{inel}$ pentru pierderile de sarcină, extinzînd însumarea pentru toate muchiile care formează inelul;
 - se determină necoordonarea pierderilor de presiune pentru noduri: $\Delta h_I = \sum (h_{ik})_{nod}$ extinzînd însumarea pentru toate muchiile care sînt vecine nodului dat;
 - necoordonarea este indicată în figură printr-o săgeată care pornește sau vine spre nodul în care există o necoordonare;
 - semnele h_{ik} sînt (+) dacă Q corespunzătoare merge în sensul acelor de ceasornic în inelul dat;
 - h_{ik} va fi (+) dacă h_{ik} în muchia rețelei principale va porni pe conturul conjugat cu nodul dat în sensul acelor de ceasornic;
 - pentru determinarea valorii debitelor necunoscute în muchii vom avea ecuații de forma: $\sum h_{ik} = 0$, pentru toate inelele și $m-1$ ecuații de forma: $\sum (q_{ik} + Q) = 0$ pentru toate nodurile;
 - $n-1$ ecuații de forma $\sum (q_{ik} + Q_i) = 0$ pentru inele și m ecuații de forma $\sum h_{ih} = 0$ pentru noduri;
- Deci numărul de ecuații pentru aflarea necunoscutelor este suficient.
- În procesul coordonării rețelei prin metoda egalizării presiunilor se păstrează în permanență bilanțul Q în noduri și prin metoda aproximărilor succesive se realizează bilanțul pierderilor de presiune în inele ca
 - Se păstrează bilanțul Q în inele și bilanțul h în noduri; prin redistribuirea pierderilor de presiune în muchii. Pentru Q de corecții se utilizează:

rezultat al redistribuirii debitelor în muchii. Pentru determinarea corecțiilor q în muchii în diferite inele se folosește formula:

$$\Delta h_j = \frac{\Delta q_j}{\frac{1}{2}(\sum \frac{1}{Mq})_j}$$

$$\Delta q_j = \frac{\Delta h_j}{2(\sum Mq)_j}$$

Ca o finalizare a acestei probleme din calculul rețelei adoptate spre exemplificare în fig.2.6 și în final 2.7, reiese că aplicarea principiului egalizării debitelor reprezintă o aplicație a grafurilor conjugate.

3.3. Exemple de probleme ale rețelei inelare rezolvate prin teoria grafurilor

Dacă în datele unui proiect de alimentare cu apă intră trasa stradală a ansamblului urban, deci lungimile și poziția conductelor rețelei sînt fixate anticipat, stabilirea celor mai avantajoase trasee ale conductelor principale în rețea reprezintă o problemă incertă.

Pe de altă parte, la o rețea în exploatare intervenind necesitatea amplasării unor noi consumatori, se pune problema de a cunoaște traseul pe rețea cu cele mai mari posibilități de satisfacere. Aceasta în cele din urmă înseamnă :

3.3.1. Găsirea drumurilor de valoare maximă în ipoteza de funcționare a unei rețele în ora de maxim consum respectiv în ora de minim consum (tranzit)

Pentru simplificare se vor considera două situații distincte:

- A) Rețea cu rezervor de trecere (fig.3.35).
- B) Rețea cu contrarezervor (fig.3.36).

Ambele cazuri reprezintă o tramă stradală corespunzătoare (fig.1.1 respectiv 2.6). Pentru cazul A, repartiția debitelor este făcută pentru ora de maxim consum, iar în cazul B pentru ora de minim consum.

Stabilirea traseelor principale pentru fiecare din cele două alternative, (pentru a răspunde acestei probleme) necesită încadrarea în limbajul adecvat teoriei grafurilor. Graful atașat acestei rețele, în ambele cazuri, este un graf

de tip König-Berge, alică o pereche de forma: $G=(X, \Gamma)$ unde

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_9\}$$

este mulțimea vîrfurilor (reprezentînd nodurile rețelei), iar Γ o aplicație multivocă a lui X în X avînd următoarele submulțimi - imagine nevide:

- $\Gamma(x_1) = \{x_2, x_4\}$
- $\Gamma(x_2) = \{x_3, x_5\}$
- $\Gamma(x_3) = \{x_6\}$
- $\Gamma(x_4) = \{x_5, x_7\}$
- $\Gamma(x_5) = \{x_6, x_8\}$
- $\Gamma(x_7) = \{x_8\}$

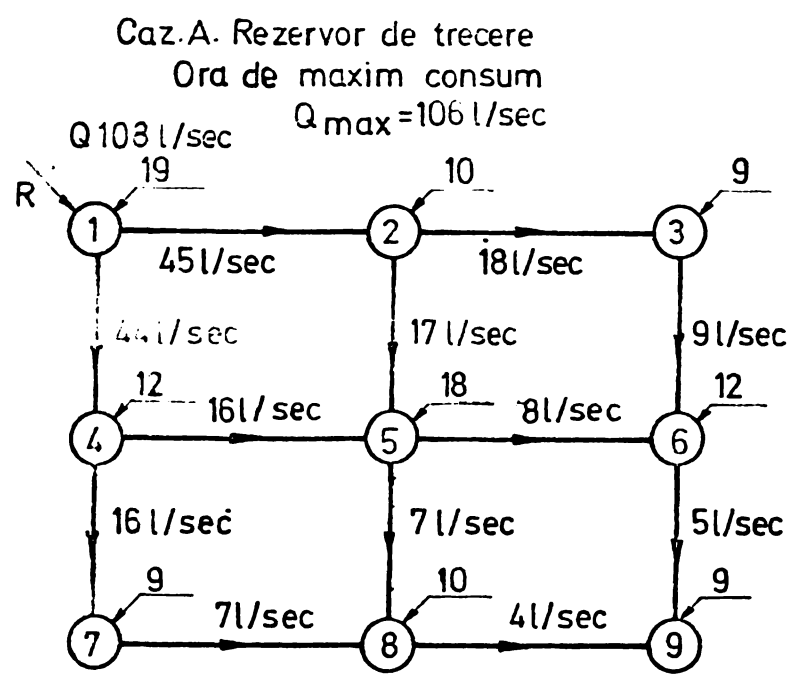
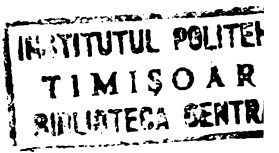


Fig. 3.35

Dintre numeroasele probleme relative la o asemenea rețea de transport care pot fi rezolvate utilizînd metodele cunoscute din teoria grafurilor, ne oprim la:

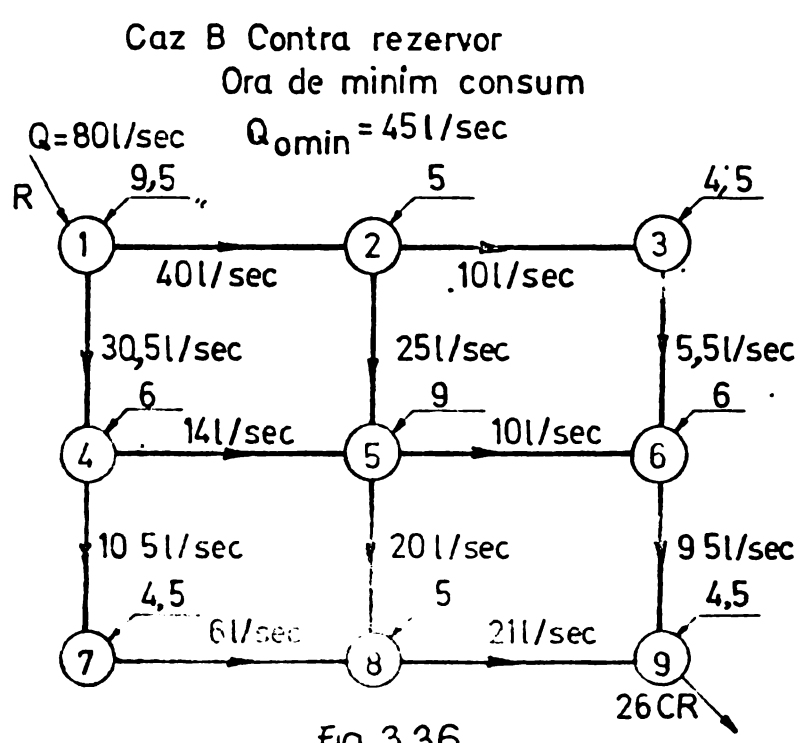


Fig. 3.36

Determinarea drumurilor de valoare maximă în cazul cînd valorizarea arcelor mulțimii X se face cu debite de tranzit pe tronsoanele rețelei.

Această alegere sugerată pe de altă parte prin aceea că, din punct de vedere matematic, valorizarea arcelor trebuie să se facă cu mărimea constantă,

iar debitele de tranzit sînt singurele care au această proprietate, pe fiecare tronson; pe de altă parte, din punct de vedere economic, prin aceea că aceasta este factorul principal care se ține seama atunci cînd se întocmesc planurile de perspectivă și chiar prognozele legate de extinderile ulterioare ale rețelei odată cu construirea unor noi microraiioane, ori de exploatare sporită a celei existente - odată cu racordarea unor consumatori suplimentari. În adevăr, sporirea debitului de con-

sun pe tronson oarecare este posibilă numai dacă debitele de tranzit pe tronsoanele incidente spre exterior cu nodul său din amonte permit acest lucru.

Eie deci $G = (S, U)$ graful asociat rețelei considerate, pentru care $|S| = 9$ și în care vârful $x_1 \in S$ nu are ascendenți, reprezentând nodul de intrare al rețelei iar vârful $x_9 \in S$ nu are descendenți, reprezentând nodul de ieșire.

În acest sens, este interesant în primul rând drumul $\mu_\alpha = [x_1, \dots, x_9]$ de valoare maximă în G , dar nu sînt lipsite de importanță nici alte drumuri $[x_k, \dots, x_\ell]$ ($k > 1, \ell < 9$) de valoare maximă.

În orice caz, drumurile de valoare maximă căutate vor fi toate drumuri elementare deoarece graful nu are circuite.

Se asociază grafului G , pentru cazul A, matricea valorică $A_t(G)$ (figura 3.37), în care valorile atribuite arcelor $v_{ij} = v(u_{ij})$ ($i, j = 0, \dots, 9$) reprezintă debitele de tranzit ale rețelei.

$A_t(G)$cazul A

0	35	$-\infty$	32	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$
0	9	$-\infty$	9	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$
0	$-\infty$	$-\infty$	3	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$
"	0	7	$-\infty$	7	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$
		0	2	$-\infty$	2	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$
$-\infty$		0	$-\infty$	$-\infty$	0	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$
			0	2	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$
			0	0	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$
				0	0	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$
					0	$-\infty$	$-\infty$	$-\infty$
						0	$-\infty$	$-\infty$
							0	$-\infty$
								0

Fig. 3.37

rezervor) pentru arcele (x_2, x_9) ($\alpha = 6, 8$), (x_9 fiind fără descendenți) s-a considerat debitul de tranzit nul.

Se calculează acum puterile succesive $A_t^\lambda(G)$ ($\lambda < 9$) ale matricii valorice $A_t(G)$ utilizînd operațiile generalizate:

$$a) \quad a \dot{x} b = a + b ; \quad b) \quad a \dot{+} b = \max. \{a, b\},$$

care potrivit unei teoreme [Berge pag. 103] [3] cunoscute, conține toate valorile maxime ale drumurilor formate din cel mult λ arce la intersecția liniei virfului din care începe drumul cu coloana celui în care se termină.

Avem $A_t^{(2)}(G)$ (fig. 3.38) și $A_t^{(3)}(G)$, (fig. 3.39).

$A_t^2(G)$ cazul A

0	35	$\boxed{44}$	32	$\boxed{44}$	$-\infty$	$\boxed{39}$	$-\infty$	$-\infty$
0	9	$-\infty$	8	$\boxed{12}$	$-\infty$	$\boxed{10}$	$-\infty$	
0	$-\infty$	$-\infty$	3	$-\infty$	$-\infty$	$\boxed{3}$		
	0	7	$\boxed{9}$	7	$\boxed{9}$	$-\infty$		
		0	2	$-\infty$	2	$\boxed{2}$		
$-\infty$		0	$-\infty$	$-\infty$	0			
			0	2	$\boxed{2}$			
				0	0			
					0			

Fig. 3.38

$A_t^3(G)$ cazul A

0	35	$\boxed{44}$	32	$\boxed{43}$	$\boxed{47}$	$\boxed{39}$	$\boxed{45}$	$-\infty$
0	9	$-\infty$	8	$\boxed{12}$	$-\infty$	$\boxed{10}$	$\boxed{12}$	
0	$-\infty$	$-\infty$	3	$-\infty$	$-\infty$	$\boxed{3}$		
	0	7	$\boxed{9}$	7	$\boxed{9}$	$\boxed{9}$	$\boxed{9}$	
		0	2	$-\infty$	2	$\boxed{2}$		
$-\infty$		0	$-\infty$	$-\infty$	0			
			0	2	$\boxed{2}$			
				0	0			
					0			

Fig.3.39

Pentru calculul lui $A_t^{(4)}(G)$ se poate folosi formula:

$$A_t^{(3)}(G) \times A_t^{(2)}(G) = A_t^{(4)}(G)$$

sau, în baza asociativității:

$$A_t^{(2)}(G) \times A_t^{(2)}(G) = A_t^{(4)}(G)$$

caz în care, pentru drumul 1-9, trebuie folosită concatenarea, acordând drumurile [1,2,3] și [3,6,9]. Vom reține doar prima linie

$$A_t^{(4)}(G) \Leftrightarrow 1 \begin{bmatrix} 0 & 35 & \boxed{44} & 32 & \boxed{43} & \boxed{47} & \boxed{39} & \boxed{45} & \boxed{47} \end{bmatrix}$$

Puterile $A_t^{(5)}(G)$ coincid cu $A_t^{(4)}(G)$, ceea ce corespunde și faptului că drumurile căutate sînt formate din cel mult patru arce (așa cum rezultă din proprietatea lui G demonstrată la pct. I: graful G are diametrul egal cu 4) și, deoarece toate drumurile de valoare maximă compuse enclau din 4 arce și au pe x_1 ca vîrf inițial, a fost suficient să păstrăm în $A_t^{(4)}(G)$ doar prima linie.

Astfel, se citește pe aceasta că, drumul de valoare maximă al grafului este $\mu_4 = [1, 2, 3, 6, 9]$, avînd valoarea 47. Această valoare reprezintă suma debitelor de tranzit pe tronsoanele care compun drumul; evident, ea însuși nu constituie un debit pentru că nu se referă la o anumită secțiune a conductelor rețelei.

Drumul maxim din orice alt nod $x_k (k \neq 1)$ în x_1 avînd cel mult trei arce, este citit în $A_t^{(3)}(G)$. Așa de exemplu, drumurile de valoare maximă din x_4 sînt: $[x_4, x_5, x_6, x_9]$, $[x_4, x_5, x_8, x_9]$ și $[x_4, x_7, x_9]$, toate trei avînd valoarea 9.

În cazul în care rețeaua este alimentată de un centru rezervor, se consideră în mod obișnuit ca fiind un debit pe arcele care pleacă din acest centru (ca în D) (Fig. 3.40).

Inseriile succesive ale acestei matrici $B_t(G)$ calculate in

$B_t(G)$cazul B

0	35	-∞	24,5	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞
0	55	-∞	20	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞
0	-∞	-∞	35	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞
0	10	-∞	6	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞
0	6	-∞	17	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞
-∞	0	-∞	-∞	8	-∞	-∞	-∞	-∞
0	4	-∞	-∞	-∞	16	-∞	-∞	-∞
0	0	-∞	-∞	-∞	-∞	18	-∞	-∞
0	0	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	0	-∞

Fig. 3.40

$B_t^2(G)$cazul B

0	35	² 40,5	² 24,5	² 55	⁴ 30,5	-∞	-∞	-∞
0	5,5	-∞	20	⁵ 26	-∞	⁵ 37	-∞	-∞
0	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	⁶ 11,5	-∞	-∞
0	10	⁵ 16	6	⁵ 27	-∞	-∞	-∞	-∞
0	6	-∞	-∞	-∞	⁸ 17	-∞	-∞	-∞
0	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	⁸ 22	-∞
0	4	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	18
0	0	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞
0	0	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	0

Fig. 3.41

log cu cele din cazul A, vor fi in figura 3.41 si figura 3.42

$B_t^{(3)}(G)$ și $B_t^{(4)}(G) \Leftrightarrow$ $\begin{bmatrix} 0 & 35 & 40,5 & 24,5 & 55 & 61 & 30,5 & 72 & 90 \end{bmatrix}$

Aici, drumul de valoare maximă este $\mu_B = [1, 2, 5, 8, 9]$ avind valoarea 90.

$B_t^3(G)$cazul B

0	35	² 40,5	² 24,5	² 55	⁴ 30,5	^{2,5} 72	-∞	-∞
0	5,5	-∞	20	⁵ 26	-∞	⁵ 37	^{5,5} 55	-∞
0	-∞	-∞	3,5	-∞	-∞	^{11,5} 11,5	-∞	-∞
0	10	⁵ 16	6	⁵ 27	^{5,8} 45	-∞	-∞	-∞
0	6	-∞	-∞	17	⁸ 55	-∞	-∞	-∞
0	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	8	-∞
0	4	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	⁸ 22
0	0	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	18
0	0	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞	-∞

Fig. 3.42

Astfel una dintre problemele de optimizare sursa-consumator ce pot fi exprimate prin grafuri, este și alegerea traseului optim în cadrul unei distribuții zonale când se dispune de o sursă și „n” consumatori.

Practic, prin metoda indicată în lucrare, se obține traseul rețelei cu posibilități de exploatare maximă.

3.3.2. Influența asupra unui drum principal dintr-o rețea inelară de alimentare cu apă a celorlalte trasee ale rețelei

S-a considerat că nu este lipsit de interes studiul influenței pe care o au asupra debitelor dintr-un anumit tronson, ca

lelalte tronsoane ale unui traseu al rețelei, cât și influența altor trasee asupra celui ales. În această idee sînt necesare formule de recurență care să permită trecerea de la un tronson la altul adiacent și, de aici determinarea debitului Q_x într-un punct arbitrar situat la distanța x de nodul din amonte al tronsonului cărui îi aparține, în funcție de debitul inițial de tranzit $(Q_t)_0$ notat Q_0 ce intră în rețea.

Se consideră deci o rețea de alimentare cu apă prevăzută cu un rezervor de trecere R și un contrarezervor CR într-un moment T al zilei intermediare orei de maxim consum și celei de minim consum.

Fie G' graful asociat acestei rețele.

Se presupune că la momentul T ales, acea parte a rețelei care este alimentată numai de rezervorul R este inelară și are v noduri. Se notează prin G subgraful lui G' asociat acesteia. În figura 3.43, prezentată aici ca o exemplificare, arcele lui G sînt marcate prin linii continue.

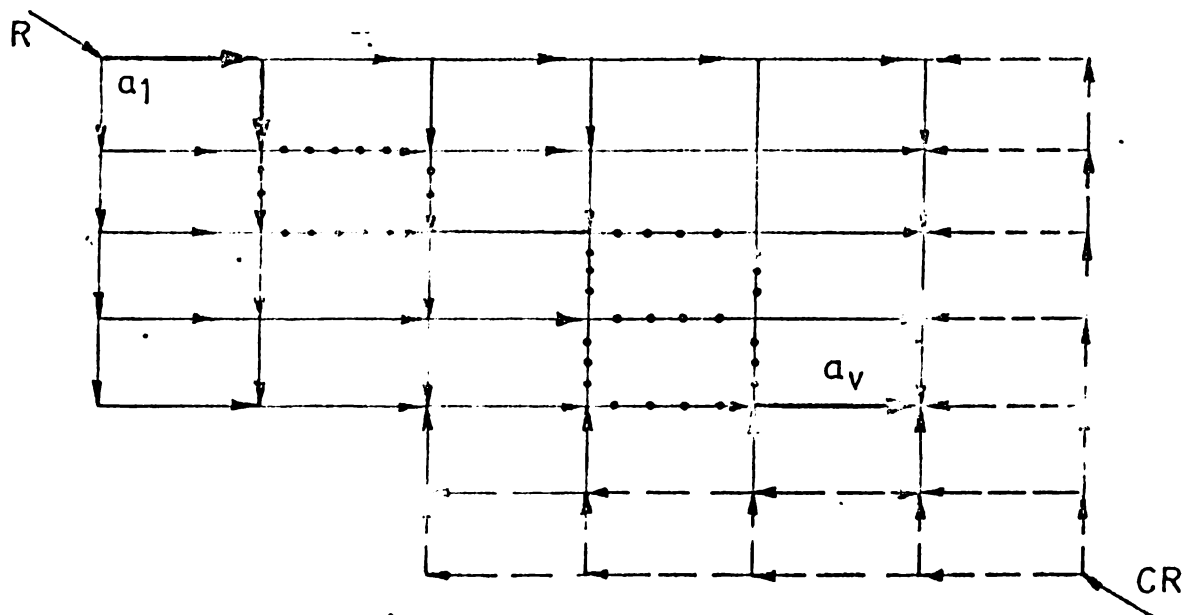


Fig. 3.43

Fie U mulțimea arcelor și $S = \{a_1, a_2, \dots, a_v\}$ mulțimea vîrfurilor subgrafului respectiv. Vîrfurile a_α ($\alpha=1, 2, \dots, v$) reprezintă în G nodurile rețelei (numerotate în cele ce urmează prin cifre încercuite). Se presupune, de asemenea, că debitul inițial Q_0 , care intră în rețea prin vîrfurile a_1 este maxim și că debitul final $(Q_t)_v^{not} = Q_v$ în vîrfurile a_v este minim - ambele extreme fiind relative la debitele rețelei, se vor alege în G drumuri (deoarece G este un graf orientat) de forma :

$$\mu = (a_1, \dots, a_v)$$

Cum rețeaua al cărei model matematic este graful G , este o rețea inelară, vor exista mai multe posibilități de alegere a drumurilor μ de tipul considerat.

Se fixează atenția asupra unuia din ele, μ , care va fi numit drum principal, în raport cu celelalte drumuri $\mu\alpha$, ale lui G considerate pentru moment ca drumuri secundare.

De aici apare necesitatea analizării a două cazuri:

- A - când toate drumurile secundare ale rețelei sînt închise;
- B - când drumurile respective (nu neapărat toate) sînt deschise.

Prin noțiunea de drum închis se înțelege un drum secundar $\mu\alpha$, care, sau :

a. - nu are arce comune cu μ și fiecare arc al său incident spre exterior cu un vîrf $a_k \in \mu$ reprezintă un tronson închis cu robinet în nodul a_k al rețelei, sau :

b. - are arce comune cu μ și fiecare arc al său μ_{l+1} , care nu aparține lui μ , adiacent cu arcul $\mu_l \in \mu$ reprezintă un tronson închis cu robinet în nodul din amonte.

Cazul A - Se presupune că drumul μ constituie un subgraf parțial orientat $G=(\tilde{S}, \tilde{U})$ al lui G cu $n+1 (< v)$ vîrfuri și n arce așa ca primul său vîrf a_1 să reprezinte nodul 0 iar vîrfurile a_v - nodul n al unei subrețele constituită dintr-un șir finit de n tronsoane cu lungimile l_i , ($i = 1, 2, \dots, n$).

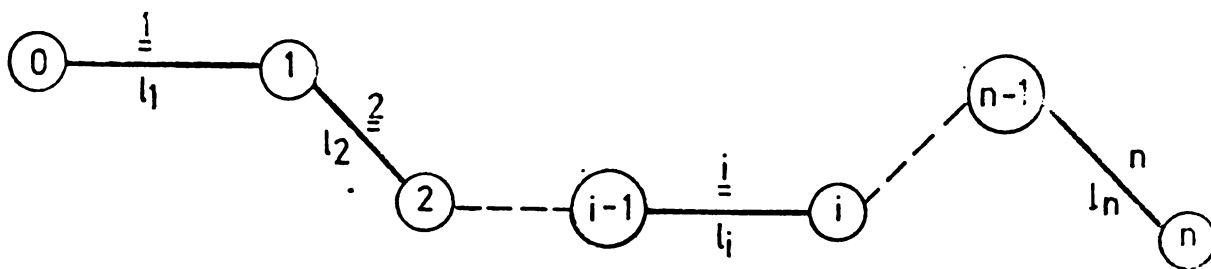


Fig. 3.44

Notînd prin $(Q_c)_i$ debitul prevăzut (disponibil) pentru consum pe tronsonul i , prin $(Q_{c,x})_i$ debitul consumat pe tronsonul între nodul $i-1$ și un punct arbitrar al tronsonului situat la distanța x de nodul din amonte al acestuia, calculat după cum știe [89] cu formula $Q_{cx} = Q_{sp} \cdot x$, se poate scrie relația : (știind seama de faptul că: $0 \leq x \leq l_i$):

$$Q_{cli} = (Q_c)_i \quad (5.8)$$

În fine dacă $(Q_t)_i$ este debitul de tranzit pe tronsonul i și $(Q_x)_i$ debitul în punctul arbitrar considerat pe tronsonul respectiv, diagrama care ilustrează dependența acestor debite

presupuse distribuit uniform, va fi:

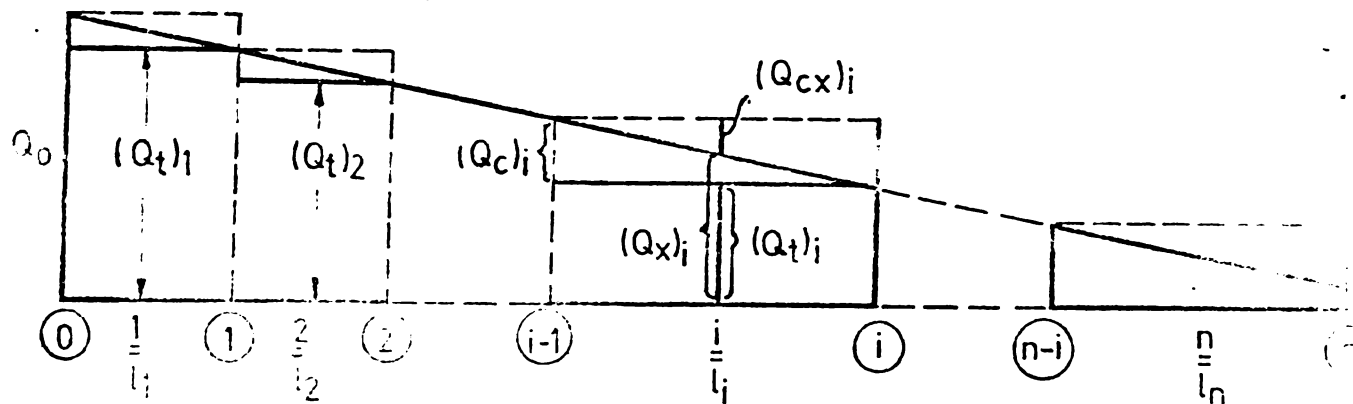


Fig. 3.45

Scriindu-l pe $(Q_x)_i$ în două noduri din diagrama de mai sus:

$$(Q_x)_i = (Q_t)_{i-1} - (Q_{cx})_i \text{ sau } (Q_x)_i = (Q_t)_i + (Q_c)_i - (Q_{cx})_i \quad (3.9; 3.10)$$

rezultă:

$$(Q_t)_{i-1} = (Q_t)_i + (Q_c)_i ; \quad (3.11)$$

adică debitul de tranzit pe tronsonul $i-1$ trebuie să fie egal cu suma dintre debitul de consum pe tronsonul i și debitul de tranzit pe tronsonul i . Pentru $i = 1$ în membrul stîng din (3.11) se poate scrie $(Q_t)_0 = Q_0$ debitul inițial, iar pentru $i = n$ în membrul drept din (3.11) primul termen $(Q_t)_n = Q_v$, se poate considera, de obicei, nul. Scriind (3.11) pentru toate valorile $i = 1, 2, \dots$ se obține iterativ formula evidentă :

$$Q_0 = \sum_{i=1}^n (Q_c)_i \quad (3.11')$$

Dar cum Q_0 este cunoscut, exprimarea debitului într-un punct oarecare al subrețelei alese în raport cu debitul inițial poate fi dată prin relația:

$$(Q_x)_i = Q_0 \left(1 - \frac{X}{l}\right) \quad (3.12)$$

unde $X = \alpha + \sum_{k=1}^{i-1} l_k$ iar l este lungimea totală a subrețelei reprezentată prin drumul $u = \tilde{G}$ în G

Cazul B - Fixînd atenția asupra nodului $i-1$ cu $i=1, 2, \dots, n$ și considerînd toate drumurile secundare μ_α cu extremitățile terminale în acest nod și cu cele inițiale în unul din nodurile (j) ($0 \leq j < i-2$) se notează prin $S_{i-1} \in \mathcal{N}$ numărul drumurilor de acest fel. Analog, numărul drumurilor secundare μ_β avînd fiecare extremitatea inițială în nodul considerat și extremitatea finală din nodurile (k) ($i < k \leq n$), se notează prin $P_{i-1} \in \mathcal{N}$.

Fie u_{i-1}^+ arcul comun tuturor drumurilor μ_α , adică

$$u_{i-1}^+ \in \bigcap_{\alpha=1}^{S_{i-1}} \mu_\alpha = U_{S_{i-1}}^+ \quad (3.13)$$

incident spre nodul $(i-1)$ și u_{i-1}^- arcul comun tuturor drumurilor μ_β adică

$$u_{i-1}^- \in \bigcap_{\beta=1}^{P_{i-1}} \mu_\beta = U_{P_{i-1}}^- \quad (3.14)$$

incident spre exterior cu a_1 și a_2 fiind vîrfurile grafului \tilde{G} corespunzător nodului $(i-1)$.

Dacă se înseamnă prin $(Q_t^+)^{i-1}$ debitul de tranzit pe U_{i-1}^+ , prin $(Q_0^-)^{i-1}$ debitul de intrare pe U_{i-1}^- , devine evidentă ecuația

$$(Q_t^-)^{i-1} + (Q_t^+)^{i-1} = (Q_0^-)^{i-1} + (Q_c)_i + (Q_t)_i \quad (3.1)$$

analoagă lui (3.11) corespunzătoare cazului A.

3.4. C o n c l u z i i

În acest capitol, urmărind unele aspecte din calculul rețelelor de distribuție a apei, studiul a fost condus din punct de vedere al teoriei grafurilor cu ajutorul căreia pot fi găsite câteva rezultate importante. Incadrarea generală a problemei în limbajul adecvat teoriei grafurilor a permis să se înregistreze proprietățile geometrice principale, a formei rețelei prin tocuirea unor matrici; avînd imaginea matricială, se poate reconstrui ușor rețeaua inițială dată. De asemenea, în problemele de transformări teoretice ale rețelelor înelare în rețele ramificate în scopul simplificării sau clasificării calculurilor, exprimarea sensului teoriei grafurilor contribuie pozitiv la stabilirea compatibilității sistemului de ecuații; problema legată de alegerea unor contururi teoretice independente în sistem adică, unor cicluri. Astfel, deoarece fiecărui contur din rețea îi corespunde o anumită ecuație pentru legătura hidraulică, obținerea sistemului de ecuații independente garantează găsirea unui sistem de ecuații.

Prin studiul grafurilor conjugate, s-a adus precizie în orientarea lucrărilor obținute în grafuri conjugate introducînd o regulă de orientare. Pornind de la relația lui Euler s-a obținut o legătură între lungurile ciclurilor ale grafului dat și ale celui conjugat. S-au găsit în evidență câteva proprietăți ale grafurilor conjugate, s-a dat noțiunile de conjugare a grafurilor o individualizare a contururilor pentru grafurile rețelelor înelare.

Această proprietate a conjugării grafurilor corespunde principiului de interdependență între sistemele debitelor necunoscute de apă și presiunile necunoscute în calculul hidraulic al rețelelor de apă. De fapt, calculul rețelei din fig. 1.1, prin căutarea debitelor necunoscute (vezi tabelul 2.4) reprezintă o aplicație a conjugării grafurilor.

S-a studiat în viziune celor mai avantajase trasee ale ductelor principale începând dintr-unul din rețea cu cele mai mari posibilități de satisfacere a noilor consumatori. S-a determinat drumul de valoare maximă pentru un maxim consum și de minim consum. S-a studiat de asemenea influența asupra unui drum principal dintr-o rețea înclanarea celorlalte trasee ale rețelei.

C A P I T O L U L 4

ASPECTE DIN CALCULUL HIDRAULIC AL CONDUCTELOR DE APA

4.1. Notiuni introductive

Pierderea de sarcină în conducte circulare datorită frecării fluidului de conductă, are matematic expresia:

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{D} \cdot \frac{\gamma}{2g} \cdot v^2$$

respectiv:

$$\frac{\Delta p}{\gamma} = h = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Considerând pentru apă $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$, se obține expresia pantei:

$$J = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

În aceste formule semnificația termenilor este: Δp = căderea de presiune, L = lungimea conductei, D = diametrul interior al conductei, γ = greutatea specifică a fluidului, g = accelerația gravitațională, v = viteza medie de mișcare a apei, h = pierdere de sarcină, λ = coeficientul de rezistență hidraulică Weisbach-Darcy, număr fără dimensiuni, dependent de numărul Re al mișcării și de rugozitatea relativă a pereților conductei.

Referitor la regimul mișcării apei în conducte circulare și la condițiile de tranziție constantă, se deosebesc mișcările laminare și turbulente. Identificarea uneia sau alteia din aceste regimuri este determinată de numărul lui Reynolds (Re):

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

în care ν este vîscozitatea cinematică a fluidului avînd expresia:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

η fiind vîscozitatea dinamică iar ρ densitatea fluidului. Deci numărul Re implică proprietățile fluidului (apei) în mișcare. Așezînd nunitul număr critic al lui Re , notat Re_{crit} , avînd valoarea 2320 indică punctul de schimbare, în care mișcarea apei trece din regimul laminar în regimul turbulent.

În domeniul circulației laminare este valabilă pentru conducte netede și cu asperități, legea lui Hagen-Poiseuille:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

În mod curent însă, în conductele de distribuție a apei potabile, sînt mereu existente condițiile regimului turbulent cu trei domenii de comportare diferită pentru pierderea de presiune:

- regim turbulent în conducte netede în care coeficientul este funcție numai de numărul Re ;
- regim turb. lent de tranziție în care este funcție de numărul Re și rugozitatea (relativă K , absolută k) a pereților con-

ductei;

c. - regim turbulent pătratic, în care λ este funcție numai de rugozitate.

Trebuie menționat că la dimensionarea, respectiv verificarea rețelelor de distribuție inelare a fost adoptat fără rezerve calculul hidraulic al conductelor tehnice în zona pătratică a regimului turbulent. Deoarece acest regim include valoarea coeficientului de rezistență funcție numai și numai de rugozitate, se ridică firesc întrebarea dacă considerând regimul real de tranziție, prin adoptarea valorii corecte a lui $\lambda=f(Re, K)$ în rețeaua de distribuție nu apar diferențe sensibile.

4.2. Reconsiderarea calculului în coordonatele impus de regimul turbulent tranzitoriu

Această problemă necesită o atentă selectare a formulelor prezentate de diferiți autori, pentru coeficientul λ . În final, prin calcule comparative, procentuale, se propune expresia lui considerată cea mai adecvată alături de cea a lui C-W pentru a fi folosită în dimensionarea - verificarea rețelei, în ipoteza regimului turbulent tranzitoriu. Literatura tehnică actuală are la dispoziție multe formule explicite și implicite pentru valoarea coeficientului λ în cele trei domenii de turbulență, în funcție de diferiți parametri ca: viteza (v), diametrul conductei (D), rugozitatea relativă (K), rugozitatea absolută (k), numărul Re , materialul conductei, uzura și condițiile de exploatare.

În domeniul turbulent pătratic s-au impus formulele lui Nikuradze : $\lambda = \frac{0.021}{D^{0.3}}$ și ale lui Manning, care de fapt s-a extins insuficient justificat și în regimul tranzitoriu.

În domeniul turbulent tranzitoriu a cărui reconsiderare calculul rețelelor de apă, se urmărește în acest capitol, se marcă următoarele formule:

- 1) $\lambda = \frac{0.021}{D^{0.3}}$ F.A. Sevelev [5] Propusă pentru calculul conductelor de oțel și fontă vechi pentru $v > 1,2$ m/s (VN BOGEO)
- 2) $\lambda = \frac{0.0179}{D^{0.3}} \left[1 + \frac{0.867}{v} \right]^{0.3}$ F.A. Sevelev [5] - pentru $v < 1,2$ m/s
- 3) $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{D}{K_E} \right)$ Colebrook [5] - formulă valabilă pentru toate cele trei domenii din regimul turbulent [5]

- 4) $\lambda = 0,11 \left(\frac{k_s}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$ A.D. Altșul [5] - aproximează formula lui Colebrook
- 5) $\lambda = 0,1 \left(1,46 \frac{k}{D} + \frac{100}{Re} \right)^{0,25}$ A.D. Altșul [5] - valabilă pentru $k/D = 0,00008 - 0,01$
- 6) $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left[\frac{k}{3,7D} + \left(\frac{6,81}{Re} \right)^{0,9} \right]$ Frenkel [5] - o formulă operativă explicită
- 7) $\lambda = \frac{6,3406 \times 2g}{k^2} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{D}}$ Manning [89] - (K=83 pentru fontă și oțel vechi)
- 8) $\lambda = \frac{h \cdot D \cdot 2g}{L \cdot v^2}$ Manning [89] ($Q = A \cdot k \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}$)
- 9) $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,71D} \right)$ Colebrook-Whitte [17] - recomandată la Congresul de la Londra, 1955. Această formulă acoperă toate cele domenii ale regiunii turbulente.

De observat că, dacă de exemplu se calculează pierderea de sarcină în paralel prin formulele lui Colebrook-Whitte și Hagen-Williams [11]

$$h = \mathcal{E} l \quad \text{unde} \quad \mathcal{E} = \left[\frac{v}{0,35457 \cdot c \cdot D^{0,63}} \right]^{1,85}$$

(unde c = coeficient ce depinde de natura pereților, \mathcal{E} = pierdere specifică de sarcină). Pentru diferite valori k, raportul lor pentru $D = 100$ mm, pentru diferite materiale, este funcție de viteză și rugozitate. Alegerea lui k este determinant, pentru ca valorile pierderilor să fie identice sau nu.

- 10) $\lambda = \frac{1}{4 \Delta c^2}$ V. Gheorghiu [39] - reprezintă o sistematizare a formulelor coeficientului λ , (îmbunătățește prin o corecție Δ cu precizări în cele ce urmează).

În domeniul turbulent în conducte netede se remarcă formulele :

- 11) $\lambda = \frac{0,3154}{Re^{0,25}}$ Blazius [69] - valabilă pentru $4000 < Re < 100.000$
- 12) $\lambda = \frac{1}{(1,8 \log Re - 1,64)^2}$ Filonenko Altșul [69] - pentru $Re > 4000$

13) $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log (Re \sqrt{\lambda}) - 0,8$

Prandtl-Nikuradze [17]

14) $\lambda = \frac{1}{(1,8 \log Re / 15)^2}$

Konokov

[25]

Deoarece Congresul de alimentări cu apă de la Londra [11] recomandă pentru regimul tranzitoriu formula lui Colebrook-Whitte pentru coeficientul λ , în cele ce urmează s-au calculat valorile lui λ cu formulele selectate pentru regimul tranzitoriu și s-au comparat valorile primite prin formula Colebrook-Whitte. Toate datele de calcul aparțin rețelei luate în studiu (fig.4.46)

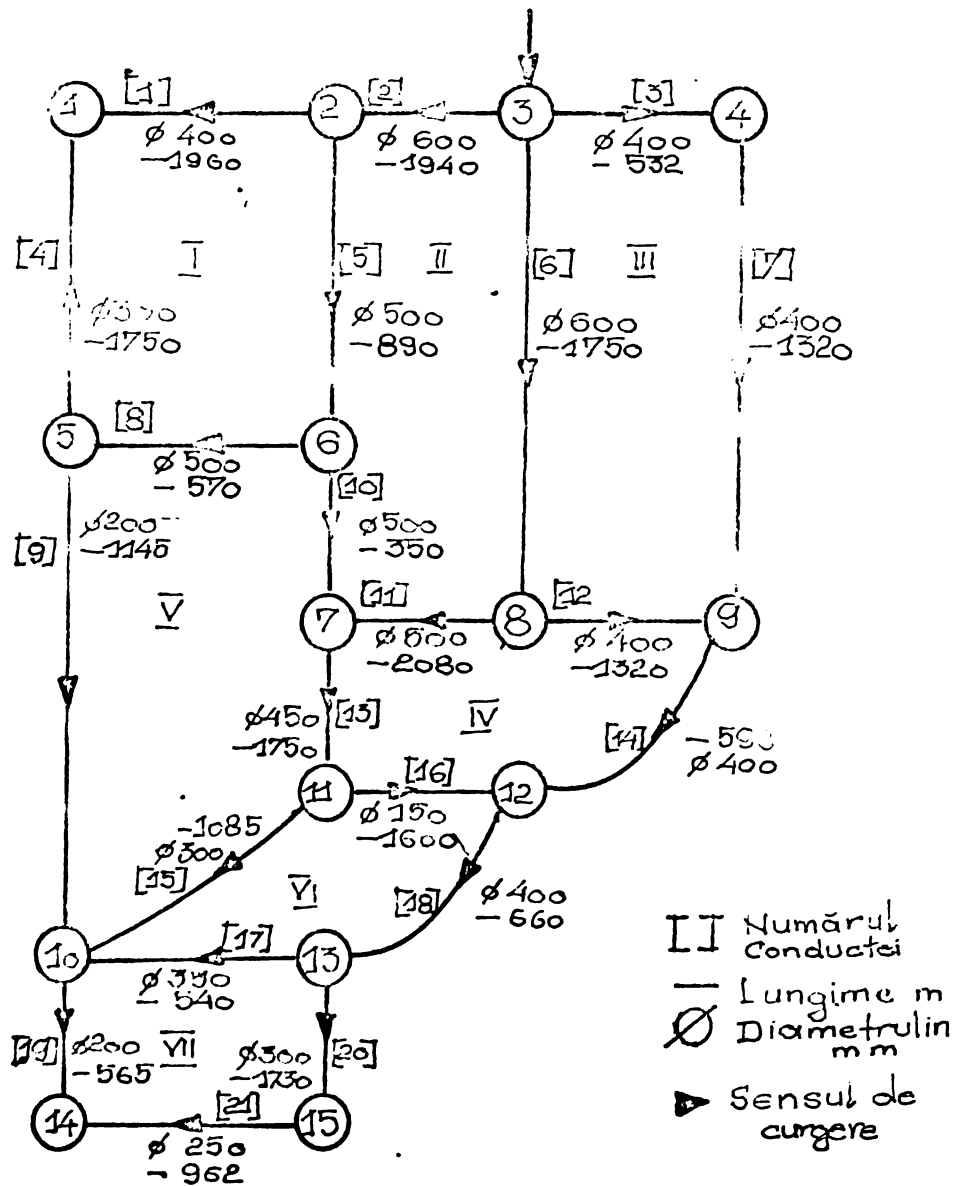


Fig 4 46

În tabelul 4.5 sînt trecute valorile λ după Colebrook-Whitte pentru diametrii ce aparțin rețelei din fig.4.46, calculate pentru viteza minimă și maximă luînd în considerare ca bază de pornire viteza absolută $k = 1 \text{ mm}$.

În tabelul 4.6 sînt trecute rezultatele calculului pentru valorile λ cu formulele selectate pentru regimul tranzitoriu.

S-a considerat calculul după valorile crescînde ale vitezei și în coloana inițială nr.1 sînt trecute conductele rețelei.

Tabelul 4.5

D (m)	J (panta)	V (m/sec)	λ
0,150	0,100	2,97	0,0330
	— 0,00077	0,25	0,0364
0,200	— 0,100	3,59	0,0306
	— 0,00077	0,31	0,0314
0,250	— 0,100	4,25	0,0284
	— 0,00077	0,35	0,0309
0,300	— 0,100	4,66	0,0271
	— 0,00077	0,40	0,0282
0,350	— 0,100	5,15	0,0260
	— 0,00077	0,44	0,0272
0,400	— 0,100	5,61	0,0249
	— 0,00077	0,48	0,0262
0,450	— 0,100	6,05	0,0241
	— 0,00077	0,52	0,0251
0,500	— 0,100	6,46	0,0235
	— 0,00077	0,56	0,0241
0,600	— 0,100	7,25	0,0244
	— 0,00077	0,63	0,0228

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

Tabelul 4.6

Nr. crt.	Conducta	v m/sec.	Sevelev 0,30	Sevelev 0,25	Altsul (4)	Altsul (5)	Frenkel (6)	Manning (7)	Manning (8)	Gheorghiu (10)	C-W (9)
1	10	0,475	0,03002	0,02758	0,02426	0,02368	0,0240	0,0228	0,0229	0,02461	0,0244
2	21	0,705	0,03008	0,03092	0,02848	0,02831	0,0294	0,0288	0,0282	0,029235	0,02921
3	4	0,815	0,03192	0,02898	0,02710	0,02706	0,0246	0,0271	0,02688	0,027726	0,0273
4	12	1,025	0,02839	0,02624	0,02509	0,02405	0,0254	0,0246	0,02451	0,024936	0,0249
5	13	1,085	0,02713	0,02530	0,02434	0,02375	0,0241	0,0234	0,02339	0,02401	0,0242
6	5	1,139	0,02612	0,02451	0,02368		0,02462	0,0228	0,02268	0,02388	0,0237
7	20	1,150	0,03040	0,02782	0,02690		0,02710	0,0271	0,02665	0,027540	0,0275
8	9	1,180	0,03422	0,03074	0,02967	0,03027	0,0319	0,0312	0,03093	0,031705	0,0308
9	17	1,275	0,02877	0,02730	0,0258	0,02535	0,02575	0,0257	0,02534	0,025780	0,0261
10	1	1,345	0,02764	0,02640	0,02497			0,0246	0,02436	0,02480	0,02530
11	15	1,450	0,03014		0,0269	0,02677	0,02780	0,0271	0,0269	0,027400	0,0270
12	19	1,480	0,03403	0,03143	0,02967	0,03016	0,03170	0,0312	0,03129	0,03199	0,0310
13	8	1,520	0,02587	0,02497	0,02357		0,0232	0,0228	0,02256	0,02328	0,0227
14	11	1,535	0,02587	0,02487	0,023570	0,02293	0,0232	0,0228	0,022570	0,02313	0,0234
15	6	1,550	0,02548	0,02386	0,02243	0,02183	0,0246	0,0216	0,02139	0,02186	0,0218
16	18	1,600	0,02764	0,02640	0,02483		0,0247	0,0246	0,02139	0,0245	
17	7	2,220	0,02764	0,02640	0,02483		0,0247	0,0246	0,02433	0,02452	0,0244
18	3	2,290	0,02764	0,02640	0,02481		0,0247	0,0246	0,02447	0,02462	0,0245
19	2	2,430	0,02447	0,02386	0,02240	0,02177	0,0219	0,0216	0,02170	0,02181	0,0220
20	14	2,440	0,02764	0,02640	0,02481	0,024284	0,0246	0,0246	0,02467	0,02451	0,0250
21	16	2,50	0,03719	0,03376	0,03167	0,033166	0,0366	0,0336	0,03327	0,03557	0,0340

fig. 4.46 corespunzătoare acestei viteze.

În tabelul 4.7 sînt trecute diferențele în procente, pentru valorile lui λ din tabelul 4.6 față de valorile λ calculate cu formula Colebrook-Whitte (respectiv prof. V. Gheorghiu în tabelul 4.7¹). Se observă că cele mai apropiate valori față de formula Colebrook-Whitte, sînt date de formula (4) a lui Altșul.

Tabelul 4.7.

Nr. cond.	2 Sevelev	3 Sevelev	4 Altșul	5 Altșul	6 Fränkel.	7 Manning.	8. Manning.
10	+23,033	+13,033	-0,574	-2,951	-1,639	-6,557	-6,14
21	2,978	+5,854	-2,499	-3,081	0,650	-1,404	-3,450
4	16,923	6,154	-0,733	-0,879	-9,890	-0,734	-1,533
12	14,016	5,331	0,763	-3,414	2,008	-1,205	+0,408
13	12,107	+4,545	+0,578	-1,859	-0,413	-3,306	-3,347
5	10,211	3,418	0,084	—	+3,882	-3,797	-4,304
20	10,545	1,164	2,182	—	1,454	1,454	-3,091
9	11,104	-0,195	-3,669	+1,721	3,571	1,299	0,422
17	10,230	4,598	-1,149	-2,873	-1,341	-1,532	-2,912
1	8,947	4,060	-1,577	—	—	-3,035	-3,981
15	10,403	—	-1,465	-1,941	+1,831	-0,733	-1,465
19	10,847	2,378	-3,355	-1,759	+3,257	1,628	1,922
8	9,072	5,359	-0,548	—	-2,109	3,797	4,810
11	10,47	+6,573	0,726	-2,008	-0,855	-2,564	-3,547
6	10,27	7,477	1,036	-1,667	+0,811	-2,703	-3,649
18	10,119	5,179	-1,076	—	1,594	-1,992	-4,781
7	10,119	5,179	-1,076	—	-1,594	-1,992	-3,068
3	11,452	6,452	+0,040	—	-0,403	-0,806	-1,331
2	8,80	6,044	-0,444	-3,244	-2,667	-4,000	-3,555
14	10,56	5,6	-0,76	-2,864	-1,6	-1,6	-1,52
16	11,078	1,078	-5,180	+0,617	+9,581	-0,599	-0,389

În tabelul 4.7¹ s-a făcut și o comparație a valorilor obținute cu formulele din tabelul 4.6 față de valorile λ obținute prin studiul de sistematizare a prof. V. Gheorghiu ajungînd la aceeași concluzie ca și din tabelul 4.7.

În tabelul 4.8 s-au calculat valorile lui λ numai cu formula Colebrook-Whitte, care fiind implicită, are nevoie de o valoare λ de pornire. Prin încercări, a căror număr depinde foarte mult de experiența proiectantului, se obține valoarea lui λ care să satisfacă relația. S-a desprins astfel ideea, de a găsi o valoare de pornire pentru λ care să fie cât mai aproape de rezultatul din tabelul 4.6, dar care să nu fie luată la întîmplare - respectiv să nu depindă de experiența proiectantului, ci să se bazeze pe o formulă explicită, ușor de calculat.

Tabelul 4.7.

Nr. cond.	/	/	/	/	/	/	/
	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
10	+21 983	+12 068	-1 422	-3 779	-2 479	-7 355	6 948
21	+ 5 782	+ 2 908	-2 556	-3 147	+0 581	-1 471	-3 524
4	+15 11	+ 4 508	-2 272	-2 416	-11 287	-2 272	-3 065
12	+13 83	+ 5 213	+0 601	-3 568	+1 844	-1 363	-1 724
13	+12 994	+ 5 372	+1 374	-1 083	+0 375	-2 541	-2 582
5	+ 3 38	+2 638	-0 837	—	+3 099	-4 523	-5 025
20	+10 385	+1 017	-2 324	—	-1 598	-1 598	-3 232
9	+ 7 915	-3 059	-6 433	-4 541	0 599	-1 608	-2 459
17	+11 555	+5 855	+0 038	-1 706	-0 155	-0 349	-1 745
1	+11 452	+6 45	+0 635	—	—	-0 806	-1 774
15	—	—	-1 861	-2 335	+1 423	-1 131	-1 861
19	+ 7 724	-5 06	-6 078	-4 527	+0 348	-1 235	-0 949
8	+11 640	+7 259	+1 246	—	0 344	-2 062	-3 093
11	+11 76	+7 955	+1 902	-0 865	0 303	-1 427	-2 421
6	+11 985	+9 149	+2 607	-0 137	+12 534	-1 189	-2 15
18	+12 084	+7 056	+0 689	—	-0 162	-0 243	-13 260
7	+12 256	+7 230	+0 853	—	+0 325	-0 081	-1 179
3	+12 266	+7 230	+0 772	—	+0 325	-0 081	-0 609
2	14 076	9 399	+2 705	-0 183	+0 413	-0 963	-0 504
14	12 312	7 273	+0 813	-1 341	-0 041	0 041	0 041
16	3 429	-5 882	-11 709	-6 300	+2 035	-6 328	-7 248

Deci, în tabelul 4.8 sînt trecute valorile λ (Colebrook - Whitte) în care s-au întrodus ca valori inițiale cele obținute cu formulele din tabelul 4.6, evident tot pentru aceiași valoare a rugozității.

Se observă că valorile cele mai apropiate de rezultatele bune, corecte, sînt obținute, dacă se întrodus în formula Colebrook-Whitte valorile λ , calculate cu formula lui Frenkel.

Acest rezultat este reliefat în procente în tabelul 4.8'.

Urmărind în continuare facilitarea calculului lui λ , cu formule explicite, mai simple, chiar dacă ar fi utile numai pentru valori de pornire în formula lui Colebrook-Whitte, s-au studiat mai atent formulele (1) și (2) ale lui Sevelev.

S-a constatat că o simplă corecție a exponentului de la valoarea 0,3 la 0,25 nu numai că simplifică mult calculul înlăturînd logaritizarea, dar ceea ce este esențial, dă valori mult

Tabelul 4.8.

Nr. crt.	Nr. cond.	C-W 2	C-W 3	C-W 4	C-W 5	C-W 6	C-W 7	C-W 8
1	10	0,02429	0,02432	0,02438	0,02438	0,0266	0,02441	0,02438
2	21	0,02920	0,02919	0,02921	0,0292	0,0280	0,033715	0,02921
3	4	0,02756	0,02759	0,02761	0,02764	0,0268	0,02762	0,02761
4	12	0,02533	0,02535	0,02536	0,0254	0,0245	0,02536	0,02536
5	13	0,024507	0,02452	0,02453	0,02453	0,0234	0,02545	0,02453
6	5	0,02381	0,02382	0,02383	0,0231	0,0266	0,02383	0,02383
7	20	0,02739	0,02741	0,02742	0,02742	0,0268	0,02742	0,02742
8	9	0,03084	0,03087	0,03088	0,03086	0,0312	0,04451	0,03086
9	17	0,02616	0,02617	0,02618	0,0261	0,0253	0,02618	0,02618
10	1	0,02522	0,02523	0,02524		0,0245	0,02524	0,02526
11	15	0,02730		0,02733	0,02731	0,0268	0,02732	0,02732
12	19	0,03075	0,03076	0,03078	0,03076	0,0312	0,04388	0,03076
13	8	0,02371	0,02371	0,02372	0,02372	0,0266	0,02373	0,02372
14	11	0,023707	0,02371	0,02372	0,02372	0,0266	0,02373	0,02372
15	6	0,02254	0,002254	0,022546		0,0216	0,02255	0,02255
16	18	0,02509	0,02510	0,02511	0,02511	0,0245	0,02511	0,02511
17	7	0,02508	0,02508	0,02509	0,02509	0,0245	0,02509	0,02509
18	3	0,02507	0,02508	0,02508	0,02508	0,0245	0,02509	0,02509
19	2	0,02249	0,02249	0,02250	0,02231	0,0216	0,02250	0,02250
20	14	0,02506	0,02506	0,02507	0,02507	0,0245	0,02507	0,02507
21	16	0,03341	0,03343	0,03344	0,0334	0,0360	0,05808	0,03343

mai apropiate de cele considerate exacte prin Colebrook-Whitte.

Tabelul 4.9 ilustrează această observație prezentând rezultatele față de valoarea exactă, adică Colebrook-Whitte.

Studiul acestui paragraf a fost raportat la formula lui Colebrook-Whitte recomandată de Congresul de la Londra și în continuare, concluziile se vor reliefa tot în funcție de această formulă, dar se consideră demnă de interes o cercetare a unei lucrări a tovarășului prof. V. Gheorghiu, în lumina problemelor acestui capitol.

Tov. Prof. V. Gheorghiu, în lucrarea D-sale „Funcții de rugozitate pentru sistematizarea calculului rezistenței hidraulice a conductelor tehnice”, [10], se ocupă de două aspecte: perfectarea modelului matematic și sistematizarea calculului coeficientului λ ca aspect aplicativ al primei probleme.

Tabelul 4.8'

Nr. crt	Nr. cond.	g(2)	g(3)	g(4)	g(5)	g(6)	g(7)	g(8)
1	10	-0,451	0,164	-0,081	-0,082	+9,016	0,041	1,06
2	21	-0,034	0,068	0,0	-0,034	-4,142	15,423	0,1
3	4	+0,952	1,062	1,135	1,245	-1,831	1,172	0,74
4	12	+1,727	1,207	1,847	2,008	-1,606	1,847	1,72
5	13	+1,240	1,322	1,363	1,364	-3,306	5,165	1,97
6	5	+0,464	0,506	-1,687	-2,532	12,236	0,548	2,36
7	20	-0,400	-0,327	+0,29	-0,291	-2,545	-0,291	0,5
8	9	+0,130	0,227	-0,259	+0,195	1,299	44,513	2,63
9	17	0,230	0,268	+0,306	0	-3,065	0,306	1,31
10	1	-0,591	-0,552	-0,496	—	-3,429	0,512	1,84
11	15	0	—	0,26	0,037	-1,831	0,073	0,23
12	19	0,163	0,195	0,084	0,195	+1,629	42,932	2,63
13	8	0,042	0,042	1,367	0,084	12,236	0,126	1,91
14	11	1,312	1,325	1,576	1,367	13,675	1,410	2,52
15	6	1,531	89,847	0,039	—	-2,703	1,576	3,15
16	18	-0,0398	0	-0,039	+0,0398	-2,390	+0,0398	1,66
17	7	-0,0796	-0,0796	1,129	-0,0398	-2,390	-0,0398	1,9
18	3	1,089	+1,129	0,00	1,129	-1,209	+1,169	1,88
19	2	-0,044	-0,044	0,28	-0,844	-4	0	3,22
20	14	+0,24	0,24	0,119	+0,28	-2	0,28	1,27
21	16	+0,03	0,0898		0	7,784	73,892	1,92

Tabelul 4.9

Cond.	10	21	4	12	13	5	20
C-W	0,0244	0,02921	0,0273	0,0249	0,0242	0,0237	0,0275
S;30	0,03002	0,03098	0,03192	0,02839	0,02713	0,02612	0,03040
S;25	0,02733	0,03002	0,02898	0,02624	0,02530	0,02451	0,02782
	8	17	1	15	19	8	11
C-W	0,0300	0,0287	0,025366	0,0273	0,0307	0,0237	0,0234
S;30	0,03422	0,02877	0,02764	0,03014	0,03403	0,02585	0,02585
S;25	0,03074	0,02730	0,0260	0,02640	0,03143	0,0249	0,02497
	6	18	7	3	2	14	16
C-W	0,0222	0,0251	0,0251	0,0248	0,0225	0,0250	0,0334
S;30	0,02448	0,02754	0,02764	0,02700	0,02448	0,02704	0,03710
S;25	0,02386	0,02612	0,02640	0,02602	0,02386	0,02640	0,03376

D-sea introduce noțiunea de conductanță hidraulică cu următoarele relații de definiție:

- conductanță netedă $\chi_{C_0} = \frac{1}{2\sqrt{\lambda_0}} = 0,9 \log Re - 0,75$ (Kondr)

- conductanță rugoasă $\chi_{C_\xi} = \frac{1}{2\sqrt{\lambda_\xi}} = 0,57 - \log k$ (Nikuradze)

- conductanță mixtă $\chi = \frac{1}{2\sqrt{\lambda}} = -\log(10^{-\chi_{C_0}} + 10^{-\chi_{C_\xi}})$

Noile funcții de rugozitate, formate cu diferențele acestor mărimi, sînt: $\Delta_0 = \chi_{C_0} - \chi = \log(1 + 10^s)$ și $\Delta_\xi = \chi_{C_\xi} - \chi = \log(1 + 10^{-s})$ în care $s = \chi_{C_0} - \chi_{C_\xi}$ este argumentul de rugozitate al conductei.

În final intervin următoarele cazuri și relații în calculul coeficientului λ :

1. - conducte netede $s \leq -1,3$ fiind valabilă valoarea $\chi = \chi_{C_0}$;

2. - regim de tranziție $-1,3 \leq s \leq 0$ fiind valabilă valoarea

$$\chi = \chi_{C_0} - \Delta$$

regim de tranziție $0 \leq s \leq 1,3$ fiind valabilă valoarea

$$\chi = \chi_{C_\xi} - \Delta$$

3. - conducte rugoase $s \geq 1,3$ fiind valabilă valoarea $\chi = \chi_{C_\xi}$

În aceste formule $\lambda = \frac{1}{4\chi^2}$. Corecția Δ se calculează cu formulele:

$$\Delta = \log(1 + 10^{-|s|}) \cong 0,31 e^{-2/|s|}$$

și Δ fiind neglijabilă pentru $|s| \geq 1,3$, definește practic regimul de tranziție în intervalul $s \in [-1,3, 1,3]$.

Acest studiu s-a aplicat pentru o rețea de distribuție formată din 7.1ncle (fig.4.46) avînd datele de calcul necesare în tabelul 4.10 completat cu calculul coeficientului λ prin formula lui Manning pentru regim turbulent pătratic, ceea ce a permis o verificare a valorilor rugozității absolute k .

Se observă în coloana 11 valorile crescînde ale rugozității absolute pe măsura ce scade diametrul, dar menținîndu-se în jur de 1 mm, ceea ce a permis ca în calculele următoare să se adopte această valoare medie care reprezintă o medie reală rezultată din calcule, bazate pe măsurători pentru o rețea veche în exploatare (a orașului T.).

Coeficientul de rezistență λ , conform studiului prof. V. Gheorghiu, pentru rețeaua din fig.4.46 (rețea echivalentă celei reale a orașului T.), este calculat în tabelul 4.11.

Se ține seama de valoarea χ_{C_ξ} , Re , calculate în tabelul 4.10.

Acest calcul al coeficientului de rezistență hidraulică efectuat pentru rețeaua din fig. 4.46, atestă faptul că se obțin diferențe mai mici de 2 % față de formula implicită a lui Cole-

Tabelul 4.10

Cond.	D mm	Q m/sec.	v m/sec.	Re	L m	h m	λ_r	χ_r	$K = \frac{k}{D}$	k mm
1	400	169,27	1,345	412 000	1960	11,01	0 244	3,21	0,002291	0,916
2	600	688,06	2,43	1113 000	1940	21,12	0 218	3,41	0,00148	0,886
3	400	288,80	2,29	700 000	532	8,70	0 244	3,21	0,002291	0,916
4	300	057,73	0,815	187 000	1750	5,31	0 268	3,05	0,003312	0,994
5	500	223,48	1,139	434 000	890	2,67	0 227	3,32	0,001779	0,888
6	600	551,04	1,96	900 000	1750	12,22	0 214	3,41	0,00148	0,886
7	400	279,30	2,22	679 000	511	7,81	0 246	3,21	0,002291	0,916
8	500	297,85	1,52	580 000	570	3,03	0 227	3,32	0,001779	0,888
9	200	037,23	1,180	181 000	1145	12,57	0 310	2,84	0,005371	1,072
10	500	093,97	0,475	181 000	550	0,29	0 224	3,32	0,001779	0,888
11	500	300,69	1,535	585 000	2080	11,28	0 225	3,32	0,001779	0,888
12	400	128,75	1,020	312 000	1320	4,29	0 245	3,21	0,002291	0,916
13	450	172,72	1,085	372 000	1750	5,46	0 234	3,27	0,001996	0,899
14	400	308,75	2,44	741 000	598	11,17	0 246	3,21	0,002291	0,916
15	300	102,78	1,45	332 000	1085	10,43	0 270	3,05	0,003312	0,994
16	150	004,66	2,66	304 000	1600	1,28	0 3316	2,64	0,008512	1,278
17	350	122,55	1,275	342 000	540	3,24	0 253	3,15	0,002631	0,291
18	400	255,79	2,04	623 000	660	8,46	0 244	3,21	0,002291	0,916
19	200	046,96	1,48	226 000	565	9,87	0 314	2,84	0,005371	1,072
20	300	081,14	1,15	264 000	1730	10,36	0 268	3,05	0,003312	0,994
21	250	034,44	0,705	134 500	962	2,75	0 280	2,98	0,003891	0,973

brook-Whitte.

In calculele de verificare a unor rețele deja în exploatare, acest studiu permite stabilirea regimului hidraulic real și poate aduce infirmații în legătură cu rugozitatea conductelor.

Desigur, această sistematizare a formulelor coeficientului de rezistență ar fi mult, mult mai utilă dacă alegerea valorii

Tabelul 4.11

D	C	α	β	Δ	λ
600	2	4,68	1,27	0,0244	0,02181
	6	4,60	1,19	0,0286	0,02186
500	11	4,44	1,12	0,03297	0,02313
	8	4,44	1,12	0,03297	0,02328
	5	4,31	0,99	0,04305	0,02388
	10	3,97	0,65	0,08493	0,02461
450	13	4,26	0,99	0,04305	0,02401
400	14	4,52	1,31	0,02279	0,02461
	3	4,50	1,29	0,02348	0,02462
	7	4,49	1,28	0,02402	0,02462
	18	4,45	1,24	0,02604	0,02466
	1	4,30	1,09	0,03501	0,02480
	12	4,19	0,98	0,04372	0,024936
350	17	4,22	1,07	0,03646	0,025788
300	15	4,21	1,16	0,02980	0,027407
	20	4,11	1,06	0,03734	0,027544
	4	3,99	0,94	0,04275	0,027726
250	21	3,86	0,88	0,05575	0,029235
200	19	4,06	1,22	0,02695	0,031592
	9	3,98	1,14	0,03195	0,031705
150	16	3,286	1,55	—	0,0325

rugozității în calculele de proiectare, s-ar baza pe criterii certe.

Urmărind atent coeficientul de rezistență hidraulică exprimat prin formule care reprezintă domeniul de mișcare turbulent tranzitoriu al apei, evident formula Colebrook - - Whitte include cel mai bine coordonatele coeficientului λ , motiv pentru care și fost recomandată de Congresul

Totuși, coeficientii de proiectare, în curent formula

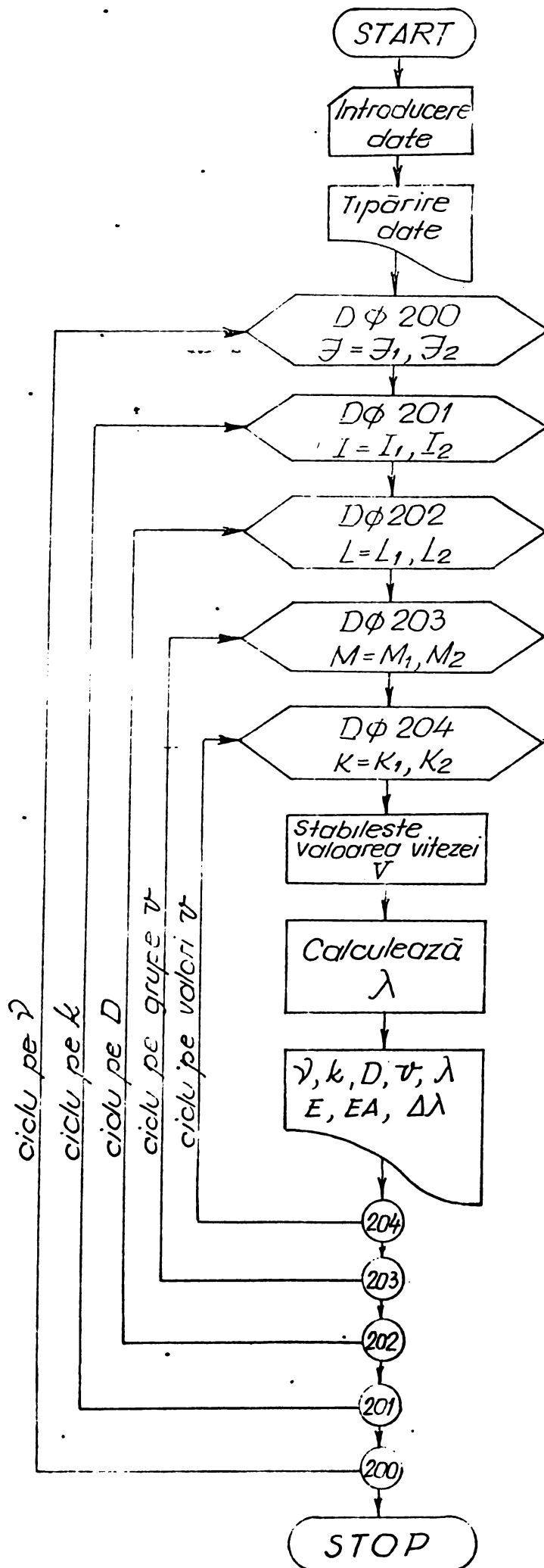
Manning, care evident, este mai simplă, în schimb presupune în rețea regimul turbulent pătratic.

Posibilitatea programării și a folosirii calculatoarelor elimină dificultățile calculului cu formula Colebrook-Whitte.

Pentru a veni în ajutorul proiectanților, s-a efectuat calculul coeficientului λ la calculatorul FELIX C 256 din București, pentru formula Colebrook-Whitte; la pag. 101 este Schema-bloc, în continuare notațiile FORTRAN. În figura 4.47 este explicitată grafic concepția de calcul a expresiei λ .

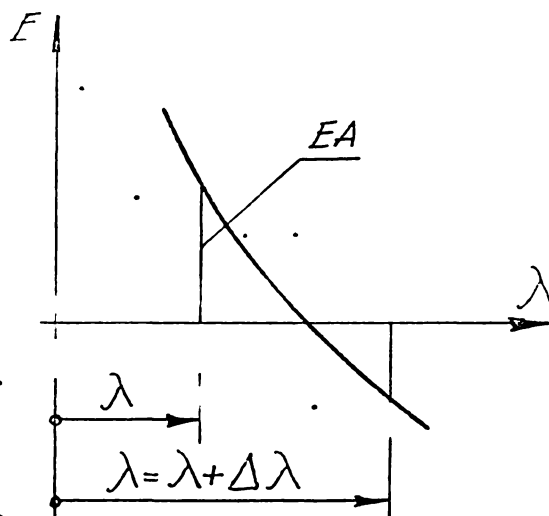
Programul este conceput pentru două valori a elementului k : 1,316 și 1,2066 (mm^2/sec), cinci valori pentru k : 1; 1,5; 0,4; 3 (mm); 25 valori pentru D și anume de la 100 mm la 1200 cu

101
SCHEMA BLOC



Notatii ASTRAN

D(L)	- tabloul valorilor D
v	- v
VNIU, (\mathcal{J})	- tabloul valorilor \mathcal{J}
VK(I)	- tabloul valorilor κ
DVLA	- $\Delta\lambda$
DVLA \emptyset	- $(\Delta\lambda)_0$
VLA	- λ
VLA \emptyset	- λ_0
E	- valoarea expresiei E
EA	- valoarea anterioară a expresiei E



EP3	- ε
$\mathcal{J}_1, \mathcal{J}_2$	- contoare care fixează domeniul valorilor din tabloul VNIU (\mathcal{J})
I1, I2	- contoare care fixează domeniul valorilor din tabloul VK(I)
L1, L2	- contoare care fixează domeniul valorilor D din tabloul D(L)
M1, M2	- contoare care fixează zecimea valorii vitezei v
K1, K2	- asigură pasul de 50 mm/sec la valoarea lui v

$$E = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} + 2 \log \left(\frac{2,51}{Re \cdot \lambda} + \frac{\kappa}{3,71 D} \right); \quad Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

$$E = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} + 2 \log \left(\frac{2,51}{v \cdot D \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\kappa}{3,71 D} \right)$$

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

... ..

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

pas de 50 mm. Viteza v este cuprinsă între 0,100 m/sec și 2,695 cu un pas de 50 mm/sec. La pag. 107 se dă un extras din rezultatele obținute. Pentru studii de proiectare - de verificare a rețelelor, care cer un grad de precizie mai mic (informativ), se recomandă (autorul tezei) ca hotărîrea Congresului pentru folosirea formulei Colebrook-Whitte, să nu fie considerată drept infailibilă. Existența unor formule, ca a lui Sevelov, Altsul, Frenkel, rivalizează cert cu formula Colebrook-Whitte datorită diferențelor mici (tabelele cu procente) și a simplității lor. Se recomandă de asemenea, popularizarea în sensul însușirii studiului de către proiectanți, a studiului cov. prof. V. Gheorghiu pentru imaginea deosebit de clară și sugestivă pe care o realizează asupra coeficientului de rezistență hidraulică.

Există însă un aspect dificil în problema coeficientului de rezistență. Este vorba despre rugozitate, mai precis despre alegerea valorii rugozității absolute, valoare care trebuie introdusă în majoritatea formulelor lui λ . Desigur, există studii și există recomandări (IPACH RDG etc.), dar toate acestea nu reprezintă date certe, deoarece în privința rugozității, unul din factorii de variație este timpul, măsurat în ani. În acest sens merită să se citeze următoarea frază: IPACH „evident alegerea rugozității trebuie făcută cu mult discernământ în cazurile speciale și reexaminată în ansamblu peste câțiva ani, după obținerea rezultatelor din exploatarea conductelor proiectate în baza unei anumite valori a rugozității.” Această frază însă sugerează și deosebirea clară între studiile de proiectare a rețelelor și cele de verificare, mai mult, accentuează necesitatea verificării rețelelor în exploatare.

Deoarece în majoritatea expresiilor matematice ale lui λ intră valoarea rugozității, este evident că λ obținut este diferit pentru diferite rugozități (0,4, 1, 2, 3, etc); deoarece în studiul rugozității realizarea în laborator a unei rugozități reale este deosebit de dificilă, se propune o acțiune colectivă a proiectanților, de determinare a valorii rugozității prin metode statistice pentru rețelele existente, statistică care să cuprindă în principiu următoarele date:

Rețea oraș, anul construcției, materialul conductei, compoziția chimică și caracteristicile materialului conductelor, luat în considerare la proiectare, diametrul, viteza, calitatea apei, pierderi de sarcină, anul verificării, condiții de exploatare, etc.

În cadrul tezei nu au putut fi întreprinse încercări exhaustive privind determinarea rugozității absolute. Acest important element de calcul în dimensionare a fost verificat din datele de exploatare a rețelei unui important centru industrial în care a rezultat valoarea medie $k = 1 \text{ mm}$, utilizată în metoda de studiu a rețelelor inelare ca obiect al tezei.

În continuare, atenția lucrării se va concentra asupra condițiilor de lucru ale rețelelor inelare în regim tranzitoriu, tematic reprezentat prin relația Colebrook-Whitte. Se analizează problema fundamentală a inelului și se studiază influența regimului de mișcare asupra repartiției debitelor în conductele rețelelor inelare.

4.3. Problema fundamentală a circulației apei pe un inel

Odată stabilită alegerea celui mai judicios coeficient rezistență hidraulică λ în regimul tranzitoriu, se pune problema influenței lui în calculele de dimensionare - verificare a unei rețele. Deoarece lucrarea de față se ocupă de rețelele inelare, este necesar să se urmărească această influență mai înainte pe un singur inel.

Se consideră un inel (figura 4.48), cu injecția de apă în punctul A și care alimentează punctul B prin două conducte AC_1B

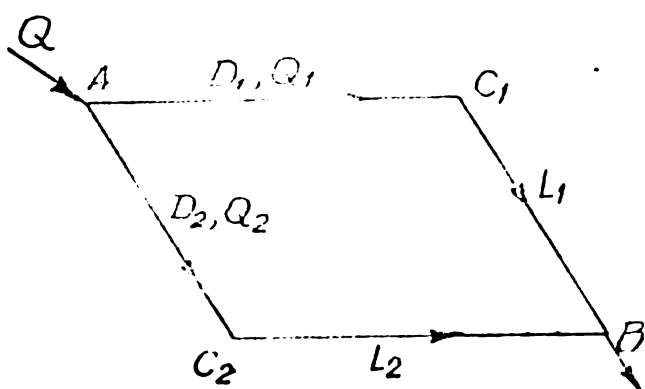


Fig.4.48

și AC_2B cu diametru și debite diferite:

$$D_1 \neq D_2 ; Q_1 \neq Q_2$$

Dacă se consideră raportul debitelor ca o funcție de raportul diametrelor, respectiv $\alpha_Q = \frac{Q_1}{Q_2} = f\left(\frac{D_1}{D_2}\right)$ atunci se obțin două valori distincte:

a. - în regim pătratic $\alpha = \frac{Q_1}{Q_2}$ respectiv $\lambda = \text{constant}$, valorile M_1 și M_2 ale modulelor de rezistență fiind date;

b. - în regim tranzitoriu $\alpha' = \frac{Q_1}{Q_2}$ respectiv $\lambda' = f(Re, k)$ iar modulele de rezistență fiind M_1' și M_2' .

Evident că pierderea de sarcină între punctele A și B va trebui să aibă aceeași valoare, adică $h_{AB} = h_{AB}'$. Problema circulației apei în inelul din fig. 4.48, este exemplificată pentru raportul diametrelor existentă în rețeaua studiată la viteze mari și mici (tabelul 4.12) pentru regimul tranzitoriu și pătratic.

Se observă în ultima coloană a tabelului, că diferențele procentuale de debite ΔQ se păstrează între limitele + 3 % și -1,05 deci nu sînt ridicate.

Tabelul 4.12

	D_1/D_2 mm	C - W			I			ΔQ
		V m/sec	Q l/sec	α'	V	Q	α	
V mici	150 / 200	0,26 0,32	4,6 10,0	0,46	0,268 0,324	4,8 10,3	0,4655	3%
V mari		1,48 1,79	26,1 58,2		1,49 1,57	25,9 57,6		
V mici	150 / 300	0,26 0,42	4,6 29,5	0,156	0,268 0,425	6,8 30,0	0,160	1,7
V mari		1,48 2,33	26,1 164,0		1,47 2,32	25,9 163,3		
V mici	150 / 450	0,86 0,54	4,6 96,4	0,0475	0,268 0,5555	4,8 99,1	0,0485	2,7
V mari		1,48 3,00	26,1 480,0		1,47 3,05	25,9 486,0		
V mici	150 / 600	0,86 0,65	4,6 185,0	0,0248	0,868 0,667	4,8 191,0	0,0252	3,2
V mari		1,48 3,62	26,1 1024,0		1,47 3,66	25,9 1036,0		
			189,6			195,3		
			1050,1	0,0261		1061,9	0,0250	1,1

4.4. Circulația apei în rețelele inelare

Dacă într-un singur inel, considerarea regimului tranzitoriu față de cel permanent nu prezintă diferențe sensibile, acest fapt nu asigură aceeași situație și într-o rețea inelară.

În realitate, mișcarea apei într-o rețea inelară se complică mult față de un singur inel. Această situație solicită un studiu separat pentru considerarea regimului tranzitoriu în comparație cu cel permanent.

Pentru a studia regimul tranzitoriu al rețelei inelare pentru debite Q , s-a procedat la calculul regimului permanent în cazul calculului pentru regim tranzitoriu față de regimul permanent, a efectuat

exemplificare pe o rețea cu 7 inele, 21 conducte și 15 noduri (fig. 4.46).

După efectuarea calculelor de echilibrare a rețelei în cele două regimuri (λ Manning, λ Colebrook-White), s-a făcut o comparație între datele obținute, comparație exprimată procentual.

S-a cercetat însă comparativ cu regimul pătratic și echilibrarea rețelei în regim tranzitoriu, în două variante pornind de la λ determinat prin studiul tov. prof. V. Gheorghiu.

În baza acestor considerații de principiu, efectuarea detaliată a studiului este concretizată în următoarele calcule sistematizate în tabele după cum urmează :

În tabelul 4.13 s-a efectuat echilibrarea rețelei considerând regim turbulent pătratic, deci coeficientul de rezistență calculat cu formula lui Manning utilizând ca metodă de calcul, metoda Lobacev-Cross. Au fost necesare două trepte de calcul pentru a ajunge la echilibrarea cu divergențe admisibile.

Echilibrarea rețelei considerând regim turbulent tranzitoriu, prin utilizarea coeficientului λ calculat cu formula Colebrook-White, s-a efectuat în tabelul 4.14 cu aceeași metodă de calcul, fiind necesare tot două trepte de calcul dar evident, obținând valori diferite pentru debite, pierderi de sarcină, cote. Se observă că sunt diferențe mai mari pentru conductele cu diametre mai mici și viteze mai mari la debite. În ce privește cotele liniei de presiune, ele s-au obținut toate mai mici în valoare absolută în cazul utilizării coeficientului λ calculat cu formula Colebrook-White.

Tabelele 4.15 a (debite) respectiv 4.16 a (pierderi de sarcină), 4.17 a (cote absolute), exprimă procentual comparația între regimul pătratic (Manning) și regimul tranzitoriu (Colebrook - White).

Se observă că în rețelele inelare, abaterile apar cumulate, în mai mare măsură decât în cazul inelului izolat și în diferite proporții în raport cu topologia rețelei. În cazul analizat, cu toate că vitezele sînt în general foarte mari, se observă abateri ale debitelor în ambele sensuri (+, -) curente, de cîteva procente și accidentale pînă la 55 %, abateri ale pierderilor de sarcină pe sectoare, de asemenea în ambele sensuri, predominînd abaterile negative de doi pînă la 80 %, iar abaterile cotelor liniei de presiune de 5 %.

Interesul pentru acuratețea calculului în lumina unui calcul simplificat al pierderilor de sarcină în funcție de viteza medie a curentului în fiecare ramură a rețelei, în cazul în care se cunoaște coeficientul de rezistență pentru fiecare ramură, este deosebit de interesant în cazul în care se cunoaște numai unul din coeficienții de rezistență și se dorește să se determine celălalt. În acest caz, metoda de acțiune

Inel	Cond	λ	Manning	α	M	Q	MQ	MQ ²	Q'	Q''	MQ'''
I	2	3	4	6	7	8	9	10	11	11	
I	4	0,0250	0,012192	0,05773	92,156437	5,320191	0,058664	0,05763	5,301775		
	8	0,0227	0,06008	0,29785	10,200052	3,038085	0,2935356	0,29843	3,049928		
	5	0,0227	0,06008	0,22348	11,949744	2,670529	0,2130799	0,21807	2,542797		
	-1	0,0227	0,197082	0,16927	65,385804	-11,067855	0,1691336	0,16937	-1,080935		
	6	0,021	0,022762	0,55104	21,949948	-0,04905	0,556630	0,55570	-0,06435		
II	11	0,0225	0,059551	0,30069	7,245417	12,095293	0,3024445	0,30187	12,091933		
	-2	0,0218	0,023185	0,68806	30,950051	-21,295492	0,6835235	0,68275	-21,287359		
	-5	0,0227	0,060081	0,22348	11,949743	-2,670551	0,2190799	0,21807	-2,542797		
	-10	0,0224	0,059287	0,09307	3,034787	-0,282448	0,0879843	0,08708	-0,247260		
	3	0,024	0,197082	0,28880	30,280025	-0,95357	0,2677465	0,28944	-0,478904		
III	7	0,0245	0,198593	0,22330	28,358578	8,744871	0,2372465	0,27904	8,783572		
	-6	0,0214	0,022761	0,55104	21,948887	7,920551	0,556630	0,55570	7,951301		
	-12	0,0245	0,197830	0,12875	33,631389	-4,330041	0,1325875	0,13223	-4,399192		
	12	0,0245	0,197890	0,12875	33,631369	+2,367	0,1325855	0,13223	+2,381251		
	14	0,0246	0,198693	0,30875	36,686035	4,330041	0,311532	0,31323	4,367279		
IV	-11	0,0227	0,059551	0,30069	37,245417	-11,326813	0,3024445	0,30187	-11,287395		
	-13	0,0227	0,104939	0,17272	31,703749	-5,457871	0,1591988	0,16756	-5,153574		
	-19	0,03016	36,117375	0,00465	264,291145	-1,254896	0,000977	0,00169	-0,165047		
	10	0,0227	0,059259	0,09307	3,034757	-2,273237	0,0879843	0,08708	-2,050739		
	13	0,0227	0,104939	0,17272	31,703477	5,475824	0,1593873	0,16756	5,153574		
V	-8	0,0227	0,06008	0,22348	102,428239	-3,038085	0,2130799	0,21807	-3,049928		
	-9	0,0227	0,06008	0,22348	10,200052	3,038085	0,2130799	0,21807	3,049928		
	10	0,0227	0,06008	0,22348	102,428239	-3,038085	0,2130799	0,21807	-3,049928		
	13	0,0227	0,06008	0,22348	10,200052	3,038085	0,2130799	0,21807	3,049928		
	16	0,0244	0,197082	0,00465	259,291145	+0,33715	0,000977	0,00169	+0,355912		
VI	-17	0,0227	0,06008	0,22348	26,369862	-3,231259	0,1193086	0,11804	-3,038085		
	-18	0,0227	0,06008	0,22348	26,369862	3,231259	0,1193086	0,11804	3,038085		
	-19	0,0227	0,06008	0,22348	102,428239	-3,038085	0,2130799	0,21807	-3,049928		
	16	0,0244	0,197082	0,00465	259,291145	+0,33715	0,000977	0,00169	+0,355912		
	18	0,0244	0,197082	0,25579	33,271593	8,510505	0,252935	0,25196	8,165047		

Tabel 4

Inel	Con-duct	C-w	λ	$M_0(a)$	L	M	Q	MQ	MQ^2	Q'	MQ'	$M(O'^2)$	Q''	MQ''	MQ''^2
I	4	0,0273		0,92921	1750	1626,1175	0,05773	93,87576	5,41345	0,05737	94,33161	5,45897	0,05805	94,33612	5,47969
	8	0,0237		0,06273	570	35,75382	0,29785	10,64927	3,17189	0,29382	10,66395	3,19258	0,29941	10,70505	3,20520
	5	0,0237		0,06273	890	55,82614	0,22348	12,47602	2,78814	0,21959	12,25885	2,69192	0,21845	12,19522	2,66404
	1	0,0252		0,20354	1960	398,94428	-0,16927	67,52930	-11,43068	-0,16910	67,47345	-11,41178	0,16895	67,40164	-11,38751
	3	0,0222		0,02361	1750	41,32275	0,55104	184,53035	-0,05120	0,55424	184,74788	-0,0683			-0,03856
	11	0,0234		0,06193	2080	128,22064	0,30069	22,77049	12,54745	0,30150	22,90272	12,69360	0,55383	22,83578	12,67483
	2	0,0225		0,02393	1940	46,42614	-0,68806	38,73508	11,61725	-0,68403	38,83942	11,71008	0,30150	38,83942	11,71008
	5	0,0237		0,06273	890	55,82614	-0,22348	31,94397	-21,97937	-0,21959	31,75500	-21,72265	0,66271	31,65539	-21,63890
	10	0,0244		0,064579	550	35,51845	-0,09307	12,47602	-2,78814	-0,09321	12,25885	-2,69192	0,21845	12,19522	-2,66404
	3	0,0242		0,195466	532	103,98791	0,2888	3,30570	-0,88047	0,28963	3,13315	-0,27537	0,08648	3,07163	-0,26563
	7	0,0251		0,20274	511	103,5981	0,2793	109,23126	-0,88047	0,28963	108,89035	-0,28726	0,29136	30,29792	-0,18366
	6	0,0222		0,02361	1750	41,32275	-0,55104	30,03171	8,67316	-0,55424	30,13000	8,72308	0,28186	29,20016	8,23036
	12	0,0249		0,20112	1320	265,4784	-0,12875	22,76356	-12,54639	0,13114	22,90272	-4,56562	0,55383	22,83384	-4,53711
	12	0,0249		0,20112	1320	265,4784	-0,12875	115,91556	-0,19242	0,13114	116,85457	-0,40544	0,13073	34,70599	-0,15291
	14	0,0250		0,20193	598	120,7529	0,30875	34,18034	4,40072	0,31197	34,81484	4,56562	0,31329	37,83069	4,53711
	11	0,0234		0,06193	2080	128,22064	-0,30069	37,28247	11,51096	-0,30150	37,67128	11,75231	0,30150	37,83069	11,85197
	13	0,0242		0,10847	1750	189,83125	-0,17272	38,73508	-11,64725	-0,16567	38,63322	-11,71008	-0,16697	38,83942	-11,71008
	10	0,0334		0,3637878	1600	5826,0464	0,00466	32,79335	-5,66505	0,00160	32,01634	-5,40062	0,00382	31,59045	-5,29040
	10	0,0244		0,06458	550	35,51845	0,09307	271,24018	-1,26393	0,09321	239,96542	-0,63238	0,08548	222,34702	-0,61935
	13	0,0252		0,10847	1750	189,83125	0,17272	414,23142	-2,6046	0,16967	3,13209	0,27537	0,16694	3,07163	0,26563
	15	0,0251		0,10847	1085	106,19285	0,10278	3,30570	0,30766	0,10505	32,01634	5,40057	0,10548	31,59045	5,29035
	9	0,0237		0,06273	570	35,75382	-0,29785	103,62206	10,65027	-0,29282	105,91056	11,12591	0,10548	105,84415	11,21778
	9	0,0253		7,96081	1145	9115,13203	-0,03423	10,65027	-12,63424	-0,03505	345,9230	-13,20385	0,25941	10,71008	-13,21720
	13	0,0234		0,06193	1600	5826,0464	0,00466	339,55336	+0,81493	0,00160	498,66531	+0,40642	0,00347	350,71008	-0,37836
	13	0,0251		0,20274	660	133,89575	0,25579	489,72074	1,263979	-0,00160	96,62206	-0,16039	-0,00082	222,34702	-0,04918
	17	0,0261		0,41103	540	221,95512	0,12255	34,22517	8,75471	0,25269	32,81135	6,54380	0,25185	31,59045	6,48720
	15	0,0273		0,92921	1085	1006,19255	-0,10278	27,20000	3,32343	0,11974	25,57591	3,18232	0,11909	25,52333	3,11770
	15	0,0273		0,92921	1085	1006,19255	-0,10278	103,62206	-10,65027	-0,10505	105,91056	-11,12591	-0,10348	105,84415	-11,21720
	15	0,0273		0,92921	1085	1006,19255	-0,10278	435,61901	+2,70185	0,00160	202,92309	+0,40642	-0,10348	105,84415	-0,43105
	15	0,0273		0,92921	1085	1006,19255	-0,10278	131,39075	10,65105	0,00160	170,92309	10,58799	0,00160	130,91008	-10,5
	15	0,0273		0,92921	1085	1006,19255	-0,10278	81,90319	8,75471	0,00160	81,20225	8,75471	0,00160	81,20225	8,75471
	15	0,0273		0,92921	1085	1006,19255	-0,10278	20,20000	-0,00160	-0,00160	20,20000	-0,00160	-0,00160	20,20000	-0,00160
	15	0,0273		0,92921	1085	1006,19255	-0,10278	211,63333	-10,65027	-0,10505	211,63333	-10,65027	-0,10505	211,63333	-10,65027

Tabelul 4.15

		a			b		c	
		Q			Q		Q	
		M	C-W	%	Gh. corectat	%	Gh. necorectat	%
I	4	0,05763	0,05805	-0,723	0,05777	-0,242	0,05776	-0,225
	8	0,29843	0,29941	-0,327	0,29921	-0,261	0,29877	-0,114
	5	0,21807	0,21845	-0,174	0,21931	-0,565	0,22005	-0,100
	1	-0,16937	0,16895	+0,248	-0,16922	+0,089	-0,16924	+0,0779
II	6	0,55570	0,55383	+0,338	+0,55323	+0,446	+0,5530	+0,488
	11	0,30187	0,30150	+0,123	0,30032	+0,516	0,29936	-0,838
	2	-0,68275	-0,68271	+0,006	0,68384	-0,159	-0,68467	-0,270
	5	-0,21807	-0,21845	-0,174	0,21931	-0,565	-0,22005	-0,900
	10	-0,08708	-0,08648	0,694	0,08754	-0,525	-0,08872	-1,848
III	3	+0,28944	0,29136	-0,639	0,29033	-0,478	0,29030	-0,296
	7	+0,27994	0,28186	-0,681	0,28133	-0,494	0,28030	-0,306
	6	-0,55570	-0,55383	+0,338	0,55323	+0,446	-0,5530	+0,488
	12	-0,13223	-0,13073	+1,147	-0,13094	+0,985	-0,13167	+0,425
IV	12	0,13223	0,13073	+1,147	+0,13094	+0,985	0,13167	+0,425
	14	0,31323	0,31329	-0,019	+0,31297	+0,083	0,31317	+0,018
	11	0,30187	-0,30150	0,122	-0,30032	+0,516	-0,29936	-
	13	0,16756	-0,16694	0,371	-0,16719	-0,221	-0,16741	-
V	16	0,03791	+0,00383	-55,875	+0,00202	-16,337	-0,00310	-45,184
	10	0,08708	0,08648	-0,694	+0,08754	-0,525	0,08872	-1,848
	13	0,16756	0,16694	+0,371	0,16719	+0,221	0,16741	+0,018
	15	0,10593	0,10548	+0,427	0,10588	+0,047	0,10718	-1,160
	8	-0,29843	0,29941	-0,327	-0,29921	-0,261	-0,29877	-0,114
VI	9	-0,03791	0,03847	-1,456	-0,03853	-1,609	-0,038114	-0,535
	16	-0,00169	-0,00383	55,875	-0,00202	-16,337	-0,00310	-45,184
	18	+0,25196	0,25185	+0,044	+0,2533	-0,529	0,25245	-0,194
	17	+0,11884	0,11909	0,210	0,12126	-1,996	0,12036	-1,263
VII	15	-0,10593	-0,10548	+0,427	-0,10588	+0,047	-0,10718	-1,160
	20	0,08101	0,08066	0,434	0,08096	+0,062	0,08099	+0,021
	21	0,03431	0,03396	1,031	0,03426	+0,146	0,03429	+0,058
	17	-0,11884	0,11909	0,210	-0,12126	-1,996	-0,12036	-1,263
	19	-0,04649	-0,04744	-2,011	-0,04713	-1,358	-0,04711	-1,318

acestui coeficient în echilibrarea rețelei, a dus la calculul echilibrare a rețelei în următoarele cazuri (comparative).

În tabelul 4.15 se echilibrează rețeaua la bază cu coeficientul λ obținut din tabelul 4.14 c. de către ing. conf. V. Chiorghiu, care a realizat calculul și a elaborat tabelul 4.15 c, 4.16 și 4.17 c.

Tabelul 4.16

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

		a			b		c	
		Δh			Δh		Δh	
		M	C-W	%	Gh. corectat	%	Gh. necorectat	%
I	4	5,301775	5,47969	-3,247	5,45076	-2,733	5,44634	-2,654
	8	3,049928	3,20520	-4,844	3,14482	-3,017	3,14133	-2,690
	5	2,542797	2,66404	-4,551	2,63798	-3,608	2,72377	-6,646
	1	-11,080935	-11,38751	-2,692	-11,24331	-1,444	-11,24530	-1,462
II	6	11,99193	12,67489	-5,383	12,45351	-3,709	12,44312	-3,628
	11	11,28739	11,71008	-3,610	11,48956	-1,759	11,41116	-1,085
	2	20,96607	21,63890	-3,100	21,03721	-0,319	21,09149	-0,585
	5	2,5427	2,66404	-4,551	2,63798	-3,608	2,72377	-6,646
		0,24726	-0,26563	-6,916	0,27547	-10,241	0,28198	-12,313
III	3	8,78367	8,82760	-0,498	8,92987	-1,637	8,91580	-1,480
	7	7,95689	8,23086	-3,328	8,04306	-1,071	8,01235	-0,692
	6	-11,9919	-12,67375	-5,388	12,45381	-3,709	12,44350	-3,623
	12	4,56727	-4,53711	+0,665	4,55741	0,216	4,60925	-0,911
IV	12	4,56727	4,53711	+0,665	4,55741	0,216	4,60925	-0,911
	14	11,657904	11,85197	-1,637	11,64322	0,126	11,65815	-0,002
	11	11,28739	-11,71008	-3,61	-11,48956	-1,759	11,41117	-1,085
	13	5,15357	-5,2907	-2,592	-5,27578	-2,316	5,27344	-2,366
	16	0,16504	+0,84936	-80,56	0,24235	-31,900	0,54529	-69,733
V	10	0,24726	0,26563	-6,016	0,27547	-10,241	0,28198	-12,313
	13	5,15357	5,29035	-2,592	5,27578	-2,316	5,27839	-2,366
	15	11,1887	11,21718	-0,254	11,34382	-1,367	11,50706	-2,767
	8	3,0499	3,2052	-4,845	3,14482	-3,017	3,13493	-2,700
	9	13,18504	13,48956	-2,26	13,93320	-5,369	13,63041	-3,267
VI	16	-0,16504	-0,84936	-80,56	0,24235	-31,900	0,54528	-69,733
	18	8,25761	+8,43709	-2,704	8,44954	-2,27	8,40779	-1,778
	17	3,013857	+3,14786	-4,257	3,23191	-6,747	3,20592	-5,991
	15	11,1887	-11,21718	-0,254	-11,34382	-1,367	11,50784	-2,767
VII	20	10,27912	+10,53528	-2,431	10,63492	-3,345	10,63866	-3,378
	21	2,69295	2,74534	-1,908	2,79957	-3,808	2,80231	-3,902
	17	3,03857	-3,14782	-4,257	3,2319	-6,747	3,20588	-5,218
	19	9,87913	-10,08981	-2,088	10,24989	-3,617	10,23902	-3,514

Se observă că abaterile debitelor, ale pierderilor de sarcină în conductă și ale cotelor liniei de presiune față de regimul pătratic, sînt de același ordin de mărime ca și în cazul abaterilor stabilite în calculul după Colebrișon-Whitby.

În tab. 4.16 cu datele de bază continuat cu tab. 4.19', se echilibrează rețeaua avînd la bază același λ pentru prima treaptă. Deosebirca față de cazul precedent, constă în faptul că în ureptele urmă-

Tabel 4.17

nod	a			b			c		
	h			h			h		
	M	σ -W	%	M	Gh. correctat	%	M	Gh. necorectat	%
1	118,02	118,689	+ 4,056	118,02	117,24	+ 2,41	118,02	117,346	2,096
2	129,01	128,645	4,493	129,01	128,46	2,614	129,01	128,651	1,72
3	149,5	149,50	-	149,5	149,5	-	149,5	149,5	-
4	140,72	140,519	2,238	140,72	140,54	2,01	140,72	140,584	1,52
5	123,42	123,176	4,55	123,42	122,69	2,722	123,42	122,792	2,35
6	126,47	125,381	4,52	126,47	125,83	2,70	126,47	125,927	2,30
7	126,22	125,115	4,53	126,22	125,56	2,75	126,22	125,645	2,41
8	137,50	136,825	5,32	137,50	137,05	3,61	137,50	137,056	3,5691
9	132,70	132,289	2,38	132,70	132,50	1,17	132,70	132,448	1,47
10	109,88	108,764	2,73	109,88	109,35	2,29	109,88	108,758	2,74
11	121,07	119,821	4,2	121,07	120,29	2,67	121,07	120,265	2,75
12	121,23	120,675	1,92	121,23	120,53	2,42	121,23	120,639	2,04
13	112,98	111,756	3,25	112,98	112,18	2,14	112,98	111,822	3,07
14	101,1	98,519	5,06	101,1	98,76	4,6	101,1	98,519	5,06
15	102,7	101,264	2,97	102,7	101,55	2,39	102,7	101,321	2,86

Tabel A.18

Urut	D ^m	B ^{1/5,0}	L ^m	λ ^{Georgiu}	α	M	Q ^{initial}	MQ	MQ ²
1	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	0,300	34,0370	1750,0	0,027407	0,9522	1632,941	0,05773	94,273	5,44069
	0,500	2,6467	570,0	0,02328	0,061015	35,120	0,29785	10,461	3,11571
	0,500	2,6467	840,0	0,02388	0,06320	56,2506	0,22348	12,571	2,80934
	0,400	8,07714	1960,0	0,02480	0,200313	392,6134	0,16927	66,458	11,249292
II	0,300	1,02365	1750,0	0,02186	0,02325	40,6892	0,55104	22,421	0,116448
	0,500	3,64672	2080,0	0,02313	0,06128	127,3334	0,30069	38,288	12,35509
	0,500	1,0236	1940,0	0,02181	0,02319	45,00218	0,68806	30,9661	21,30722
	0,500	3,64672	890,0	0,02388	0,06320	56,2506	0,22348	12,571	2,80994
	0,500	3,64672	550,0	0,02461	0,06513	35,8242	0,09307	3,334	0,31031
III	0,400	8,07714	532,0	0,02462	0,198859	105,7929	0,28880	07,573	-0,5570
	0,400	8,07714	511,0	0,02462	0,198859	101,6169	0,27930	30,5530	8,8237
	0,600	1,0636	1750,0	0,02186	0,02325	40,6875	0,55104	22,4204	-2,35456
	0,400	8,07714	1320,0	0,024936	0,20141	765,8225	0,12875	34,2397	-4,42708
IV	0,400	8,07714	1320,0	0,024936	0,20141	265,7252	0,12875	115,5847	-0,20960
	0,400	8,07714	598,0	0,02461	0,198776	118,869244	0,30875	34,2297	4,407086
	0,500	2,64672	2080,0	0,02313	0,061018	127,33344	0,30069	36,7008	11,331396
	0,450	4,48244	1750,0	0,02401	0,107623	188,34025	0,17272	38,2778	-11,52706
	0,150	289,185	1600,0	0,0325	35,30081	637,62896	0,00466	32,5301	-5,6560
V	0,500	2,64672	550,0	0,02461	0,065125	35,82425	0,09307	263,931315	-1,2292
	0,400	4,4824	1750,0	0,02401	0,107622	188,3305	0,17272	405,1797	3,33416
	0,300	34,037	1085,0	0,027407	0,932552	1012,1444	0,10278	32,5298	5,6355
	0,500	2,6467	570,0	0,02328	0,061015	35,170	-0,29785	107,02529	10,63201
	0,300	38,468	1145,0	0,031705	8,194727	9382,0000	-0,03723	10,461	3,115705
VI	0,150	289,185	1600,0	0,0325	35,30081	637,62896	0,00466	349,3276	13,01576
	0,400	8,07714	660,0	0,02466	0,199182	131,450	0,25579	400,430	4,11538
	0,350	15,740	540,0	0,025788	0,40614	219,3015	0,12255	269,93165	1,42592
	0,300	34,037	1035,0	0,027407	0,93255	1012,1444	0,10278	33,6261	8,51241
VII	0,300	34,037	1035,0	0,027407	0,93255	1012,1444	0,10278	26,6734	3,23551
	0,300	34,037	1035,0	0,027407	0,93255	1012,1444	0,10278	104,0282	-0,20960
	0,300	34,037	1035,0	0,027407	0,93255	1012,1444	0,10278	42,14518	2,20960
VIII	0,300	34,037	1035,0	0,027407	0,93255	1012,1444	0,10278	131,6017	10,11570
	0,300	34,037	1035,0	0,027407	0,93255	1012,1444	0,10278	82,0817	2,20960
	0,300	34,037	1035,0	0,027407	0,93255	1012,1444	0,10278	26,6734	3,23551
	0,300	34,037	1035,0	0,027407	0,93255	1012,1444	0,10278	216,6000	2,20960

Tabelul 4.19

Inel	Conductivitate	Q' conductor	VITEZ <, >, >	Δ Gheorghe (nou) conductor	M' (nou)	Q''	Q'''	Δh = MQ''' ²
		12	13	14	15	16	17	18
I	4	+0,05741	0,810376 <	0,027415	1632,95761	0,05776	+0,05777	+5,45076
	8	+0,29766	1,518673 ≈	0,023285	35,11193	0,29877	+0,29921	+3,14682
	5	+0,22057	1,12535 <	0,023285	54,84927	0,22005	+0,21931	+2,63798
	1	-0,16959	1,34595 ≈	0,02462	22,61361	-0,16924	-0,16922	-11,26331
II	6	0,55358	1,52082 <	0,021861	40,69178	0,5530	+0,55323	+12,75381
	11	0,29968	1,528979 <	0,02314	127,38980	0,29936	+0,30032	+11,40956
	2	-0,65577	1,425584 <	0,02180	44,98177	-0,68460	-0,68384	-21,03521
	5	-0,22057	1,125357 <	0,023285	54,84969	-0,22005	-0,21931	-2,63798
	10	-0,090550	0,450969 <	0,024694	35,94695	-0,08872	-0,098754	-0,27577
	3	-0,29968	2,292436 ≈	0,02462	105,79308	0,29030	0,29083	+8,92987
III	7	+0,29934	2,217040 <	0,024622	101,62529	0,28080	0,28133	+8,04306
	6	-0,299358	1,95888 <	0,021861	40,68986	-0,5530	-0,55323	-12,45381
	12	-0,11193	1,047063 >	0,02493	265,79929	-0,13167	-0,13094	-4,55741
	12	-0,11193	1,047063 >	0,02493	265,79929	0,00310	+0,00202	+0,00290
IV	12	-0,11193	1,047063 >	0,02493	265,79929	0,13167	+0,13094	+8,92987
	13	+0,3198	2,476032 >	0,02461	118,85948	0,11317	+0,31297	+12,93741
	11	-0,29968	1,528979 <	0,02314	427,38980	-0,29936	-0,30632	-12,45382
	13	-0,14936	1,055157 <	0,024061	188,74094	-0,16741	-0,16719	-4,55741
	11	-0,00141	0,060116 <<	0,034081	59392,82236	0,00310	+0,00202	+0,00290
V	10	-0,090350	0,450969 <	0,02694	30,94695	0,08172	+0,08092	+1,03736
	13	+0,16936	1,04097 <	0,024061	189,74094	0,16741	+0,16719	+4,55741
	15	-0,10549	1,040972 <	0,02740	1011,685973	0,10719	+0,10588	+1,03736
	8	-0,29766	1,518673 <	0,0232821	35,120193	-0,29877	-0,29921	-12,45382
	9	-0,03736	1,040969 <	0,031705	9382,96371	-0,03814	-0,03853	-1,03736
VI	16	-0,00141	0,060116 <	0,034081	59392,82236	-0,00310	-0,00202	-0,00290
	18	+0,25295	2,007540 <	0,02698	131,652872	0,25245	+0,25333	+8,04306
	17	-0,12075	1,257812 <	0,025845	219,783012	0,12036	+0,12126	+3,23191
	15	-0,10549	1,0489972 >	0,02740	4011,685973	-0,10718	-0,10588	-11,34382
VII	20	+0,03110	1,143480 <	0,027557	1622,931223	0,08099	+0,08096	+1,03736
	21	+0,03440	0,792041 <	0,022749	2384,459376	0,03429	+0,03426	+3,79957
	17	-0,12075	1,257812 <	0,025845	219,783012	-0,12036	-0,12126	-3,23191
	19	-0,04700	1,040969 <	0,031592	4613,58393	-0,04701	-0,04701	-10,24969

Tabelul 4.19'

Inel	Coef.	λ	λ
I	4	34,23268	5,44634
	8	10,49280	3,13493
	5	12,37794	2,77377
	1	66,44589	-11,24530
			0,05974
II	6	22,50113	12,44312
	11	39,11853	11,41116
	2	30,80849	-21,09149
	5	12,37794	-2,72377
	10	3,17832	-0,28198
			-0,24296
III	3	30,71168	8,91560
	7	28,53402	8,01235
	6	22,50019	-12,44360
	12	35,00611	-4,60925
			-0,12390
IV	12	35,00612	4,60925
	14	37,22628	11,65815
	11	38,11954	-11,41117
	13	31,53004	-5,27844
	16	175,57665	0,54529
			-0,15168
V	10	3,17833	0,28198
	13	31,52975	5,27839
	15	108,48164	11,50705
	8	10,49280	-3,13493
	9	357,62223	-13,63041
			0,40199
VI	16	75,57664	-0,51528
	18	33,18707	8,40708
	17	26,39512	3,20592
	15	108,48164	11,50705
			-0,410120
VII	20	131,35769	10,63666
	21	81,72394	2,80231
	17	26,39481	3,20588
	13	117,34289	-10,23902
			0,00407

toare, coeficientul de rezistență hidraulică este scos din punct de vedere schimbându-și valoarea în treptele de echilibru, corespunzător cu modificările de regim; tab. 4.19

Se observă în tabelele 4.16 a, 4.16 b, 4.17 b, că se atenuează unele abateri ale debitelor până la 16 %.

De asemenea, se înregistrează abateri ale pierderilor de sarcină până la 31 %, în general mai mici decât cele înregistrate cu valorile λ inițiale, în schimb crescând media abaterilor.

4.5. C o n c l u z i i

Considerarea regimului de tranziție care guvernează mișcarea în rețelele inclinate corespunde și calculate în sensul optimizării este de fapt recunoașterea condițiilor reale de lucru în rețele.

Studiul aplicării regimului de tranziție s-a efectuat începând cu aprofundarea selectivă a informațiilor (exprimate prin formule) în legătură cu elementul de bază, coeficientul de rezistență hidraulică. Calculele comparative procentuale ale coeficientului λ indică formula cea mai simplă dar și cea mai exactă față de formula Colebrook-White. În acest sens

s-a adus o corecție formulei lui Sevelev, corecție care ridică precizia formulei în coordonatele domeniului de tranziție. S-a pus la dispoziția proiectanților, valorile coeficientului λ (dat de formula Colebrook-White) pentru un domeniu larg de valori ale elementelor formulei (obținut la mașina electronică FELIX C 256).

Dat fiind incertitudinea alegerii rugozității, s-au calculat valorile rugozității reale a rețelei vechi în exploatare a

oraşului T, în baza măsurătorilor efectuate în anul 1974. Cunoaşterea valoarei rugozităţii reale, s-a aplicat la aceeaşi reţea, studiul hidraulic al sistematizării coeficientului λ care a permis să se constate că, în cazul de una singură, în toate conductele există regimul de curgere tranzitoriu.

Vitezele de mişcare în artere şi conducte mari de distribuţie se înscriu în mod curent în limitele 0,6 pînă la 1,2 m/s, la care în condiţiile tehnice de execuţie, apare numărul O'Reynoldz situat mult sub valoarea critică la care se asigură regimul turbulent pătratic. În aceste condiţii se impune cercetarea modului în care este determinată distribuţia debitelor respectiv situaţia liniilor de presiune în reţelele inelare în regimul tranzitoriu în comparaţie cu dezvoltarea acestor parametri în aceluiaşi regim de turbulenţă pătratică considerată ca acoperitoare în calcule.

Abaterile calculate ale debitelor, pierderilor de sarcină pe sectoare, cotelor liniei de presiune, sînt mici în cazul inelului izolat, însă se însumează, putînd ajunge la valori apreciable în cazul reţelelor. La vitezele uzuale aceste abateri au întărit convingerea asupra necesităţii considerării corecte în calcule a regimului tranzitoriu.

Pentru ilustrarea modului în care se propagă abaterile constatate în cazul turbulenţei mixte, faţă de regimul turbulenţei patratice, s-a ales o reţea importantă studiată într-o etapă de amplificare în care conductele sînt animate de viteze relativ mari, în multe sectoare peste 1,5 m/s, ajungînd la 2,66 m/s. Chiar în aceste condiţii, au rezultat diferenţe relativ mari, semnificative atît pentru dimensionarea corectă a conductelor din punct de vedere tehnic, precum şi din considerentul de a asigura o eficienţă economică proprie a sistemului.

Intrucît s-au găsit diferenţe în plus, precum şi abateri în minus, presupunerea în virtutea căreia considerarea regimului patratice este acoperitoare, nu s-a dovedit justă. Calculul în regimul tranzitoriu asigură şi realizarea unui grad de siguranţă cerut în dimensionarea reţelei.

Rezultatele semnificative în ce priveşte considerarea regimului patratice s-au dovedit, aşa cum se va preciza în desfăşurarea lucrărilor, să se găsească în evidenţă cu ocazia încercărilor efectuate în instalaţia analogică precum şi din observaţiile făcute pe reţelele municipiului Timişoara.

Decarece, pentru diferența între regimul de mișcare turbulent păstosic și cel turbulent transitoriu, există dovezi peremptorii în ce privește aspectul hidraulic al problemei (mișcării apei în coșelele înclinate), în urma exemplurilor de calcul prezentate pe rețele, conținute în prezenta lucrări de pronunță pentru trecerea, în proiectarea și verificarea rețelelor, la regimul turbulent transitoriu.

Tendința de a îmbunătății procedeele de calcul trebuie realizată în paralel cu elucidarea în viitor, prin eforturi colective, a parametrilor de rugozitate absolută în conducte industriale cu rectificări și precizări ale datelor informative indicate în normative pe baza unor investigații ample, întreprinse la locul și pe durata exploatării rețelelor de distribuție a apei.

CAPITOLUL 5

PROBLEME ALE ELABORĂRII REȚELELOR ECHIVALENTE

5.1. Principiul de bază

Calculul desfășurat al rețelilor inelare devine adeseori deosebit de laborios și pune la încercare capacitatea calculatoarelor mici și mijlocii.

Prin stabilirea și aplicarea principiilor de echivalență, sistemele mari de distribuție pot fi aduse la schema de calcul cu un număr mult mai mic de inele.

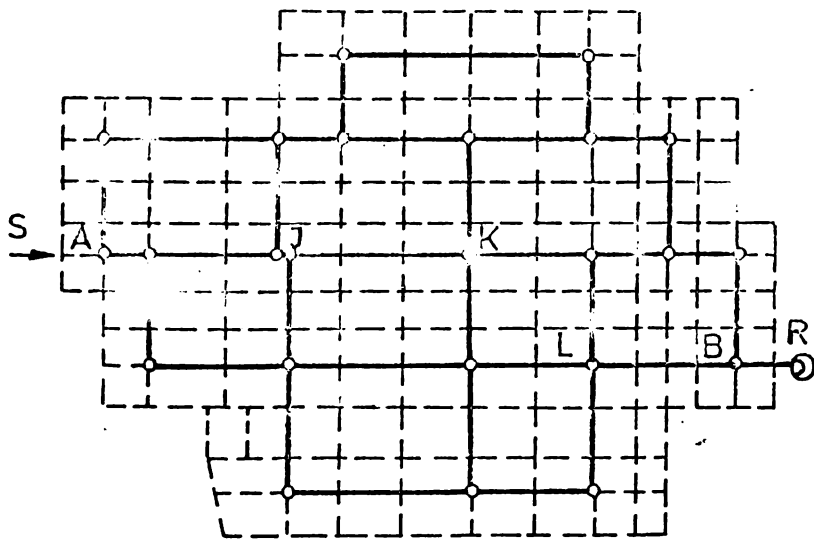


Fig. 5.49

În figura 5.49 se arată o rețea de bază R cu $N = 142$ inele care poate fi transformată într-o rețea echivalentă R' cu $N' = 10$ inele, deci $N \gg N'$.

Echivalență, în cazul unei rețele inelare, înseamnă mai ales ca într-un punct al rețelei, de ex. j din fig. 5.49, cota liniei

de presiune să rezulte din calcul, aceiași, în ambele rețele: R și R'.

În exprimare matematică, pentru rețeaua R, cota liniei de presiune este :

$$h_{AJ} = \alpha h_{AB}$$

$$h_{AK} = \beta h_{AB}$$

$$h_{AL} = \gamma h_{AB}$$

Respective coeficientul α din rețeaua R devine α' , în rețeaua R', β devine β' , γ devine γ' și h devine h'; deci

$$h'_{AJ} = \alpha' h_{AB} ; h'_{AK} = \beta' h_{AB} ; h'_{AL} = \gamma' h_{AB}$$

Pentru un calcul corect este suficient ca :

$$\frac{\alpha}{\alpha'} = \frac{\beta}{\beta'} = \frac{\gamma}{\gamma'} = \dots = K$$

Prin urmare, calculul direct este necesar ca :

$$\alpha = \alpha' ; \beta = \beta' ; \gamma = \gamma'$$

5.2. Avantajele rețelelor echivalente

În principal, ele reduc mult volumul de calcul și sînt mai ales în studiul preliminar, dînd indicații asupra posibilității realizării. Ajută la calculul tehnico-economic, deoarece prezintă posibilitatea efectuării unor numeroase alternative de verificare și stabilire a stadiului. Se pot face foarte bine la studii în instalații mici logice.

Toate aceste avantaje însă, sînt condiționate de obținerea unei precizii acceptabile în calcule.

5.3. Procedee de echivalență

5.3.1. Sistem de conducte în serie

Figura 5.50 reprezintă legarea în serie a unui număr de conducte alimentate în punctul A, cu consumuri q_i în fiecare nod și cu modulii de rezistență M_i și debite de tranzit Q_i .

Pierderea de sarcină în sistem este:

$$h_{AB} = \sum_{i=1}^n M_i Q_i^3 = M_e Q_0^3 \text{ iar } Q_0 = Q_A = Q_i = Q_{max}.$$

M_e = modul de rezistență echivalent al sistemului.

Debitul în punctul B este, $Q_B = Q_n = Q_{min}$, dar $Q_{min} = \alpha Q_0$ cu condiția ca $\alpha \geq 0,2$.

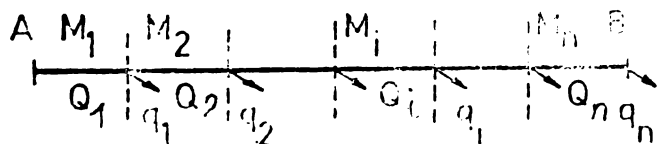


Fig. 5.50

În acest sistem se desprind două cazuri:

Cazul a₁. Dacă $q_1 = q_2 = \dots = q_n = 0$ și

$Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n = Q_0$ atunci

$$M_e = \sum M_i \dots$$

Cazul a₂. Dacă $Q_1 > Q_2 > \dots > Q_i > \dots > Q_n$, atunci se pot aplica două metode:

- Metoda aproximativă ce permite ca să se adopte:

$$Q = Q_0 - \frac{Q_0 - Q_n}{2}, \text{ deci } Q = \frac{Q_0 + Q_n}{2}$$

și

$$M_e = \sum_{i=1}^n M_i; \quad h_{AB} = M_e Q^2 \text{ (în ipoteza regimului turbulent patratric)}$$

- Metoda exactă. Aceasta introduce în modul de rezistență M arbitrar care, matematic nu are influență. Se reușește să scoată în relief expresia de echivalență, astfel:

$$h_{AB} = \left[\frac{M_1 Q_1^2}{M Q_0^2} + \frac{M_2 Q_2^2}{M Q_0^2} + \dots + \frac{M_i Q_i^2}{M Q_0^2} + \dots + \frac{M_n Q_n^2}{M Q_0^2} \right] \cdot M \cdot Q_0^2$$

5.3.2. Sisteme de conducte în paralel

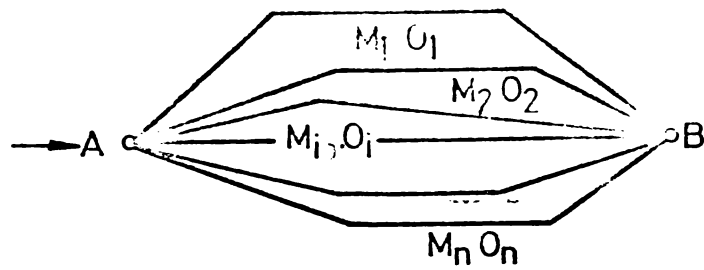


Fig. 5.51

Figura 5.51 reprezintă un sistem de rețea cu conductele legate în paralel între punctele A inițial și B final, fiecare conductă avînd un debit Q_i și modul de rezistență M_i .

Desigur că diferența de cotă între punctele A și B, h_{AB} , va fi aceeași pentru orice traseu, adică: $h_{AB} = h_1 =$

$= h_2 = \dots = h_i = \dots = h_n$ iar debitul total livrat din punctul A înspre B, este:

$$Q_{AB} = Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_i + \dots + Q_n = \sum_{i=1}^n Q_i$$

$$Q_1 \sqrt{M_1} = Q_2 \sqrt{M_2} = \dots = Q_i \sqrt{M_i} = Q_n \sqrt{M_n} = Q \sqrt{M_e}$$

Se poate scrie însă:

$$Q \sqrt{M_e} \left(\frac{1}{\sqrt{M_1}} + \frac{1}{\sqrt{M_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{M_i}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{M_n}} \right) = Q$$

$$\frac{1}{\sqrt{M_e}} \left(\frac{1}{\sqrt{M_1}} + \frac{1}{\sqrt{M_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{M_i}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{M_n}} \right) = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{M_i}}$$

deci modulul de rezistență echivalent este determinat de relația:

$$\sqrt{M_e} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{M_1}} + \frac{1}{\sqrt{M_2}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{M_i}} + \dots + \frac{1}{\sqrt{M_n}} \right)}$$

5.3.3. Sisteme de inele în serie

Cazul 1. Privind cu atenție figura 5.52, se observă că inelele (1), (2), (3), (n) sînt dispuse în serie iar legătura

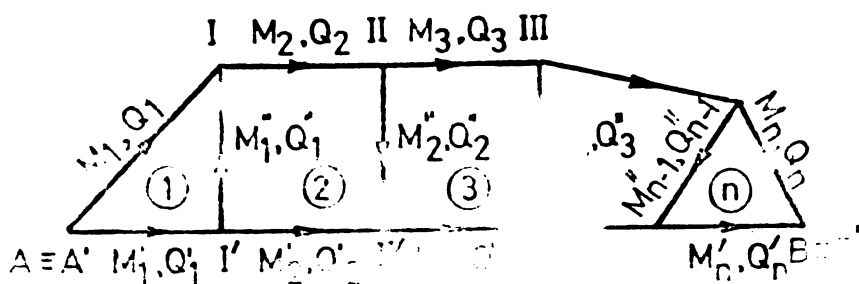


Fig. 5.52

între conductele principale marginale se face prin conducte transversale (conducte conectate pe ambele două înlocuitorii) în care apar cîștiguri în ambele sensuri, deci:

$$Q_1''(1) \neq \text{sens } Q_2''(2) \dots \neq \text{sens } Q_{n-1}''(n-1)$$

Din acest motiv se consideră că aceste tronsoane se pot neglija, respectiv $Q_1'' = Q_2'' = \dots = Q_{n-1}'' = 0$. Astfel, problema se reduce la două conducte sistem în serie, care împreună formează un sistem de conducte în paralel.

Privind figura 5.52 și generalizând, artera I (adică seria de conducte AI, I-II, II-III, ..., nB), are pierderea de sarcină echivalentă $h_{AB} = M_I Q^2$ iar artera II ($A' = A; A'I', I'II'$ etc) are $h_{A'B'} = M_{II} Q_{II}^2$. Condiția valabilității echivalenței este :

$$h_{AB} = h_{A'B'}$$

Sistemul inelar echivalent paralel conduce la formula:

$$\frac{1}{\sqrt{M_e}} = \frac{1}{\sqrt{M_I}} + \frac{1}{\sqrt{M_{II}}}$$

Cazul 2. Acest caz oferă o situație mai puțin generală care tranzitul este caracterizat cu preponderență unilateral, Fig. 5.53, care în acest caz, este similară cu fig. 5.52 având deosebit doar sensul de tranzit pentru conductele transversale.

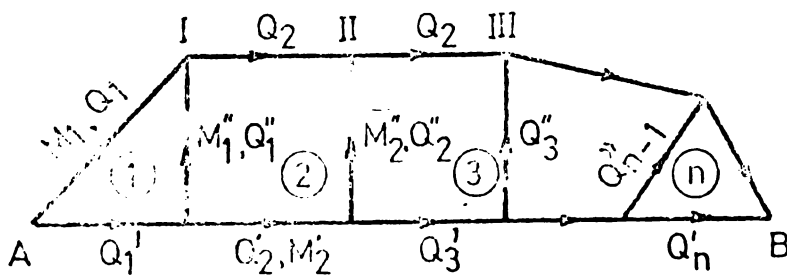


Fig. 5.53

principal. Modulul de rezistență (M_e) echivalent, este egal cu suma modulelor componente, adică $M_e = \sum M_i$ iar debitul corectiv punzător este :

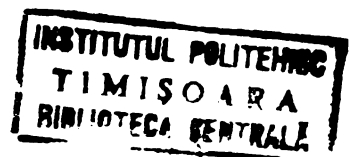
$$Q_{cor} = \frac{Q_1 + Q_n}{2}$$

- Metoda apropiată de cea în considerare și conductele transversale și în cazul în care există și conducte în paralel inele. Este deci valabilă și în cazul de inel, formula :

$$\frac{1}{\sqrt{M_{AI}}} = \frac{1}{\sqrt{M_I}} + \frac{1}{\sqrt{M_I' + M_I''}} ; \frac{1}{\sqrt{M_{A'II}}} = \frac{1}{\sqrt{M_2}} + \frac{1}{\sqrt{M_2' + M_2''}} \text{ etc}$$

Se observă că în final, a rămas un șir de conducte echivalent în serie care are debitul și rezistența $M_{AB} = \sum M_i$ și debitul mediu:

$$Q_m = \frac{Q_1 + Q_n}{2}$$



mină legarea inelelor în paralel.

În determinarea sistemului echivalent se pot aplica două metode:

- Metoda aproximativă. În cadrul ei, permite repartizarea debitelor conform conductelor în paralel.

Expresia modulului de rezistență echivalent devine:

$$\frac{1}{\sqrt{M_e}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{M_i}} \text{ iar debitul } Q_3 = \frac{Q_0 \sqrt{M_e}}{\sqrt{M_3}}$$

Procedul poate reda informativ repartizarea debitelor.

Pierderea de sarcină între punctul de angajare de în rețea cel final este:

$$h_{AB} = M_3 \cdot Q_3^2$$

- Metoda exactă; această metodă determină echivalența sistemului în baza unei succesiuni de echivalențe în serie și în paralel.

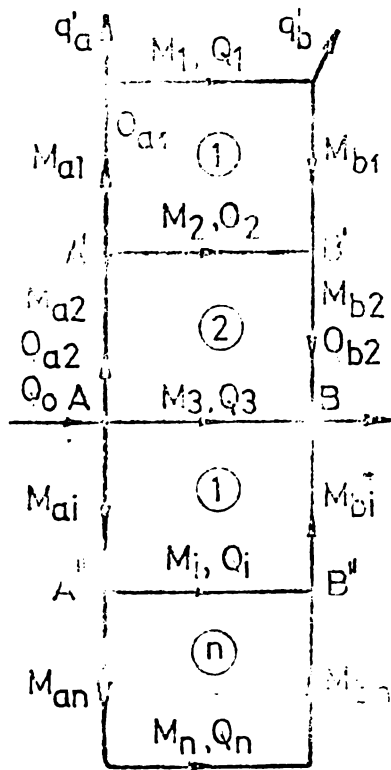


Fig. 5.54

Urmasind Fig. 5.54 pentru inelul (1), se permite echivalarea traseului a_1, l, b_1 cu o singură conductă avînd modulul de rezistență echivalent $M_{1e} = M_{A1} + M_1 + M_{B1}$. Se aplica analog formula și pentru inelul n . Inelele sunt astfel înlocuite astfel cu circuitele echivalente M_{1e} și M_{ne} pe traseele $A'-B'$ și $A''-B''$; rangul circuitului s-a redus cu două unități, întrucît sub aspectul pierderii de sarcină în echivalență, inelul i este înlocuit cu o conductă $A'B'$ avînd M_{1e} la debitul $Q_{A'B'} = Q_{a2}$ etc. Conducta echivalentă pe traseul $AA'B'B$ se obține cu:

$$M_{2e} = M_{a2} + M_{1e} + M_{b2} \text{ și } Q_{2e} = Q_{a2} - \sum_{i=1}^n Q_{a_i} \text{ etc.}$$

Dacă numărul de inele este mare, se reduce treptat rangul sistemului prin echivalența perechilor de inele extreme. Final se ajunge la sistem de 2...3 conducte echivalente în paralel în jurul arterelor centrale, sau chiar la o conductă echivalentă.

Procedul dă rezultate bune în cazul debitului mare de tranzit prin sistem. Dacă tranzitul nu este important, respectiv la ora de maxim concurs cu zonă neutră, structura nu se mai poate considera ca sistem de inele în paralel și trebuie considerată ca rețea inelară.

5.3.5. Rețele echivalente

5.3.5.1. Rețele echivalente rezolvate prin metoda aproximativă

Dacă conductele transversale nu au mare importanță, ele se pot neglija (figura 5.55), rezultând un sistem de conducte în paralel compus din două sisteme de conducte în serie care sînt de

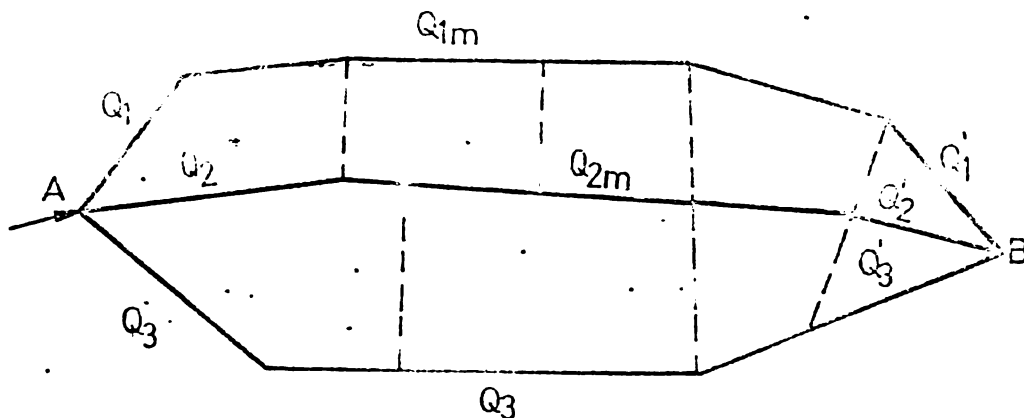


Fig. 5.55

fapt traseele marginale.

Echivalența conductei în serie este exprimată prin :

$$Q_{im} = \frac{Q_{i1} + Q_{ie}}{2}$$

$$M_1 = \sum M_{1i}$$

$$M_2 = \sum M_{2i}$$

$$M_3 = \sum M_{3i}$$

iar echivalența conductelor în paralel prin :

$$\frac{1}{\sqrt{M_e}} = \frac{1}{\sqrt{M_1}} + \frac{1}{\sqrt{M_2}} + \frac{1}{\sqrt{M_3}}$$

5.3.5.2. Rețele echivalente rezolvate prin metoda apropiată

Dacă conductele transversale au o pondere importantă, ele nu se pot neglija ci se vor atașa succesiv, conductelor ce reprezintă trasee principale. Din figura 5.56, se constată posibilitatea concentrării puterilor în trei trasee principale care pot fi considerate, în ansamblu, legate în serie și deci modulul lor de rezistență va fi:

$$M_1 = \frac{1}{\left[\frac{1}{\sqrt{M_{1a}}} + \frac{1}{\sqrt{M_{1e}}} \right]^2} + M_1'' + M_3''; \quad M_2 = M_2' + \frac{1}{\left[\frac{1}{\sqrt{M_{2a}}} + \frac{1}{\sqrt{M_{2b}}} \right]^2}$$

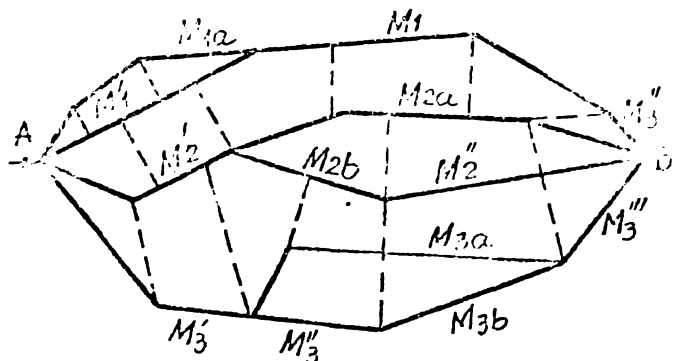


Fig. 5.56

5.4. Exemplificare pentru elaborarea rețelelor echivalente

Procedeele și metodele expuse în partea întâia a acestui capitol, s-au aplicat pe rețeaua reală a unui important centru industrial și administrativ (orașul T). Această rețea are 96 inele, 185 noduri, 280 conducte. Deoarece la un moment dat s-a constatat că cererea de apă a consumatorilor depășește posibilitățile actuale ale rețelei, s-a impus un studiu al eficienței dezvoltării rețelei. Unul din aspectele ale acestui studiu l-a constituit realizarea unei rețele echivalente care să satisfacă cerințele impuse în paragraful 5.1.

Prin calcule și studiu atent s-a obținut o rețea cu 7 inele, 15 noduri și 21 conducte. Acest număr de inele a permis și verificarea pe instalația de analogie hidraulică din laboratorul de alimentări cu apă al Facultății, experiența descrisă în cap.6.

Realizarea rețelei echivalente a necesitat următoarele faze de calcul :

- Avînd planul rețelei de bază cu traseele principale, sensul de curgere, poziția surselor de apă, diametrii conductelor, debitele aferente, ținînd seama de ponderea consumatorilor și de distribuția zonelor de consum, s-a conturat inițial o schemă de bază cu arterele principale ale rețelei, (figura 5.57), avînd $i = 36$ inele, $n = 90$ noduri și $c = 25$ conducte și s-a schematizat rețeaua echivalentă cu 7 inele, respectiv traseele desenate prin linii pline.

- Schematizarea a permis stabilirea nodurilor rețelei echivalente, noduri care însă coincid cu noduri aparținînd rețelei de bază. Numerotînd inelele (I - VII), în figura 5.58 se observă de exemplu, că nodul 67 al vechii rețele coincide cu nodul 1 al rețelei echivalente.

$$M_3 = M_3' + \frac{1}{\left[\frac{1}{\sqrt{M_{3a}}} + \frac{1}{\sqrt{M_{3b}}} \right]^2} + M_3''$$

La rîndul lor, aceste trasee principale se consideră legate în paralel cu modul de rezistență final:

$$\frac{1}{\sqrt{M_e}} = \frac{1}{\sqrt{M_1}} + \frac{1}{\sqrt{M_2}} + \frac{1}{\sqrt{M_3}}$$

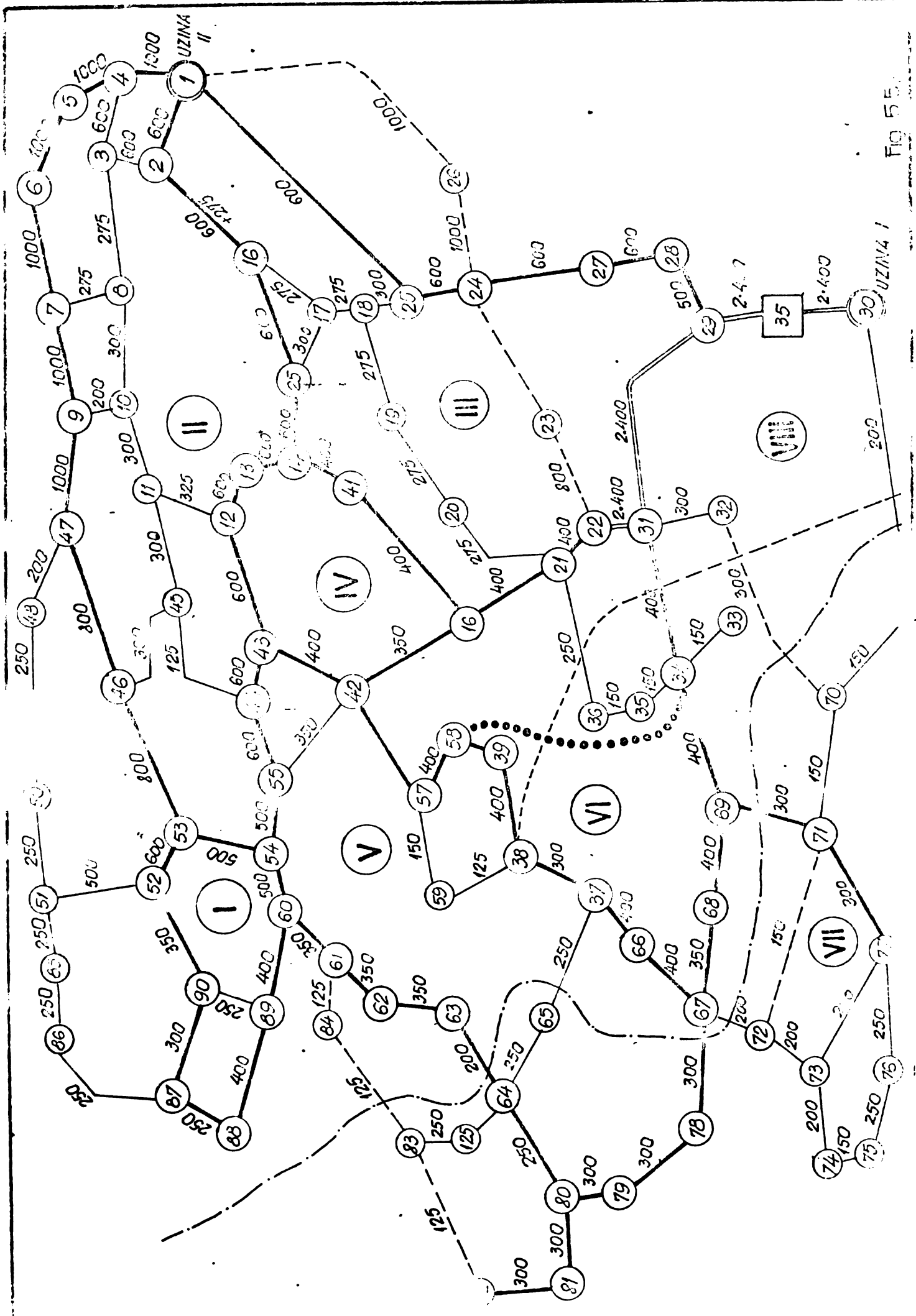


FIG 55

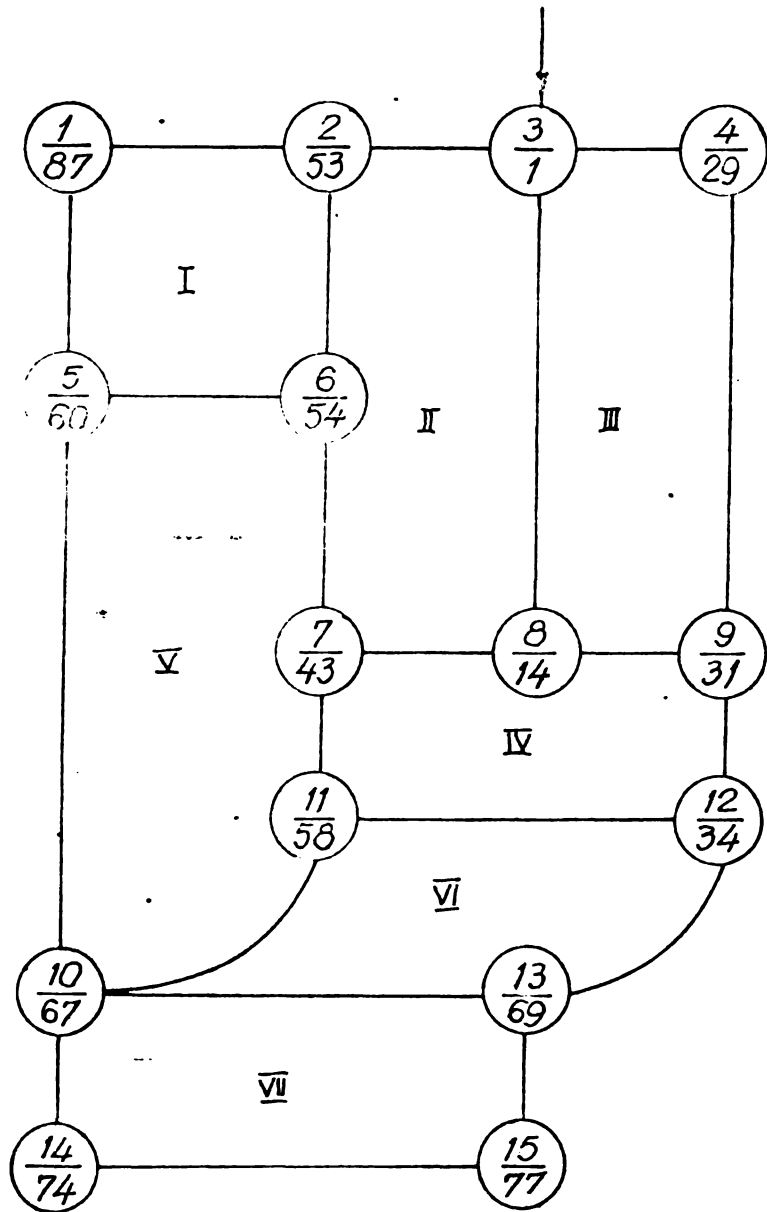


Fig. 5.58

- Următoarea fază foarte importantă este stabilirea conductelor echivalente față de conductele componente existente. ținut seama de traseul direct, de cel aferent, prin lungime, debit, diametru, rezistență specifică. In tabelul 5.20 a,b,c,d se poate urmări amănunțit această fază de calcul care s-a efectuat pentru fiecare inel echivalent.

De exemplu, pentru conducta nr.1 din inelul echivalent I, ținând seama de conductele reale ale rețelei, se obține :

$$M_1 \left\{ \begin{array}{l} \frac{L}{a} \times \frac{a}{L} = 610 \\ 720 \times 0,22 = 280 \\ 100 \times 0,023 = 2,3 \\ \hline \Sigma L = 1490 \end{array} \right. \quad \left. \begin{array}{l} \frac{L}{a} \times \frac{a}{L} \\ 720 \times 2,41 \\ 530 \times 2,41 \\ 260 \times 2,41 \\ \hline \Sigma L = 1310 \times 2,41 = 3150 \end{array} \right. M_2$$

$$M_e = \frac{M_1 \times M_2}{(\sqrt{M_1} + \sqrt{M_2})^2} = 385,0$$

Ținând seama de diametrii conductelor respective, se alege D = 400 deci M corespunzător fiind 0,196 ; se calculează o lun-

Tabelul 5.20 a

Inel	Nr. cond. echivalență	Noduri limită echiv. reală	Conducte componente existente								Conducte echivalente				
			Traseu direct				Traseu paralel				M	D	a		
			Li/nr. cond.	Q	D	ai	Li/nr. cond.	Q	D	ai					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
I	1	1 - 2 87-53	670/110	26.64 111.0	300/052	0,91	720/108	29,21 21,55/86	250/1,78	2,41	385	400	0,196		
			720/112	142.9 32,76	350/7,07	0,40	330/107	50,76 188/85	250/2,47	2,41					
			100/23	468,33 5,48/53	600/0,59	0,023	260/106	52,54 22,65/ 34,0/51	250/2,09	2,41					
	5	2 - 6 53-54	890/25	140 82 12,46/54	500/1,26	0,06					890x 0,06	500	0,06	890	
8	5 - 6 60-54	570/12	303,54 9,72/60	500/3,75	0,06					570x 0,06	500	0,06	570		
I	4	5 - 1 60-87	325/13	139,94 22,25/89	400/1,5	0,196					1597	300	0,911	1750	
			580/14	95,18 33,59/88	400/1,23	0,196									
			600/109	60,8/88 0,79	250/0,0	2,41									
II	2	2 - 3 53 - 1	630/22	473,81 13,81/46	800/0,82	0,0495	590/105	42,57 3,98/ 48,3/50	250/310	2,41					
			580/21	514,64 8,0/47	800/0,89	0,0495	650/104	9,71 3,47/ 15,6/49	250/0,18	2,41					
			410/20	567,18 8,14/9 18,0/9	1000/0,23	0,001	430/103	28,77 2,28/ 13,5/48	250/1,03	2,41					
			670/19	615,68 11,68/7	1000/0,45	0,001	280/102	44,55 8/47	200/531	792					
			808/18	601,43 9,34/ 35,4/	1000/0,51	0,001									
			600/17	646,17 9,94/ 10,6/5	1000/0,44	0,001									
			890/16	666,72 7,00/4	1000/0,70	0,001									
		150/15	673 71 -2015,77U +31 6	1000/0,12	0,001						44,53	600	0,023	1940	
II	6	3 - 8 1 - 14	640/26	231,01 8,12- 2	600/0,92	0,023	570/1	234,36 13,19/3	600/0,85	0,023					
			440/3	297,90 13,48/16	600/1,05	0,023	70/2	75 8,12/2	600/0,01	0,023					
			480/4	290,63 10,17/ 42,5/15	600/1,09	0,023									
			680/5	276,73 7,35/ 7,1/14	600/1,41							4057	600	0,023	1750

Continuare tabel 5.20 b

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
I	11	8 - 7 14 - 43	260/6	217,46 2,68/13	600/0,33	0,023	650/53	69,87	350/153	0,4					
			120/7	214,77 9,25/	600/0,15	0,023					12,5	500	0,06	2080	
			520/8	245,3 7,00/43	600/0,84	0,023									
II	10	7 - 6 43 - 54	100/9	165,48 6,0 - 44	600/0,07	0,023									
			290/10	173,14 6,15 - 55	600/0,23	0,023									
			200/11	175,19 12,46 - 54	500/0,44	0,023					21,0	500	0,060	350	
5	6 - 2 54 - 53	rezolvat la inel I										500			
III	3	3 - 4 1 - 29	1200/39	191,45 13 31,8/25	600/1,19	0,023									
			500/41	51,49 17,94 106,6/24	600/0,0	0,023									
			840/42	127,3 10,17 133,3/27	600/0,37	0,023									
			600/43	16,17 8,05 70,9/28	600/0,0	0,023									
			540/0,28	95,12 19,3/29	500/0,28	0,06						104	400	0,196	532
7	4 - 9 29 - 31	1800/46	123,35 29,10/31	400/1,61	0,196	1800/46	123,35	400/1,61	0,196	100	400	0,196	5		
III	12	9 - 8 31 - 14	320/47	203,51 8,91/22	400/0,78	0,196	320/47	203,51	400/0,78	0,196					
			100/48	219,09 23,90/21	400/28	0,196	100/48	219,09	400/28	0,196					
			820/49	114,33 24,34 27,01/40	400/2,52	0,196	990/32	20,0	275/0,69	1,5					
			630/50	39,68 5,16/41	400/0,23	0,196						257,32	400	0,196	132
			100/51	44,83 7,35/14 7,1/	400/0,05	0,196									
6	3 - 8 1 - 14	rezolvat inelul II													

Continuare tabel 5.20 c

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
IV	11	7 - 8 43 - 14	vezi	inel II											
	12	8 - 9 14 - 31	vezi	inel III											
	14	9 - 12 31 - 34	980/68	206,43 18,11/34	400/9,81	0,196	1040/33	60,81	250/11,75	2,41	117	400	0,196	59	
	16	12 - 11 34 - 58	150/87	9,57 6,12/35	150/0,61	36,72									
			560/88	3,45 6,12/36	150/0,30	36,72									
			800	36	100	319,2	180/34	41,14	250/530	2,41					
			80/58	84,15 4,95/58	200/5,41	7,92						28670	150	3772	160
	13	11 - 7 58 - 43	580/57	89,11 12,08/57	400/1,08	0,196									
			220/56	115,18 3,15/56 5,0/56	400/0,69	0,196	920/122	32,80	200/9,45	7,92					
			200/55	123,34 11,18/42	400/0,71	0,196									
		310/52	72,80 7,00/43	400/0,39	0,196						182	450	0,104		
V	8	5 - 6 60 - 54	vezi	inel I											
	10	6 - 7 54 - 43	vezi	inel II											
	13	7 - 11 43 - 58	vezi	inel IV											
	15	11 - 10a 58 - 67	80/58	84,15 15,70/39	200/5,41	7,92	810/89	13,99	150/70	36,72					
			830/59	101,25 14,11/38	400/20	0,196	420/90	5,24	125/135						
			280/91	88,30 19,96/37	300/2,39	0,4									
			630/92	60,75 8,03/66 20,0/66	400/0,55	0,196									
			630/93	32,62 20,40/67	400	0,196						993	300	0,911	
	9	10a - 5 67 - 60	860/94	67,82 8,03/78	300/4,32	0,911									
			400/95	59,79 4,65/79 26,8/79	300/1,56	0,911									
		330/96	28,33 8,42/80 14,3/80	300/0,29	0,911										
		800/37	4,66 12,24/64 85,6/64	250/0,05	2,41										

Continuare tabel 5.20 d

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
V	9		820/38	33,98 8,99/63 5,4/63	200/9,04	792	760/35	48,72 6,76/65	250/5,23	2,41					
			200/61	44,29 4,80/62 12,2/62	350/0,19	0,4	300/36	41,96	250/1,53	2,41					
			400/62	61,29 9,08/61	350/0,85	0,4	340/101		125	2,41					
			470/63	153,88 9,72/60	350/4,56	0,4	1100/100		125	2,41	9084	200	7,92	1145	
VI	9	10a-10b 67-67													
	15	11-10a 58-67	vezi inel V												
	16	12-11 34-58	vezi inel IV												
	18	12-13 34-69	660/69	170,9 19,22/69	400/4,53	0,196						130	400	0,196	66
	17	13-10b 69-67	490/70	97,06 7,33/68	400/1,08	0,196									
		370/71	89,73 20,40/67	350/1,39	0,4						216	350	0,400		
VII	17	13-10b 69-67	vezi inel 6				300/86	7,83 13,0/33	150/0,84	36,72					
	20	13-15 69-77	930/80	54,63 31,75/71	300/3,03	0,911	1000/83	74,52 6,50/70	150/6,07	36,72					
							690/82	68,02 31,75/71	150/0,75	36,72					
	20		930/79	52,77 21,10/77	300/2,83	0,911	1050/81	38,14	150/1,67	36,72	1576	300	0,911		
	21	15-14 77-74	270/77	34,98 4,60/76	250/0,96	2,41									
			190/76	30,38 6,90/75	250/0,51	2,41									
			500/75	23,48 9,50/74 4,7,8/74	250/0,80	2,41						2320	250	2,41	
19	14-10b 74-67	450/74	33,82 15,22/73	150/2,29	36,72	450/74		200	7,92						
						9,10/78	3,3	200/0,1	7,92						
		140/73	52,35 15,22/73	200/107	7,92	140/73		200/107	7,92						
		680/72	34,14	200/2,17	7,92	680/72		200/2,17	7,92	4467	200	7,92			

gime echivalentă $l_e = \frac{385,0}{0,196}$ deci $l_e = 1960$ m. Diametrul conductei echivalente se poate lua la alegere. Este bine însă, ca în general să fie ales diametrul echivalent acela al unei conducte medii, astfel încît lungimea echivalentă să rezulte apropiată de lungimea fizică a conductelor în serie, înlocuite prin conductă echivalentă.

În urma acestui calcul, rețeaua echivalentă pentru calcul poate lua forma redată în schemă în cap.4, figura 4.46, cu toate datele înscrise pe ea. În noduri sînt scrise două numere corespunzătoare rețelei de bază și celei echivalente.

- Stabilirea debitelor de calcul pentru rețeaua echivalentă se poate urmări în tabelul 5.21, a cărui date inițiale de calcul - debite - corespund întru totul cu cele ale rețelei de bază (fig. 5.57). Sectoarele înglobate în conductele rețelei echivalente cumulează debitele aferente transpuse în nodurile rețelei echivalente. Prin însumarea debitelor repartizate în nodurile rețelei echivalente se obțin debitele concentrate în noduri, suma debitelor concentrate în nodurile rețelei echivalente este egală cu suma debitelor concentrate în nodurile rețelei inițiale.

Se observă că principiul de stabilire este analog procedurii de concentrare a consumurilor în nodurile rețelelor inelare în general, pentru a se obține un debit mediu constant pentru fiecare sector.

- Avînd datele complete ale rețelei echivalente, adică: diametre, lungimi, debite, s-a trecut la echilibrarea rețelei. S-a folosit calculatorul MECIPT 2 căruia i s-au furnizat datele conform tabelului 5.22, cerînd și amplificarea rețelei în vederea acoperirii unui consum sporit în zona centrului universitar, problemă a cărei soluționare a fost cerută de organele Consiliului popular municipal Timișoara.

În tabelele 5.23, 5.24, 5.25 sînt arătate rezultatele obținute.

„Stiînd că un calculator nu poate fi corupt, nu poate fi înduplecat (Moisi), se poate considera că problema rețelelor echivalente merită atenție.

Desigur, calculul a fost finalizat prin determinarea cotelor relative în noduri, acceptînd o cotă relativă luată arbitrar în punctele de alimentare. Valorile lor, respectiv diferențele, se pot urmări în tabelul 5.26.

De observat, că aceste calcule respectiv întregul capitol, completează într-o expresie nouă exemplul de calcul luat în studiu în cap. 4.

tabelul 5.22

echilibrare rețea echivalentă

2? 2

3 7 28 22

4? 4 0 1 0 1 5 0 2 0 2 3 6 0 0 7 0 3 0

9 0 4 8 0 8 0 5 10 0 10 13 0 11 0 11 0 6 12 0

12 14 0 7 0 19 0 9 15 17 0 15 16 0 13 0 18 0 14

28 0 17 20 0 18 0 0 19 21 0 21 0 20 0 22 0 16 0

23 0 22 0 24 0 23 0 25 0 24 0 26 0 25 0

27 0 26 0 28 0 27 0 =

5? 5 8 0 4 1 0 6 11 10 0 5 2 0

3 7 12 0 6 0 14 0 28 27 26 25 24 23 22

16 13 11 12 0 13 15 0 9 8 10 0

16 22 23 24 25 26 27 28 18 17 0 15 0

20 21 0 19 17 0 =

6? 1960, 1940, 532, 1750, 890, 1750, 511, 570, 1145,

550, 2080, 1320, 1750, 598, 1085, 200, 540, 660,

565, 1730, 962, 200, 7) =

7? 3

8? 1 2 0 2 0 0 3 0 4 1 2 0 5 2 0

11 6 0 6 0 7 3 0 9 4 1 2 0 13 11 6 0

14 7 3 0 18 14 7 3 0 19 0 9 4 1 2 0

20 18 14 7 3 0 16 13 11 6 0 22 16 13 11 6 0

23 22 16 13 11 6 0 24 23 22 16 13 11 6 0

25 24 23 22 16 13 11 6 0 26 25 24 23 22 16

13 11 6 0 27 26 25 24 23 22 16 13 11 6 0 =

9?

9

10? 150, 10, 367,2, 20,5, 200, ?200, 25, 79,2, 33,

250, 45, 24,1, 45, 300, 68, 9,1, 54, 350, 96, 4, 67,

400, 130, 1,96, 80, 450, 168, 1,045, 98,

500 237, 6, 116, 600, 900, 23, 138 =

11? 28

12? 400 600 400 300 500 600 400 500 200 500 2)

400 450 400 300 150 350 400 200 300 250

150 7)

13? 227, 295,3, 473,4, 9,5, 202,9, 18,7, 34,9, 129,6, 99,3,

215,6, 74,6, 48,3, 52,1, 81,4, 46,7, 0 7) =

14? 0 28) =

15? 149,5

f

(

verificare rețea amplificare a

4- 16 400 =

f

(

verificare rețea amplificare b

4- 19 400 =

f

(

Tabelul 5.23

echilibrare retea echivalenta									
debit în noduri									
227,00	295,30	-1527,90	9,50	202,90					
18,70	34,90	121,60	99,30	215,60					
74,60	48,30	-52,10	81,40	46,70					
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
0,00	0,00	-2001,30							
debite echilibrate									
169,27	688,06	288,80	-57,73	223,48					
551,04	279,30	297,85	37,23	93,07					
300,69	-128,75	172,72	308,75	102,78					
- 4,66	122,55	255,79	46,46	81,14					
34,44	- 4,66	- 4,66	- 4,66	- 4,66					
- 4,66	- 4,66	- 4,66							
pierderi de sarcina									
11,01	21,12	8,70	-5,31	2,67					
-12,22	7,81	3,03	12,57	0,29					
11,28	-4,29	5,46	11,17	10,43					
- 0,16	3,24	8,46	9,87	10,36					
2,75	-0,16	-0,16	-0,16	- 0,16					
-0,16	-0,16	-0,16							
divergenta pe inele									
-0,00	-0,00	-0,00	-0,00	-0,00					
0,00	0,00								
sarcini în noduri									
217,37	228,38	249,50	240,80	222,67					
225,71	225,99	237,28	232,99	210,11					
220,54	221,82	213,35	200,24	202,99					
220,70	220,86	221,02	221,18	221,34					
221,50	221,66								
diametre									
400	600	400	300	500	600	400	500	200	500
500	400	450	400	300	150	350	400	200	300
250	150	150	150	150	150	150	150		

costul rețelei, în lei = 201685000

Tabelul 5.24

verificare rețea amplificare a

debite în noduri

227,00	295,30	-1527,90	9,50	202,90
18,70	34,90	121,60	99,30	215,60
74,60	48,30	52,10	81,40	46,70
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	-2001,30		

debite echilibrate

169,27	687,99	288,86	-57,73	223,42
551,05	279,36	297,87	37,24	93,15
300,61	-128,84	172,56	308,90	102,88
-4,92	122,45	255,68	46,97	81,13
34,43	-4,92	-4,92	-4,92	-4,92
-4,92	-4,92	-4,92		

pierderi de sarcină

11,01	21,12	8,70	-5,31	2,67
12,22	7,82	3,03	12,58	0,29
11,28	-4,29	5,45	11,18	10,45
-0,00	3,24	8,46	9,87	10,36
2,75	-0,18	-0,18	-0,18	-0,18
-0,18	-0,18	-0,18		

divergenta de inele

0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-0,00	-0,00			

sarcini în noduri

217,38	228,38	249,50	240,80	222,68
225,71	226,00	237,28	232,98	210,10
220,55	221,80	213,34	200,23	202,98
220,56	220,73	220,91	221,09	221,27
221,44	221,62			

diametre

400	600	400	300	500	600	400	500	200	500
500	400	450	400	300	400	350	400	200	300
250	150	150	150	150	150	150	150		

costul rețelei în lei = 202875000

Tabelul 5.25

verificare rețea amplificare b
debite în noduri

227,00	295,30	-1527,90	9,50	202,90
18,70	34,90	121,60	99,30	215,60
74,60	48,30	52,10	81,40	46,70
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	-2001,30		

debite echilibrate

169,40	689,16	287,88	-57,60	224,46
550,86	278,38	298,65	38,15	92,89
302,02	-127,25	174,23	306,32	105,46
-5,83	144,35	252,19	72,36	55,74
9,04	-5,83	-5,83	-5,83	-5,83
-5,83	-5,83	-5,83		

pierderi de sarcina

11,02	21,19	8,64	-5,28	2,69
12,21	7,76	3,05	13,20	0,28
11,38	-4,19	5,55	11,00	10,98
-0,00	4,50	8,23	0,58	4,89
0,19	-0,25	-0,25	-0,25	-0,25
-0,25	-0,25	-0,25		

divergența pe inele

0,00	-0,00	-0,00	0,00	-0,00
-0,00	-0,00			

sarcini în noduri

217,28	228,31	249,50	240,86	222,57
225,62	225,90	237,29	233,10	209,37
220,35	222,10	213,87	208,79	208,98
220,35	220,60	220,85	221,10	221,35
221,60	221,85			

diametre

400	600	400	300	500	600	400	500	200	500
500	400	450	400	300	400	350	400	400	300
250	150	150	150	150	150	150	150		

costul rețelei în lei = 205530.000

Tabelul 5.26

NOD	53	87	60	54	29	43	14	31	58	34	67	69	77	74
Abateri ϵ % ($\Delta h - \Delta h'$)	-6,9	+7,5	-18,7	-2,5	+4,2	-3,6	+0,5	+1,9	-12,3	+6,2	-2,6	+1,8	+3,0	+3,0

Δh → pentru rețea completă

$\Delta h'$ → pentru rețea echivalentă

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

5.5. C o n c l u z i i

Studiind condițiile de echivalență prin controlul presiunilor în punctele obligate ale sistemului și apreciind satisfacerea condițiilor de margine în cazul unei rețele luate spre exemplificare, se desprind concluzii importante.

- Aplicarea procedeeilor de echivalență diferă de la caz la caz. Fiecare caz poartă amprenta propriilor caracteristici și topologii. Procedeeul adoptat este influențat de factori, ca : mărirea absolută a debitelor concentrate în diferitele zone ale rețelei ; distanțele de transport în arterele longitudinale în comparație cu lungimile transversalelor ; modul de interconectare a sectoarelor în rețea. Rețelele mici se pot transforma în inele echivalente sau chiar în conducte echivalente direct prin aplicarea principiilor de echivalență expuse pentru conductele în serie și în paralel respectiv pentru inelele în serie și în paralel.

La structurile complexe este indicat să se aplice principiile de echivalență ale rețelelor inelare, deoarece conductele transversale și încărcările lor dețin un rol determinant în gruparea arterelor.

Se recomandă ca pentru fiecare grupare să se efectueze verificări locale pentru a se stabili justetea procedeeului de echivalență aplicat.

Problema echivalenței rețelelor inelare pentru diferitele momente caracteristice de calcul, este extrem de complexă.

În cazul rețelelor cu rezervoare de compensare, nu întotdeauna elaborarea unei rețele echivalente pentru încărcările la ora de maxim consum corespunde pentru ora de tranzit maxim, mai ales dacă se ține seama de ora de maxim consum cu incendii teoretice simultane, acoperite din hidranții exteriori.

Trebuie menționat că extinderea procedeeilor generale de echivalență nu formează în mod deosebit obiectul de studiu al acestei lucrări, scopul inițial fiind acela de a transpune funcționarea unei rețele complexe la forma unei rețele echivalente, în ipoteza caracteristică de calcul, în vederea predimensionării.

În baza unor asemenea rețele echivalente, predimensionarea necesită un volum de calcul incomparabil mai redus și dă o vedere de ansamblu asupra structurii studiate.

C A P I T O L U L 6

STUDIUL EXPERIMENTAL AL REȚELELOR INELARE

6.1. Considerații asupra programelor experimentale

Orice studiu teoretic în aprofundarea unei probleme tehnice, pretinde, ca, imperios necesar, o verificare riguroasă pe cale experimentală.

- Programele experimentale pentru studiul rețelelor inelare devin, ca și însăși obiectul de studiu, deosebit de complexe.

Studiul rețelelor industriale la scară naturală oferă desigur cele mai certe date de comparație în ce privește verificarea ipotezelor teoretice adoptate în calcul. Printre parametrii care în primul rând pretind o verificare riguroasă, se ridică: rugozitatea absolută a conductelor industriale, legată de gradul de uzură a conductelor și de influența îmbinărilor și a pieselor de ramificație din rețea.

Rezultatele studiilor efectuate în capitolele 4, 5, 6, au fost confruntate cu citirile sistematice realizate de întreprinderea de gospodărie a centrului cercetat (studiat) și de asemenea efectuate la cererea colectivului de catedră cu ocazia echilibrărilor la calculatorul MECIPT 2. De asemenea, date suplimentare au fost solicitate de autor cu ocazia elaborării unor proiecte de alimentare cu apă în centrul universitar. Datele tehnice verificate în rețeaua industrială concordă în mod acceptabil cu datele adoptate în studiile analitice și în cea mai mare parte au format cadrul tehnic pentru stabilirea rugozității absolute. Cu toate acestea, în cadrul lucrării de față, autorul consideră că este bine să efectueze încercări experimentale pe modele fizice în studiul rețelelor inelare.

În rândul modelelor fizice trebuie considerate atât modelele hidraulice, care la problema în speță sînt deosebit de complexe și costisitoare, cît și instalațiile analogice care se găsesc în dotarea unor laboratoare. Astfel, laboratorul de alimentare cu apă a catedrei de C.H. din Institutul politehnic „Traian Vuia” are, deosebit, o instalație analogică care funcționează cu apă, dispunînd de rețele modelate cu diafragme și robinete. Încercările experimentale au fost efectuate în cadrul tezei, pe instalația analogică dotată cu robinete de modelare. Aceasta dispune de rezervor cu înălțime variabilă pentru simularea procesu-

lui de pompare, model de rețea cu 15 inele de studiu, cuprinzând aparatura pentru măsurarea consumului din noduri, precum și a presiunilor din rețea respectiv rezervor de compensare care se poate racorda la sistem.

6.2. Procedeu de studiu al rețelelor inelare în instalații analogice

Studiul se referă exclusiv la instalația hidraulică analogică dotată cu robinet cu sertar, folosită în cercetarea experimentală.

La modelele cu robinete, se preferă robinetele mici cu sertar, la care gradul de deschidere variază proporțional cu numărul de ture și cu unghiul de rotire a tije socotit de la o poziție zero bine determinată. Relația $q-h$ s-a stabilit cu exactitate la etalonare, pentru fiecare grad de deschidere (fig. 6.59 b). Coeficientul de rezistență m al robinetului se determină de asemenea pentru fiecare grad de deschidere (fig. 6.59 a).

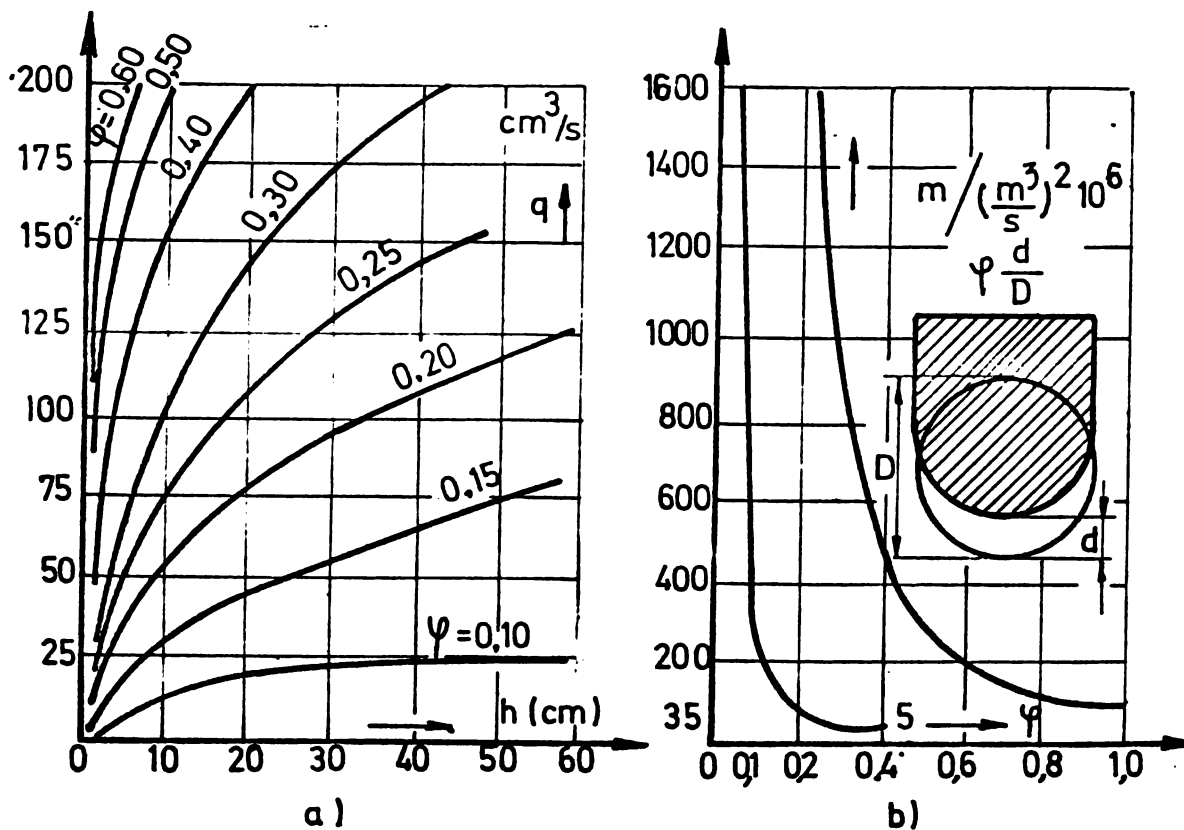


Fig. 6.59

6.2.1. Relatii de bază în calcul

Ecuatia pierderii de sarcină ce are loc în natură în cazurile obișnuite la conductele din fontă, oțel și beton armat, este $H = M \cdot Q^\beta$. În cazul modelării cu ajutorul robinetelor se utilizează relația $h = m \cdot q^\beta$. Exponentul fiind 1,85 - 2,0.

Trebuie precizat că în regim turbulent pătratic, coeficientul dimensional M este constant iar valoarea constantă a lui m este o condiție importantă a modelării și trebuie delimitat în gama debitelor studiate, domenii în care valorile m , pot fi considerate constante, sau cu mici abateri, acceptabile.

Scara debitelor este aceeași pentru întreg modelul atât pentru debitele de tranziț din conducte Q_i , cât și pentru debitele din noduri Q_{ni} .

Trebuie satisfăcute relațiile de echilibru în noduri :

$$\sum Q_i + \sum Q_{ni} = 0 \quad (6.1)$$

și ecuația de închidere a liniilor de presiune pe inele :

$$\sum H_i = 0 \quad (6.2)$$

Se dispune de i ecuații de închidere a liniilor de presiune și $(n-1)$ ecuații independente de bilanț în noduri, numărul conductelor (c) fiind întotdeauna :

$$c = i + (n-1) \quad (6.3)$$

Pentru rezolvarea problemei trebuie să fie cunoscute caracteristicile conductelor și consumurile concentrate din noduri.

6.2.2. Procedeul de modelare

Se alege scara debitelor : $\alpha_Q = \frac{Q_i}{q_i} = \frac{Q_{ni}}{q_{ni}}$

unde Q_i este debitul de apă din rețeaua industrială și q_i debitul de apă din model.

Pentru coeficientul de rezistență M s-a adoptat :

$$\alpha_M = \frac{M}{m}$$

fiind necesar să se stabilească gradul de deschidere al robinetului $\varphi = \frac{d}{D}$ (fig. 6.59 b) în funcție de valoarea coeficientului dimensional m . (d = diametru model, D = diametru rețea).

Scara sarcinilor nu mai este aleatorie ci decurge nemijlocit din relația :

$$\alpha_H = \frac{H_i}{h_i} = \alpha_M \cdot (\alpha_Q)^\beta$$

6.2.3. Etalonarea modelului

Instalația folosită se compune dintr-o conductă de alimentare, racordată la rețeaua industrială, modelul propriu zis format din 15 inele prevăzute cu robinete, panouri piezometrice și rezervor de compensare (fig. 6.60).

Robinetele cu sertar folosite au diametrul de 20 mm și au fost etalonate la gradele de deschidere $\varphi = 0,05 - 1,00$ după cum se vede în figura 6.61.

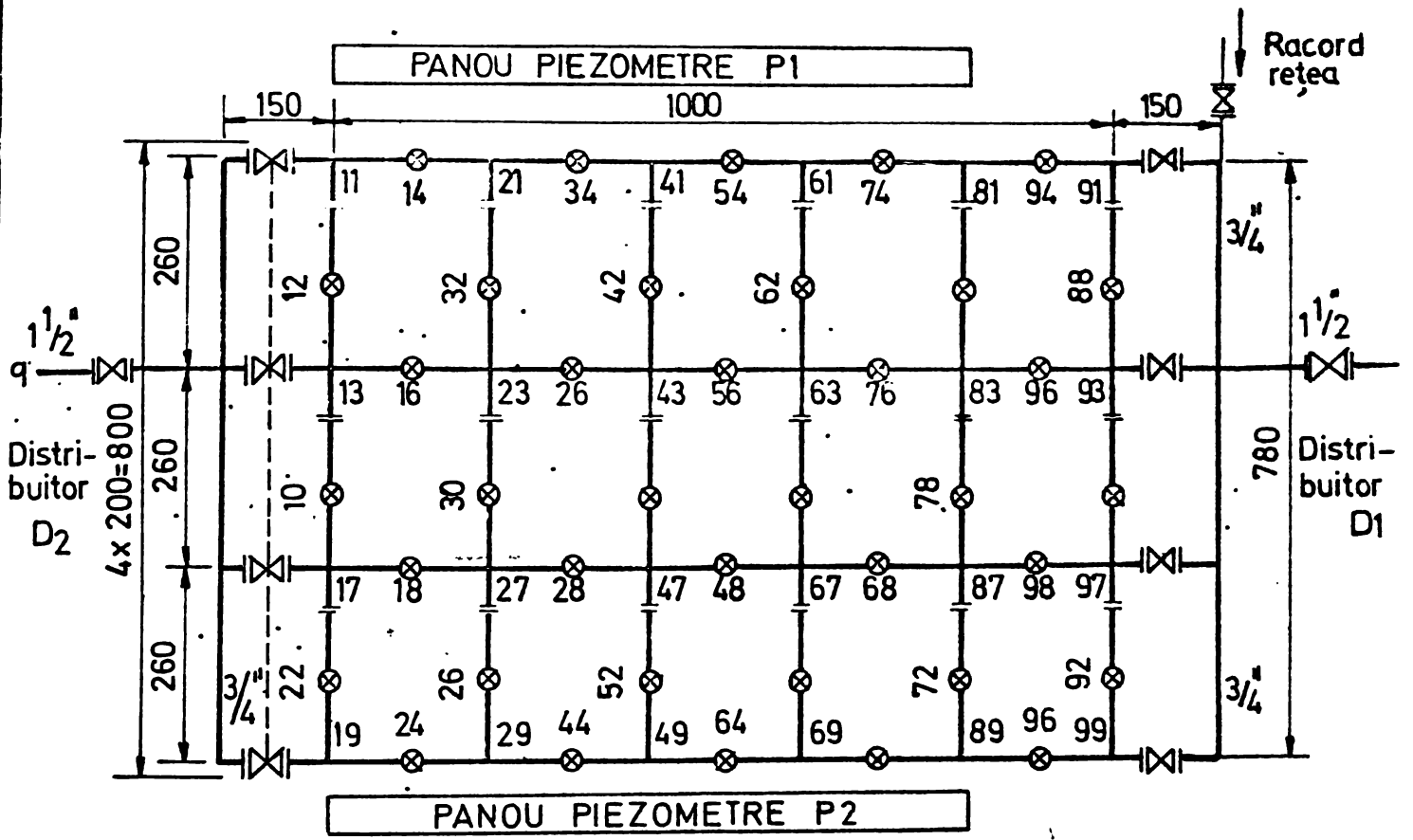


Fig. 6.60



Foto 6.1.

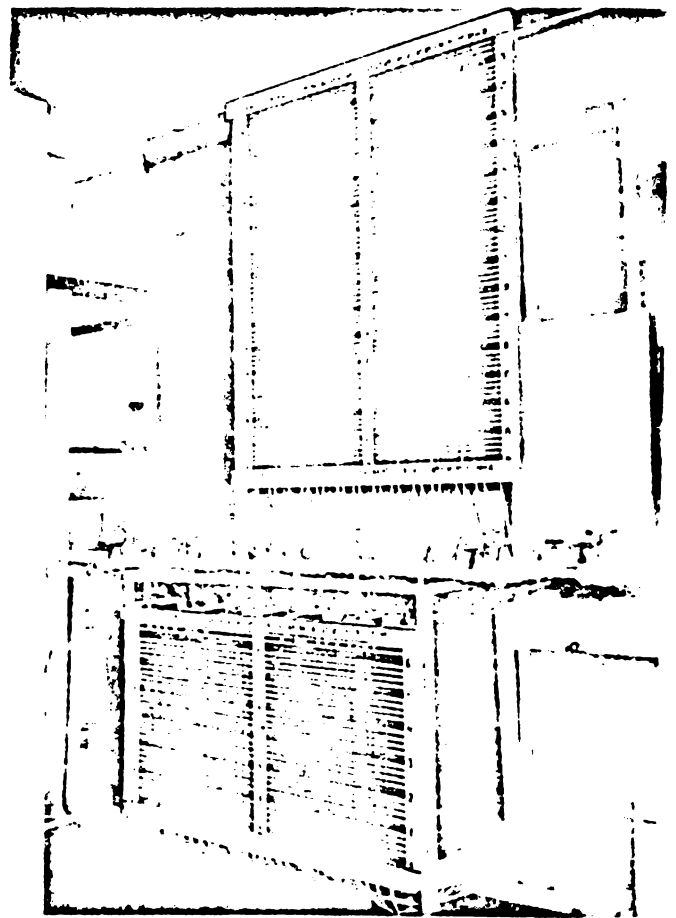


Foto 6.2

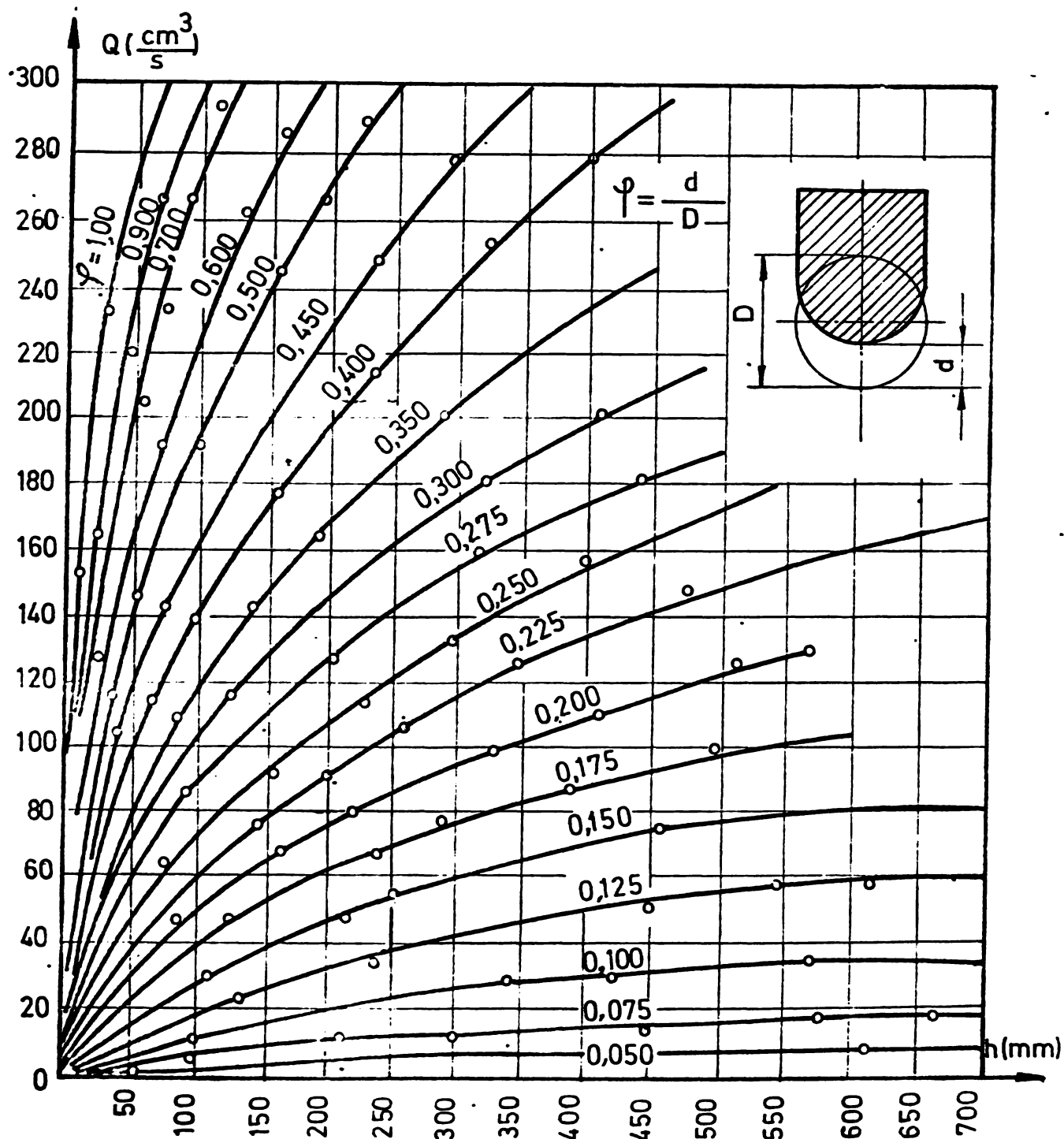


Fig. 6.61

O problemă fundamentală este determinarea domeniului de aplicabilitate pentru $m = \text{constant}$ în regimul turbulent pătratic. În exploatare s-a admis o abatere de ± 2 cm/s, deci o eroare medie de 1 %. În cadrul lucrării s-au cercetat însă posibilitățile aplicării relației mai apropiate de regimul de tranziție, în care se consideră $\beta = 1,85$, cu rezultate bune.

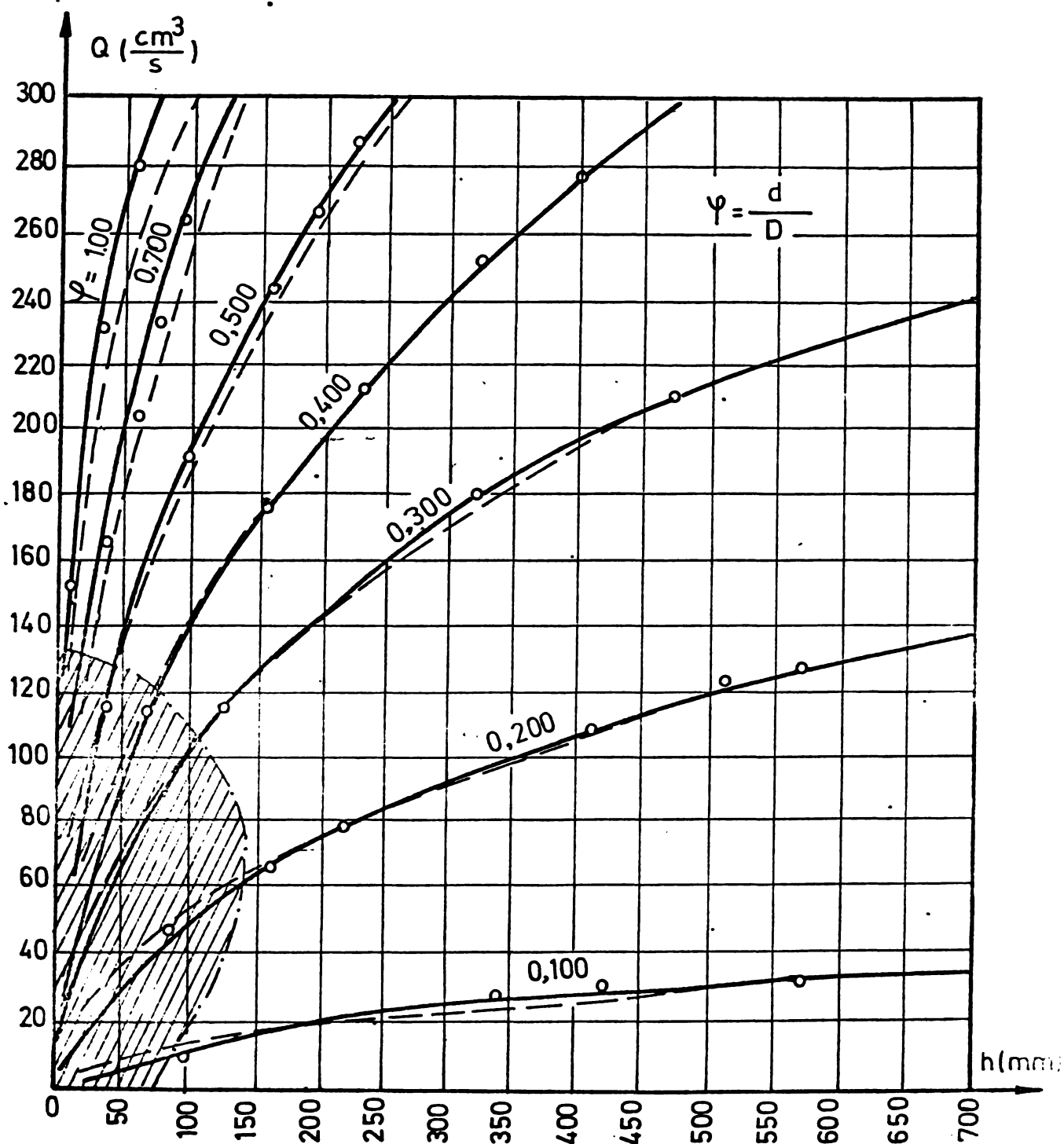


Fig. 6.62

Delimitarea domeniului valabil se poate urmări pe diagrama din figura 6.62 conform rezultatelor stabilite în tabelul 6.27 prin calcul, la valori Re mai mari de 8000. Trebuie evitată zona (hașurată) a debitelor foarte mici.

Pentru măsurarea consumurilor din noduri, s-au etalonat cele trei țeave având diametrii normale de 3,4 respectiv 5 mm (foto 6.1).

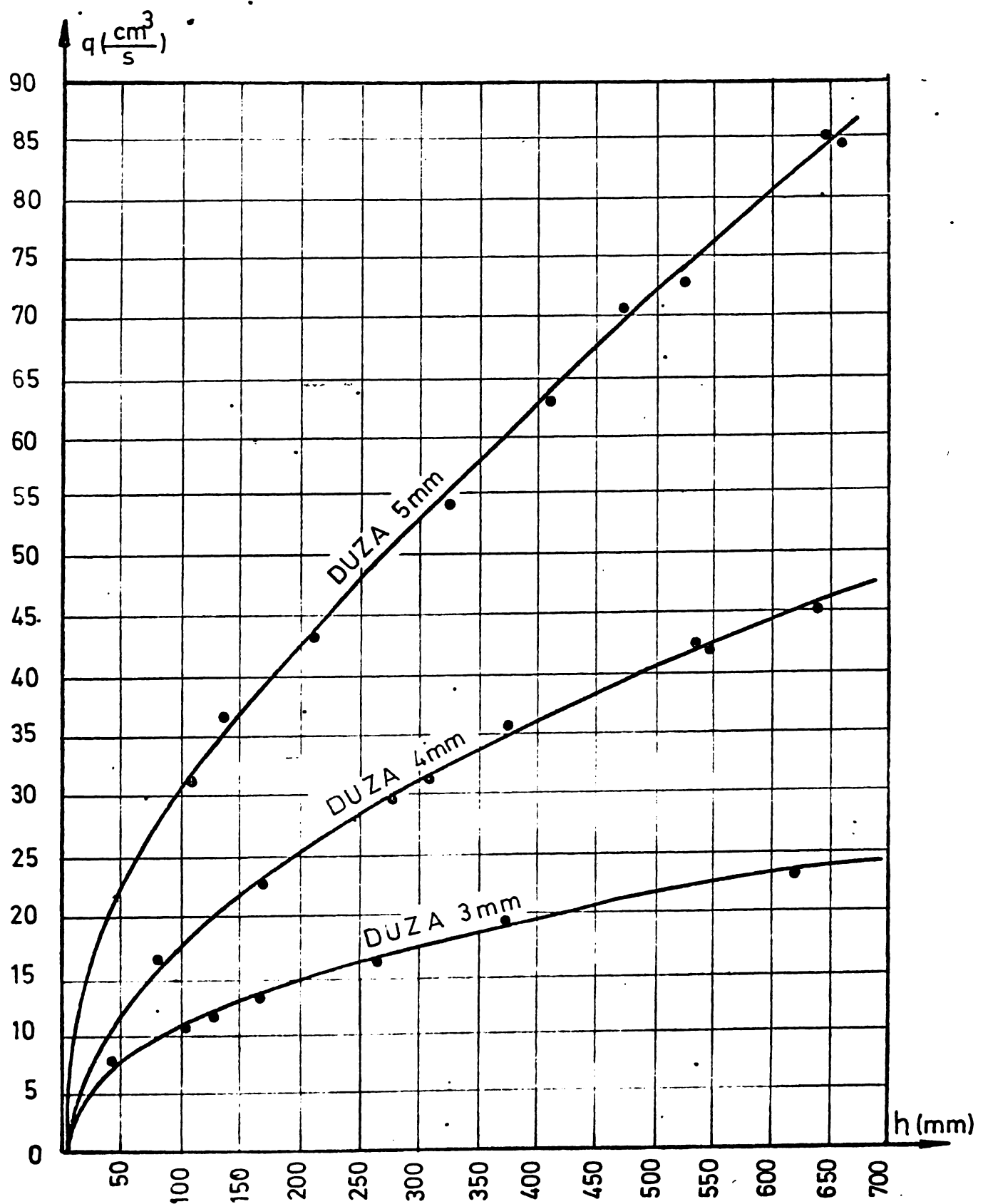


Fig. 6.63

Pentru măsurarea debitelor din noduri se folosesc relațiile dintre debitul duzelor și înălțimea coloanei de apă de deasupra duzelor (fig. 6.63).

O altă problemă importantă este determinarea coeficientului de debit al duzelor. După verificarea cu exactitate a diametrilor duzelor, s-au determinat coeficienții de debit conform tabelului 6.28.

Tabelul 6.27

Q ($\frac{\text{cm}^3}{\text{s}}$)	h (mm)																			
	$\varphi = 0,050$	$\varphi = 0,075$	$\varphi = 0,100$	$\varphi = 0,125$	$\varphi = 0,150$	$\varphi = 0,175$	$\varphi = 0,200$	$\varphi = 0,225$	$\varphi = 0,250$	$\varphi = 0,275$	$\varphi = 0,300$	$\varphi = 0,350$	$\varphi = 0,400$	$\varphi = 0,450$	$\varphi = 0,500$	$\varphi = 0,600$	$\varphi = 0,700$	$\varphi = 0,800$	$\varphi = 0,1000$	
10	615	150	50	20	10	5,1	3,5	2,9	1,69	1,26	1,01	0,68	0,49	0,37	0,27	0,20	0,13	0,10	0,08	
20		600	200	80	40	20,6	14,1	8,2	6,25	5,04	4,04	2,72	1,96	1,48	1,08	0,8	0,52	0,4	0,32	
30			450	180	90	46,4	31,7	19,7	15,2	11,3	9,09	6,12	4,42	3,33	2,45	1,8	1,17	0,9	0,72	
40			800	320	160	82,5	56,4	35	27	20,2	16,2	10,9	7,8	5,9	4,3	3,2	2,08	1,6	1,28	
50				500	250	129	88	54,6	42,2	31,5	25,2	17	12,2	9,25	6,75	5	3,2	2,5	2,0	
60				720	360	185	126	78	60,8	45,4	36,4	24,5	17,6	13,3	9,7	7,2	4,67	3,6	2,9	
70					490	252	172	107	82,7	61,7	49,5	33,3	24	18,1	13,2	9,8	6,36	4,9	3,92	
80					640	380	225	140	108	80,6	64,6	43,5	31,4	23,7	17,3	12,8	8,32	6,4	5,11	
90						417	285	177	152	102	81,7	55,1	39,7	30	21,0	18	10,5	8,1	6,48	
100						515	352	219	169	126	101	68	49	37	27	20	13	10	8	
110						624	425	264	204	152	122	82,4	59,4	44,7	32,7	24,2	15,7	12,1	9,6	
120							506	316	243	181	145	98	70,6	53,4	38,9	28,8	18,7	14,4	11,5	
130							595	370	285	213	170	115	82,9	69,5	45,6	33,8	22	16,9	13,5	
140							690	428	331	247	197	133	93,6	72,5	53,7	39,2	25,5	19,6	15,7	
150								492	380	283	227	153	110	83,1	60,7	45	29,2	22,5	18	
160								538	415	310	248	167	120	91	67,5	49,2	32	24	19,7	
170								633	488	364	292	197	141	107	78	57,8	37,6	28,9	23,1	
180									547	408	327	221	159	120	87,5	64,8	42	32,4	25,9	
190									610	455	367	245	177	134	94,7	72,2	47	36,1	28,9	
200										504	404	272	196	146	108	80	52	40	32	
210										556	455	300	216	163	110	88,2	57,4	44,1	33,3	
220										610	488	329	237	179	131	96,8	62,9	48	38,7	
230											534	360	259	169	143	105	68	52,9	42,4	
240											581	392	282	213	196	115	45	57,6	46,1	
250											630	425	306	232	169	125	81	26,2	5	50
260												460	332	250	182	135	88	62,6	54	
270												495	357	270	197	146	94,6	72,9	58,3	
280												533	384	290	212	157	102	78,4	68,5	
290												572	412	312	227	168	109	84,1	67,3	
300												612	441	333	243	180	117	90	72	

h (cm)	$\sqrt{2gH}$	DUZA 3,1mm				DUZA 4,1mm				DUZA 5,2mm			
		A_2 cm ²	q_3 cm ³ /s	μ	obs.	A_2 cm ²	q_3 cm ³ /s	μ	obs.	A_2 cm ²	q_3 cm ³ /s	μ	obs.
10	140	0,0762	10,5	0,98	$q_{opt} = (15 \div 20) \frac{cm^3}{s}$ $\mu_{med} = 0,928$	0,1325	17,5	0,951	$q_{opt} = (20 \div 40) \frac{cm^3}{s}$ $\mu_{med} = 0,96$	0,2282	30,5	0,954	$q_{opt} = (40 \div 60) \frac{cm^3}{s}$ $\mu_{med} = 0,97$
15	171,5		12,5	0,96			21,5	0,950			36,5	0,931	
20	198		14,0	0,93			25,0	0,952			42,0	0,926	
30	242		16,5	0,90			31,0	0,970			52,5	0,952	
40	280		19,0	0,90			35,5	0,960			62,5	0,914	
50	313		21,5	0,90			40,0	0,968			71,0	0,984	

6.2.4. Desfășurarea experienței

După stabilirea și verificarea caracteristicilor într-un regim de studiu, calculele de desfășoară în mai multe etape.

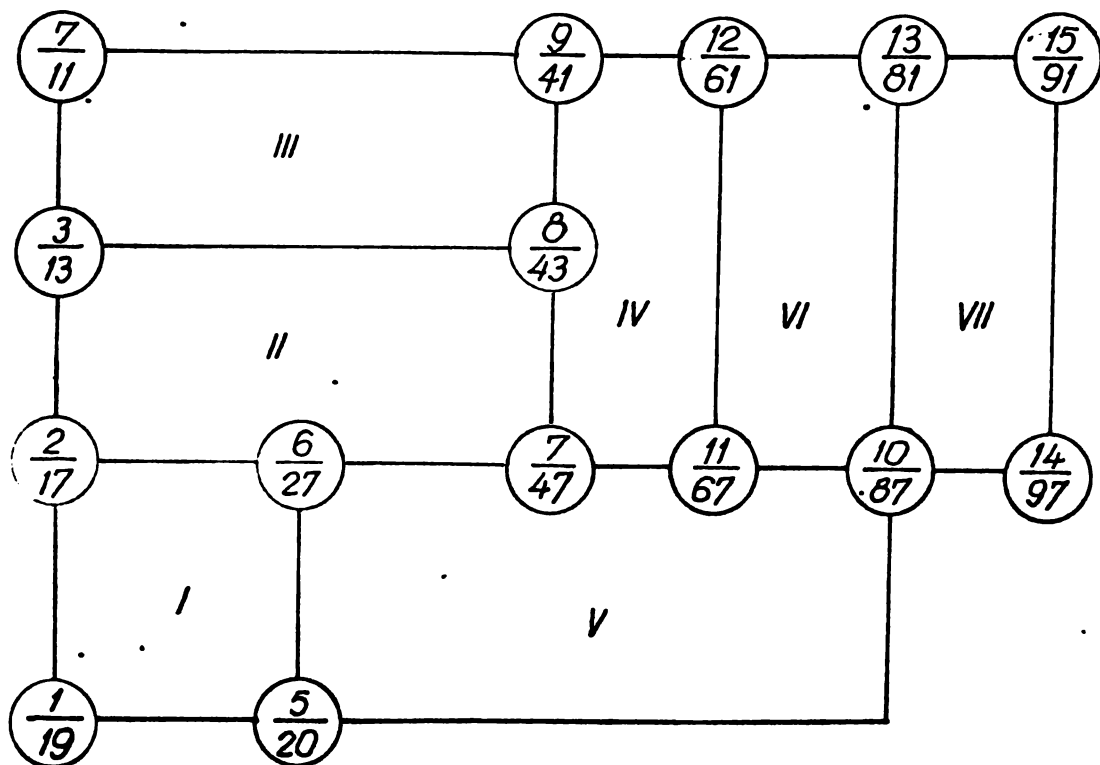
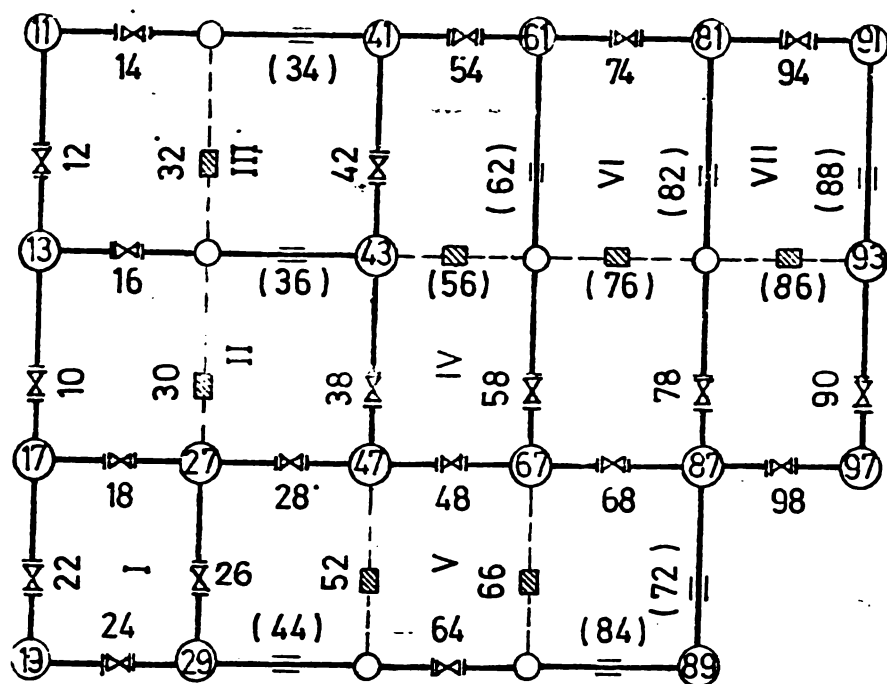


Fig. 6.64

Se studiază geometria rețelei pe model, fără să se țină seama de forma inelelor în plan, ci numai de interconectările conductelor în sistem, respectiv de lungimea, diametrul și rugozitatea conductelor care determină coeficientul de rezistență.

În figura 6.64 se exemplifică încadrarea rețelei echivalente (din fig. 4.46) de distribuție, din 7 inele, pe modelul din laboratorul facultății care dispune teoretic de 15 inele. În fiecare



—=— Robinet complet deschis $\varphi=1$

▨ Robinet închis $\varphi=0$

⊗ Robinet în lucru $\varphi=1$

Fig. 6.65

care nod sînt scrise numărul nodului din rețea și din model (sus).

Figura 6.65 reprezintă încadrarea funcțională a rețelei conforme cu posibilitățile de modelare.

— Se efectuează calculul (în tabele) a caracteristicilor pentru rețeaua inelară; în cazul de față ele fiind calculate în tabelul 6.29 pentru rețeaua echivalentă.

— Se stabilesc scăriile α_Q, α_M care, pentru exemplul considerat, sînt :

$$\alpha_M = \frac{28.670}{3000 \times 10^6} = 9,5 \times 10^{-6}$$

decarece :

$M_{\max} = 28.670$; $L_{\min} = 12,5$; $m_{\max} = 3000$; $m_{\min} = 1,32$; α_M este

menținut constant pentru toate conductele rețelei; α_Q fiind calculat similar cu α_M .

— Se completează tabelul 6.29 cu caracteristicile m și φ de pe model, tabelul 6.29', calculate cu ajutorul scării α_M .

— Toate robinetele din model se așează la gradul de deschidere corespunzător valorii stabilite (tabelul 6.30).

— Se întocmește tabelul debitelor concentrate în noduri, a debitelor calculate pe model la scara α_Q și înălțimile h_d necesare de obținut la luze (tabelul 6.31).

— Se citesc înălțimile piezometrice și diferențele pentru fiecare conductă de pe tabloul principal al modelului și utili-

Tabelul 6.30

Robinet cu sertar Dn=20mm		RS - 20	
	Refuzul ture Pozitia 0,000	$\varphi = \frac{d}{D}$	m
14	1,40	0,050	12300
34	0,78		
54	0,40		
74	1,00	0,075	3000
94	1,24	0,100	1000
16	1,20		
36	1,20		
56	0,30	0,125	400
76	0,65	0,150	200
86	1,25		
18	0,65		
28	0,20	0,175	103,00
48	0,20	0,200	70,40
68	0,20		
98	0,60		
24	1,20	0,225	43,80
44	1,25	0,250	33,80
64	1,30		
84	1,30		
96	1,33	0,275	25,20
12	0,75	0,300	20,20
10	0,80		
22	0,70		
32	1,30	0,350	17,60
30	1,27	0,400	9,80
26	0,75		
42	0,30		
38	0,75	0,450	7,40
52	0,75	0,500	5,40
62	0,95		
58	0,85		
66	0,85	0,600	4,00
82	1,80	0,700	2,60
78	1,10		
72	1,45		
88	(-0,50)	0,800	2,02
90	0,30	1000	1,64
92	0,95		

Tabelul 6.29 si 29'

29						29'		
C	L	D	Q	H	M	conduct. model	$m \times 10^6$ model	pozitie robinet φ
1	1960	400	169,27	11,01	385	22	40,5	0,235
2	1940	600	688,06	21,12	44,53	10	4,7	0,450
3	552	400	288,80	8,70	104	12	10,95	0,386
4	1750	300	-57,73	-5,31	1597	24	168,0	0,160
5	890	500	223,48	2,67	53,4	18	5,60	0,500
6	1750	600	551,04	12,22	40,57	16	4,30	0,460
7	511	400	279,30	7,81	100,00	14	10,5	0,390
8	570	500	297,85	3,03	34,2	26	3,6	0,700
9	1145	200	37,23	12,57	90,84	64	960,0	0,100
10	350	500	93,07	0,29	21,00	28	2,2	0,800
11	2080	500	300,69	11,28	12,5	38	1,32	1,000
12	1320	400	-128,75	-4,29	257,32	42	27,0	0,270
13	1750	450	172,72	5,46	182,00	48	19,1	0,305
14	598	400	308,75	11,17	117,00	54	12,3	0,360
15	1085	300	102,78	10,43	993,00	68	104,0	0,175
16	1600	150	-4,66	1,28	28.670	58	3000	0,075
17	540	350	222,55	3,24	216,00	82	22,8	0,288
18	660	400	255,79	8,46	129,00	74	13,7	0,350
19	565	200	46,96	9,87	4467,00	98	470,0	0,121
20	1730	300	81,14	10,36	1576,00	94	165,0	0,160
21	962	250	34,44	2,75	2320,00	90	244,0	0,140

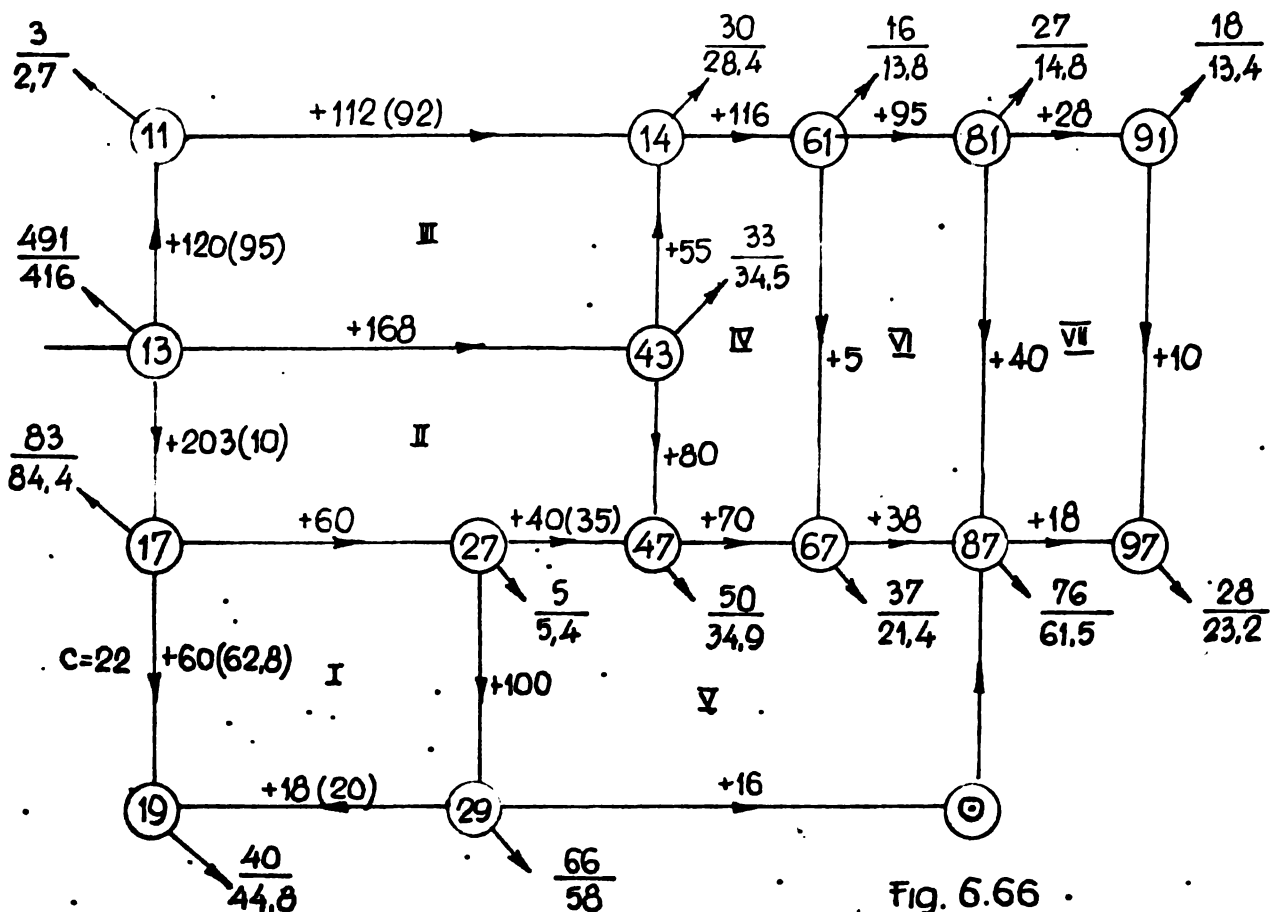


Fig. 6.66

zînd caracteristicile robinetelor, se determină debitele pe conducte la model.

Tabelul 6.31

Nod		Q în noduri		Duză $h = f(Q_n)$	
Rețea	Model	Rețea	Model $Q_n \text{ cm}^3/\text{s}$	d mm	h mm
1	19	227,0	44,8	4	610
2	17	295,3	84,4	5	660
3	13	442,3	126,6	5	1500
4	11	9,5	2,7	3	20
5	29	202,9	58,0	5	370
6	27	18,7	5,4	4	20
7	47	34,9	10,0	4	38
8	43	121,6	34,5	5	130
9	41	99,3	28,4	4	260
10	87	215,6	61,5	5	382
11	67	74,6	21,4	5	42
12	61	48,3	13,8	5	20
13	81	52,1	14,8	5	21
14	97	81,4	23,2	4	168
15	91	46,7	13,4	4	66

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

Transpuse la scară α_2 se determină debitele din rețeaua inelară (tabelul 6.32; figura 6.66).

În figura 6.66 sînt ilustrate comparativ pentru fiecare nod debitul obținut experimental (deasupra liniei din nod) și cel care trebuie să fie instalat.

De remarcat că s-a lucrat pentru valoarea lui $\beta = 1,85$ față de care s-a calculat m (tabelul 6.33), constatînd că este dublu față de cazul $\beta = 2$.

În tabelul 6.34 a, b, c, sînt scoase în evidență verificările robinetului la $\varphi = 0,2$, la $\varphi = 0,3$ și se face comparație pentru diferite valori φ între valoarea m în cazul $\beta = 2$ și $\beta = 1,85$, observînd că în cazul $\beta = 1,85$, valoarea lui m practic se dublează.

Valorile m mai mari, obținute pentru $\beta = 1,85$, ilustrează mai corect desfășurarea procesului de modelare și ca atare au fost adoptate în modelare așa cum sînt înscrise în tabelul 6.30.

Tabelul 6.32

Conductă		Nod		Citiri medii cm.			φ	Debit calculat	
Rețea reală	Robinet model	Initial	Final	Cotă piezometrică		Diferen- ța $C_i - C_f$		Rețea	Model
				initial C_i	final C_f				
1	22	17	19	212,5	202,5	10,0	0,235	219800	628
2	10	13	17	228,5	212,5	16,0	0,450	710500	203
3	12	13	11	228,5	220,5	8,0	0,386	332500	95
4	24	29	19	206,5	202,5	4,0	0,160	70000	20
5	18	17	27	212,5	209,5	3,0	0,500	210000	60
6	16	13	43	228,5	218,5	10,0	0,460	588000	168
7	14	11	41	220,5	213,5	7,0	0,390	322000	92
8	26	27	29	209,5	206,5	3,0	0,700	350000	100
9	64	29	87	206,5	195,0	11,5	0,100	560000	16
10	28	27	47	209,5	209,0	0,5	0,800	122500	35
11	38	43	47	218,5	213,5	5,0	0,270	192500	80
12	42	43	41	218,5	213,5	5,0	0,270	192500	55
13	48	47	67	209,0	204,0	5,0	0,305	245000	70
14	54	41	61	213,5	204,5	9,0	0,360	406000	116
15	68	67	87	204,0	195,0	9,0	0,175	133000	38
16	58	61	67	204,5	204,0	0,5	0,075	17500	5
17	82	81	87	197,5	195,0	2,5	0,288	140000	40
18	74	61	81	204,5	197,5	7,0	0,350	332500	95
19	98	87	97	195,0	186,0	9,0	0,121	63000	18
20	94	81	91	197,5	189,0	8,5	0,160	98000	28
21	90	91	97	189,0	186,0	3,0	0,140	35000	10

In fotografia nr. 6.2 , se observă întreaga instalație analogică pe care s-au efectuat experiențele.

Instalația este văzută din față cuprinzând ambele panouri cu piezometre.

Tabelul 6.33

	q	$\log q$	$1,85 \log q$	Antilg 1,85	h	m
$\varphi=0,300$	67	1,82607	3,37823	2389,0	50	209
	102	2,00860	3,71591	5199,0	100	192
	128	2,10721	3,89834	7913,0	150	188
	146	2,16435	4,00404	10090,0	200	199
	163	2,21219	4,09255	12370,0	250	202
	176	2,24551	4,15419	14260,0	300	210
	188	2,27416	4,20720	16110,0	350	217
	200	2,30103	4,25691	18070,0	400	221
	217	2,33646	4,32245	21010,0	500	237
$\varphi=0,200$	29	1,46240	2,70544	507,5	50	98 5
	47	1,67210	3,09338	1240,0	100	807
	62	1,79239	3,31592	2070,0	150	722
	75	1,87506	3,46886	2943,0	200	678
	84	1,92428	3,55992	3630,0	250	686
	93	1,96848	3,64169	4382,0	300	686
	102	2,00860	3,71591	5199,0	350	691
	108	2,03342	3,76183	5579,0	400	691
	121	2,08279	3,85316	7131,0	500	700
	133	2,12385	3,92912	8494,0	600	707

Tabelul 6.34

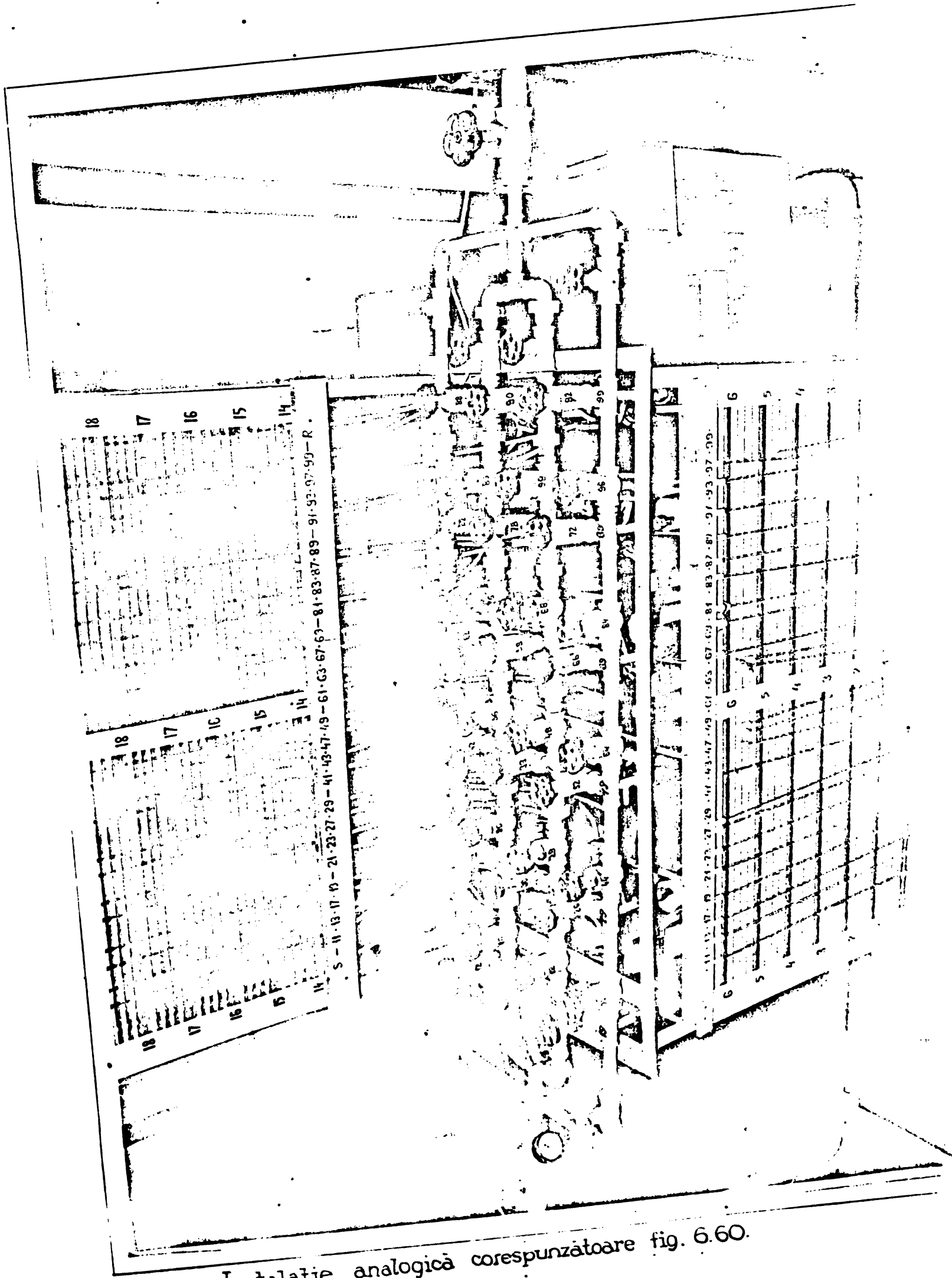
$\varphi=0,2$ $m=70,4 \cdot 10^6$		$\varphi=0,3$ $m=20,2 \cdot 10^6$	
h	q	h	q
50	29	50	67
100	47	100	102
150	62	150	128
200	75	200	146
250	84	250	163
300	93	300	176
350	102	350	182
400	108	400	200
500	121	500	217
600	133		

a)

b)

φ	$\beta=2$ $m \cdot 10^6$	$\beta=1,85$ $m \cdot 10^6$
0,05	6150,10	12300
0,075	1500	3000
0,100	500	1000
0,225	200	400
0,250	100	200
0,275	51,5	103
0,200	35,2	70
0,225	21,9	43,8
0,200	16,9	33,8
0,275	12,6	25,2
0,300	10,1	20
0,350	6,8	13,6
0,400	4,9	9,8
0,500	2,7	5,4
0,600	2,0	4,0
0,800	1,01	2,0
1,00	0,65	1,30

c)



Instalație analogică corespunzătoare fig. 6.60.

6.3. C o n c l u z i i

Urmărind din mai multe puncte de vedere o structură similară de rețea ,(cap. 4, 5, 6), studiul de analogie hidraulică va să confirme avantajul modelării prin rapiditatea determinărilor ce se pot efectua.

Exigența de travaliu a instalării regimului hidraulic dorit, a impus multă atenție la :

- etalonarea robinetelor cu delimitarea domeniului de aplicare tehnică în condițiile m aproximativ constant . Aplicarea instalațiilor electroanalogice, este mai rapidă și suficient de exactă, însă asemenea instalații sînt extrem de costisitoare și nu au putut fi echipate în timp util.

- etalonarea dispozitivelor de măsurare a debitelor și verificarea coeficientului de debit al duzelor;

- determinarea intervalelor în care trebuie stabilite scările de modelare pentru studiul pe baza unui model dat, la eficiența maximă;

- definitivarea condițiilor de lucru pe model și posibilitățile practice ale metodei.

Cercetarea regimului de mișcare în care s-a dovedit o mai bună comportare prin considerarea regimului de tranziție cu exponentul $\beta = 1,85$.

Urmărind tabelele de calcul ,se constată că precizia determinărilor este acceptabilă și permite stabilirea pierderilor de sarcină și a repartiției debitelor, fără etape intermediare.

Merită relevat faptul că la modelele cu robinete, modificările de regim și de structură a rețelei se operează ușor dar cu acționarea atentă a vanelor.

Cercetarea devine foarte eficientă și suficient de exactă la verificări în cazul schimbării diametrului, la ieșirea din lucru a unei conducte precum și la debite de incendiu.

Procedeul de echivalență tratat în capitolul anterior, face posibilă cercetarea rețelelor foarte mari, pe instalații analogice modeste.

Aceasta dă posibilitatea unor apropieri concludente în probleme de verificare a rețelelor, sau de studii preliminare pentru proiectare, reprezentînd un test pentru fenomenele sensibile din rețea.

Deoarece problemele ridicate de funcționarea unei rețele

de distribuție în etapa actuală sînt departe de a fi rezolvate exhaustiv, studiul experimental trebuie încurajat ,dat fiind că experiențele dovedesc cu prisosință dreptul de liberă opțiune a inginerului pentru universul său tehnic imaginativ, fără a afecta prin aceasta valorile tehnice ale realității.

C A P I T O L U L 7

ASPECTE DIN CALCULUL TEHNICO-ECONOMIC AL REȚELOR INELARE

7.1. Probleme generale

Dimensionarea rețelilor de distribuție impune respectarea atât a condițiilor hidraulice (de folosire integrală a presiunii disponibile pe artere) cât și condiția de natură economică cu privire la costul minim de investiție și exploatare.

În esență, problema fundamentală este stabilirea diametrelor conductelor rețelei de așa manieră, încât să satisfacă condițiile de mai sus.

În sens larg, asupra indicilor economici ai sistemului de alimentare cu apă influențează în mod considerabil următoarele aspecte: alegerea schemei celei mai convenabile, configurația rațională a rețelei, numărul surselor, distribuția de apă între surse, regimul de funcționare, dimensiunile rezervoarelor, etc.

Multitudinea parametrilor care intervin, nu permit un calcul direct cu acțiunea simultană a tuturor factorilor. Realizarea unei dimensionări economice a rețelei se obține prin compararea mai multor variante.

În cele ce urmează, analiza calculului tehnico-economic se va face presupunând că: schema tuturor conductelor principale este stabilită, se cunoaște debitul introdus în rețea, la fel și punctele fixe de consum (lungimile conductelor) precum și presiunile în punctele critice.

În această situație devine clar faptul că soluția cea mai convenabilă este cea care prezintă cheltuieli minime pentru construcții în exploatare, într-un anumit interval de timp.

Pondere mare în cheltuielile de construcție o deține rețeaua. În cheltuielile de exploatare, important este costul energiei consumate pentru injectarea apei în rețea.

Mai precis, la conducte de lungime dată, costul pentru construcție și exploatare depinde în fond de debitul aferent conductei și de diametrul ei.

Se știe că micșorarea diametrului, reduce costul de construcție dar mărește costul de exploatare și invers.

În concluzie, soluția adoptată pentru rețea respectiv stabilirea diametrelor și repartitia debitelor, trebuie să reprezinte o valoare extremă - evident minimă - pentru totalul cheltuielii

lilor de construcție și exploatare [5].

La rețelele inelare, nefiind cunoscute nici debitele pe conducte și nici diametrii, găsirea valorilor extreme ale funcției de cost implică legile hidraulice și criteriile economice ce leagă aceste necunoscute, dar mai ales determinarea debitelor, este prin esență o problemă tehnico-economică.

7.2. Funcția de cost

Expresia matematică a cheltuielilor anuale în sistemul de alimentare cu apă este :

$$W = (p + E) \sum (a + b d_{ik}^{\alpha}) l_{ik} + P (H_0 + \sum h_{ik}) Q \quad (7.1)$$

Prima parte a expresiei reprezintă cheltuielile de construcție, a doua cheltuielile de exploatare legate de injectarea apei în rețea. Detaliat, semnificațiile termenilor sînt :

p - procentajul de amortizare și repartiție în rețea

$E = 1/t$ - coeficientul de eficacitate al investiției capitale (t = termen de amortizare);

$(a + b d_{ik}^{\alpha})$ = formula empirică a costului construcției rețelei de conducte pe unitatea de lungime în lei,

P = indice de cheltuieli reprezentînd aducțiunea apei:

$$P = \frac{(p_1 + E) f \cdot r + 8760 G \cdot \gamma}{102 \eta}$$

în care: p_1 = procentaj referitor la costul stației de pompare,

f = costul stației de pompare raportat la unitate de putere stabilită;

r = coeficient reprezentînd rezerva de utilaj de pompare,

G = costul unui kW/oră consumat pentru stația de pompare,

γ = coeficient de neuniformitate al consumului de energie electrică pentru o perioadă anumită,

H_0 = înălțimea piezometrică a punctului principal în rețea în raport cu rezervorul de alimentare al stației de pompare,

Q = debitul total introdus în sistem;

h_{ik} = pierdere de sarcină în conducta ik din rețea;

Dacă prima parte a expresiei (7.1) înglobează toate conductele rețelei, a doua parte, cuprînd doar acele trasee de conducte care cuprind punctele ce dictează presiunea necesară a sursei și desigur și punctele de injectare a apei în rețea.

Analiza funcției de cost nu se poate realiza decât în lumina legăturii de factură tehnico-economică dintre diametrii (d_{ik}) și debitele (q_{ik}) conductelor rețelei. Se știe însă că pierderea de sarcină

$$h_{ik} = \frac{k \cdot Q_{ik}^3 \cdot l_{ik}}{d_{ik}^m}$$

în care l_{ik} = porțiunea de conductă între nodurile i și k , iar

$k = \frac{16\lambda}{\pi^2 \cdot 2g}$ (după Manning) ceea ce introdus în expresia (7.1),

permite înlocuirea diametrelor d_{ik} prin debite q_{ik} și pierderi de sarcină h_{ik} . Deci :

$$W = (p + E) \sum [a + b \cdot k^{\frac{\alpha}{m}} (q_{ik}^{\frac{\alpha}{m}} \cdot h_{ik}^{-\frac{\alpha}{m}} \cdot l_{ik}^{\frac{\alpha}{m}})] l_{ik} + P(H_0 + \sum h_{ik}) Q \quad (7.1 a)$$

Se ridică întrebarea dacă funcția de cost are valori extreme pentru q_{ik} și h_{ik} și dacă reprezintă un minim sau maxim. Pentru a răspunde la întrebare, trebuie să se țină seama de multiplele variante ale sistemelor de alimentare cu apă (numărul și caracterul surselor, etc.).

7.3. Analiza problemei generale a calculului tehnico-economic când debitele și diametrele nu sînt date

Problema constă în esență, în determinarea valorilor q_{ik} și d_{ik} sau h_{ik} corespunzătoare valorii juste a funcției de cost. Aceasta se poate exprima :

$$W = f(q_{ik}, h_{ik}) \quad \text{sau} \quad W = f(q_{ik}, d_{ik})$$

Se consideră :

$$W = f(q_{ik}, h_{ik})$$

Deoarece diametrii nu se cunosc, funcția W realizează legătura între valorile q_{ik} și h_{ik} . În cadrul acțiunii legilor lui Kirchoff:

$$\left[\sum (q_{ik} + Q_i) = 0 \text{ în noduri și } \sum h_{ik} = 0 \text{ în inel} \right]$$
 valorile q_{ik} și h_{ik} cele mai convenabile sînt acelea care corespund minimului convențional al funcției W . Pentru determinarea lui trebuie introdusă direct legătura între variabile. Se utilizează metoda factorilor nedeterminați a lui Lagrange și se caută un extrem al funcției $F = W + r_1 f_1 + r_2 f_2 + \dots + r_n f_n$

unde r_1, r_2, \dots, r_n sînt factorii nedeterminați ai lui Lagrange, iar f_1, f_2, \dots, f_n sînt expresiile legăturilor date. Se consideră rețeaua din fig. 1.1, în care se injectează un debit Q cunoscut în punctul 9 final, la o cotă piezometrică H_9 cunoscută. Sînt 24 necunoscute, $2(q_{ik}, h_{ik})$ precum și cota piezometrică în punctul 1 = H_1 . Numărul de relații de legătură este : $\sum (q_{ik} + Q) = 0$

în număr de $m-1 = 8$; rețeaua luată în studiu are $m = 9$ noduri, $p = 12$ tronsoane de conducte, $n = 4$ inele și deci se mai pot scrie 4 ecuații de forma $\sum h_{ik} = 0$, pentru patru inele. Evident însă că $H_1 - H_9 = \sum h_{ik}$, în sumă intrînd pierderile de sarcină de la punctul 1 pînă la punctul 9, pe una din căile dintre aceste noduri. Se consideră traseul 1,2,3,4,9 pe care

$$\sum h_{ik} = h_{12} + h_{23} + h_{36} + h_{69}$$

Această relația se poate exprima și astfel :

$$H_9 + h_{12} + h_{23} + h_{36} + h_{69} - H = 0$$

Utilizînd metoda lui Lagrange se scrie noua funcție $F(h_{ik}, q_{ik})$. Introducînd în funcția de cost W , relațiile de mai sus, se obține :

$$F(h_{ik}, q_{ik}) = (p+E) \sum \left[a + b k^{\frac{\alpha}{m}} q_{ik}^{\frac{2\alpha}{m}} \cdot h_{ik}^{-\frac{\alpha}{m}} \cdot l_{ik}^{\frac{\alpha}{m}} \right] l_{ik} + P(H_9 + h_{12} + h_{23} + h_{36} + h_{69}) Q$$

$$+ \sum r_i (\sum q_{ik} + Q)_i + r_j (\sum h_{ik})_j \quad [5]$$

Se efectuează derivatele parțiale ale funcției F în raport cu h_{ik} și q_{ik} și se egalizează cu zero. Primul termen derivat, în raport cu h_{ik} :

$$-\frac{\alpha}{m} (p+E) b \cdot k^{\frac{\alpha}{m}} \cdot q_{ik}^{\frac{2\alpha}{m}} \cdot l_{ik}^{\frac{\alpha+m}{m}} \cdot h_{ik}^{-\frac{\alpha+m}{m}} \quad (7.2)$$

$$B \cdot q_{ik}^{-\frac{2\alpha}{m}} \cdot l_{ik}^{\frac{\alpha+m}{m}} \cdot h_{ik}^{-\frac{\alpha+m}{m}} \quad (7.2')$$

Al doilea termen este $P \cdot Q$ și restul este egal cu zero.

Derivata parțială în raport cu q_{ik} dă expresia:

$$\frac{2\alpha}{m} (p+E) b \cdot k^{\frac{\alpha}{m}} \cdot l_{ik}^{\frac{\alpha+m}{m}} \cdot h_{ik}^{-\frac{\alpha}{m}} \cdot q_{ik}^{\frac{2\alpha-m}{m}} = 2B \cdot l_{ik}^{\frac{\alpha+m}{m}} \cdot h_{ik}^{-\frac{\alpha}{m}} \cdot q_{ik}^{\frac{2\alpha-m}{m}} \quad (7.3)$$

După egalizarea cu zero a acestor expresii, efectuarea unor transformări și eliminarea factorilor necunoscuți r , primul grup al ecuațiilor $\frac{\partial F}{\partial h_{ik}}$ are forma :

$$q_{12}^a h_{12}^b l_{12}^c + q_{14}^a h_{14}^b l_{14}^c = A Q$$

$$q_{12}^a h_{12}^b l_{12}^c - q_{23}^a h_{23}^b l_{23}^c - q_{25}^a h_{25}^b l_{25}^c = 0$$

$$q_{23}^a h_{23}^b l_{23}^c - q_{36}^a h_{36}^b l_{36}^c = 0$$

$$q_{36}^a h_{36}^b l_{36}^c + q_{65}^a h_{65}^b l_{65}^c - q_{69}^a h_{69}^b l_{69}^c = 0$$

$$q_{25}^a h_{25}^b l_{25}^c + q_{54}^a h_{54}^b l_{54}^c - q_{65}^a h_{65}^b l_{65}^c - q_{58}^a h_{58}^b l_{58}^c = 0$$

$$q_{14}^a h_{14}^b l_{14}^c - q_{54}^a h_{54}^b l_{54}^c - q_{47}^a h_{47}^b l_{47}^c = 0$$

$$q_{47}^a h_{47}^b l_{47}^c - q_{78}^a h_{78}^b l_{78}^c = 0$$

$$q_{58}^a h_{58}^b l_{58}^c + q_{78}^a h_{78}^b l_{78}^c - q_{89}^a h_{89}^b l_{89}^c = 0 \quad (7.4)$$

Observație: se notează :

$$\frac{2\alpha}{m} = a; \quad -\frac{\alpha+m}{m} = b; \quad \frac{\alpha+m}{m} = c$$

Grupul de formule (7.4) este format din opt ecuații nodale economice, adică numărul lor este $m - 1$. Fiecare din aceste ecuații conține termeni de același tip $q_{lik}^{\frac{2\alpha}{m}} h_{ik}^{-\frac{\alpha+m}{m}} l_{ik}^{\frac{\alpha+m}{m}}$ care se referă la conductele învecinate nodurilor rețelei. Sumele algebrice satisfac legea I Kirchoff, afară de nodul 1 care are expresia $A \cdot Q$, în care Q este debitul total adus în rețea iar $A = \frac{P}{B}$. Această mărime conține toate caracteristicile economice necesare care exprimă costul de construcție și de exploatare a rețelei [4].

Al doilea grup de ecuații, obținut după transformarea $l_{ik} = Q$ în forma (7.5), el conține patru ecuații corespunzătoare celor patru inele și satisfac legea II Kirchoff :

$$\begin{aligned} q_{12}^{a'} h_{12}^{b'} l_{12}^c + q_{25}^{a'} h_{25}^{b'} l_{25}^c - q_{54}^{a'} h_{54}^{b'} l_{54}^c - q_{14}^{a'} h_{14}^{b'} l_{14}^c &= 0 \\ q_{23}^{a'} h_{23}^{b'} l_{23}^c + q_{36}^{a'} h_{36}^{b'} l_{36}^c - q_{45}^{a'} h_{45}^{b'} l_{45}^c - q_{25}^{a'} h_{25}^{b'} l_{25}^c &= 0 \\ q_{56}^{a'} h_{56}^{b'} l_{56}^c + q_{69}^{a'} h_{69}^{b'} l_{69}^c - q_{89}^{a'} h_{89}^{b'} l_{89}^c - q_{58}^{a'} h_{58}^{b'} l_{58}^c &= 0 \\ q_{45}^{a'} h_{45}^{b'} l_{45}^c + q_{58}^{a'} h_{58}^{b'} l_{58}^c - q_{78}^{a'} h_{78}^{b'} l_{78}^c - q_{47}^{a'} h_{47}^{b'} l_{47}^c &= 0 \end{aligned} \quad (7.5)$$

Observație: se notează : $\frac{2\alpha-m}{m} = a'; \quad -\frac{\alpha}{m} = b'; \quad \frac{\alpha+m}{m} = c$

Astfel sînt douăsprezece ecuații cu q_{ik} și h_{ik} la care se adaugă 12 ecuații care exprimă relațiile hidraulice dintre q_{ik} și h_{ik} de forma :

$$\sum (q+Q) = 0 \text{ si } \sum h = 0$$

deci în total 24 ecuații. Din moment ce aceste ecuații pot da valorile necunoscutele, trebuie analizat caracterul valorii extreme a funcției de cost W căreia îi corespund aceste valori.

Derivata a doua a lui W , în raport cu h_{ik} și q_{ik} va avea forma:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial h_{ik}^2} = B \cdot \frac{\alpha+m}{m} \cdot l_{ik}^{\frac{\alpha+m}{m}} \cdot q_{ik}^{\frac{2\alpha}{m}} \cdot h_{ik}^{-\frac{\alpha+m}{m}}$$

respectiv

$$\frac{\partial^2 W}{\partial q_{ik}^2} = 2B \frac{2\alpha-m}{m} \cdot l_{ik}^{\frac{\alpha+m}{m}} \cdot h_{ik}^{-\frac{\alpha}{m}} \cdot q_{ik}^{\frac{2\alpha-2m}{m}}$$

Deoarece mărimile q_{ik} și h_{ik} au intrat în funcția costului ca variabile independente, ele pot să fie pozitive sau nule, deci $\frac{\partial^2 W}{\partial h_{ik}^2}$ este întotdeauna pozitivă; dar pentru toate valorile întâlnite în practică $\frac{2\alpha-m}{m} < 0$ deci $\frac{\partial^2 W}{\partial q_{ik}^2} < 0$

Astfel funcția W este convex-concavă în domeniul definiției sale și în interiorul domeniului de definiție ea nu are puncte extreme.

Dacă se cumulează valorile variabilelor dintr-un grup, atunci funcția W va avea un extrem.

7.4. Cazul distribuției date de debitelor

În această situație, determinarea diametrilor celor mai convenabili se reduce la găsirea diametrilor (sau h_{ik}) care să corespundă valorii minime de cost $W = f(d_{ik})$ sau $W = f(h_{ik})$. Se consideră $W = f(h_{ik})$. În acest caz, H în punctul inițial (nodul 1), nu este cunoscut.

Luând în considerare sistemele de ecuații (7.4) și (7.5), se pune întrebarea care este valoarea extremă convențională a funcției W dacă $\sum h_{ik} = 0$ în inele ?

Se presupune că pentru distribuția dată de curent este îndeplinită condiția $\sum (q_{ik} + Q_1) = 0$ în noduri. Astfel rămân doar ecuațiile din grupa (7.4) : $\frac{\partial F}{\partial h_{ik}} = 0$ și dacă mărimile $q_{ik}^{\frac{2\alpha}{m}}$, $l_{ik}^{\frac{\alpha+m}{m}}$ notate cu s_{ik} vor juca rolul coeficienților constanți de lângă h_{ik} , sistemul (7.4) se va transforma în (7.4 a) :

$$\begin{aligned} \Delta_{12} h_{12}^b + \Delta_{14} h_{14}^b - A Q &= 0 \\ \Delta_{12} h_{12}^b - \Delta_{23} h_{23}^b - \Delta_{25} h_{25}^b &= 0 \\ \Delta_{23} h_{23}^b - \Delta_{36} h_{36}^b &= 0 \\ \Delta_{36} h_{36}^b + \Delta_{65} h_{65}^b - \Delta_{69} h_{69}^b &= 0 \\ \Delta_{25} h_{25}^b + \Delta_{54} h_{54}^b - \Delta_{65} h_{65}^b - \Delta_{58} h_{58}^b &= 0 \\ \Delta_{14} h_{14}^b - \Delta_{54} h_{54}^b - \Delta_{47} h_{47}^b &= 0 \\ \Delta_{47} h_{47}^b - \Delta_{78} h_{78}^b &= 0 \\ \Delta_{58} h_{58}^b + \Delta_{78} h_{78}^b - \Delta_{89} h_{89}^b &= 0 \end{aligned} \quad (7.4 a)$$

Acest sistem s-a obținut prin diferențierea directă a funcției de cost și cu introducerea condițiilor de legătură în forma $\sum h_{ik} = 0$, fără a folosi factorii nedeterminanți ai lui Lagrange. Numărul de ecuații (7.4 a) = $m - 1$ și împreună cu cele n condiții $\sum h_{ik} = 0$, sînt $p = n + m - 1$ ecuații pentru determinarea celor p necunoscute h_{ik} .

Derivata a doua a funcției W în raport cu h_{ik} , pentru considerat dat, este :

$$\frac{\partial^2 W}{\partial h_{ik}^2} = B \cdot \frac{\alpha+m}{m} q_{ik}^{\frac{2\alpha}{m}} \cdot l_{ik}^{\frac{\alpha+m}{m}} \cdot h_{ik}^{\frac{\alpha+2m}{m}} > 0$$

Funcția este concavă, ceea ce confirmă faptul că valorile h_{ik} din sistemul de ecuații (7.4 a) corespund valorii minime a funcției de cost și deci, diametrii d_{ik} corespunzătorii lui h_{ik} sînt cei eficienți. Această concluzie nu este funcție de numărul inelelor .

7.5. Cazul cunoașterii pierderilor de sarcină pe conducte

Se cunoaște deci a doua grupă de variabile h_{ik} în condițiile $\sum h_{ik} = 0$ în inele și se ridică întrebarea care sînt valorile q_{ik} sau d_{ik} pentru care funcția de cost W , va avea valoarea minimă păstrîndu-se condiția $\sum (q_{ik} + Q_i) = 0$ în nodurile rețelei. Deși această situație se întîlnește destul de rar, totuși merită să fie menționată.

Similar paragrafului 7.3, după diferențierea funcției de cost W în raport cu q_{ik} , se obține pentru același exemplu de rețea, sistemul de patru ecuații de forma (7.5), corespunzător celor patru inele ale rețelei.

Dacă se notează $h_{ik} \cdot l_{ik}^{\frac{\alpha+m}{m}}$ cu t_{ik} , valori constante pe lîngă q_{ik} , sistemul de ecuații devine:

$$t_{12} q_{12}^{a'} + t_{25} q_{25}^{a'} - t_{54} q_{54}^{a'} - t_{14} q_{14}^{a'} = 0$$

$$t_{23} q_{23}^{a'} + t_{36} q_{36}^{a'} - t_{65} q_{65}^{a'} - t_{25} q_{25}^{a'} = 0$$

$$t_{56} q_{56}^{a'} + t_{69} q_{69}^{a'} - t_{89} q_{89}^{a'} - t_{58} q_{58}^{a'} = 0$$

$$t_{45} q_{45}^{a'} + t_{58} q_{58}^{a'} - t_{78} q_{78}^{a'} - t_{47} q_{47}^{a'} = 0$$

Aceste patru ecuații, alături de $m-1 = 8$ ecuații de forma $\sum (q_{ik} + Q_i) = 0$, totalizează 12 ecuații pentru 12 necunoscute q_{ik} . Se va determina, astfel, distribuția optimă a curentului în rețea pentru h_{ik} dat. În acest caz, care este caracterul valorii extreme a lui W ?

Efectuînd derivata a doua a funcției W în raport cu q_{ik} , se obține:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial q_{ik}^2} = \frac{2\alpha-m}{m} t_{ik} \cdot q_{ik}^{\frac{2(\alpha-m)}{m}}$$

Deoarece $\frac{2\alpha-m}{m} < 0$, și restul expresiei este pozitiv, rezultă că $\frac{\partial^2 W}{\partial q_{ik}^2} < 0$ deci valorile debitelor găsite corespund valorilor maxime ale funcției W . Rezultă că distribuția de debite obținută atrage după sine cheltuieli maxime și deci, este cea mai favorabilă din punct de vedere economic. Funcția de cost W , în acest caz, are derivata a doua negativă și este convexă.

7.6. Considerații generale asupra alegerii și legii de variație a cheltuielilor echivalente în funcție de modificarea distribuției curentului și de caracterul suprafețelor piezometrice în sistem

Pentru fiecare sistem de alimentare dat, se poate cunoaște un număr nelimitat de variante de distribuție a debitului total Q adus în rețea și pentru fiecare variantă o valoare minimă pentru funcția de cost.

Seriile de ecuații $W = f(h_{ik})$ pentru diferitele variații ale distribuției curentilor, se pot reprezenta grafic. (fig. 7.66).

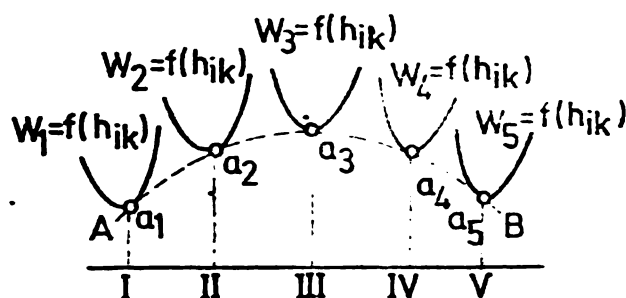


Fig. 7.66

Ordonatele numerice (valorile absolute ale minimelor) ale acestor curbe corespund diferitelor variante ale distribuției curentului pentru o rețea dată. Metodele de calcul de la pct. 4 permit pentru orice rețea să se determine valorile numerice ale pierderilor de sarcină sau diametri-

lor corespunzătorilor valorilor minime ale lui W pentru orice distribuție dată a curentului și deci să se construiască curba AB . Funcția $W = f(q_{ik})$ are ca extrem un maxim și curba este cu partea convexă în sus. Ordonata maximă a curbei AB este a_3 , ceea ce corespunde valorilor celor mai convenabile ale lui h_{ik} și d_{ik} pentru varianta cea mai puțin convenabilă a distribuției curentului în rețeaua inelară dată.

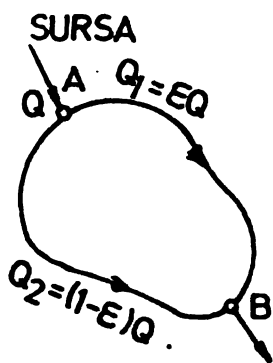


Fig. 7.67

Se consideră rețeaua din figura 7.67, în care se cunoaște debitele și lungimile tronsoanelor.

Folosind ecuația pierderilor de sarcină în inel în care, pentru ramura 1 (unu) se consideră debitele $Q_1 = \epsilon \cdot Q$ iar pentru ramura 2, $Q_2 = (1 - \epsilon)Q$, în care ϵ = coeficientul de repartiție, respectiv în nodul B debitul $Q = Q_1 + Q_2$ se poate scrie că în punctul B,

$h_1 = h_2$. Dar cum $Q = Q_1 + Q_2$; și $h_1 = k_1 \frac{Q_1^{\beta}}{D_1^m} l_1$, respectiv

$h_2 = k_2 \frac{Q_2^{\beta}}{D_2^m} l_2$

ecuația care leagă cele două diametre este :

$$\frac{D_1}{D_2} = \left(\frac{1-\epsilon}{\epsilon} \right)^{\frac{\beta}{m}} \left(\frac{l_2}{l_1} \right)^{\frac{1}{m}}$$

Inlocuind diametrii cu expresia matematică a diametrilor economic, pentru cazurile practice de dimensionare, când $\alpha = 1,8$, $m = 5,33$; $\beta = 2$, rezultă că pentru $\frac{Q_1}{Q_2} = \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^4$, în inel este cea mai neconvenabilă distribuție a debitului total Q în ramurile l_1 și l_2 sau, pentru lungimi egale ale ramurilor inelului, când $Q_1 = Q_2$.

Ordonatele minime vor corespunde cazurilor când rețeaua devine ramificată. Deci, pentru fiecare rețea va fi găsită o anumită variantă a ramificației care să dea valoarea absolută minimă pentru W .

În mod uzual, cea mai economică variantă a distribuției curentului se consideră pornind de la securitatea exploatarei. Analog se pot primi o serie de curbe care să exprime $W = f(q_{ik})$ (figura 7.68). Toate curbele sînt concave. Curba A'B' este convexă.

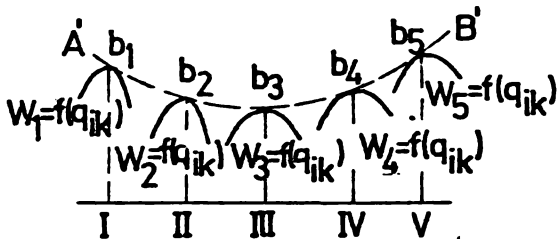


Fig. 7.68

Ordonata punctului extrem a acestei curbe dă valoarea W corespunzătoare variantei celei mai favorabile a suprafeței piezometrice în cazul distribuției de curent favorabile. Aceasta, deoarece W este funcție de debite q_{ik} și pierderi de sarcină h_{ik} . În anumite condiții funcția convex concavă va avea un punct de șea $h^* q^*$ în care are loc condiția:

$$W(h, q^*) \leq W(h^*, q^*) \leq W(h^*, q) \quad [5]$$

Grafic se primește o hiperbolă (fig. 7.69). Secțiunile verticale prin planul paralel cu planul xy dau situația reprezentată în figura 7.68, adică $W = f(q_{ik})$. Punctul 0 (zero) determină mărimea W corespunzătoare distribuției cel mai puțin favorabile a debitelor și celei mai favorabile a suprafeței piezometrice.

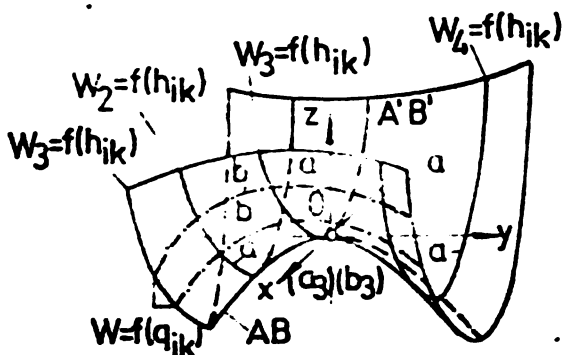


Fig. 7.69

Pentru o distribuție dată a debitelor, teoria tehnico-economică dă diametrii economici. Prin urmare se ridică întrebarea care este distribuția cea mai favorabilă a debitelor în rețelele inelare? S-a constatat că această distribuție implică transformarea rețelei inelare în una ramificată, pentru aceiași consumatori. De teoria matematică a

cestei probleme s-au ocupat Nekrasowski, Hasilev [44]. Autorii dau o metodă pentru găsirea ramificației optime în cazul rețelei date și un algoritm pentru mașina electronică. Autorii arată că pentru rețelele inelare, divergențele de cost pentru diferite variante ale ramificațiilor sînt 2,5 - 3%, deci, deoarece ramificația obținută, chiar optimă fiind, este doar o ramificație, nu satisface condiția importantă a securității rețelei.

Este însă interesantă observația că proprietățile funcționalului economic depind de valorile α și m . Mărimea α care depinde de legea variației costului unitar al conductei, funcție de diametri, determină caracterul variației acelei părți din W care depinde de costul rețelei.

Mărimea m este funcție de legile hidraulice [h care este $f(q$ și $d)$ și rugozitate]. Prin urmare, m se referă în funcția W la cheltuielile de exploatare, mai precis la energie. Este deci natural ca raportul dintre α și m să determine caracterul variației mării cheltuielilor.

În mod obișnuit, expresia $\frac{2\alpha-m}{m} < 0$ și valoarea extremă a funcției ne dă un maxim.

Dacă însă pentru un caz ipotetic $\frac{2\alpha-m}{m} < 0$, atunci valoarea extremă a funcției W ar fi minim și distribuția debitelor între ramuri va fi nefavorabilă-economic.

M.V. Kirsanov a observat că pentru $\alpha = \frac{m}{2}$; $\frac{2\alpha-m}{m} = 0$ respectiv $\frac{\partial^2 W}{\partial h_{ik}} = 0$ și deci, mărimea cheltuielilor echivalente în sistem este independentă de distribuția debitelor în inel, $W = F(h_{ik})$ ar fi exprimată printr-o linie dreaptă. Practic nu este posibil ca $\frac{2\alpha-m}{m} = 0$ sau > 0 , dar aceste cazuri clarifică caracterul legilor economice pentru sistem. Se analizează funcția

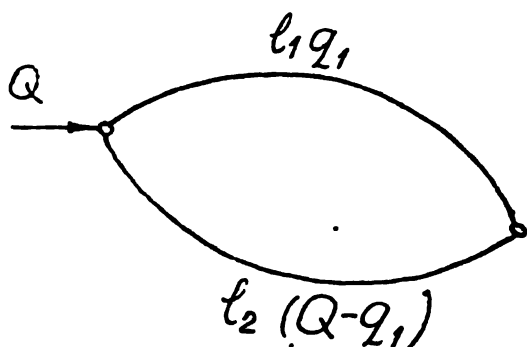


Fig. 7.70

W pentru o rețea inelară de felul din figura 7.70. Din debitul total Q , pe ramura l_1 intră q_1 și pe ramura l_2 intră $Q - q_1$. Evident că pierderea de sarcină $h_1 = h_2$. Se consideră variabila mării cheltuielilor echivalente ca fiind :

$$W_0 = B \left[q_1^{\frac{2\alpha}{m}} l_1^{\frac{\alpha+m}{m}} h^{\frac{\alpha}{m}} + (Q - q_1)^{\frac{2\alpha}{m}} l_2^{\frac{\alpha+m}{m}} h^{\frac{\alpha}{m}} \right] + P \cdot Q \cdot l$$

Derivata parțială a funcției W în raport cu pierderea de sarcină este :

$$\frac{\partial W_0}{\partial h} = -\frac{\alpha}{m} B q_1^{\frac{2\alpha}{m}} l_1^{\frac{\alpha+m}{m}} h^{-\frac{\alpha+m}{m}} - \frac{\alpha}{m} B (Q-q_1)^{\frac{2\alpha}{m}} l_2^{\frac{\alpha+m}{m}} h^{-\frac{\alpha+m}{m}} + P \cdot Q \quad (7.9)$$

Derivata parțială a funcției W_0 , în raport cu debitul q_1 este :

$$\frac{\partial W_0}{\partial q_1} = \frac{2\alpha}{m} B q_1^{\frac{2\alpha-m}{m}} l_1^{\frac{\alpha+m}{m}} h^{-\frac{\alpha}{m}} - \frac{2\alpha}{m} B (Q-q_1)^{\frac{2\alpha-m}{m}} l_2^{\frac{\alpha+m}{m}} h^{-\frac{\alpha}{m}}$$

Dar cum $\frac{\partial W_0}{\partial h} = \frac{\partial W_0}{\partial q_1} = 0$ se obține: $\frac{\alpha}{m} B h^{-\frac{\alpha+m}{m}} [q_1^{\frac{2\alpha}{m}} l_1^{\frac{\alpha+m}{m}} + (Q-q_1)^{\frac{2\alpha}{m}} l_2^{\frac{\alpha+m}{m}}] = P \cdot Q$

$$\text{sau : } \frac{q_1^{\frac{2\alpha}{m}} l_1^{\frac{\alpha+m}{m}}}{h^{\frac{\alpha+m}{m}}} + \frac{(Q-q_1)^{\frac{2\alpha}{m}} l_2^{\frac{\alpha+m}{m}}}{h^{\frac{\alpha+m}{m}}} = \frac{P}{\frac{\alpha}{m} B} Q = A Q$$

$$\text{de unde : } h = \left[\frac{q_1^{\frac{2\alpha}{m}} l_1^{\frac{\alpha+m}{m}} + (Q-q_1)^{\frac{2\alpha}{m}} l_2^{\frac{\alpha+m}{m}}}{A Q} \right]^{\frac{m}{\alpha+m}}$$

Din relația $\frac{\partial W}{\partial q} = 0$, admițînd $\alpha \approx \frac{m}{3}$ se obține:

$$\frac{2\alpha}{m} B h^{-\frac{\alpha}{m}} l_1^{\frac{\alpha+m}{m}} q_1^{\frac{2\alpha-m}{m}} = \frac{2\alpha}{m} B h^{-\frac{\alpha}{m}} l_2^{\frac{\alpha+m}{m}} (Q-q_1)^{\frac{2\alpha-m}{m}}$$

$$\text{de unde : } \left(\frac{q_1}{Q-q_1}\right)^{\frac{2\alpha-m}{m}} = \left(\frac{l_2}{l_1}\right)^{\frac{\alpha+m}{m}} \quad \text{sau } (Q-q_1) = q_1 \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^{\frac{\alpha+m}{m}}$$

$$\text{și deci : } Q - q_1 = q_1 \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^{-4} = q_1 \left(\frac{l_2}{l_1}\right)^4$$

ceea ce înseamnă că presiunea totală în rețea nu influențează relația dintre debite pe diferitele trasee (ci numai valoarea lor absolută).

În continuarea problemei, dacă se introduce în relația

$\frac{\partial W_0}{\partial h} = 0$ valorile q_1 și $Q-q_1$, se obține:

$$h = \left[\frac{q_1^{\frac{2\alpha}{m}} l_1^{\frac{\alpha+m}{m}} + q_1^{\frac{2\alpha}{m}} \left(\frac{l_1}{l_2}\right)^{\frac{\alpha+m}{m}} \cdot \frac{2\alpha}{m} l_2^{\frac{\alpha+m}{m}}}{A \cdot Q} \right]^{\frac{m}{\alpha+m}}$$

sau, sub altă formă:

$$h = \frac{q_1^{\frac{2\alpha}{m}} \cdot l_1^{\frac{\alpha+m}{m}}}{(A \cdot Q \cdot x_1)^{\frac{m}{\alpha+m}}} \quad \text{unde } x_1 = \frac{l_1^{\frac{\alpha+m}{m}}}{l_1^{\frac{\alpha+m}{m}} + l_2^{\frac{\alpha+m}{m}}}$$

INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

pentru valorile obișnuite ale lui α și m , expresia lui h este :

$$h = \frac{q_1^{0.5} \cdot l_1}{(A \cdot Q \cdot x_1)^{0.75}}$$

Deci h se exprimă funcție de $Q-q_1$, expresia devine:

$$h = \frac{(Q-q_1)^{\frac{2\alpha}{m}} \cdot l_2^{\frac{\alpha+m}{m}}}{(A \cdot Q \cdot x_2)^{\frac{m}{\alpha+m}}} \quad \text{unde } x_2 = \frac{l_2^{\frac{\alpha+m}{m}}}{l_1^{\frac{\alpha+m}{m}} + l_2^{\frac{\alpha+m}{m}}}$$

Important de observat este că $x_1 + x_2 = 1$ și că mărimile x_1 și x_2 au fost întrebuințate de Moșnin în metoda sa pentru determinarea diametrilor economici.

Revenind la esența problemei, trebuie să se cerceteze dacă punctul de pe curba $W = f(h, q_1)$ avînd coordonatele q_1 și h este sau nu extrem ; și dacă corespunde valorii maxime sau minime a lui W . Pentru aceasta se consideră [5] condiția de existență a

valorii extreme a funcției de două variabile cu semn pozitiv al ecuației

$$\text{Deoarece mărimea } \frac{\partial^2 W}{\partial h \partial q} \quad \left| \begin{array}{cc} \frac{\partial^2 W}{\partial h^2} & \frac{\partial^2 W}{\partial h \partial q} \\ \frac{\partial^2 W}{\partial h \partial q} & \frac{\partial^2 W}{\partial q^2} \end{array} \right| \quad \text{este egală cu } \frac{\partial^2 W}{\partial h \partial q}$$

condiția de mai sus se poate scrie (conform teoremei lui Schwartz, astfel:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial h^2} \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial q^2} - \left(\frac{\partial W}{\partial h \partial q} \right)^2 > 0$$

Dar la paragraful 7.3 s-a arătat că expresia $\frac{\partial^2 W}{\partial h^2}$ este întotdeauna pozitivă iar $\frac{\partial^2 W}{\partial q^2}$ este întotdeauna negativă, deci funcția $W = f(h, q_1)$ nu are extrem. Dacă se introduce relația obținută între debite în expresia pierderii de sarcină, se poate determina pierderea de sarcină sau distribuția debitelor corespunzătoare valorii extreme a funcției de cost $W = f(h)$. Expresia $h = \frac{2,05 \cdot l_m}{(A \cdot Q \cdot x)^{1/m}}$ furnizează valoarea cea mai convenabilă a pierderii de sarcină și deci a diametrelor corespunzătoare valorii minime a funcției de cost. Astfel, expresiile obținute pentru q_1 și $Q - q_1$ dau distribuția cea mai favorabilă a debitului total prin ramurile inelului. Cunoscând distribuția inițială a debitului, se găsește pierderea de sarcină și diametrii cei mai favorabili. Formula (7.10) a pierderii de sarcină h exprimă valoarea cea mai favorabilă de fapt, pentru orice distribuție.

În general, soluții absolut economice pentru rețelele inelare nu se pot obține. Distribuțiile uniforme ale debitelor conduc întotdeauna la creșterea cheltuielilor de exploatare obținându-se în schimb o siguranță mai mare în exploatare. Pentru o distribuție dată a debitelor în rețeaua inelară, soluțiile de optim relativ se pot obține aplicându-se metodologia de calcul propusă de Moșnin. Rezultă că distribuția debitelor care corespunde siguranței mari în exploatare, este o problemă importantă care trebuie cercetată sub următoarele aspecte:

- Debitale de calcul trebuie stabilite la nivelul consumului mediu, deoarece cheltuielile de exploatare se stabilesc pe durată mare de timp, dominată de consumul mediu.

Debitele mari de tranzit trebuie repartizate cât mai uniform pe raioane importante ale consumatorului și ținând seama de repartiția consumului industrial precum și de cerințele în perspectivă. Aceste condiții sînt de o deosebită importanță întrucît dimensionarea propusă în prima etapă, pentru rețeaua ramificată,

trebuie să corespundă în perspectivă la transformarea sistemului în rețeaua inelară.

Debitele importante de tranzit trebuie conduse mai ales prin centrele de greutate ale consumului, luând în considerare dezvoltarea consumului în perspectivă.

Dirijarea debitelor de tranzit pe drumul cel mai scurt înspre centrele de greutate ale consumului, satisface atât dezideratul economic cât și problemele siguranței în exploatare.

Prin satisfacerea acestor condiții rezultă distribuția inițială cea mai judicioasă a debitelor în vederea dimensionării economice.

Metoda elaborată de cercetătorul Moșnin este simplă și comodă.

Dacă sistemul (7.4 a) se împarte cu cantitatea A, atunci expresiile de forma $S_{ik} h_{ik}^b$ se pot considera ca o parte a debitului introdus în rețea.

$$\frac{S_{12} h_{12}^b}{A} + \frac{S_{14} h_{14}^b}{A} = Q$$

$$\frac{S_{12} h_{12}^b}{A} - \frac{S_{23} h_{23}^b}{A} - \frac{S_{25} h_{25}^b}{A} = 0$$

etc.

sistemul considerat de ecuații are forma:

$$x_{12} Q + x_{14} Q = 0$$

$$x_{12} Q = x_{23} Q + x_{25} Q$$

etc.

Pentru valoarea debitului $Q = 1$ se găsesc valorile x_{ik} care sînt adimensionale și pentru nodul inițial $x_{ik} = 1$, deci mărimile x_{ik} pot fi considerate ca debite fictive care pornesc în conductele rețelei cînd debitul $Q = 1$.

Numărul debitelor fictive x_{ik} sînt egale cu numărul de tronsoane p . Pentru găsirea lor există deocamdată $m-1$ ecuații unde $m =$ numărul de noduri. Cele $p - (m-1) = n$ ecuații care lipsesc se pot obține din ecuațiile bilanțului pierderilor fictive de presiune în inelele rețelei dacă debitul este x_{ik} .

În mod explicit se poate scrie :

$$\frac{S_{ik} h_{ik}^b}{A Q} = \frac{L_{ik}^{\frac{2k}{m}} L_{ik}^{\frac{k+m}{m}} h_{ik}^{\frac{-k+m}{m}}}{A Q} = x_{ik} \quad (7.11)$$

Din această relație mărimea reală a pierderii de sarcină h_{ik} se poate exprima prin debitul fictiv astfel:

$$h_{ik} = \frac{(Q_{ik}^{2\alpha} l_{ik}^{\alpha+m})^{\frac{m}{\alpha+m}}}{(A \cdot Q \cdot \chi_{ik})^{\frac{m}{\alpha+m}}} = \frac{(Q_{ik}^{2\alpha} l_{ik}) \chi_{ik}^{-\frac{m}{\alpha+m}}}{(A \cdot Q)^{\frac{m}{\alpha+m}}}$$

deci expresia lui h_{ik} reprezintă expresia celei mai economice pierderi de sarcină (cea mai favorabilă) într-o porțiune oarecare a rețelei inelare. Introducând această expresie (h_{ik}) în ecuația bilanțului pierderilor de presiune în inelele rețelei, se obține:

$$\sum \frac{(Q_{ik}^{2\alpha} l_{ik}) \chi_{ik}^{-\frac{m}{\alpha+m}}}{(A \cdot Q)^{\frac{m}{\alpha+m}}} = 0 \quad (7.12)$$

La numitorul expresiei se află mărimea constantă pentru întreaga rețea. Ecuația (7.12) va fi satisfăcută în același timp cu ecuația de forma

$$\sum (Q_{ik}^{2\alpha} l_{ik}) \chi_{ik}^{-\frac{m}{\alpha+m}} = 0$$

care reprezintă condițiile de concordanță a inelurilor rețelei privitor la debitele fictive. Mărimea din paranteză joacă rolul coeficientului de rezistență hidraulică fictivă a tronsonului (se notează cu M), mărimea întreagă care se află la numitorul formulei (7.12) se exprimă prin $h\phi_{ik}$ care joacă rolul pierderilor fictive de presiune; deci $h\phi_{ik} = \mu\phi_{ik} \chi_{ik}^{-\frac{m}{\alpha+m}}$. Se observă că toate pierderile de sarcină fictive sînt de $AQ^{\frac{m}{\alpha+m}}$ ori mai mari decât cele reale, adică

$$h\phi_{ik} = (A \cdot Q)^{\frac{m}{\alpha+m}} h_{ik} \quad (7.13)$$

Astfel coeficienții χ_{ik} pot fi determinați din procesul concordării rețelei cu satisfacerea condițiilor $\sum \chi_{ik} = 0$ pentru nodurile rețelei și $\sum h\phi_{ik} = 0$ pentru inelele rețelei, dacă se trece un debit fictiv de tranzit = 1. Cunoscînd valorile χ_{ik} , se determină pierderile de sarcină h_{ik} cele mai favorabile pentru toate conductele rețelei. Valorile pierderilor de sarcină corespunzătoare minimului funcției de cost, permit determinarea diametrilor. În acest sens, expresia diametrului exprimat prin intermediul pierderii de sarcină, este:

$$d_{ik} = \kappa \left(\frac{Q_{ik}^2 \cdot l_{ik}}{h_{ik}} \right)^{\frac{1}{m}}$$

Introducînd pierderea de sarcină corespunzătoare criteriului economic, expresia diametrului economic d_{ik} devine:

$$d_{ik} = \kappa^{\frac{1}{m}} l_{ik}^{\frac{1}{m}} \left[\frac{(A \cdot Q \cdot \chi_{ik})^{\frac{m}{\alpha+m}}}{(Q_{ik}^{2\alpha} l_{ik})^{\frac{m}{\alpha+m}}} \right] = \frac{\kappa^{\frac{1}{m}} Q_{ik}^{\frac{2}{m}} l_{ik}^{\frac{1}{m}} (A \cdot Q)^{\frac{1}{\alpha+m}} \chi_{ik}^{\frac{1}{\alpha+m}}}{Q_{ik}^{\frac{2\alpha}{(\alpha+m)m}} l_{ik}^{\frac{1}{m}}}$$

$$d_{ik} = (A \cdot K \frac{\alpha+m}{m})^{\frac{1}{\alpha+m}} \cdot Q^{\frac{1}{\alpha+m}} \cdot x_{ik}^{\frac{1}{\alpha+m}} \cdot Q_{ik}^{\frac{2}{\alpha+m}}$$

Introducând notațiile $A \cdot K \frac{\alpha+m}{m} = e$ unde e este factorul economic, expresia diametrului economic pentru rețeaua inelară devine :

$$d_{ik} = e^{\frac{1}{\alpha+m}} \cdot Q^{\frac{1}{\alpha+m}} \cdot x_{ik}^{\frac{1}{\alpha+m}} \cdot Q_{ik}^{\frac{2}{\alpha+m}} \quad (7.14)$$

Factorul economic „e” reprezintă influența întregului complex de condiții economice, iar x_{ik} este elementul ce arată rolul porțiunii de conductă dată în funcționarea rețelei. Se observă deci, că prin determinarea debitelor fictive, x_{ik} , ce definesc condițiile de legătură în rețea, se pot obține diametrii economici d_{ik} .

Relația (7.14) se scrie simplu :

$$d_{ik} = \left[e^{\frac{1}{\alpha+m}} \left(\frac{Q}{Q_{ik}} \right)^{\frac{1}{\alpha+m}} \cdot x_{ik}^{\frac{1}{\alpha+m}} \right]^{\frac{3}{\alpha+m}} Q_{ik}$$

Astfel esența metodei lui Moșnin constă în realizarea debitelor fictive.

Sînt necesare următoarele precizări:

- x_{ik} reprezintă coeficienți adimensionali, părți din debitul fictiv Q trimis în rețea;
- în sistem există o sursă și un punct de consum, x_{ik} trec în tranzit;
- distribuția pentru x_{ik} se efectuează conform condiției $\sum x_{ik} = 0$ pentru fiecare nod, în aceleași noduri în care intră debitele reale;
- sensurile pentru x_{ik} coincid cu sensurile reale de curent;
- x_{ik} se ramifică în aceleași noduri ca și cele reale;
- consumurile pentru x_{ik} se fac numai în punctele finale (apa fiind adusă prin toate tronsoanele) și în punctele cu marcă piezometrică dată.

In caz că rețeaua este alimentată din mai multe surse, atunci punctul final reprezintă marginea zonelor.

7.7. Exemplificarea metodei Moșnin în condițiile considerării regimului turbulent tranzitoriu și a debitului mediu

Deoarece la baza calculului stă o rețea echilibrată, se aplică metoda prof. Moșnin pe rețeaua echivalentă rețelei mari a orașului T, rețea care a fost echilibrată în regim turbulent

tranzitoriu în cap. 4.

La baza acestui calcul economic stau debitele medii obținute prin împărțirea cu $K_0 = 1,18 =$ coeficientul de neuniformitate,

$$\text{deci : } Q_{im} = \frac{Q_i}{K_0}$$

Spre deosebire de calculul hidraulic, unde pierderea de sarcină $h = M \cdot Q^2$, în calculul economic $h_f = \mu_f x_i^{0,75}$ unde μ_f

este M fictiv $= \sqrt{\frac{Q_i}{1,18}} \cdot L$ iar x_i este debitul fictiv pe conducta

i avînd semnificația din metoda prof. Moșnin descrisă mai înainte.

În tabelul 7.35, în coloanele 1 - 9 sînt înscrise respectiv numărul conductei, debitul fictiv aferent conductei, debitul conductei, debitul mediu, lungimea conductei, coeficientul de rezistență.

De observat că în tabel, debitul fictiv x_i reprezintă debitul fictiv echilibrat; respectiv la compensarea fracțiunilor x_i calculul de iterație s-a oprit la ultima secțiune corectă (fig. 7.71).

În partea a doua a tabelului, respectiv coloana 10, sînt trecuți diametrii economici D_{ec} obținuți cu formula :

$$D_{ec} = e^{0,14} \cdot x_i^{0,14} \cdot Q^{0,14} \cdot Q_{im}^{0,28}$$

în care

$$e^{0,14} = 0,92 ; Q^{0,14} = \frac{Q \cdot h_{max}}{K_{oraz}} = 1,075$$

În coloana $D \sim$ sînt diametrii economici rotunjiți la valoarea normalizată, iar în ultima coloană sînt diametrii adoptați.

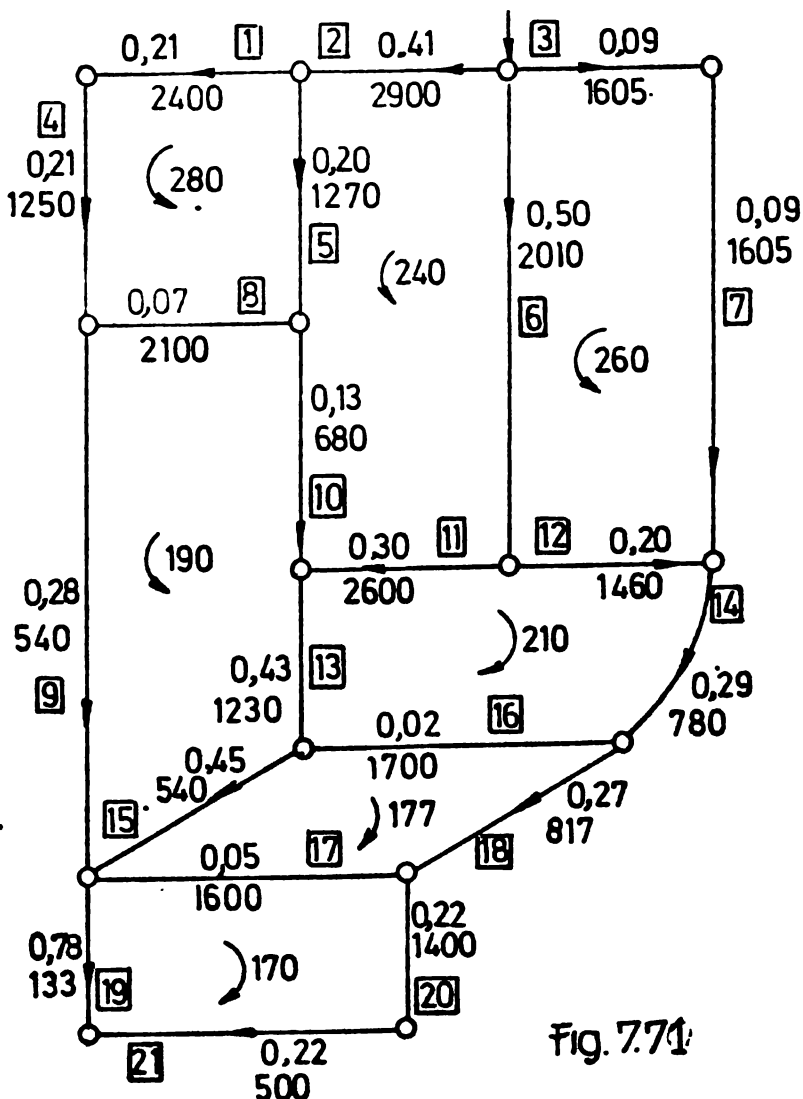


Fig. 7.71

Tabelul 7.35

Nr. rând	x_i	$x_i^{0,14}$	Q_i	L	Q_m	M	Q_{im}	$Q^{0,28}$	Dec. metri	Dec.	Dec. adaptat
1	0,21	0,806	0,16895	1960,0	0,1431	741,3	0,1431	0,585	0,468	0,400	0,400
2	0,41	0,985	0,6827	1940,0	0,5785	1475,6	0,5785	0,854	0,745	0,700	0,600
3	0,09	0,714	0,29136	532,0	0,24691	264,0	0,24691	0,675	0,477	0,400	0,400
4	0,21	0,806	0,0581	1750,0	0,04919	388,0	0,0492	0,492	0,341	0,300	0,300
5	0,20	0,800	0,21845	890,0	0,18512	382,9	0,18512	0,624	0,494	0,500	0,500
6	0,50	0,908	0,5538	1750,0	0,46934	1198,9	0,46934	0,81	0,728	0,700	0,600
7	0,09	0,714	0,28186	511,0	0,23886	249,7	0,23886	0,669	0,473	0,400	0,400
8	0,07	0,690	0,29941	570,0	0,25373	287,0	0,25373	0,6823	0,466	0,500	0,500
9	0,28	0,838	0,03847	1145,0	0,03260	206,7	0,0326	0,378	0,314	0,300	0,200
10	0,13	0,752	0,08648	550,0	0,07328	148,8	0,07328	0,4830	0,3596	0,400	0,500
11	0,30	0,846	0,3015	2080,0	0,2550	1051,7	0,2550	0,6839	0,5728	0,500	0,500
12	0,20	0,800	0,13073	1320,0	0,11078	439,3	0,11078	0,542	0,429	0,400	0,400
13	0,43	0,890	0,16694	1750,0	0,14147	658,2	0,14147	0,5822	0,513	0,500	0,400
14	0,29	0,842	0,31329	598,0	0,2655	308,1	0,2655	0,691	0,576	0,500	0,400
15	0,45	0,894	0,10548	1085,0	0,0894	324,4	0,0894	0,5041	0,446	0,400	0,300
16	0,02	0,579	0,00382	1600,0	0,0032	90,9	0,00323	0,2025	0,1161	0,150	0,150
17	0,05	0,656	0,11909	540,0	0,10092	171,54	0,10092	0,5299	0,3442	0,350	0,350
18	0,27	0,834	0,25185	660,0	0,2134	304,9	0,21343	0,6512	0,5377	0,500	0,400
19	0,78	0,970	0,04744	565,0	0,04022	113,3	0,04022	0,4083	0,392	0,300	0,200
20	0,22	0,810	0,0866	1730,0	0,06835	452,0	0,06835	0,462	0,3707	0,300	0,300
21	0,22	0,810	0,03396	962,0	0,0287	163,0	0,02877	0,354	0,2838	0,250	0,250

7.8. C o n c l u z i i

Diametrii propuși inițial reprezintă în fond valorile diametrilor din rețeaua verificată la consum maxim orar și chiar la debitele de incendiu din hidranții exteriori.

Dacă s-ar fi introdus în calculul economic debitele maxime orare, ar fi rezultat diametre cu mult mai mari decât diametrele verificate și găsite raționale. Rezultă că în cazul analizat al unei rețele mari, calculul economic efectuat cu debitele medii orare din ziua de consum maxim este pe deplin justificat și se impune cu necesitate.

Pentru rețelele mari, calculul este acceptabil chiar cu debitele medii adică în sensul profund în care ele sînt înțelese și aplicate în vederea cheltuielilor echivalente de calcul numeric.

În cazul rețelelor mici și mijlocii convingerea autorului este pe deplin formată și recomandă efectuarea dimensionării economice pe baza debitelor medii urmînd ca la verificarea rețelei în momentele caracteristice de calcul să se efectueze, eventual, unele majorări ale diametrelor pentru asigurarea parametrilor tehnici.

Nu este însă acceptabil ca într-un calcul economic să fie inițial adoptate debitele maxime orare.

Rezultă în mod incontestabil necesitatea ca proiectanții să aprecieze mai mult și să aplice cu convingere, procedeele de dimensionare economică considerînd bazele de calcul pe care le reclamă metoda prof. Moșnin în vederea unui calcul economic corect. La rețeaua dimensionată în baza debitelor medii, se vor putea aduce corectările cerute de condițiile tehnice.

Introducerea datelor de calcul și acomodarea programelor pentru rezolvarea iterațiilor în calculele de dimensionare economică reprezintă în fine nivelul superior al rezolvării problemelor tehnico-economice ale rețelelor inelare. Folosirea calculatoarelor atît pentru optimizarea cît și pentru verificarea rețelelor inelare, primește astfel o semnificație deosebită și oferă certitudinea rezolvării corecte a rețelelor inelare.

În acest sens trebuie încurajată inițiativa unor cercetători care atît în țara noastră cît și pe plan mondial, au inițiat elaborarea blocurilor complete pentru calculul automatizat al rețelelor inelare.

Trebuie însă stăruit asupra relațiilor corecte de calcul care se impun și anume:

1. - Relațiile economice în sensul celor stabilite în metoda prof. Moșnin și dezvoltate în studiile elaborate de N. Abramo.
2. - Să se considere în calculul hidraulic de verificare a rețelelor, domeniul turbulent tranzitoriu în special relațiile stabilite de Colebrook-Whitte sau, altele echivalente, stabilite în cercetarea științifică modernă.

Imbinarea acestor două procedee stau la baza formării unui criteriu hotărîtor și just în calculul tehnico-economic al rețelelor inelare.

CONCLUZII FINALE

Lucrarea de față reprezintă rezultatele unei munci de cercetare științifică, orientată spre probleme prioritare, cu importanță fundamentală, o cercetare dirijată de către factorii actuali de decizie, în problemele de proiectare și producție a rețelelor de alimentare cu apă.

Desigur problema de proiectare-verificare în acest domeniu este mult prea complexă pentru ca autorul tezei să-și propună o cercetare cu aspect exhaustiv, atât ca abordare a problemei cât și ca finalizare. Astfel, cititorul acestei lucrări, ia contact cu obiectivele de cercetare abordate, în paragraful 1.2 din introducere, care sugerează și motivează prezența fiecărui capitol.

1.- Aceste obiective au fost stabilite, ca o urmare a condiției actuale a cercetării științifice și anume : trecerea originii și inițiativei în cercetare, de la cercetător la beneficiarul activității sale /3/, autorul lucrării, urmînd să genereze prin rezultatele studiilor sale atât aplicații practice imediate (cap. 4,5,6,7) cât și să realizeze premise pentru aplicații viitoare (cap.2,3).

Aceste două aspecte nu sînt însă contradictorii, ele se împletesc, se completează și pornesc din același punct : o serioasă analiză a metodelor uzuale de calcul (cap.1), privite în lumina bazelor lor matematice. Se fac constatări importante și anume:

- rigurozitatea calculului este prejudiciată de simplificări care au fost necesare atît timp cît nu au existat mijloace de calcul rapide ;

- rutina calculului manifestă inerție față de îmbunătățirile aduse de cercetători ;

- deși calea egalizării debitelor în calculele de proiectare-verificare are o bază teoretică la fel de riguroasă ca și calea egalizării presiunilor, ea nu se utilizează la noi ;

- există posibilitatea, și ea trebuie folosită din plin, de a adopta procedee moderne rigurose matematice și mijloace moderne în calcul, în interesul rezolvării corecte a problemelor tehnice de specialitate..

2.- Responsabilitatea și probitatea cercetării a obligat la o imagine cît mai completă în adoptarea modelului matematic, consumînd un volum minim de calcul pentru cea mai bună rezolvare

a problemei.

Se face studiul selectiv al criteriilor de convergență cu aplicații numerice atât cuprinse în teză cât și în mai multe proiecte. S-a ajuns astfel la concluzii sistematizate pentru cazul calculului la artere principale și transversale (cap.2). Într-un șir de aproximații succesive, efectuate cu metoda egalizării presiunilor, corectarea treptată a debitelor din conducte (începând cu debitele inițiale Q_0 și aduse succesiv la valori tot mai apropiate de cele corecte) apare în mod diferit la arterele longitudinale și la cele transversale. În acest sens concluziile de detaliu au fost formulate în finalul capitolului 2. În cadrul problemei convergenței se face studiul comparat al principiilor egalizării debitelor și egalizării presiunilor. Exemplul numeșic luat în studiu atestă convergența rapidă în cazul egalizării debitelor. Se recomandă astfel, cu convingere, utilizarea acestei metode de calcul mai ales în anumite situații cu avantaje certe; dezavantajul principal, aparenta complicitate a calculului, fiind îndepărtat de calculatoare.

Ținând seama de existența mijloacelor de calcul rapide - calculatoarele electronice - se cercetează câteva programe existente din țară și străinătate, aprofundând pe cele mai complete și care în special au cuprins și elemente de factură economică.

S-a urmărit astfel, ținând seama de nivelul teoretic actual de cunoștințe în domeniul proiectării și verificării, baza hidraulică, metoda de calcul-verificare, date de emisie etc. În final se urmăresc elemente de optimizare (cap.2.2) și mai ales considerarea mai calcul tehnico-economic. Se indică perfecționarea în direcția considerării regimului real de curgere, viteza medie. Trebuie prinse în calcul efectele regimului nepermanent creat în conducte la opțurări ale curentului sau să se evalueze în calcul presiunile suplimentare care apar la oprirea accidentală sau uzinală a pompeilor. Considerarea efectelor regimului nepermanent permite identificarea zonelor în care apare cavitația ceea ce poate conduce la modificări necesare a diametrelor unor artere. Astfel se evită reluarea calculelor în cazurile când la actuala procedură se găsesc deficiențe în exploatarea sistemului dimensionat. Tot pe linia îmbunătățirii modelului matematic, la calculul economic pe baza debitelor limită prestabilite, se poate trece la dimensionare mai corectă în baza echilibrării debitelor fictive (Moșnin) pentru rețelele mici. Calculele devin mai cuprinzătoare, și după dimensionare urmează echilibrarea în momentele caracteristice pe baza diametrelor standardizate, aplicate de calculator. Pentru perfecționarea

blocurilor de date tehnice să se introducă coeficienții de neuniformitate zilnică și orară K_{zi} , K_o eventual diferențiați pe sectoare (cap.2.2). În locul blocului (de date tehnico-economic) aplicat, urmează să fie încredințate mașinii două serii de date în vederea prelucrării: directorii condițiilor tehnice și directorii condițiilor economice.

O analiză a parametrilor determinanți în cazul rețelelor inelare, completează tabloul bazei teoretice de calcul. Se face selecția acestor parametri, cu indicații asupra influenței pe care o au în rețea. Se scoate în evidență rolul important al distribuției inițiale a debitelor în sensul obținerii diametrului economic (cap.2.3). Este necesar ca distribuția inițială a debitelor în rețea să se facă din punct de vedere al economiei și siguranței de funcționare.

3. - Metodologia verificării rețelelor inelare include probleme de topologie. În lumina utilizării calculatoarelor electronice, informațiile topologice ale unei rețele pot fi prelucrate la nivel și eficiență sporite dacă se utilizează teoria grafurilor. Disciplina de alimentare cu apă câștigă apropiindu-se pe această cale de matematică.

După înregistrarea proprietăților geometrice ale rețelei de apă sub formă matricială, s-a insistat asupra noțiunii de conjugare a grafurilor, dând o individualizare specifică grafurilor rețelelor inelare (cap.3). Prin aceasta se finalizează calculul rețelelor inelare de apă prin metoda egalizării debitelor, care corespunde în fond proprietății de conjugare a grafurilor. (Exemplul corespunzător figurii 1.1 este trecut prin mai multe aspecte (cap.1, 2) de calcul și în fig.3.34 (cap.3) este reprezentat graficul conjugat). Tot în cazul acestei probleme, se introduce o regulă pentru orientarea muchiilor obținute în graficul conjugat.

Deosebit de clare, datorită teoriei grafurilor, apar unele probleme legate de extinderea rețelei inelare. Astfel, în cazul necesității amplasării unor noi consumatori neprevăzuți inițial, se determină (matricial) traseul din rețea cu cele mai mari posibilități de satisfacere a noilor consumatori, sau exprimat matematic, drumul de valoare maximă. Această fază-cerință de construcție a rețelelor inelare, s-a completat determinând influența pe care o au asupra debitelor dintr-un anumit tronson, celelalte tronsoane ale unui traseu; precum și influența altor trasee asupra celui ales.

Desigur, problemele care se pot rezolva nu se opresc aici; în acest capitol s-a urmărit scoaterea în relief a trăsăturii de

uniere între problemele rețelelor inelare și teoria grafurilor, calculul matematic (matricial) putând fi realizat de calculatorul electronic.

4.- Urmărind extinderea limitelor teoretice ale cunoașterii științifice, punând problema valorificării practice imediate a rezultatelor obținute, în lucrare se reconsideră calculul hidraulic al conductelor de apă, perfecționându-se prin adoptarea în calcule a regimului turbulent tranzitoriu. Procedeele uzuale aplicate la dimensionarea și verificarea rețelelor de apă, admit încă un calcul simplificat, considerat acoperitor și anume calculul hidraulic al conductelor tehnice în zona pătratică a regimului turbulent.

În lucrare (cap.4) se prezintă modul de considerare a regimului de mișcare a apei în rețelele inelare și rezultatele la care se ajunge adoptând în calcule valoarea corectă a coeficientului de rezistență în regimul tranzitoriu.

Selectarea formulelor care dau valoarea coeficientului de rezistență λ , calculele comparate (cap.4.1), au condus la efectuarea unei corecții a formulei explicite a lui Șevelev. Utilizând măsurătorile efectuate pe rețeaua în exploatare a orașului Timișoara, se obțin valorile reale ale rugozității absolute și se constată că regimul real de mișcare în acea rețea inelară este cel tranzitoriu. În vederea verificării rețelei, se calculează coeficientul de rezistență λ după formula Colebrook-White. Astfel se pune la dispoziția proiectanților valorile coeficientului λ (pentru un câmp de date) în urma rulării efectuate pe calculatorul electronic FELIX C.256. Pentru studii informative se indică în urma calculelor comparative procentuale formula coeficientului de rezistență λ , care dă rezultatele cele mai apropiate de Colebrook-White (formula indicată de Congresul Internațional 1955). S-a cercetat modul în care este determinată distribuția debitelor, respectiv situația liniilor de presiune în rețelele inelare, în regimul tranzitoriu în comparație cu cel pătratic. În cadrul acestei comparații s-a considerat valoarea coeficientului de rezistență λ , schimbat în diferite trepte de calcul funcție de noile valori. S-a constatat că abaterile calculate ale debitelor, pierderilor de sarcină pe sectoare, cotele liniilor de presiune, sînt mici în cazul inelului izolat însă se însumează putînd ajunge la valori apreciabile semnificative în cazul rețelelor. Abaterile față de regimul turbulent pătratic s-au manifestat atît în plus cît și în minus. Astfel, presupunerea că regimul turbulent pătratic este acoperitor, nu s-a dovedit justă. Rezultatele calculelor atestă convingerea autorului asupra necesității considerații corecte în calcule, a regimului turbulent

tranzitoriu. Se face însă propunerea unor eforturi colective pentru o sistematizare a măsurătorilor și a calculelor în baze statistice, în vederea elucidării problemei valorilor parametrului de rugozitate absolută în conducte industriale.

5.- Exemplul de calcul, necesar studiului pentru regimul hidraulic ce trebuie adoptat în proiectarea și verificarea rețelelor inelare, s-a efectuat pe o rețea cu 7 inele, 15 noduri, 21 conducte. Această rețea reprezintă de fapt o echivalență a rețelei reale a orașului Timișoara cu 126 inele. În cap. 5 s-au stabilit principii de echivalență, de la cea mai simplă topologie, conducte în serie, până la rețele inelare complexe; putându-se determina traseele echivalente, modulii echivalenți de rezistență ai sistemului M_e , debitele aferente etc. Față de calculul desfășurat al rețelelor inelare, testarea condițiilor de echivalență s-a efectuat prin controlul presiunilor în punctele obligate ale sistemului. Batisfacerea condițiilor de margine, s-a apreciat în urma calculului la calculatorul MECIPT II, pentru rețeaua echivalentă de 7 inele. Rezultatele obținute au confirmat posibilitatea de a transpune funcționarea unei rețele complexe la forma unei rețele echivalente, în ipoteza caracteristică de calcul. Prin acest procedeu s-a urmărit reducerea volumului de calcul pentru rețele inelare complexe în vederea predimensionării, precum și obținerea unei vederi de ansamblu pentru structura studiată. Problema echivalenței este însă complexă; aplicarea procedeelor de echivalență prezentînd caracteristici proprii de la caz la caz. Cîteva concluzii de restricții se impun, și acestea au fost arătate la paragraful 5.5.

6.- Procedeul de echivalență a făcut posibilă cercetarea unei rețele foarte mari, pe o instalație analogică modestă. În cadrul tezei, s-a utilizat instalația analogică din laboratorul Catedrei de construcții hidrotehnice și îmbunătățiri funciare, care funcționează cu apă, dispunînd de o rețea cu robinete cu sertar de modelare.

Geometria rețelei pe model, s-a studiat fără să se țină seama de forma inelelor în plan ci numai de interconectările conductelor în sistem. Experiențele s-au efectuat considerînd exponentul debitului $\beta = 1,85$, observînd că valorile modulului de rezistență - m - practic se dublează, ceea ce ilustrează mai corect desfășurarea procesului de modelare. Studiul de analogie hidraulică vine să confirme avantajul modelării prin rapiditatea determinărilor ce se pot efectua (cap. 6).

Instalațiile analogice de calcul ale rețelelor echipate la o anumită capacitate de calcul, s-au dovedit eficiente și ușor adaptabile atât la diferite structuri ale rețelelor cît și la citirea

imediată a parametrilor ce exprimă cele mai diferite condiții de lucru. Astfel, pe lângă verificarea regimului de lucru al rețelei se pot determina prin manevre simple, modificările regimurilor de restricții, precum și influența vîrfurilor accidentale de consum. La o anumită capacitate a modelului, trebuie însă alese în modul cel mai judicios valorile scărilor de modelare a rezistențelor și a debitelor astfel încît instalația să fie complet utilizată la cel mai înalt randament.

7.- În afară de multiplele condiții tehnice care trebuie respectate întocmai, soluția economică reprezintă un obiectiv precis în rezolvarea diferitelor aspecte ale temei propuse. Aplicarea calculelor tehnico-economice în dimensionarea rețelelor inelare, completează o latură importantă a proiectării și deține rol decisiv în definitivarea soluției.

Parametrii determinanți în calculul tehnico-economic al rețelelor inelare, se leagă nemijlocit de datele încărcării și debitul de calcul, presiunile de serviciu, interconectarea optimă și indicarea diametrilor. Problemele presiunii admisibile, deși limitează mult domeniul de alegere a parametrilor, trebuie considerate ca date inițiale informative, în cadrul cărora se vor putea reprezenta soluțiile penoptime. Final, în cadrul soluțiilor penoptime determinate de parametri la alegere, urmează să se definitiveze soluția optimă pe baza criteriilor propuse.

În cazul dimensionării economice a rețelelor inelare (cu criteriul de optimizare universal-admis este reprezentat prin minimul cheltuielilor echivalente de calcul. În acest fel, se ține seama în mod echitabil de costul minim al apei și în același timp se iau în considerare și sarcinile investițiilor. De aceea, în prezenta lucrare, metoda prof. Moșnin, a fost luată ca bază a modelului de rezolvare a problemei, detaliindu-se în special studiul alegerii debitelor de calcul și condițiile de verificare, în ipotezele cele mai desavantajoase a valorii diametrilor rezultați din calculul fundamental.

Pentru ilustrarea modului de rezolvare a problemei, s-a efectuat procesul de dimensionare economică a rețelei echivalente angajate și în capitolele anterioare. Diametrii propuși inițiali reprezintă în aceste aplicații valorile diametrilor din rețeaua inelară verificată și găsită ca bună la consumul maxim orar. Această rețea face față chiar la debitele de incendiu din hidranții exteriori. Dacă s-ar fi introdus în calculul economic debitele maxime orare, ar fi rezultat desigur diametrii cu mult mai mari. Rezultă că în cazul analizat, ale unei rețele importante, calculul eco-

mic efectuat cu debitele medii orare din ziua de maxim consum este pe deplin justificată. În general pentru rețelele mari, calculul este acceptabil chiar cu debitele medii, adică în sensul profund în care ele sînt înțelese și aplicate în vederea cheltuielilor echivalente de calcul ; dat fiind consumul industrial important cu mici oscilații zilnice și orare.

În cazul rețelelor mici și mijlocii convingerea autorului este pe deplin formată (pe baza analizelor elaborate) și recomandă efectuarea dimensionării economice pe baza debitelor medii, urmînd ca la verificarea în momentele caracteristice de calcul să se aplice eventual unele majorări ale diametrelor pentru asigurarea condițiilor tehnice. Aceste majorări, necesare, trebuie să țină seama atît de funcționabilitatea rețelei în ciclul de compensare cît și de majorarea coeficientului de siguranță în zonele din centrul de greutate al consumatorilor. Nu este însă acceptat în nici un caz ca în calculul economic să fie inițial adoptate debitele maxime orare.

Rezultă în mod incontestabil necesitatea ca proiectanții să aprecieze mai mult și să aplice cu convingere, procedeele de dimensionare economică, considerînd bazele de calcul pe care le reclamă metoda prof. Moșnin în vederea unui calcul economic corect. În rețeaua dimensionată în baza debitelor medii, se vor putea aduce corectările cerute de condițiile tehnice.

Introducerea datelor de calcul și acomodarea programelor pentru rezolvarea iterațiilor în calculele de dimensionare economică, reprezintă în fine nivelul superior al rezolvării problemelor tehnico-economice ale rețelelor inelare. Folosirea calculatoarelor atît pentru optimizarea cît și pentru verificarea rețelelor inelare, primește astfel o semnificație deosebită și oferă certitudinea rezolvării corecte a rețelelor inelare.

Trebuie însă stabilit asupra relațiilor corecte de calcul care se impun și anume :

1.- Relațiile economice în sensul celor stabilite în metoda prof. Moșnin și dezvoltate în studiile elaborate de N. Abramov.

2.- Să se considere în calculul hidraulic de verificare a rețelelor, domeniul turbulent tranzitoriu, în special relațiile stabilite de Colebrook-Whitte sau altele echivalente, stabilite în cercetarea științifică modernă.

Imbinarea acestor două procedee și a baza formării unui criteriu hotărîtor și just în calculul tehnico-economic al rețelelor inelare.

3.- Autorul apreciază că cercetarea efectuată, avînd ca o-

Activ dimensionarea rețelelor inelare, este strâns legată de unele probleme de mare actualitate ale economiei naționale. Rețelele de apă angajează fonduri importante care trebuie judicios folosite ținând seama de mulțimea centrelor și industriilor care trebuie dotate, și de creșterea impetuoasă a consumului de apă în toate ramurile. În acest fel, s-a urmărit realizarea în acest domeniu de activitate a politicii de integrare a cercetării științifice cu producția și învățămîntul, cu privire la obiectul de actualitate angajat.

În sensul rezolvării corecte a problemei, alegerea celor mai noi metode de calcul și de investigare a fost considerată ca o problemă fundamentală. S-a căutat ca prin considerarea corectă a regimului tranzitoriu în calculul rețelelor inelare, respectiv prin aplicarea metodelor de calcul automatizat, atât la calculele de verificare cît și la dimensionare, să se aducă la baza cercetării și să se aplice eficient mijloacele cele mai moderne ale științei și tehnicii actuale.

În ansamblu, conținutul lucrării corespunde tendinței de concentrare a forțelor de cercetare (în cea mai mare parte) pe probleme cu specific aplicativ imediat. De asemenea, este în concordanță cu părerea potrivit căreia, calculatoarele sînt singurele care pot susține ritmul alert al necesității actuale ale științei și economiei. Aceste două fire conducătoare au fost decisive în lucrările publicate și în curs de publicare /12, 33, 34, 35, 36, 50, etc./ ale căror subiecte fac parte organică din teză.

Autoorul tezei a avut mulțumirea unei fructuoase participări la două contracte solicitate de producție a căror tematică a reprezentat un test pentru unele probleme din teză. Confirmările obținute prin calcule au contribuit la formarea convingerilor în sensul celor arătate în teză.

B I B L I O G R A F I E

1. PROGRAMUL PARTIDULUI COMUNIST ROMAN de făurire a societății socialiste multilateral dezvoltate și înaintare a României spre comunism
2. CEAUSESCU N. - Cuvîntare la conferința națională a cercetării științifice și proiectării, 25 oct. 1974, "România pe drumul construirii societății socialiste multilateral dezvoltate." Editura politică București 1974 - vol.10 pg.917 - 949.
3. REVISTA "Era socialistă" anul 1965 numerele din lunile ianuarie ... iunie.
4. ABRAMOV N.N. - Vodasnabycnie . Moskva 1970.
5. ABRAMOV N.N. - Teoria i metodika rasciota sistem podaci i raspredelenia vodî. URSS, Moskva 1972. Izdatelstvo literaturi po streitelstvu.
6. AGENT R. SCHULERT I. - Simplificări și sistematizări în calculul rețelelor de distribuție inelară. Revista Hidrotehnica, Nr.4/1958.
7. AGENT R. - Metoda aproximațiilor succesive aplicată în probleme de stație și alte probleme similare. Vol. I, București, 1955.
8. ADAMS R.W. - Distribution Analysis by Electronic Computer. In Tom. the Inst. of Water Eng. nr.15/1961.
9. ANDRIASEV M.M. - Tehnika rasceta vodoprovodnih setei. Sovetskoe zakonodatelstvo 1932.
10. ANDRIASEV M.M. - Ghidravlicheskie rasceti vodovodov u vodoprovodnih setei. Stroizdat 1964.
11. BOZOKY - SZESZICH K. - Institutul de Construcții Budapesta. Unele probleme ale calculului hidraulic a rețelelor de conducte de alimentare cu apă. Hidrologia. (Közlöny nr.3/1966, Budapesta).
12. BOJA N. FILIMON E. - Drumuri principale în grafurile rețelelor inelare de alimentare cu apă. Buletinul I.P. Timișoara, 1974.
13. BERGE C. - Theorie des graphes et ses applications, Dunod, Paris 1967. (Ediția română București 1969).
14. BLITZ E. PISLARASU M. - Reducerea costului alimentărilor cu apă prin înlăturarea cauzelor unor avarii pe conducte. Hidrotehnica, Nr.5, 1960.

15. BRIX Y., HEIJND H. - Die Wasserversorgung. München-Wien, 1963
GHERLACH E.
16. BECHER A.E. - Computer Techniques for Water Distribu-
GERALD I.E. tion Analysis. In Iowa, nr. 64/7, 1972
SCHOLTZ W.
17. CIOC D. - Mecanica Fluidelor. Editura didact. și
ped. București, 1967.
18. x x x - Conferința de construcții edilitare.
Hidrotehnica, nr. 9/1970.
19. C.S.C.A.S. - Metode de dimensionare economică a re-
țelelor de alimentare cu apă, cu gaze și
termoficare.
20. CONGRES INTERNATIONAL des distribution d'eau. Stockholm
1964. Liege, ed lebedoc 1965.
21. CROSS H. - Analysis of liquid flow in net works
of conduits and conductors. Univ. of
Illinois, Bul. nr. 286, nov. 1936.
22. CRETU GH. - Economia apelor. Lit. I. P. Timișoara, 1971
23. COLEBROOK C.F. - Turbulent Flow in Pipes, with particular
Reference to the transition Region
betvoeen the Smooth and Raugh Pipe Laws.
Journal of the Institution of civil En-
gineers, vol. II (1938/39), S. 133/156.
24. CAO C. - Sulla Convergenze del Metoda di Cross.
VIII Convenda di Idraulica, Pise Avr. 1963
25. DORIN P. - Hidraulica teoretică și aplicată.
Editura tehn. București, 1950.
26. DUBIN CH. - Calcul des réseaux moillés par des
calculateur digital. Congres des distri-
bution d'eau, Stockholm, 1964.
27. DUBIN CH. - Le calcul des reseaux moillés. Contri-
bution a l'application pratique de la
methode de Hardy Cross.
La Hanthe Blanche, mai 1947.
28. DAMIANI A. - Contribuții la calculul conductelor de
apă in zona de tranziție după Colebrook.
G. Genie liv, Italie, 102, nr. 3 martie,
1964. (Italiană).
29. DELLINGHAM I.H. - Computer Analysis of Water Distribution
Sistems part. II. In Water and Sewage
Works nr. 2 1967.
30. DUBINS I. - Simplified Analysis of Flow in Water
Distribution. Sistems. Eng. News Rec. 1936.

31. EGOROV A.I. - Determinarea pierderilor de presiune în rezistențele turbionare în sistemele de repartiție și colectare a apei.
·Vodosnabjenie i san.tehnika,URSS nr.2/1961.
32. FALKO KOHLE
HAGEN KUSTEER - Halle.Contribuții din V.E.B.Proiectare, Economia Apelor Halle.Calculul instalațiilor de alimentare cu apă cu ajutorul dispozitivelor mari de prelucrare automată a datelor.
33. FILIMON E.
BOJA N. - Grafuri asociate rețelelor inelare de alimentare cu apă.Buletinul IPT 1975.
Comunicată la sesiunea științifică a cadrelor didactice,iunie 1974.
34. FILIMON E. - Contribuții la calculul rețelelor inelare rezolvate prin metoda grafurilor.
Buletinul I.P.Cluj 1975.
Comunicată la sesiunea științifică I.P. Cluj,februarie 1974.
35. FILIMON E. - Analiza parametrilor determinanți în calculul sistemelor inelare.Buletin IPT 1975.
Comunicată la simpozionul național de hidraulică aplicată - noiembrie 1973.
36. FILIMON E. - Probleme ale calculului rețelelor inelare de distribuție în regim turbulent tranzitoriu.Buletin I.C.București,1975.
Comunicată la sesiunea științifică a I.C. București - aprilie 1975.
37. FAIR G.M. - Analysis of flow in Pipe Networks.Eng. News Rec.120:342 , 1938.
38. GHENIEV
ABRAMOV N.N.
PAVLOV V. - Alimentația cu apă (Traducere din l.rusă)
Edit.MOLC 1956.
39. GHEORGHIU V. - Funcții de rugozitate pentru sistematizarea calculului rezistenței hidraulice a conductelor tehnice",Buletin IPT 1975.
40. GHEORGHIU V.
DAVID I.
POP M.
SCHULER A. - Seria I:Diagrame de calcul în regim tranzitoriu.Buletin științific studentesc Timișoara
41. GIURCONTU M. - Hidraulică,lucrări edilitare și instalații sanitare,Editura did.și ped. București,1963.
42. HELER A.
BOGOEVICI M. - Electrotehnică și mașini electrice.
Ed.I.P.Timișoara 1969.

43. HURST W.
BUBBIS V. - Application of the Hardy Cross Method to the Analysis of a Large Distribution System. Trans. A.S.M.E., 1942.
44. HASILEV V.E. - Elementi teorii hidrauliceskih țepej. Filial vo AH.CCCR. Energhetika i transporti, 1964.
45. IONESCU T. - Grafuri - aplicații, vol. I. Ed. did. și ped. București 1973.
46. Mr. HILROY M.S. - Direct Reading Electric Analyser for Pipe line Networks. Gorn. A.W.W.A. vol. 42 ap. 1950.
47. IARESKO E.I. - Rascet vodoprovodnih kolčenh ceterspasovom nēuravnovesennih napores. Vodostnavjenie i sanitarnaia tehnica 1959, Nr. 9.
48. JURA C.
GIURCONIU M.
NICCOARA T.
CRETU Gh.
MIREL I. - Studiul tehnico-economic al rezervoarelor în sistemele centrale de distribuție a apei. Buletinul I.P. Iași, 1968.
49. JURA C.
GIURCONIU M.
NICCOARA T.
CRETU Gh. - Studiul hidraulic și economic al sistemului format din pompe-rețea-rezervoare în alimentări cu apă. Buletinul I.P. Timișoara
50. JURA C.
FILIMON E. - Probleme ale folosirii calculatoarelor pentru dimensionarea rețelelor inelare. Buletinul I.P. Timișoara, 1974. Comunicată la simpozionul "Utilizarea calculatoarelor electronice în construcții" iunie 1973.
51. JURA C.
FILIMON E. - Probleme ale elaborării rețelelor echivalente în calculul sistemelor de distribuție a apei. I.C. București 1975. Comunicată la sesiunea științifică I.C. București, apr. 1975.
52. JURA C. - Curs de alimentări cu apă
53. JURA C. - Criterii pentru dimensionarea tehnică economică a rețelelor de distribuție. Buletin I.P. Iași 1967.
54. KESAVAN H.K.
CHANDROSEKOV M. - Modele grafic-teoretice pentru analiza rețelei de conducte.
55. KARLINSKAIA M.I.
EGHILSKI S. - Dispozitiv de modelare pentru calculul și analiza sistemelor de alimentare cu apă. Vodostnabjenia i san. tehn. URSS nr. 1, ian. 1962.
56. KIRSCHNER O. - Tabellen zur Berechnung von Entwässerungsleitungen nach Prandtl-Colebrook. 1966.
57. KIRSCHNER O. - Reibungsverluste in Rohren und Kanäle. Die Wasserversorgung 39; Jahrg. (1949) nr. 7, 8
58. KORTE I.W.
VIELHALER H. - Untersuchung und Berechnung vermischter Wasserversorgungsnetze. Aachen 1967.

59. KARL BECK
KARL-HEINZ
FRIEDERICHS - Erfahrungen mit den elektrischen Analogierechner für die Wasserrohrnetz-Berechnung.
60. IOBACEV V.G. - Voprosi raționalizații rasciotov vodopravodnih setei. Moskva 1936.
61. LAM C.F.
WOLLA M.L. - Computer Analysis of Water Distribution Systems. Part. I : Equation Formulation. Journal of the Hydraulics Division ASCE vol. 98, NO HY2, Proc. Pajer 87 , 29 Febr. 1972
62. LAM C.F.
WOLLA M.L. - Mem. Part. II, vol. 98 , NO HY3, Martie 1972.
63. LABIE Y.
NOUGORO J. - Contributions à l'etude de reseaux mailles. Revue generale, Le Genie civil des techniques ; 24-1965.
64. LIEBHOLD - Calculul coeficientului de rugozitate k efectuat după datele de măsurare a rugozității în condiții de exploatare a conductelor de alimentare cu apă. In Gas-u, Wasserfach, R.F.G., nr. 24, iunie 1966.
65. LAMMERS G. - Die Anwendung der Prandtl-Colebrook-schen Formel auf die Berechnung von Entwässerungsleitungen. Das Gas - und Wasserfach 101, Jahrg. 1960, H. 24.
66. LAMMERS G. - Hydraulische Grundlagen zur wirtschaftlichen Bemessung von Entwässerungsleitungen. Diss. Universität Bonn 1959
67. MANESCU A. - Inmagazinarea și distribuția apei. Culegere de probleme, partea II, 1968.
68. MOROZOV A.A. - Utilizarea energiei apelor. Traducere din limba rusă. Editura tehnică 1952.
69. MATEESCU C. - Hidraulica. București 1963, ed. did. și pedagogică.
70. MOODY L.F. - Friction factors for pipe flow. Trans. Amer. Soc. Mech. Eng. 1944, 1945.
71. NICURADZE I. - Strömungsgesetze in rauhen Rohren. VDJ-Forschungsheft 361, Berlin 1933.
72. NICURADZE I. - Gesetzmässigkeit der turbulenten Strömung in glatten Rohren. VDJ-Forschungsheft 356, Berlin 1932.

- 192
73. PISLARESCU ROTARU TEODORESCU - Alimentări cu apă. Editura tehnică, București 1970.
74. POGONY A. - Diametrul economic al conductelor. Rev. Hidrotehnica, nr.4 1965.
75. PRANDTL L. - Führer durch die Stömungslehre, 6. Auflage, 1965.
76. PRANDTL L. - Neuere Ergebnisse der Turbulenzforschung Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, 1933.
77. PRANDTL L. - Führer durch die Stromungslehre. 5. Auflage Braunschweig 1957.
78. RUSU G. - Metode moderne pentru calculul rețelelor de distribuție a apei. Rev. Hidrotehnica, R.S.R., nr.4/1964.
79. RUSU G. - Asupra problemelor calculului rețelelor de distribuție pentru alimentarea cu apă. Rev. Hidrotehnica, R.S.R. nr.10/1965.
80. RUSU G. GEORGESCU M. - Calculul rețelei de artere pentru alimentarea cu apă a orașului București cu calculatorul electronic. Rev. Hidrotehnica, R.S.R. nr.1/1966.
81. RICHTER - Rohrhydraulik. Ein Handbuch zur praktischen Strömungsberechnung. Springer-Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1962.
82. SHANIN U. HOWARD D.D. - Water distribution Systeme Analysis. Journal of the Hidraulics Division, ASCE vol.94, No HYL Prop. Pajer 57-58 ian. 1968.
83. SCHMIDT I. - Calcul economique des reseaux de distribution. La houille blanche 1954.
84. SCHWEIGERER S. - Rohrleitungen. Theorie und Praxis. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1967.
85. SCHRODER PRESS - Hydromechanik im Wasserbau-Verlag von Wilhelm Ernst&Sohn, Berlin/München 1966.
86. SCHULZ H. - Tabellenbuch für die Berechnung von Rohrleitungen und Kanälen im Siedlungswasserbau. VEB-Verlag Technik, Berlin 1960.
87. SEREK M. - Matrix. Conception of the flow Analysis in complex Water Suppley Systems. Visoke uceni technike, Brno 1968.

88. SETRUK E.
BIESEL F. - Studiul unui model redus de rețea inelară. In la Houille Blanche nr.3,1947.
89. TROFIN P. - Alimentări cu apă.vol.I,II,III-1966. Editura did.și ped. București.
90. TROFIN P. - Alimentări cu apă.
91. TEODORESCU M. - Alimentarea cu apă a orașului Craiova. Rev.Hidrotehnica nr.3/1964.
92. VISNOVSCHY P. - Vodarenstoj, II.Bratislava 1966
93. VACHU H. - Culegerea apei în conducte.In L'Eau, Belgia, 19 nr.222 iunie 1965.
94. VIBER A. - L'acoulement dans les aqueducs circulaires. Le Genie Civil I.f. 1962.
95. x^x x - Program "Verapa". Verificarea rețelelor de alimentare în situații curente CEPECA București.
96. x^x x - Program VAVAR. Verifică rețelele de apă în ipoteza suprimării succesive a conductelor din sistem.CEPECA București.
97. x^x x - Program DIMRAPA. Dimensionează economic o rețea de distribuție.CEPECA București.
98. x^x x - Program pentru calculatorul de birou Olivetti programa lol - program parțial de calcul al rețelelor de apă.

C U P R I N S

	Pagina
INTRODUCERE	4
a. Generalități	4
b. Obiective ale cercetării	6
Cap.1 - BAZELE CALCULULUI REȚELELOR INELARE	10
1.1. Principii de calcul	10
1.2. Aspecte din bazele matematice	18
1.3. Metoda Lobocev - Cross	21
1.4. Egalizarea debitelor	23
1.5. Concluzii	25
Cap.2 - METODOLOGIA VERIFICĂRII REȚELELOR INELARE	27
2.1. Procedee iterative în calculul analitic	27
2.1.1. Problema convergenței	27
2.1.2. Considerații asupra aspectului energetic	30
2.1.3. Considerații asupra accelerării proceselor de convergență	31
2.1.3.1. Alegerea sistemului de contururi teoretice	31
2.1.3.2. Introducerea succesivă a corecțiilor în contururi teoretice	33
2.1.4. Coordonarea rețelelor inelare prin metoda egalizării debitelor	36
2.2. Observații asupra cantității și calității datelor de proiectare prin calculator	41
2.2.1. Considerații asupra câtorva programe cu mai multă răspîndire în tehnică la noi în țară și străinătate	41
2.2.2. Posibilități de îmbunătățire a programelor	47
2.2.2.1. Perfecționarea modelului matematic	47
2.2.2.2. Perfecționarea blocurilor de date tehnice	48
2.2.2.3. Amplificarea program calcul	49
Sublinieri	49
2.3. Analiza parametrilor determinanți în calculul rețelelor inelare	52
2.3.1. Prezentarea parametrilor funcționali ai rețelelor de distribuție	52
2.3.2. Analiza principalilor parametri funcționali ai rețelelor de distribuție inelare	55
2.4. Concluzii	60

Cap.3 - CONTRIBUȚII LA CALCULUL REȚELOR INELARE	
REZOLVATE PRIN METODA GRAFURILOR	64
3.1. Incadrarea generală a problemei în limbajul adecvat teoriei grafurilor	64
3.1.1. Precizări	64
3.1.2. Relația între numărul de noduri, muchii și cicluri în rețelele plane	65
3.1.3. Transformarea rețelelor	67
3.1.4. Alegerea sistemelor de contururi teoretice pentru rețele inelare	70
3.2. Grafuri conjugate	72
3.2.1. Coordonarea rețelelor care reprezintă grafuri reciproc conjugate	76
3.3. Exemple de probleme ale rețelei inelare rezolvate prin teoria grafurilor	79
3.3.1. Găsirea drumurilor de valoare maximă	79
3.3.2. Influența asupra unui drum principal din- tr-o rețea inelară a celorlalte trasee ale rețelei	83
3.4. Concluzii	87
Cap.4 - ASPECTE DIN CALCULUL HIDRAULIC AL CONDUCTELOR	
DE APA	89
4.1. Noțiuni introductive	89
4.2. Reconsiderarea calculului în coordonatele impuse de regimul turbulent tranzitoriu	90
4.3. Problema fundamentală a circulației apei pe un inel	110
4.4. Circulația apei în rețele inelare	111
4.5. Concluzii	120
Cap.5 - PROBLEME ALE ELABORĂRII REȚELOR ECHIVALENTE	123
5.1. Principiul de bază	123
5.2. Avantajele rețelelor echivalente	124
5.3. Procedee de echivalență	124
5.3.1. Sistem de conducte în serie	124
5.3.2. Sistem de conducte în paralel	125
5.3.3. Sistem inele în serie	125
5.3.4. Sistem inele în paralel	126
5.3.5. Rețele echivalente	128
5.4. Exemplificare pentru elaborarea rețelelor echivalente	129
5.5. Concluzii	142

Cap.6 - STUDIUL EXPERIMENTAL AL REȚELELOR INELARE	143
6.1. Considerații asupra programelor experimentale	143
6.2. Procedee de studiu al rețelelor inelare în instalații analogice	144
6.2.1. Relații de bază în calcul	144
6.2.2. Procedul de modelare	145
6.2.3. Etalonarea modelului	145
6.2.4. Desfășurarea experienței	151
6.3. Concluzii	159
Cap.7 - ASPECTE DIN CALCULUL TEHNICO-ECONOMIC AL REȚELELOR INELARE	161
7.1. Probleme generale	161
7.2. Funcția de cost	162
7.3. Analiza problemei generale a calculului tehnico-economic când debitele și diame- trele nu sînt date	163
7.4. Cazul distribuției date a debitelor	166
7.5. Cazul cunoașterii pierderilor de sarcină pe conducte	167
7.6. Considerații generale asupra alegerii și legii de variație a cheltuielilor echiva- lente în funcție de modificarea distribu- ției curentului și de caracterul suprafe- țelor piezometrice din sistem	168
7.7. Exemplificarea metodei Mașnin în condițiile considerării regimului turbulent tranzito- riu și a debitului mediu	175
7.8. Concluzii	177
CONCLUZII FINALE	179
BIBLIOGRAFIE	187
CUPRINS	194

**INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ**