

**MINISTERUL ÎNVĂȚĂMÎNTULUI
UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN TIMIȘOARA**

ing. **IOAN SÂRBU**

***OPTIMIZAREA SISTEMELOR CENTRALIZATE DE
ALIMENTARE CU APĂ ÎN SCOPUL REDUCERII
CONSUMULUI ENERGETIC ȘI A PIERDERILOR DE APĂ***

Teză de doctorat

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

***Conducător științific
prof. dr. ing. CORNEL JURA***

**TIMIȘOARA
1993**

*

* *

Teza de doctorat, structurată în 9 capitole se extinde pe 200 pagini, cuprinzând 72 figuri, 34 tabele, 320 relații numerotate, 13 programe ordinatoare originale și o listă bibliografică cu 270 titluri.

*

* *

Autorul este profund recunoscător conducătorului științific, *prof. dr. ing. CORNEL JURA*, pentru sprijinul acordat pe parcursul elaborării acestei lucrări, pentru încurajarea și atenția de care a beneficiat din partea Domniei sale.

Totodată aduce mulțumiri în mod deosebit *prof. dr. ing. VIRGIL HAIDA*, pentru facilitarea accesului la microcalculatoarele electronice din dotarea Catedrei Drumuri și Fundații.

Cu această ocazie, autorul mulțumește *ing. MARIN GHÎȚESCU* și *ing. DAN MĂRCULESCU* pentru prețiosul ajutor acordat la tehnoredactarea computerizată a lucrării, precum și *tehn. SUZANA IMBĂRUȘ* pentru calitatea părții grafice a acestei lucrări.

De asemenea, autorul mulțumește *colègilor* care prin discuții și sugestii au contribuit la clarificarea unor aspecte ale cercetărilor întreprinse și nu în ultimul rând *familiei* pentru sprijinul moral cu care l-a susținut de-a lungul anilor necesari elaborării lucrării de doctorat.

CUPRINS

1. INTRODUCERE	11
1.1 Considerații asupra obiectului tezei de doctorat	11
1.2 Conținutul tezei de doctorat	12
2. STUDIU PRIVIND EVOLUȚIA CONCEPȚIEI ȘI REALIZĂRII SISTEMELOR CENTRALIZATE DE ALIMENTARE CU APĂ	14
2.1 Dezvoltarea alimentărilor cu apă în România	14
2.2 Evoluția concepției lucrărilor de alimentare cu apă	16
2.3 Realizarea lucrărilor de alimentare cu apă	18
2.4 Concluzii și direcții actuale de acțiune în domeniul alimentărilor cu apă	19
3. SOLUȚII ȘI DIRECȚII GENERALE DE OPTIMIZARE A CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ ÎN SISTEMELE DE ALIMENTARE CU APĂ	20
3.1 Considerații preliminare	20
3.2 Stabilirea cerințelor specifice cantitative și calitative	20
3.3 Adoptarea schemei sistemului de alimentare cu apă	21
3.4 Posibilități și măsuri de reducere a consumului energetic al stațiilor de tratare a apelor de alimentare	21
3.5 Gospodărirea rațională a apei la utilizatori	22
3.6 Optimizarea energetică a sistemelor de distribuție a apei	23
3.7 Concluzii parțiale	23
4. METODE ALE CALCULULUI OPERAȚIONAL APLICABILE LA OPTIMIZAREA SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE A APEI	24
4.1 Preliminarii matematice privind formularea problemelor de optimizare cu referire la rețelele de distribuție a apei	24
4.1.1 Variabilele de proiectare	24
4.1.2 Restricțiile de proiectare	25
4.1.3 Funcția obiectiv	25
4.1.4 Modelul matematic al unei probleme de optimizare	26
4.2 Elemente de programare matematică	26
4.2.1 Noțiuni generale	26
4.2.2 Optimizarea necondiționată	27
4.2.2.1 Evaluarea analitică a extremului unei funcții fără restricții	27
4.2.2.2 Domenii și funcții convexe	28
4.2.2.3 Metoda numerică de evaluare a minimumului unei funcții monovariabile prin interpolare	29
4.2.3.4 Metoda gradientilor conjugați de evaluare a minimumului unei funcții multivariabile	29
4.2.3 Optimizarea condiționată	31
4.2.3.1 Principiul programării liniare	31

4.2.3.2 Formularea generală a programării neliniare	32
4.2.3.2.1 Metoda clasică a multiplicatorilor Lagrange de evaluare a minimului unei funcții cu restricții	33
4.2.3.2.2 Condițiile de optimalitate Kuhn-Tucker	34
4.2.3.2.3 Prezentarea generală a metodelor de soluționare a problemelor de programare neliniară	35
4.3 Elemente de teoria grafurilor	36
4.3.1 Noțiuni generale	36
4.3.2 Condiții particulare de aplicare a grafurilor la calculul rețelelor de distribuție a apei	37
5. OPTIMIZAREA CALCULULUI REȚELOR DE DISTRIBUȚIE A APEI	39
5.1 Considerații preliminare	39
5.2 Indici specifici de cost și energetici pentru realizarea rețelelor de distribuție a apei	39
5.2.1 Indici de cost	39
5.2.2 Indici energetici	40
5.3 Probleme fundamentale ale calculului hidraulic optimal al rețelelor înelare	42
5.3.1 Bazele calculului hidraulic în regim permanent de curgere a apei	42
5.3.2 Relația funcțională pierdere de sarcină-debit în conducte cu debit constant	44
5.3.3 Generalizarea relației funcționale pentru conducte cu consum continuu uniform distribuit	47
5.3.4 Procedee de transformare a grafului asociat rețelelor înelare	48
5.3.4.1 Transformarea rețelelor înelare în rețele virtuale ramificate	48
5.3.4.2 Elaborarea rețelelor înelare echivalente	48
5.3.5 Criterii de optimizare a dimensionării rețelelor de distribuție a apei	49
5.4 Analiza rețelelor înelare complexe de distribuție a apei	52
5.4.1 Generalități	52
5.4.2 Metoda ciclurilor	53
5.4.2.1 Principiile metodei	53
5.4.2.2 Procedeele iterațiilor simple	54
5.4.2.3 Procedeele iterațiilor cu transmițeri	54
5.4.2.4 Adaptarea și perfecționarea procedeei clasice de analiză ciclică pentru rețelele înelare cu configurație complexă	55
5.4.2.5 Elaborarea unui model de analiză ciclică a rețelelor înelare complexe în formulare variațională	60
5.4.3 Metoda nodurilor	61
5.4.3.1 Principiul metodei	61
5.4.3.2 Algoritmul Newton-Raphson	62
5.4.3.3 Model de analiză a rețelelor înelare complexe folosind metoda nodală	63
5.4.3.4 Formularea variațională a analizei nodale a rețelelor înelare complexe	66
5.4.4 Metoda tronsoanelor	66
5.4.4.1 Principiul metodei	66
5.4.4.2 Modelul "conținut" de analiză pe tronsoane a rețelelor înelare complexe	67
5.4.5 Aplicații numerice	67
5.4.5.1 Determinarea sarcinii de pompare și a repartiției debitelor și a presiunilor într-o rețea simplă prin aplicarea procedeei Lobacev în varianta standard și modelelor de analiză propuse	67
5.4.5.2 Ilustrarea comportării conductelor unei rețele de distribuție în legătură cu regimul de curgere al apei	69
5.4.5.3 Analiza comparativă a stării de presiune într-o rețea înelară alimentată din două surse, obținută prin aplicarea programelor de calcul propuse	70

5.4.5.4 Evidențierea modului de variație a numărului de iterații cu precizia de calcul la aplicarea programelor de analiză ACIRECS și ACIREC	73
5.4.6 Concluzii parțiale	73
5.5 Proiectarea optimă a rețelelor complexe de distribuție a apei	74
5.5.1 Generalități	74
5.5.2 Model de optimizare a traseului rețelelor ramificate	75
5.5.3 Optimizarea repartiției debitelor de tranzit în rețelele inelare	76
5.5.3.1 Necesitatea optimizării repartiției debitelor de tranzit	76
5.5.3.2 Modele de calcul al repartiției optime a debitelor de tranzit	77
5.5.3.3 Determinarea exponentului optim al funcției obiectiv de optimizare a debitelor de tranzit	79
5.5.4 Modele de optimizare a dimensionării rețelelor inelare	82
5.5.4.1 Generalități	82
5.5.4.2 Reformularea modelului de optimizare Moșnin pentru rețele inelare alimentate din mai multe surse în regim de curgere turbulent tranzitoriu	83
5.5.4.3 Elaborarea modelului de optimizare neliniară	86
5.5.4.4 Elaborarea modelului de optimizare liniară	89
5.5.4.5 Aplicații numerice	93
5.5.4.5.1 Determinarea soluțiilor optime ale traseului unei rețele ramificate după criteriul costului de investiție minim	93
5.5.4.5.2 Studiul comparativ al dimensionării unei rețele inelare alimentate de la două stații de pompare, prin aplicarea MVE, MOM, MON și MOL... ..	94
5.5.4.5.3 Extinderea optimă a unei rețele existente	102
5.5.5 Concluzii parțiale	104
5.6 Aspecte hidraulice ale funcționării îndelungate a conductelor cu implicații asupra consumului energetic în rețelele de alimentare cu apă	105
5.6.1 Generalități	105
5.6.2 Evaluarea comportării în timp a conductelor de alimentare cu apă	106
5.6.3 Implicații ale creșterii rugozității conductelor în exploatare	107
5.6.4 Aplicație numerică	110
5.6.5 Concluzii parțiale	111
6. OPTIMIZAREA STRUCTURALĂ ȘI FUNCȚIONALĂ DIN PUNCT DE VEDERE ENERGETIC A SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE A APEI	112
6.1 Considerații privind problemele energetico-economice ale distribuției apei	112
6.2 Analiza unor posibilități de optimizare a funcționării pompelor în sistemele de distribuție în scopul reducerii consumului de energie electrică	112
6.2.1 Analiza energetică a funcționării pompelor în rețea	113
6.2.2 Propuneri de soluții pentru reducerea consumului energetic	114
6.2.2.1 Mărirea randamentului energetic al sistemului	114
6.2.2.2 Corelarea debitului pompat cu consumul de apă real	115
6.2.3 Analiza energetică comparativă a funcționării unei stații de pompare prin aplicarea sistemului de reglare clasic și optimizat	119
6.3 Optimizarea energetică a sistemelor de distribuție prin separarea rețelelor pe zone de presiune	121
6.3.1 Procedee de zonare	121
6.3.2 Particularitățile zonării în serie	121
6.3.3 Particularitățile zonării în paralel	122
6.3.4 Eficiența energetico-economică a procedeelor de zonare	123

6.3.5 Exemplificări numerice ale evaluării energetice și economice a procedeeleor de zonare	124
6.3.5.1 Evaluarea energetică a zonării rețelelor publice circulare	124
6.3.5.2 Evaluarea economico-energetică a zonării rețelelor de distribuție din ansambluri de clădiri cu regim de construcție diferit	125
6.4 Optimizarea energetică a sistemelor de distribuție folosind elemente potențiale interioare.....	126
6.4.1 Generalități	126
6.4.2 Procedee de optimizare structurală și funcțională cu elemente potențiale interioare	127
6.4.2.1 Folosirea rezervoarelor subterane zonale și a stațiilor de repompăre interioare ..	127
6.4.2.2 Integrarea stațiilor intermediare de pompăre pe artere	131
6.4.2.3 Amenajarea castelelor de apă	132
6.4.3 Eficiența economică a procedeeleor de distribuție	133
6.4.4 Principii de bază pentru dezvoltarea structurală a sistemelor de distribuție cu elemente potențiale interioare	134
6.4.5 Exemplificări numerice ale aplicării procedeeleor de optimizare funcțională cu elemente potențiale interioare	134
6.4.5.1 Analiza influenței caracteristicilor potențiale ale castelelor de apă asupra bilanțului energetic al distribuției	134
6.4.5.2 Analiza energetico-economică comparativă a soluțiilor de optimizare cu elemente potențiale interioare a unui sistem mare de distribuție	136
6.5 Optimizarea condițiilor energetice ale distribuției apei calde în sistemele centralizate de alimentare cu apă	140
6.5.1 Generalități	140
6.5.2 Evaluarea consumului de energie pentru procesul complet al distribuției apei la utilizatori	140
6.5.3 Descrierea soluției de distribuție optimizată	142
6.5.4 Soluții pentru reducerea consumului de energie în instalațiile tehnico-sanitare din interiorul clădirilor de locuit	143
6.5.4.1 Raționalizarea consumurilor de apă	144
6.5.4.2 Perfecționarea armăturilor obiectelor sanitare	145
6.5.4.3 Promovarea procedeeleor de preparare locală a apei calde de consum menajer	145
6.6 Concluzii parțiale	148
7. STUDIU PRIVIND AVARIILE ȘI PIERDERILE DE APĂ ÎN SISTEMELE DE DISTRIBUȚIE ALE MARILOR CENTRE POPULATE	150
7.1 Considerații preliminare	150
7.2 Analiza și clasificarea avariilor ce apar la conductele rețelelor exterioare de distribuție a apei	150
7.2.1 Avarii la conductele din fontă de presiune	151
7.2.2 Avarii la conductele din oțel	152
7.2.3 Avarii la conductele din azbociment	152
7.2.4 Avarii la conductele din beton armat precomprimat	152
7.3 Model analitic pentru determinarea momentului optim de înlocuire a conductelor avariate.....	156
7.4 Analiza și evaluarea pierderilor și risipei de apă în rețelele exterioare de distribuție și în instalațiile interioare ale utilizatorilor	158
7.5 Concluzii și propuneri de măsuri pentru reducerea pierderilor și risipei de apă	163

8. PACHET DE PROGRAME ORDINATOARE	166
8.1 Considerații preliminare	166
8.2 Programul APROGE - Aproximarea geometrică a unei funcții prin metoda celor mai mici pătrate	168
8.3 Programul PARELF - Calculul variației parametrilor hidraulici λ_* , β ai relației funcționale generale în domeniul turbulenței tranzitorii	168
8.4 Programele ACIRECS și ACIREC - Analiza ciclică a rețelelor inelare în formulare clasică standard și perfecționată	168
8.5 Programul ACIREV - Analiza ciclică a rețelelor inelare în formulare variațională	169
8.6 Programul ANOREC - Analiza nodală a rețelelor inelare în formulare clasică	172
8.7 Programul ANOREV - Analiza nodală a rețelelor inelare în formulare variațională	172
8.8 Programul OTREDIRA - Optimizarea traseului rețelelor ramificate	174
8.9 Programul REOPDERA - Optimizarea repartiției debitelor de tranzit în rețelele inelare	174
8.10 Programul DIOPREDA- Dimensionarea rețelelor exterioare din centre populate și ansambluri de clădiri folosind modelul de optimizare Moșnin.....	179
8.11 Programul OPNELIRA - Dimensionarea rețelelor inelare de distribuție folosind modelul de optimizare neliniară	182
8.12 Programul OPLIRA - Dimensionarea rețelelor de distribuție folosind modelul de optimizare liniară	182
8.13 Programul AMPORIN - Determinarea amplasamentului optim al unui rezervor zonal cuplat cu o stație de pompare interioară pe o magistrală de distribuție	186
9. CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE	188
BIBLIOGRAFIE	193

1. INTRODUCERE

1.1 Considerații asupra obiectului tezei de doctorat

Apa și energia au devenit vectorii esențiali ai existenței societății umane și ai oricăror activități economico-sociale.

Rolul de primordială importanță al apei este dovedit de faptul că primele forme de viață au luat naștere în mediul acvatic, că primele așezări omenești s-au dezvoltat în apropierea râurilor, fluviilor și lacurilor, că apa constituie mediul în care se desfășoară toate procesele metabolice, că țesuturile și organele tuturor viețuitoarelor conțin într-o mare proporție, apă.

Astfel, apa potabilă este necesară atât vieții omului, cât și animalelor și plantelor. Fără apă potabilă productivitatea muncii și producția scad, iar consumarea unei ape necorespunzătoare duce la îmbolnăvirea oamenilor și a animalelor.

Asigurarea condițiilor igienico-sanitare și de confort din clădirile de locuit și social-culturale sînt legate, printre altele, și de proiectarea, executarea și exploatarea corespunzătoare a sistemului de alimentare cu apă.

Realizarea unui sistem de alimentare cu apă, la care consumul de energie să fie minim, iar cheltuielile de investiție și exploatare să fie reduse, conduce la micșorarea în ansamblu a tarifelor pentru apa livrată utilizatorilor și influențează favorabil prețul de cost al produselor industriale și agricole.

Ca urmare a tendințelor de creștere a consumului specific de apă, indicator al gradului de înzestrare și de confort, a dezvoltării și modernizării în timp a centrelor populate și a industriei, sistemul centralizat de alimentare cu apă trebuie amplificat de la o etapă la alta cu scopul de a face față cerințelor mereu crescînde de apă.

Volumul de apă asigurat utilizatorilor include o mare cantitate de energie necesară pentru tratare, distribuție și diferite procese tehnologice interne ale sistemului de alimentare cu apă. Pe de altă parte, pe plan național există încă multă risipă de apă potabilă și industrială, la care se adaugă pierderile de apă în rețele și în special în instalațiile interioare, ce ridică considerabil consumul energetic în sistem. Astfel, consumul de energie pentru exploatarea sistemelor centralizate de alimentare cu apă reprezintă cca 5 % din consumul total de energie al țării, ceea ce constituie o cotă apreciabilă, dat fiind faptul că iluminatul public, spre exemplu, nu consumă decît 0,34 %.

Se poate aprecia că, în exploatarea sistemelor centralizate de alimentare cu apă, cca 90 % din energie este electrică, din care care o pondere însemnată de peste 80 % o deține distribuția apei în rețelele mari, echipate exclusiv cu stații exterioare de pompare, încărcînd mult sistemul energetic național atît în orele de consum mediu cît mai ales în orele de vîrf.

În condițiile realizării distribuției apei la utilizatorii marilor centre populate industriale prin procedee clasice, presiunile disponibile sînt foarte mari în nodurile de consum periferice, în care de obicei sînt necesare presiuni mai reduse, în timp ce în zonele centrale ale rețelei se înregistrează presiuni insuficiente. De asemenea, creșterea continuă a necesarului de apă caldă cu un program de

distribuție redus (6 ... 8 ore/zi) creează oscilații foarte mari ale necesarului orar de apă, astfel încât în lipsa funcției compensatoare de rețea stațiile de pompare exterioare necesită puteri instalate sporite.

Aceste dezavantaje sînt amplificate de suprapunerea orelor de vîrf pentru necesarul de apă, necesarul de căldură și necesarul de energie electrică, contribuind la creșteri însemnate ale consumului energetic în exploatare.

În acest context, problema foarte actuală, atît pe plan intern cît și pe plan mondial, a economiei de energie își găsește un ecou larg și în domeniul alimentărilor cu apă potabilă și industrială, iar teza de doctorat se înscrie în preocupările existente cu privire la reducerea consumului energetic și a pierderilor de apă în sistemele centralizate de alimentare cu apă.

1.2 Conținutul tezei de doctorat

În conjunctura energetică generală, optimizarea sistemelor de alimentare cu apă în scopul micșorării consumului de energie electrică a devenit o problemă majoră, necesară și oportună, implicînd pe de o parte optimizarea structurală și funcțională din punct de vedere energetic a sistemului de distribuție a apei atît pentru sistemele noi cît și pentru cele aflate în exploatare, iar pe de altă parte elaborarea unor modele și programe de calcul performante pentru rezolvarea optimă a problemelor de analiză și de proiectare a rețelelor de distribuție, la care se adaugă găsirea de măsuri și soluții pentru reducerea substanțială a pierderilor și risipei de apă din sistem, obiective principale ale lucrării de față tratate pe parcursul a nouă capitole.

Principalele contribuții ale autorului sînt concentrate în capitolele 2, 3, 5, 6, 7 și 8.

După un prim capitol introductiv, **capitolul 2** prezintă sintetic rezultatele unui studiu privind evoluția concepției și realizării sistemelor centralizate de alimentare cu apă în țară efectuat pe baza a numeroase date din literatura de specialitate.

Capitolul 3 se ocupă cu formularea cîtorva direcții generale care trebuie avute în vedere la conceperea unui sistem centralizat de alimentare cu apă pentru a asigura reducerea consumurilor de energie electrică.

Capitolul 4 este consacrat tratării generale a unor metode ale calculului operațional ca programarea matematică și teoria grafurilor, descriindu-se algoritmi de mare actualitate și cu importanță practică deosebită, aplicabili la optimizarea sistemelor de distribuție și folosiți în cadrul modelelor de calcul elaborate.

Capitolul 5 prezintă modele de calcul performante pentru rezolvarea optimă a problemelor de analiză și de proiectare a rețelelor complexe de distribuție a apei, dată fiind ponderea însemnată a acestora în cadrul sistemului de alimentare atît prin amploarea investiției cît și a consumului de energie. Se elaborează modele de analiză ciclică și nodală atît în formulare clasică cît și variațională, pentru determinarea regimului debitelor și presiunilor în rețele inelare, se concepe un algoritm de optimizare a traseului rețelelor ramificate de conducte, se formulează modele de calcul optimal al repartiției debitelor de tranzit în rețelele inelare și se elaborează cîte un model de optimizare neliniară și respectiv liniară pentru dimensionarea rețelelor de distribuție, avînd la bază o funcție obiectiv complexă de formă generală, care permite a se ține seama și de alte criterii decît cele de cost, ultimul oferind și posibilitatea luării în considerare a consumului de debit continuu uniform distribuit în speță la rețelele de serviciu. Se evidențiază performanțele modelelor de calcul elaborate prin analize numerice comparative. Se prezintă unele aspecte hidraulice ale funcționării îndelungate a conductelor cu implicații asupra consumului energetic.

Capitolul 6 se referă la optimizarea structurală și funcțională din punct de vedere energetic a sistemelor de distribuție a apei. Se realizează analiza și propunerea de soluții pentru optimizarea funcțională a pompelor în sistemele de distribuție, prezentîndu-se în acest scop un sistem de

automatizare cu echipament electronic. Se propune o nouă concepție în dezvoltarea structurală a sistemelor de distribuție care să conducă la optimizarea energetică a funcționării acestora în condiții de eficiență economică, precizându-se principiile fundamentale ce stau la baza dezvoltării structurii optime a sistemelor respective. Se concepe un model matematic pentru calculul amplasamentului optim al unui rezervor integrat pe o magistrală de distribuție. Se efectuează exemplificări numerice ale procedurilor de optimizare propuse. Se prezintă soluții pentru optimizarea condițiilor energetice ale distribuției apei calde menajere în sistemele de alimentare cu apă, precum și soluții de reducere a consumului de energie în instalațiile interioare din clădiri de locuit.

Capitolul 7 prezintă rezultatele unui studiu privind avariile și pierderile de apă în sistemele de distribuție. Se sistematizează principalele avarii care apar la conductele rețelelor de distribuție a apei în centre populate, se clasifică acestea în funcție de natura materialului de confecționare a conductelor și se elaborează un model analitic pentru determinarea momentului optim de înlocuire a conductelor avariate. De asemenea, se evaluează pierderile și risipa de apă în instalațiile interioare ale utilizatorilor și se propun măsuri pentru reducerea substanțială a acestora.

Capitolul 8 descrie un pachet de 13 programe de calcul, realizate în limbaj FORTRAN 77 pe baza algoritmilor dezvoltăți în capitolele 4, 5 și 6.

Capitolul 9 conține concluziile finale și principalele contribuții ale autorului.

Rezultatele parțiale ale cercetărilor întreprinse de autor pe parcursul elaborării lucrării au fost valorificate prin publicarea a peste 40 de articole și studii științifice, cu conținutul unor capitole sau subcapitole din teză, în reviste de specialitate și în publicațiile unor manifestări științifice naționale sau internaționale și prin obținerea mai multor certificate de invenție și inovație.

2. STUDIU PRIVIND EVOLUȚIA CONCEPȚIEI ȘI REALIZĂRII SISTEMELOR CENTRALIZATE DE ALIMENTARE CU APĂ

2.1 Dezvoltarea alimentărilor cu apă în România

Nevoia crescândă de apă a civilizației contemporane accentuează din ce în ce mai mult decalajul dintre consum și resurse. Astfel, în timp ce în urmă cu un secol consumul specific de apă se cifra la $45 \dots 50 \text{ dm}^3/(\text{om} \times \text{zi})$ în condițiile actuale acest consum a crescut de peste 6 ori, ajungând în țările puternic dezvoltate chiar la $650 \dots 700 \text{ dm}^3/(\text{om} \times \text{zi})$.

Dacă în cazul așezărilor rurale mici, fără activități industriale, este nevoie de o cantitate relativ mică de apă, iar alimentarea cu apă potabilă nu reprezintă o problemă deosebită, în centrele urbane cu densitate mare a populației și activitate socială complexă, apa de bună calitate și în cantitate suficientă nu se mai poate asigura decât prin amenajarea unor sisteme centralizate (fig. 2.1), care includ totalitatea construcțiilor și instalațiilor de captare, tratare, transport, pompare, înmagazinare și distribuție a apei la consumatori.

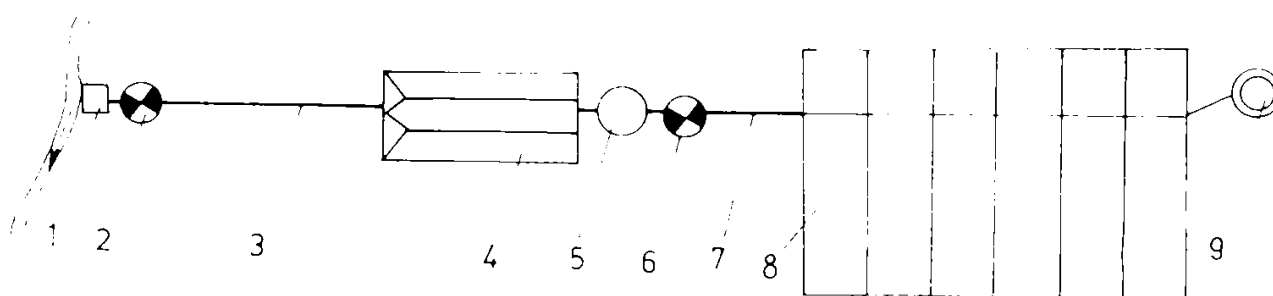


Fig. 2.1 Schema de principiu a unui sistem centralizat de alimentare cu apă
1- captare; 2-pompă treapta I; 3- aducțiune; 4- tratare;
5- rezervor de apă tratată; 6- pompă treapta II;
7- conductă principală de distribuție; 8- rețea de distribuție;
9- rezervor de compensare

Evoluția concepției și realizării sistemelor de alimentare cu apă în țara noastră a urmărit evoluția generală a dezvoltării economice și sociale a țării.

Dezvoltarea industriei și creșterea populației, precum și urbanizarea centrelor populate au generat creșterea substanțială a debitelor de apă potabilă și industrială, acestea reprezentând la nivelul anului 1990 circa 55 % din cerințele de apă ale tuturor folosințelor de pe teritoriul țării.

Numărul centrelor populate alimentate cu apă a sporit de la 101 în anul 1950 la 2300 în anul 1990. Lungimea rețelelor de distribuție a crescut în aceeași perioadă de la 3700 km la 27800 km, iar consumul anual de apă potabilă s-a mărit de la 113 mil. m^3 la 2900 mil. m^3 (fig.2.2).

În ceea ce privește alimentarea cu apă potabilă, în prezent toate orașele țării dispun de sisteme centralizate (unele având și sisteme de alimentare cu apă industrială) cu o capacitate totală instalată de peste 100 m³/s, ritmul anual de creștere a acestora fiind în medie de 5 ... 6 m³/s, iar în mediul rural doar cca 2000 sate au asemenea instalații.

De asemenea, cerința de apă industrială a crescut aproape de cinci ori într-o perioadă de 20 ani, de la 5285 mil. m³/an în anul 1970 la 21300 mil. m³/an în anul 1990 (fig.2.3).

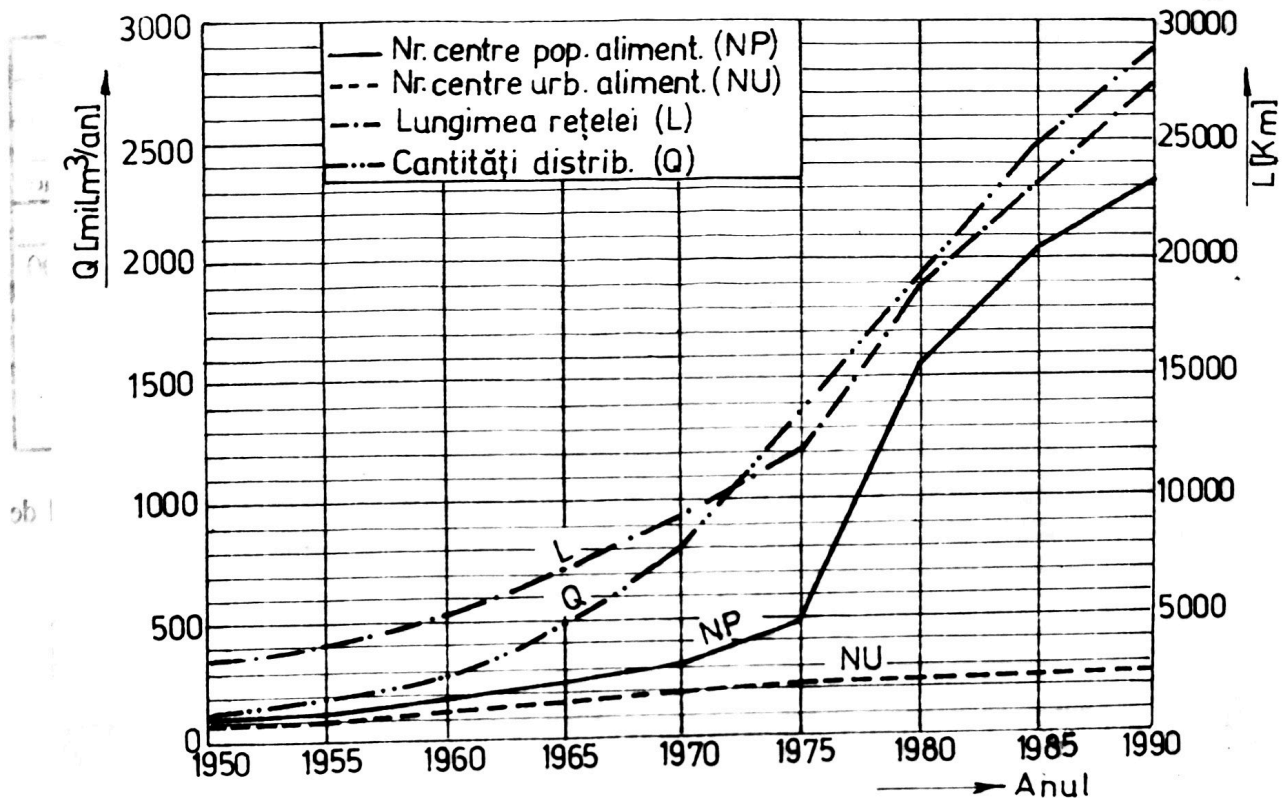


Fig. 2.2 Dezvoltarea alimentărilor cu apă potabilă în perioada 1950-1990

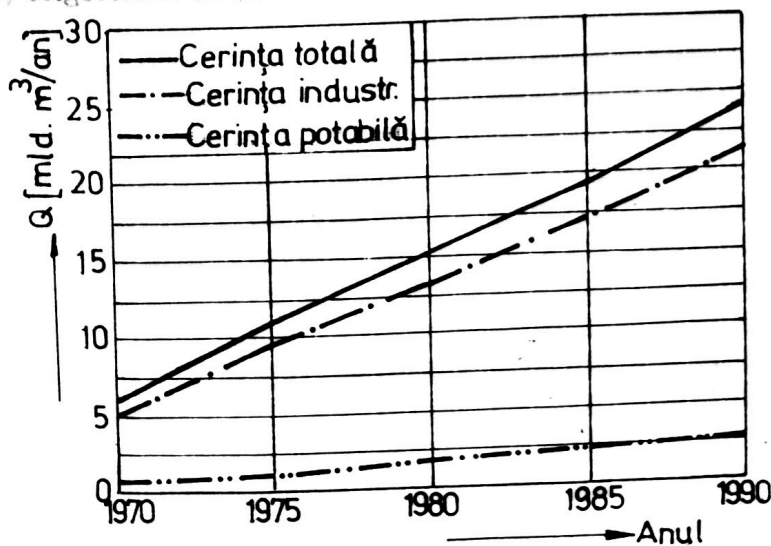


Fig. 2.3 Variația cerinței de apă în perioada 1970-1990

Nivelul de consum înregistrat reprezintă foarte mult în comparație cu resursele existente și în raport cu numărul populației și a gradului de dezvoltare industrială.

Trebuie subliniat că actualele consumuri de apă reflectă atât procesul obiectiv al creșterii numărului utilizatorilor, dar și modul neeconomic în care se gospodărește în unele sectoare cât și de către populație această resursă naturală, nu îndeajuns de prețuită în prezent.

Asigurarea acestor importante debite de apă a necesitat eforturi susținute atât tehnice și financiare, cât și organizatorice, având în vedere amploarea și caracteristica lucrărilor

de alimentare cu apă, ce afectează practic întreg teritoriul unui centru populat și au un consum ridicat de materiale și de energie, precum și o durată apreciabilă de execuție, în condițiile în care țara noastră se situează printre țările europene cu resurse de apă reduse.

Ca resurse de apă se pot lua în considerare apele de suprafață cuprinzând râurile interioare, Dunărea și lacurile naturale, apele subterane și apa Mării Negre. Lacurile naturale cu apă dulce furnizează cel mult 1 miliard m^3 /an, volum aproape neglijabil, iar apa Mării Negre poate fi utilizată numai după desalinizare, procedeele cunoscute pentru acest scop fiind încă costisitoare.

Bilanțul cantitativ global [258] al apelor pe perioada 1980 - 2000 (tab. 2.1) nu este totuși atât de neliniștitor cum pare.

Tabelul 2.1

Necesarul și resursele de apă din România

Anul	Necesar de la sursă [mil. m^3 /an]			Resurse de apă [mil. m^3 /an]				
	Total	din care:		Total	din care:			
		potabilă	industrială		de suprafață		subterane	
					râuri	Dunăre	freatice	adâncime
0	1	2	3	4	5	6	7	8
1980	15180	1930	13250	143559	35082	99177	5000	3300
1985	19769	2519	17250					
1990	24197	2897	21300					
1995	28912	3212	25700					
2000	34182	3482	30700					

Dificultățile în alimentarea cu apă nu sînt cauzate în principal de lipsa unui stoc total de apă, ci de variația mare a debitelor de la un an la altul, de la o lună la alta și chiar de la zi la zi.

2.2 Evoluția concepției lucrărilor de alimentare cu apă

Pe măsura sporirii cantităților de apă necesare, a cunoașterii mai aprofundate a resurselor de apă subterană și de suprafață ale țării și odată cu creșterea capacității de elaborare a documentațiilor economice au fost promovate unele concepții noi privind soluțiile tehnologice și constructive.

Astfel, de la alimentarea cu apă potabilă, în marea majoritate din surse subterane relativ modeste, s-a trecut la utilizarea complexă a surselor subterane de mare capacitate și a surselor de suprafață din râuri și mai ales din lacuri de acumulare nou construite.

Totodată, au fost realizate în unele zone ale țării sisteme regionale de alimentare cu apă, evidențiindu-se în acest sens sistemele: Izvarna-Craiova, în lungime de cca 115 km (apă de izvor); Timișești-Iași, în lungime de 105 km (apă subterană); Sebeș-Alba-Ocna Mureș, în lungime de 100 km (apă de suprafață din râul Sebeș); Comănești-Borzești (apă de suprafață din lacul de acumulare Poiana Uzului) și altele.

Deși industriile republicane importante, electrotermocentralele, uzinele siderurgice, combinatele petrochimice folosesc apa direct de la sursa lîngă care de obicei sînt amplasate, cea mai mare parte din industria centrelor urbane utilizează apa din sistemul centralizat de alimentare cu apă potabilă.

Avînd în vedere creșterea deosebit de mare a necesarului de apă industrială, într-o perioadă relativ scurtă, se impun măsuri pentru recircularea și re folosirea apei în procesul tehnologic într-un grad mult mai mare decît în perioada actuală.

De asemenea, întrucît alimentarea cu apă tehnologică a unor astfel de industrii pune adeseori probleme complicate din punct de vedere al consumului la utilizatori, se impune atît analiza sistematică a regimului de debite și presiuni din sistem, cît și simularea numerică a

consumului de apă al utilizatorilor, printr-un sistem centralizat de programare și urmărire pe calculator [190], [193], eliminând risipa de apă, crescînd siguranța în funcționare și economisind cantități însemnate de energie electrică.

Progrese sînt de semnalat și în privința concepției stațiilor de tratare a apei în ansamblul lor, cît și la obiectele din componența acestora (gospodăria de reactivi; decantoare suspensionale, lamelare, pulsatorii de mare eficiență; filtre rapide, cu dublu curent, de contact). S-au studiat pe lîngă tradiționala schemă tehnologică de tratare (coagulare-decantare-filtrare-clorinare) și tratarea cu cărbune activ și cu ozon a apei la nivel de cercetare științifică și chiar introducerea în proiecte, dar cele mai multe nepromovate în final în investiții.

În această direcție se menționează și contribuția autorului prin conceperea, în colaborare, a unei instalații destinate decantării apei de alimentare a centrelor populate [165], avînd ca efecte reducerea timpului necesar pentru decantare și a volumului de construcții și utilizînd un sistem de spălare simplu și eficient, care a făcut obiectul invenției cu brevetul nr 92398/1987, precum și a unei instalații cu ajutorul căreia se folosește gazul ozonat la tratarea apelor ce au fost în prealabil pretratate [166], avînd avantajul reducerii consumului de energie pentru valorificarea totală a gazului ozonat produs, care a făcut obiectul invenției cu brevetul nr 94772/1987.

Există însă și deficiențe privind funcționarea stațiilor de tratare din țară, dintre care se exemplifică:

- repartizarea inegală a apei de decantat între bazinele treptei respective, ceea ce conduce la viteze de lucru diferite, cu implicațiile corespunzătoare asupra calității apei trimise la filtrare;

- reducerea timpului de decantare din cauza mării peste o anumită limită a debitului de apă pentru care a fost dimensionat decantorul respectiv, situație cu influență directă asupra procesului de limpezire;

- evacuarea defectuoasă a nămolului depus în decantoare la intervale de timp prea mari, situație agravată la unele stații mai vechi de faptul că diametrele conductelor de evacuare sînt prea mici;

- repartizarea neuniformă a debitului de tratat între cuvele de filtrare;

- granulozitatea straturilor filtrante nu corespunde cu valorile recomandate și confirmate de practică;

- ciclurile de funcționare sînt uneori prea lungi, ceea ce scade mult productivitatea și eficiența filtrului;

- lipsa aparaturii de măsură și control.

Alimentarea centralizată cu apă a centrelor populate și industriilor se efectuează prin rețele de distribuție, de obicei de tip inelar cu o structură tot mai complexă, deoarece asigură o mai mare siguranță în exploatare concomitent cu un regim de funcționare uniform, micșorînd efectul loviturilor hidraulice (de berbec) și permițînd interconectarea mai multor surse de alimentare.

Rețelele mari de distribuție, echipate exclusiv cu stații exterioare de pompare sînt caracterizate printr-un consum mare de energie necesară pentru vehicularea unor debite importante de apă și asigurarea presiunii necesare la utilizatori, reprezentînd pînă la 80 % din energia totală consumată în exploatarea sistemului de alimentare. În aceste condiții, reconsiderarea principiilor de organizare a sistemelor de distribuție din punct de vedere a optimizării energetice devine o problemă necesară, realizabilă într-o nouă optică de structurare funcțională a sistemelor.

2.3 Realizarea lucrărilor de alimentare cu apă

Volumul din ce în ce mai mare al lucrărilor de alimentare cu apă și în special dezvoltarea sistemelor de distribuție din centrele urbane, a impus utilizarea unor materiale de execuție care să satisfacă cerințe tehnice, economice și de siguranță în exploatare.

Fără a constitui o limitare a activității de creație a specialiștilor, în proiectarea și execuția rețelelor de distribuție au apărut tipizări și normative privind fabricarea conductelor necesare realizării rețelelor referitoare la: diametre, regim de presiune, material de fabricație, condiții de rugozitate la interior, sistem de îmbinare, etc.

Dacă pînă aproximativ acum o jumătate de secol, pe plan mondial, ca regulă generală se foloseau tuburile din fontă, și ca excepție tuburile din oțel și uneori tuburile din azbociment, tehnica modernă pune la dispoziție o gamă variată de materiale, sisteme de îmbinare și mijloace de protecție, ceea ce face ca problema alegerii materialului să nu fie prea simplă.

Pentru economia de energie, la alegerea materialului conductelor trebuie să se țină seama pe lîngă calitățile terenului, calitatea apei transportate, presiunea de serviciu, rezerva internă de materii prime și de consumurile specifice echivalente de energie electrică și combustibil care intervin la fabricarea și punerea în operă a diferitelor tipuri de conducte. Astfel, există țări în care predomină utilizarea fontei (Franța, SUA) sau a oțelului (Belgia, Anglia), iar mai nou a apărut folosirea pe scară tot mai largă a conductelor din beton armat precomprimat (Suedia), azbociment (Italia) și din materiale plastice (Olanda, Austria).

În țara noastră, în prima etapă de dezvoltare a sistemelor centralizate de alimentare cu apă s-au utilizat cu precădere conductele din fontă (Sibiu - 74 %, Craiova - 46 %, Timișoara - 35 %). La primele lucrări executate în deceniul al șaselea s-a recurs la soluții improvizate constînd din conducte de beton armat cu diametrul de 600 ... 800 mm turnate pe șantier, cu căptușeală interioară din tablă de oțel de 2 ... 6 mm și țevi de oțel cu perete gros.

Treptat producția internă s-a diversificat fabricînd tuburi din azbociment, din beton armat precomprimat (PREMO) pentru diametre pînă la 1500 mm și presiuni de lucru de 10 bar, tuburi din policlorură de vinil (PVC), țevi din oțel sudate pe generatoare și elicoidal pentru diametre mari (400 ... 1000 mm).

În prezent, cei 27800 km rețele de distribuție de la noi din țară sînt constituiți cu conducte din diverse materiale, în următoarele proporții: 42 % - azbociment; 27 % - oțel; 20 % - fontă; 11 % - beton armat.

Conductele de beton armat au fost folosite într-o proporție mai mare în centre urbane ca Oradea (19 %), Arad (17 %), Timișoara (13 %).

Se impune utilizarea conductelor din beton armat pentru diametre mari, și numai în cazuri speciale (presiuni mari, terenuri sensibile) să se utilizeze conducte din fontă și oțel, iar pentru diametre mici se pot folosi conductele din azbociment și PVC.

Încercările timide de a prefabrica și precomprima elementele de construcție ale rezervoarelor de înmagazinare cu volume de 1000 ... 5000 m³ au fost intensificate astfel încît construcțiile din beton armat monolit reprezintă excepții ce apar doar datorită unor condiții locale specifice. Execuția lucrărilor prin glisare și din elemente prefabricate s-a generalizat și la castelele de apă.

2.4 Concluzii și direcții actuale de acțiune în domeniul alimentărilor cu apă

Din studiul întreprins se poate aprecia că cu toate realizările obținute, situația alimentării cu apă la noi în țară este destul de dificilă. La o populație de cca 23 mil. locuitori, beneficiază de alimentare centralizată cu apă numai 11,5 mil. locuitori, din care pentru localități urbane 85 %, iar pentru localități rurale 15 %.

Rezultă de asemenea că în cercetarea, proiectarea, execuția și exploatarea acestor sisteme s-au înregistrat progrese prin efortul specialiștilor, care s-au dovedit capabili să rezolve probleme

de mare complexitate din domeniu. Astfel că, în anul 1989 erau realizate instalații de captare, tratare, transport și distribuție pentru aproximativ 115 ... 120 m³/s de apă pe ansamblul țării. Realizarea însă a acestor instalații, cu mici excepții, s-a făcut având în vedere orientarea greșită în ansamblul economiei naționale, în condițiile unor fonduri destinate gospodăriei comunale mult sub nivelul cerințelor secolului XX.

De aceea se asistă la o degradare a conductelor și instalațiilor și la un procent ridicat al pierderilor de apă prin instalații (20 ... 50 % din consumul total), în special în sistemul de distribuție, determinând în mod implicit o mare risipă de energie.

O altă deficiență este aceea a necorelării între cerințele cantitative și calitative de apă ale utilizatorilor cu capacitatea tehnologică de tratare și distribuție a instalațiilor existente.

O situație destul de gravă este și aceea că cei 11,5 mil. locuitori racordați la sisteme centralizate de preparare și distribuție a apei, cu foarte puține excepții, au un regim de alimentare cu intermitență. Cauzele acestui regim de funcționare a sistemelor de alimentare cu apă sînt multiple, între care trebuie menționate în mod special lipsa de coordonare între sistematizarea localităților și dezvoltarea alimentării cu apă, prioritatea acordată alimentării cu apă a zonelor industriale în detrimentul zonelor populate și chiar preluarea unor debite importante de apă de la populație pentru a fi utilizate în industrie.

În noua etapă în care a intrat România se impun unele acțiuni ca:

- aplicarea în prima fază a unor măsuri pentru reabilitarea sistemelor existente și asigurarea unei activități corespunzătoare de servire a consumatorilor în contextul unui sistem bazat pe economia de piață;

- realizarea de noi sisteme de alimentare cu apă sau extinderea celor existente, astfel încît în circa 10 ... 12 ani să fie racordată întreaga populație urbană și aproximativ 60 ... 70 % din populația rurală în sisteme centralizate;

- înființarea unor întreprinderi de construcții specializate în execuția lucrărilor de alimentare cu apă, avînd în vedere condițiile deosebite necesare realizării unor astfel de lucrări;

- îmbunătățirea radicală a dotării laboratoarelor de control a calității apei distribuite, cu reactivi, aparatură, materiale, etc.;

- asigurarea unui grad de siguranță maxim funcționării sistemelor centralizate de alimentare cu apă, ceea ce presupune dublarea surselor, a magistralelor de aducțiune, a alimentării cu energie electrică, a asigurării capacității de înmagazinare;

- introducerea pe scară largă a automatizării și dispecerizării în exploatarea sistemelor centralizate.

- optimizarea sistemelor de alimentare cu apă în scopul micșorării consumului de energie electrică, necesitînd o serie de măsuri care să permită optimizarea energetică a stațiilor de tratare și cu precădere optimizarea structurală și funcțională a sistemului de distribuție, precum și elaborarea unor modele de calcul pentru rezolvarea optimă a problemelor de proiectare a acestuia, dată fiind ponderea însemnată a rețelelor de distribuție în cadrul întregului sistem atît prin amploarea investiției (50 ... 75 % din investiția totală) cît și a consumului de energie (70 ... 80 % din consumul energetic al sistemului).

3. SOLUȚII ȘI DIRECȚII GENERALE DE OPTIMIZARE A CONSUMULUI DE ENERGIE ELECTRICĂ ÎN SISTEMELE DE ALIMENTARE CU APĂ

3.1 Considerații preliminare

Obținerea debitelor de apă necesare pentru satisfacerea utilizatorilor implică, în afara altor materiale, și consumuri de energie care, în condițiile actuale de gospodărire cât mai rațională a energiei, trebuie să fie cât mai reduse.

Experiența de proiectare a sistemelor de alimentare cu apă precizează consumuri energetice de 60 ... 600 W/m³ de apă tratată și livrată consumatorilor. Limitele foarte largi ale intervalului menționat indică marile disponibilități existente încă în concepția de proiectare a sistemelor de alimentare cu apă în ceea ce privește asigurarea unor consumuri minime de energie electrică.

Desigur că în final consumul de energie electrică depinde de:

- specificul sursei de alimentare cu apă;
- tehnologia de tratare adoptată;
- sistemul de asigurare a distribuției apei;
- modul de gospodărire a apei la utilizatori.

Ținând seama că pentru a furniza unui utilizator 1 m³ apă se consumă în medie 0,5 kWh, estimând existența în țara noastră a 1000 consumatori medii cu o putere de 400 kW și considerând o funcționare de 20 h/zi la toată capacitatea, consumul zilnic de energie este de 8 MWh, ceea ce reclamă arderea în centralele electrice a 1 mil. tone cărbune anual. Aceste aspecte impun cu necesitate acordarea unei atenții corespunzătoare problemelor energetice în tehnica alimentărilor cu apă.

În acest capitol se prezintă câteva soluții și direcții generale care trebuie avute în vedere la conceperea unui sistem de alimentare cu apă și care pot asigura reducerea consumurilor de energie electrică.

3.2 Stabilirea cerințelor specifice cantitative și calitative

Accentuarea dificultăților tehnice și economice legate de satisfacerea utilizatorilor de apă au impus și impun și în continuare efectuarea de studii pentru examinarea și reactualizarea datelor privind cerințele specifice de apă utilizată, în special în industrie, în vederea stabilirii unor valori cât mai raționale, care să stea la baza normelor respective. În acest sens ICPGA a efectuat cercetări de specialitate [262], rezultând în final o serie de valori utile scopului urmărit.

În urma analizării modului de gospodărire a apei în cadrul unor platforme industriale a rezultat o slabă dotare a întreprinderilor cu aparatură de măsurare a debitelor de apă vehiculate în cadrul lor și o lipsă de preocupare a factorilor de exploatare pentru remedierea acestor situații.

Pentru îmbunătățirea situației s-au introdus în practică normele de apă și verificarea acestora prin măsurători, iar înțelegerea faptului că modul de gospodărire a apei afectează și bilanțul energetic al întreprinderii, permite schimbarea opticii cu care este privită încă gospodăria apelor pe platforme industriale.

De asemenea, sînt încă ramuri de activitate la care gradul de recirculare și re folosire a apei este foarte scăzut. Acest lucru afectează negativ gospodăria rațională a apei, mai ales dacă se are în vedere că o serie de întreprinderi utilizează în procesul de producție apă potabilă preluată din rețeaua de alimentare cu apă a centrului populat.

Apare astfel, problema stabilirii și a cerințelor calitative ale apei pentru diferiți consumatori industriali. Se poate aprecia că în prezent există numeroase situații în care industria consumă apă de mai bună calitate decît este necesară pentru procesul tehnologic, conducînd la o risipă, în primul rînd de ordin energetic.

Din unele studii de specialitate [41] rezultă că din considerente economico-energetice și sociale nu este oportun a se folosi apă subterană ca sursă de alimentare pentru consumatorii industriali.

În cazul în care totuși se utilizează apă subterană ca sursă pentru alimentarea cu apă atît potabilă cît și industrială a unui centru populat, ținînd seama de calitatea superioară a apei brute, nu se vor folosi instalații de tratare separate, iar atunci cînd se folosește apă de suprafață din rîuri sau lacuri de acumulare, tratarea ei în stații separate devine oportună.

3.3 Adoptarea schemei sistemului de alimentare cu apă

Importantele cantități de energie electrică consumată în sistemele de alimentare cu apă sînt datorate în principal fazelor de pompare. Astfel, dacă consumul energetic pe ansamblul unui sistem este de 500 ... 600 W/m³ de apă livrată, aproximativ 200 ... 250 W/m³ revine stației de tratare, iar restul pompărilor. Dacă se ține seama că și în stația de tratare consumul de energie este datorat tot pompărilor (de reactivi, apă de spălare, etc.) se constată ponderea foarte mare a acestora în consumul de energie dintr-un sistem de alimentare cu apă.

Pe de altă parte, este cunoscut cazul unor sisteme de alimentare cu apă avînd ca sursă lacuri de acumulare, în care consumul de energie a atins valori mici, de 50 ... 60 W/m³ de apă livrată consumatorilor. De aici rezultă avantajul energetic pe care îl reprezintă concepția de amenajare complexă a apelor, cu formarea de lacuri de acumulare și de folosire a acestora ca sursă de alimentare cu apă. În afara eliminării unor faze de pompare, apar și alte avantaje în această situație [37]:

- mărirea gradului de asigurare a debitelor;
- posibilitatea adoptării unei scheme de tratare mai simplificată;
- exploatare mai simplă.

3.4 Posibilități și măsuri de reducere a consumului energetic al stațiilor de tratare a apelor de alimentare

Problema tratării apelor este legată de calitatea apelor de suprafață sau subterane din care se face prelevarea. Cu cît calitatea apei este mai bună, conform STAS-ului 4706, cu atît și tratarea este mai lesnicioasă și deci consumul de energie electrică mai mic.

În cazul apelor de categorie inferioară din punct de vedere al calității, tratarea este mai dificilă, necesitând mai multe trepte și ca atare și consumul de energie electrică este mai ridicat.

Fără a se intra în discuții de detaliu, se prezintă câteva căi care, introduse în practica proiectării curente, pot conduce la economii directe sau indirecte de energie.

O astfel de posibilitate constă în folosirea unor materiale sau reactivi de tratare care permit reduceri apreciabile ale materialelor și reactivilor clasici, enumerându-se:

- nisipul de granat, produs secundar al exploatării unor depozite de disten, în locul nisipului cuarțos clasic;

- adjuvanți de tip poliacrilamidă, care în cantități foarte mici, de 0,1 ... 0,3 mg/dm³ permit reduceri ale dozelor de reactivi de coagulare (sulfat de aluminiu) de ordinul a zecilor de mg/dm³ ;

- substanțe cu proprietăți superioare de tratare: ozon, cărbune activ praf sau granulat, care permit să fie folosite ca surse de alimentare și ape naturale cu un grad de poluare mai ridicat. Cu toate că substanțele menționate presupun consumuri de energie electrică, balanța energetică totală le poate fi favorabilă, în special în zonele în care nu există o altă sursă de apă.

Altă posibilitate de reducere a consumurilor de energie electrică în stațiile de tratare constă în adoptarea unor tehnologii de tratare sau metode de exploatare adecvate scopului urmărit:

- folosirea decantoarelor suspensionale cu recircularea stratului suspensional prin intermediul unor hidrojectoare cu pierdere de sarcină redusă, care concentrează fazele de amestec, reacție și limpezire într-o instalație unică, eliminând agitatoarele rapide sau lente necesare în situații clasice;

- prevederea unei conducte de by-passare a decantoarelor și tratarea apei direct prin filtre, măsură ce se poate aplica în marea majoritate a anului pentru multe din cursurile de apă din țară, reducându-se astfel consumurile de reactivi de coagulare, deci o economie de energie indirectă;

- spălarea filtrelor cu apă decantată și nu cu apă tratată și prin filtre, cum se face de obicei, folosindu-se astfel o apă pentru care s-a consumat mai puțină energie electrică;

- recuperarea apei de spălare a filtrelor, reducându-se astfel consumul tehnologic al stației de tratare;

- utilizarea tehnologiilor care cuprind trepte de tratare biologică, capabile să înlocuiască trepte de mare consum energetic (tratare cu raze ultraviolete, etc.).

Este știut că tratarea biologică are ca principiu de bază utilizarea capacității de oxidare biochimică a unor bacterii ce fac parte din biocenoza normală a apei, pentru eliminarea unor substanțe poluante ca: amoniacul, substanțe organice, hidrogenul sulfurat.

Procedeul optim de exploatare a activității acestor bacterii este filtrarea rapidă a apei, prin filtre de cărbune activ cu peliculă biologică însămințate spontan din apă filtrată. Utilizarea acestui procedeu duce la eficiențe de 98 ... 100 % pentru eliminarea amoniacului, 54 ... 60 % pentru eliminarea substanțelor organice și 82 ... 86 % pentru eliminarea hidrogenului sulfurat.

Economiile de energie care se pot realiza prin utilizarea biotehnologiilor în tratarea apei, în comparație cu consumurile energetice ale tehnologiilor cuprinzând numai procedee fizico-chimice, sînt de cca 40 %, reprezentînd 0,303 kWh/m³ de apă tratată sau 10,25 MWh/an pentru un debit tratat de 100 dm³ /s.

3.5 Gospodărirea rațională a apei la utilizatori

În etapa actuală se impune schimbarea mentalității asupra apei, aceasta fiind necesar a se considera ca o materie primă, ce include o mare cantitate de energie și care trebuie gospodărită cu aceeași grijă ca și celelalte materii prime ergo-intensive (fier, lemn, ciment, etc.).

În acest scop sînt necesare unele măsuri de bază:

- perfecționarea realizării armăturilor, instalațiilor sanitare și a rețelelor de distribuție a apei în vederea reducerii pierderilor de apă, care așa cum se va arăta , în multe centre urbane ating 20 ... 30 % și chiar mai mult;

- raționalizarea consumurilor de apă prin revizuirea normelor specifice;

- folosirea unor procedee locale pentru prepararea apei calde de consum;

- aplicarea în întreprinderile industriale nu numai a procedeeului recirculării ci și a metodei de utilizare succesivă a apei de la procesele tehnologice mai pretențioase în ceea ce privește calitatea ei, la procesele tehnologice la care limitele de calitate a apei nu sînt atît de severe;

- modificarea procedeeelor tehnologice industriale în vederea reducerii, pe de o parte a consumurilor de apă, iar pe de altă parte a gradului de poluare a apelor uzate, deci elaborarea unor *tehnologii uscate*, caz în care se asigură atît o economie energetică directă cît și o economie energetică indirectă în asigurarea protecției calității surselor de apă ce urmează a fi prelevate de utilizatorii din aval.

3.6 Optimizarea energetică a sistemelor de distribuție a apei

Distribuția apei, prin pompare la utilizatori este un proces preponderent consumator de energie electrică, reclamînd un consum energetic de 70 ... 80 % din energia consumată în exploatarea întregului sistem centralizat de alimentare cu apă a marilor centre economice și industriale.

Dată fiind ponderea hotărîtoare a sistemului de distribuție în optimizarea energetică globală a întregului sistem de alimentare cu apă, se impune pe de o parte optimizarea structurală și funcțională din punct de vedere energetic a acestuia atît pentru sistemele noi cît și pentru cele aflate în exploatare, iar pe de altă parte elaborarea unor modele de calcul performante pentru rezolvarea optimă a problemelor de analiză și de proiectare a rețelelor de distribuție, la care se adaugă găsirea de soluții și măsuri pentru reducerea substanțială a pierderilor și risipei de apă din sistem, obiective principale ale lucrării de față.

În acest sens, se propun soluții pentru optimizarea funcțională a pompelor existente în sistemele de distribuție, putîndu-se reduce consumul de energie electrică cu 10 ... 20 %, pentru optimizarea structurală a sistemelor de distribuție, ce conduc la economii de energie electrică de 20 ... 30 %, pentru amenajarea optimizată a instalațiilor ansamblurilor de clădiri, obținîndu-se economii de energie electrică în proporție de 30 %, precum și unele măsuri pentru reducerea substanțială a consumului de energie în instalațiile tehnico-sanitare din interiorul clădirilor.

De asemenea, prin aplicarea unor modele și procedee de calcul optimal al rețelelor de distribuție se poate economisi o cantitate însemnată de energie electrică de pompare, atingînd 10 ... 30 %.

3.7 Concluzii parțiale

Lucrarea de față se înscrie în preocupările actuale existente pe plan național și internațional cu privire la economia de energie, prezentîndu-se în acest capitol cîteva soluții și mai ales direcții ce trebuie să stea în atenția proiectanților și organelor de exploatare și prin a căror aplicare se pot realiza și în domeniul alimentărilor centralizate cu apă însemnate economii de energie.

4. METODE ALE CALCULULUI OPERAȚIONAL APLICABILE LA OPTIMIZAREA SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE A APEI

4.1 Preliminarii matematice privind formularea problemelor de optimizare cu referire la rețelele de distribuție

Necesitatea creșterii similitudinii dintre procesele reale din sistemul de distribuție a apei și modelele matematice care le reprezintă conduce inevitabil la sporirea complexității modelelor și implicit la imposibilitatea rezolvării fără aplicarea unor metode și tehnici moderne de calcul și utilizarea calculatoarelor electronice numerice.

În acest context, disciplinele matematice moderne prin calculul operațional pun la îndemîna proiectantului un vast aparat de analiză științifică în stabilirea deciziilor optime pentru problemele proiectării sistemelor de distribuție a apei. O mare contribuție în proiectarea optimală a acestor sisteme o aduce crearea programării matematice (liniară, neliniară, geometrică, dinamică etc.) și a teoriei grafurilor, lărgindu-se aria de modelare a problemelor optimizării.

Proiectarea unei rețele de distribuție a apei determină *variabilele de proiectare* ce respectă anumite condiții (*restricțiile proiectării*) impuse de comportarea și funcționalitatea rețelei, minimizînd o *funcție de performanță* (*funcția obiectiv* sau *funcția criterială*).

Se consideră soluția optimă a problemei de proiectare, cea soluție care conduce la cea mai bună alegere a valorilor variabilelor în condițiile îndeplinirii tuturor limitărilor și restricțiilor puse.

Pentru rezolvarea problemei de optimizare este necesară cunoașterea unor metode adecvate de calcul. Dintre aceste metode descrise în numeroase lucrări de specialitate [46], [82], [125], [214], [220], [230] etc. se prezintă succint în acest capitol doar acelea care se aplică în cadrul modelelor de calcul optimal ce fac obiectul lucrării de față.

4.1.1 Variabilele de proiectare

Mărimile geometrice, hidraulice, economice care urmeză să fie calculate în rezolvarea unei probleme de proiectare se numesc variabile de proiectare. În proiectarea optimală a rețelelor de apă variabilele de proiectare sînt diametrele tronsoanelor, debitele în fiecare conductă, parametrii ce descriu un anumit regim de curgere a apei, acestea grupîndu-se în clase de variabile între care există o strînsă interdependență.

În cazul rețelelor inelare se stabilește geometria rețelei și debitul de calcul ce încarcă rețeaua într-o anumită ipoteză de funcționare. Ca necunoscute apar atît diametrele cît și debitele sau pierderile de sarcină pe fiecare tronson, variabile dependente unele de altele.

În rezolvarea clasică se predimensionează secțiunea conductelor (diametrele) pe considerentul vitezelor economice de curgere a apei, după care se calculează debitele reale pe fiecare tronson, în condițiile respectării ecuațiilor de compatibilitate a rețelei.

Prin optimizarea matematică a rețelei în formularea criteriului de optimizare se poate alege ca și clasă de variabile fie debitele sau pierderile de sarcină, fie diametrele, stabilindu-se dependența dintre ele prin restricțiile matematice rezultate din condițiile hidraulice și economice.

4.1.2 Restricțiile de proiectare

Restricțiile reprezintă un ansamblu de relații matematice care descriu cât mai fidel interdependența variabilelor de proiectare și trebuie satisfăcute pentru ca soluția obținută să fie acceptabilă din punct de vedere tehnico-economic. Acestea pot exprima direct anumite limitări impuse unei variabile (restricții explicite) sau pot exprima indirect aceste limitări asupra unor mărimi de care depind variabilele (restricții implicite).

Toate restricțiile se pot transforma în egalități, inegalități mai mult sau mai puțin complexe.

Egalitățile provin din legi generale sau specifice care impun numai anumite legături între parametrii decizionali și din ecuații de conservare: debit, energie.

Inegalitățile semnifică imposibilitatea depășirii unor anumite limite care constituie, de obicei, minimele sau maximele tehnice ale sistemului.

În cazul rețelelor de distribuție restricțiile se clasifică astfel:

- restricții constructive* (geometrie impusă, materiale folosite, seturi de diametre utilizate);
- restricții hidraulice* (continuitatea debitului în noduri, conservarea energiei pe inele);
- restricții funcționale* (asigurarea presiunii în fiecare nod de consum, intervale de viteze admisibile);
- restricții economice*.

4.1.3 Funcția obiectiv

Funcția obiectiv exprimă relația matematică dintre variabilele de proiectare și criteriile de optimizare adoptate, ce trebuie optimizată (minimizată, maximizată).

Valoarea funcției obiectiv de obicei se limitează printr-o serie de restricții, avînd de a face în această situație cu o *optimizare condiționată*, iar în cazul că restricțiile lipsesc optimizarea este *necon condiționată*.

Funcția obiectiv în cazul rețelelor de distribuție poate fi concepută astfel încît să exprime criterii simple de cost, consumuri energetice, consumuri de materiale deficitare sau să exprime mai multe criterii simultane (funcție multicriterială).

În funcție de scopul urmărit, aceste criterii se pot împărți în patru categorii: tehnice, economice, energetice, tehnico-economice.

Criteriile tehnice sînt cele care iau în considerare doar efectele elementelor tehnologice (randamente, consumuri specifice etc.).

Criteriile economice cuprind cele două mari categorii: investiții și cheltuieli de exploatare.

Criteriile energetice cuprind energia înglobată în elementele sistemului și energia consumată pentru exploatarea sistemului.

Criteriile tehnico-economice sînt criterii complexe care exprimă atât aspectul tehnologic cît și pe cel economic, cele mai utilizate fiind: cheltuielile anuale echivalente, cheltuielile totale actualizate, termenul de recuperare al investiției.

4.1.4 Modelul matematic al unei probleme de optimizare

Orice model de optimizare presupune crearea unei funcții obiectiv care trebuie optimizată.

Fie $X \in D$, $D \subset \mathbb{R}$; $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ - vectorul variabilelor de proiectare și $F: D \rightarrow \mathbb{R}$; $F(X) = F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ - funcția obiectiv.

Se consideră funcțiile $\varphi_i: D \rightarrow \mathbb{R}$; $\varphi_i(x) = \varphi_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$, $i = 1, \dots, m$, care caracterizează restricțiile proiectării sub forma:

$$\text{- restricții funcționale: } \varphi_i(X) = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, p) \quad (4.1)$$

$$\text{- restricții regionale: } \varphi_j(X) < S_j \quad (j = p + 1, \dots, m)$$

Dacă $\Omega \subset D$ este mulțimea soluțiilor sistemului de restricții (4.1) numite soluții admisibile, problema de optimizare este:

$$\min(\max)\{F(X) | X \in \Omega\} \quad (4.2)$$

Pentru găsirea soluțiilor tehnice optime, adică a condițiilor corespunzătoare minimului sau maximum funcției obiectiv, aceasta trebuie cercetată cu ajutorul unor metode de optimizare analitică sau numerică.

Metodele de optimizare nu permit în general obținerea unei soluții calitativ diferite pentru problema în studiu, ci conduc la alegerea celor mai bune valori, adică optimizează soluția în concepția de proiectare a utilizatorului.

4.2 Elemente de programare matematică

4.2.1 Noțiuni generale

Programarea matematică a apărut ca o metodă de optimizare, deci de aflare a extremului unei funcții ale cărei argumente sînt supuse la anumite restricții. Este vorba în principal de o funcție scalară a cărei mulțime de definiție este mărginită, ceea ce conduce la faptul că extremul constrîns poate fi diferit de cel liber.

Spre exemplificare, se consideră cazul minimumului funcției $F(x)$ al cărui argument x este supus restricției $x \geq a$, $a \in \mathbb{R}$ (fig. 4.1).

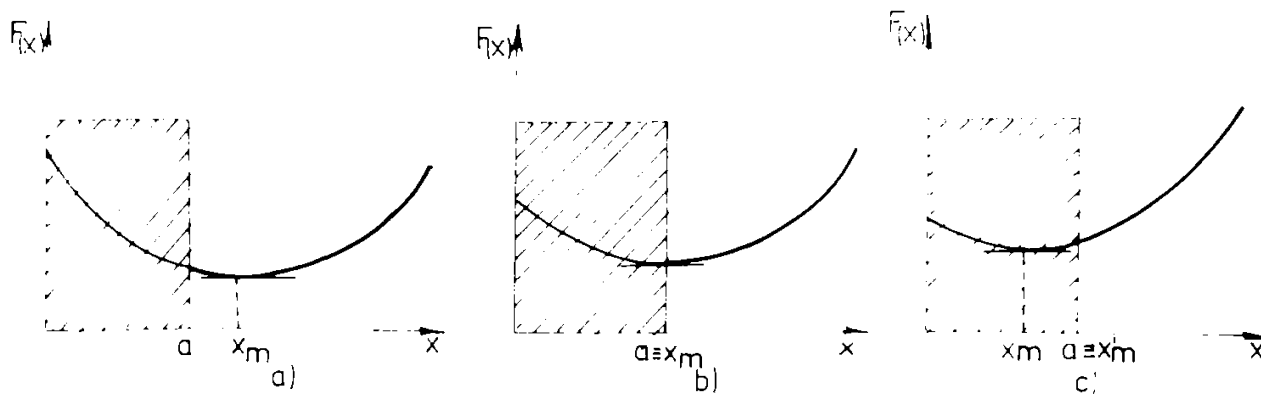


Fig. 4.1 Reprezentarea grafică a funcției $F(x)$

Se observă că în primele două situații (fig.4.1-a,b) minimumul constrîns este un minim analitic:

$$\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x_m} = 0 \quad (4.3)$$

punctul x_m găsindu-se în primul caz în interiorul mulțimii $x \geq a$, iar în cel de-al doilea caz pe frontiera acestei mulțimi.

În cel de-al treilea caz, minimul constrins nu este analitic:

$$\left. \frac{dF(x)}{dx} \right|_{x_m} > 0 \quad (4.4)$$

nefiind situat pe frontiera mulțimii $x \geq a$. Acest ultim caz se încadrează efectiv în domeniul programării matematice întrucît rezolvarea lui necesită metode specifice.

Cele trei cazuri prezentate anterior exemplifică și gruparea problemelor de optimizare în probleme fără restricții (optimizare necondiționată) și respectiv probleme cu restricții (optimizare condiționată).

4.2.2 Optimizarea necondiționată

4.2.2.1 Evaluarea analitică a extremului unei funcții fără restricții

În condițiile în care nu există restricții, funcția:

$$F(X) = F(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (4.5)$$

cu derivate parțiale continue, are un minim local în punctul caracterizat de X_m , dacă în vecinătatea acestui punct este îndeplinită condiția:

$$F(X_m) \leq F(X) \quad (4.6)$$

pentru orice vector X .

O condiție necesară și suficientă pentru ca o funcție derivabilă $F(X)$ să aibă un minim local unic în punctul X , îl constituie satisfacerea relațiilor:

$$\frac{\partial F(X)}{\partial x_i} = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4.7)$$

respectiv matricea hessian:

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 F(X)}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 F(X)}{\partial x_1 \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 F(X)}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 F(X)}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 F(X)}{\partial x_2^2} & \dots & \frac{\partial^2 F(X)}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial^2 F(X)}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 F(X)}{\partial x_n \partial x_2} & \dots & \frac{\partial^2 F(X)}{\partial x_n^2} \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

să fie pozitiv definită.

Se știe că o condiție necesară și suficientă pentru ca o matrice nedegenerată să fie pozitiv definită este ca toți minorii principali ai matricei să fie pozitivi.

Orice punct interior de extrem local în care funcția F este diferentiabilă și diferențiala sa este nulă în acest punct, reprezintă un punct staționar al funcției. Există puncte staționare care nu sînt puncte de extrem, ce se numesc *puncte șa* a lui F . La funcțiile de o singură variabilă, punctele în care derivata întâi se anulează, dar care nu sînt puncte de extrem, sînt puncte de inflexiune.

Condițiile (4.7) și (4.8) sînt necesare pentru determinarea unui minim local unic, care nu întotdeauna reprezintă cel mai mic minim, adică minimul global.

Un extrem restrîns (local) este și un extrem absolut (global) dacă funcția F este convexă.

4.2.2.2 Domenii și funcții convexe

Un domeniu deschis D mărginit de $\varphi_j(X) \leq 0$ ($j = 1, 2, \dots, m$) se numește convex dacă orice segment de dreaptă $\mu X_1 + (1 - \mu) X_2$ ($0 < \mu < 1$) care unește două puncte caracterizate de vectorii de poziție $X_1 \in D, X_2 \in D$ este conținut în D .

În figura 4.2 se exemplifică un domeniu convex (fig. 4.2-a) și un domeniu neconvex (fig.4.2-b).

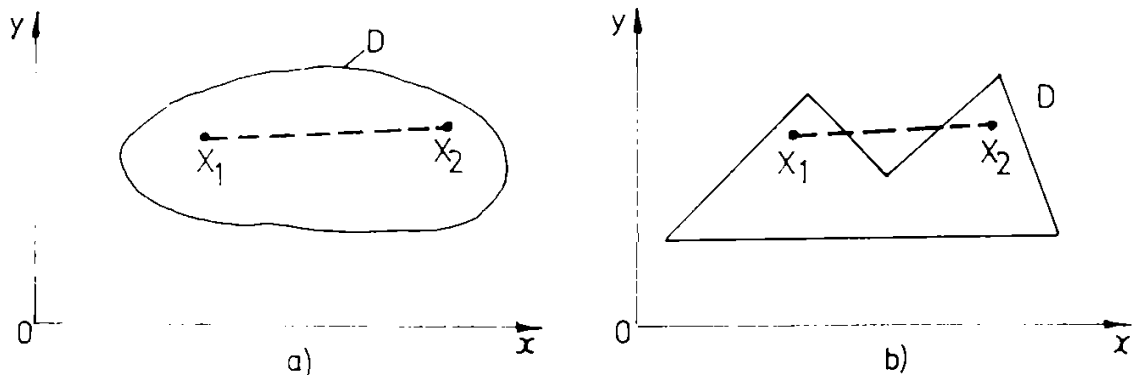


Fig. 4.2 Domenii convexe și neconvexe

O funcție $F(X)$ este convexă (fig. 4.3) dacă pe orice dreaptă care unește două puncte $X_1, X_2 \in D$ este îndeplinită condiția:

$$F[\mu X_2 + (1 - \mu) X_1] \leq \mu F(X_2) + (1 - \mu) F(X_1), \quad \forall \mu \in (0, 1) \quad (4.9)$$

unde partea dreaptă a inegalității reprezintă interpolarea liniară a funcției de-a lungul dreptei ce unește pe X_1 cu X_2 . Funcțiile convexe au unele proprietăți importante:

a) $F(X_1) \geq F(X_2) + (X_1 - X_2) \nabla F(X_2)$
 pentru toți X_1, X_2 (4.10)

b) matricea derivatelor parțiale

$\partial^2 F / \partial x_i \partial x_j$ este pozitiv semidefinită pentru toate punctele X , adică are și valori caracteristice pozitive și negative;

c) fiecare minim local într-un domeniu convex D reprezintă un minim global pentru acest domeniu.

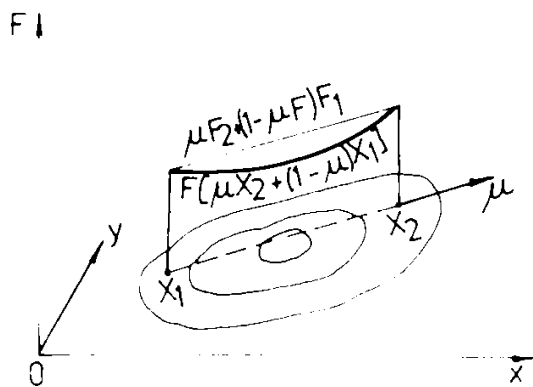


Fig. 4.3 Reprezentarea unei funcții convexe

4.2.2.3 Metoda numerică de evaluare a minimumului unei funcții monovariabile prin interpolare

Metoda de interpolare constă în aproximarea funcției printr-un polinom de interpolare pătratică și cuplată cu un algoritim de căutare cu pas constant sau accelerat poate fi folosită la evaluarea extremului unei funcții monovariabile fără restricții.

Un algoritim de căutare a minimumului unei funcții monovariabile $F(x)$, care cuprinde căutarea cu pas accelerat cu interpolarea pătratică, cuprinde următoarele etape:

E1) Se cercetează funcția în acord cu algoritimul de căutare cu pas accelerat într-o succesiune de puncte pentru care rezultă: $F(x_0) > F(x_1) > \dots > F(x_{n-1})$ și $F(x_{n-1}) < F(x_n)$, x_n fiind primul punct în care funcția crește.

E2) Se rețin punctele (x_{n-2}, x_{n-1}) și (x_n) , notate cu x_1, x_2 și x_3 , cu ajutorul cărora se aproximează funcția printr-un polinom pătratic al cărui minimum

$$r^* = \frac{1}{2} \frac{F(x_2)(x_3 - x_1) - F(x_1)(x_3 - x_2) - F(x_3)(x_2 - x_1)}{F(x_2)(x_3 - x_1) + F(x_1)(x_3 - x_2) + F(x_3)(x_2 - x_1)} \quad (4.11)$$

aproximează minimumul funcției de cercetat.

E3) Se înlocuiește cel mai nefavorabil punct dintre x_1, x_2, x_3 cu r^* și se repetă etapa E2.

După a doua interpolare, și în continuare, se verifică dacă interpolarea este reușită, adică dacă funcția în noul punct de interpolare este mai favorabilă decât în punctul din interpolarea anterioară. Se declară, de asemenea, interpolare nereușită cazul când numitorul expresiei (4.11) devine egal cu zero.

Dacă interpolarea este reușită se înlocuiește cel mai nefavorabil punct dintre x_1, x_2, x_3 cu r^* și se trece la etapa următoare E3.

Dacă interpolarea nu este reușită, se acceptă drept punct de start punctul din interpolarea anterioară reușită, se reduce pasul și căutarea se reia de la etapa E1.

E4) Se verifică criteriul de convergență, cum ar fi diferența dintre valorile funcției în două puncte de interpolare reușită consecutive, să fie mai mică decât o valoare strictă ε . Dacă convergența nu este satisfăcută se reia algoritimul de la etapa E2.

4.2.2.4 Metoda gradientilor conjugați de evaluare a minimumului unei funcții multivariabile

Metodele numerice de determinare a minimumului unei funcții multivariabile fără restricții pot fi clasificate astfel:

- metode aleatoare de căutare;
- metode de căutare unidirecțională;
- metode de gradient.

Prima metodă conduce la aproximarea minimumului global, iar celelalte două metode conduc, în general, doar la determinarea unui minim local.

Cele mai eficiente metode de evaluare a minimumului au la bază informații locale pentru fiecare punct date prin gradient. Metodele de gradient se bazează pe ideea că variația cea mai pronunțată a unei funcții $F(X)$, cu $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ se obține prin deplasarea după direcția gradientului.

Considerând o funcție obiectiv $F(X)$ de n variabile, gradientul în punctul X este vectorul derivatelor de ordinul 1 în acest punct.

$$G = \nabla F(X) = \left\{ \frac{\partial F}{\partial x_1} \frac{\partial F}{\partial x_2} \dots \frac{\partial F}{\partial x_n} \right\} \quad (4.12)$$

Vectorul unitate (direcțiile normate ale gradientului) corespunzător punctului X_k are expresia:

$$D_k = \pm \frac{\nabla F(X_k)}{\|\nabla F(X_k)\|} = \pm \frac{G_k}{\|G_k\|}, \quad (4.13)$$

în care semnul (+) se utilizează pentru maximizare și semnul (-) pentru minimizare, iar norma euclidiană a vectorului G_k este dată de relația:

$$\|G_k\| = [G^T G_k]^{\frac{1}{2}} = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial F}{\partial x_i} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.14)$$

Metoda gradientilor conjugați utilizează pentru calculul unei direcții de explorare formula Fletcher - Reeves:

$$D_{k+1} = -G_{k+1} + \beta_k D_k \quad (k \geq 1) \quad (4.15)$$

în care coeficientul de pondere β_k se calculează cu relația:

$$\beta_k = \frac{\|G_{k+1}\|^2}{\|G_k\|^2} \quad (4.16)$$

și necesită următoarele etape:

E1) Se alege un punct inițial caracterizat de vectorul de poziție X_0

E2) Se calculează gradientul funcției:

$$G_0 = \nabla F(X_0) \quad (4.17)$$

și se stabilește direcția inițială:

$$D_0 = -G_0 \quad (4.18)$$

E3) Se calculează noul punct caracterizat de vectorul de poziție X_{k+1} cu relația:

$$X_{k+1} = X_k + r^* D_k \quad (4.19)$$

astfel ca să minimizeze funcția $F(X_k + r^* D_k)$ în direcția D_k , ceea ce presupune că se atribuie lui r^* acea valoare care duce la îndeplinirea condiției:

$$F(X_k + r^* D_k) = F(r^*) \rightarrow \min, \quad (4.20)$$

relația concretă de determinare a lui r^* putînd fi (4.11).

E4) Se calculează gradientul funcției în X_{k+1} :

$$G_{k+1} = \nabla F(X_{k+1}), \quad (4.21)$$

urmînd a determina coeficientul β_k cu relația (4.16), iar apoi se stabilește noua direcție D_{k+1} cu relația (4.13).

E5) După fiecare iterație k se verifică condiția de convergență:

$$\|G_k\| \leq \mathcal{E} \quad (4.22)$$

în care \mathcal{E} este eroarea admisă în calculul minimului.

Dacă criteriul de convergență este satisfăcut calculul se oprește și se admite drept minim al funcției obiectiv minimul ultimei direcții, iar în caz contrar se revine la etapa E3.

În cazul că lungimea pasului nu este suficient de apropiată de cea optimală, direcția generală (4.13) poate să nu fie o direcție de descreștere, iar pentru remediere după fiecare n iterații se reinițializează algoritmul cu $D_k = -G_k$.

Metoda gradientilor conjugați nu utilizează derivatele de ordin 2 și inversări de matrice avînd avantajul unui volum redus de calcule și necesitînd memorie puțină, iar prin urmare este ușor accesibilă din punct de vedere practic, aplicîndu-se în special pentru rezolvarea problemelor de dimensiuni mari (peste 100 ...150 variabile).

4.2.3 Optimizarea condiționată

De cele mai multe ori în practica proiectării sistemelor de distribuție a apei se întîlnesc probleme de optimizare cu restricții. În cazul că restricțiile împreună cu funcția obiectiv sînt funcții liniare de componentele vectorului X și dacă componentelor x_i ($i=1, \dots, n$) li se impun condiții de nenegativitate, modelul de optimizare corespunzător constituie o problemă de programare liniară. Dacă însă modelul de optimizare conține atît funcția obiectiv cît și una sau toate restricțiile de proiectare neliniare, acesta reprezintă o problemă de programare neliniară.

4.2.3.1 Principiul programării liniare

Programarea liniară constă în esență în determinarea minimului (maximului) funcției obiectiv de mai multe variabile necunoscute, legate între ele printr-un sistem cu un număr oarecare de ecuații și inecuații ce reprezintă restricțiile.

Astfel, se pune problema determinării valorii minime sau maxime a funcției obiectiv:

$$F = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \rightarrow \min(\max) \quad (4.23)$$

în condițiile satisfacerii restricțiilor:

$$\begin{aligned} a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n &\leq b_1 \\ a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n &\leq b_2 \end{aligned} \quad (4.24)$$

.....

$$a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mn} x_n \leq b_m$$

variabilele îndeplinind condiția de nenegativitate:

$$x_j \geq 0 \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (4.25)$$

unde coeficienții a_{ij} ($i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$) și b_i ($i = 1, \dots, m$) sînt numere reale.

Sistemul de restricții inegalități (4.24) poate fi transformat într-un sistem de egalități prin atașarea unor variabile de ecart $x_{n+i} \geq 0$ ($i = 1, \dots, m$), obținîndu-se forma standard a modelului de programare liniară.

Evident că programul liniar standard (cu variabile de ecart) poate fi scris mai concis în forma matriceală:

$$\begin{aligned} F &= CX \rightarrow \min(\max) \\ AX &= B \\ X &\geq 0 \end{aligned} \quad (4.26)$$

în care: C este vectorul linie al coeficienților funcției obiectiv; B - vectorul coloană al termenilor liberi din sistemul restricțiilor; X - vectorul coloană al variabilelor; A - matricea coeficienților din sistemul restricțiilor.

Mulțimea de $n+m$ valori x_j care satisfac sistemul restricțiilor se numește *soluție*. Dacă în plus, aceasta verifică și condițiile de nenegativitate atunci soluția se numește *posibilă*.

Cînd restricțiile sînt liniar independente, iar soluția conține m componente x_j nenule și n componente x_j nule soluția poartă numele de *soluție de bază*. Dacă această soluție conține un număr de valori x_j nenule mai mic decît m , ea este *degenerată*.

Soluția de bază care face ca funcția obiectiv să fie minimă (maximă) este denumită *soluție optimă*.

În general există posibilitatea de a obține C_n^m soluții de bază, dintre care trebuie găsită cea optimă.

Minimizarea funcției obiectiv F se poate transforma în maximizarea funcției:

$$F' = -F = -\sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (4.27)$$

față de restricțiile date, adică problema minimizării se reduce la o problemă de maximizare prin schimbarea semnului tuturor coeficienților din funcția obiectiv, iar în final prin schimbarea semnului maximumului obținut.

Cel mai utilizat algoritm de rezolvare a problemelor de programare liniară este algoritmul Simplex, elaborat de Dantzig, care s-a dezvoltat ulterior în mai multe variante.

Principiul acestui algoritm constă în utilizarea în spațiul variabilelor funcției obiectiv a unei figuri geometrice cu un număr de vârfuri mai mare decât numărul variabilelor, denumită simplex. Se evaluează funcția obiectiv în fiecare vârf al acestei figuri și se cercetează apoi direcția ce trece prin vârfurile cel mai nefavorabil și centroidul celorlalte vârfuri. Această cercetare urmărește stabilirea unui nou vârf favorabil care să-l înlocuiască pe cel mai nefavorabil din simplexul existent. În acest mod se generează un simplex care migrează în cele mai multe cazuri, în regiunea extremului funcției obiectiv.

În varianta de bază, algoritmul Simplex presupune o succesiune de iterații în următoarele etape:

E1) Aducerea problemei în forma standard, transformând inegalitățile în egalități prin introducerea variabilelor de ecart.

E2) Determinarea unei soluții de bază inițiale.

E3) Trecerea la altă soluție de bază plecând de la baza inițială sau precedentă și modificând una din variabile, care nu este în bază, pentru deplasarea la un alt vârf ce îmbunătățește funcția obiectiv. În cazul unei probleme de minimizare, se alege variabila cu coeficientul negativ cel mai mare, iar în cazul unei probleme de maximizare se alege variabila cu coeficientul pozitiv cel mai mare.

E4) Considerarea ca soluție optimă a soluției de bază obținută după etapa anterioară, atunci când nu mai este posibil să se micșoreze (mărească) valoarea funcției obiectiv, ceea ce corespunde situației în care toți coeficienții c_j , din funcția obiectiv devin pozitivi în varianta minimizării și negativi în cazul maximizării.

4.2.3.2 Formularea generală a programării neliniare

Programarea neliniară este o metodă matematică de optimizare a problemelor ce pot fi descrise prin expresii neliniare.

În general, pentru rezolvarea problemelor de optimizare condiționată se utilizează programarea neliniară cu restricții a cărui model matematic este definit de relațiile:

$$F(X) \rightarrow \min \quad (4.28)$$

$$\varphi_j(X) \{ \geq, =, \leq \} 0 \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (4.29)$$

unde funcția obiectiv F și funcțiile restricții φ_j constituie împreună funcțiile problemei de optimizare, fiind continue de X , iar X este vectorul variabilelor, de forma:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (4.30)$$

Modelul matematic (4.28), (4.29) conduce la o problemă de programare neliniară, în următoarele cazuri posibile:

- funcția obiectiv neliniară și restricțiile liniare;
- funcția obiectiv liniară și restricții neliniare;
- funcția obiectiv neliniară și restricții neliniare.

4.2.3.2.1 Metoda clasică a multiplicatorilor Lagrange de evaluare a minimului unei funcții cu restricții

Se consideră problema de optimizare neliniară cu restricții definită de relațiile:

$$\begin{aligned} F(X) &= F(x_1, x_2, \dots, x_n) \rightarrow \min \\ \varphi_i(X) &= 0 \quad (i = 1, 2, \dots, p) \\ \varphi_j(X) &\geq 0 \quad (j = p+1, \dots, m) \end{aligned} \quad (4.31)$$

Deoarece oricare din inegalități poate fi transformată într-o egalitate, prin introducerea unei variabile w_j :

$$\varphi_j(x) - w_j^2 = 0, \quad (4.32)$$

problema (4.31) devine o problemă de optimizare cu restricții de tip egalitate, ce se poate rezolva cu ajutorul metodei multiplicatorilor Lagrange.

În cazul căutării minimului unei funcții $F(X)$ de n variabile cu m restricții de tip egalitate ($m < n$), cu ajutorul multiplicatorilor Lagrange, se demonstrează că punctul X_0 , minimul funcției obiectiv, se obține prin minimizarea funcției auxiliare fără restricții:

$$\begin{aligned} \Gamma(X, \Lambda) &= \Gamma(x_1, x_2, \dots, x_n, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m) = \\ &= F(x_1, x_2, \dots, x_n) + \sum_{i=1}^m \lambda_i \varphi_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \end{aligned} \quad (4.33)$$

în care: $\Gamma(X, \Lambda)$ este funcția Lagrange; $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ - multiplicatori Lagrange, cu notația $\Lambda = \{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m\}$.

Deci această metodă transformă problema de optimizare cu restricții într-o problemă fără restricții, a cărei soluționare constă în rezolvarea sistemului de ecuații obținut prin anularea derivatelor parțiale de ordinul întâi ale funcției obiectiv:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Gamma(X, \Lambda)}{\partial x_j} &= \frac{\partial F}{\partial x_j} + \sum_{i=1}^m \lambda_i \frac{\partial \varphi_i}{\partial x_j} = 0 \quad (j = 1, \dots, n) \\ \frac{\partial \Gamma(X, \Lambda)}{\partial \lambda_i} &= \varphi_i = 0 \quad (i = 1, \dots, m) \end{aligned} \quad (4.34)$$

Sistemul conține $n+m$ ecuații (derivatele parțiale în raport cu λ_i fiind chiar relațiile de restricții), rezultând cele $n+m$ necunoscute: x_j ($j = 1, \dots, n$) și λ_i ($i = 1, \dots, m$), cel mai accesibil mod de rezolvare a acestuia fiind cel numeric (algoritmul Newton-Raphson, metoda suprarelaxărilor succesive, metoda gradientilor etc.).

Relațiile scrise reprezintă condiții necesare, dar nu și suficiente, în cazul general, pentru minim. Numai dacă $F(X)$ este o funcție convexă și $\varphi_i(X)$ sînt liniare, se poate arăta că sînt și suficiente pentru minim.

4.2.3.2.2 Condițiile de optimalitate Kuhn-Tucker

Prin generalizarea metodei clasice a multiplicatorilor Lagrange, Kuhn și Tucker au stabilit condițiile care trebuie să fie satisfăcute de un optim de restricții, local sau global, condiții care stau la baza celor mai mulți algoritmi existenți pentru rezolvarea problemelor de programare neliniară.

Se consideră problema minimizării funcției:

$$F(X) = F(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (4.35)$$

în prezența restricțiilor:

$$\varphi_j(X) = \varphi_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, m < n) \quad (4.36)$$

Cu ajutorul a m variabile auxiliare reale w_j , inegalitățile (4.36) se transformă în egalități:

$$\varphi_j(X) + w_j^2 = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (4.37)$$

Aplicînd metoda multiplicatorilor Lagrange se definește funcția auxiliară:

$$\Gamma(X, W, \Lambda) = F(X) + \sum_{j=1}^m \lambda_j [\varphi_j(X) + w_j^2] \quad (4.38)$$

care conduce la un punct staționar în ipoteza îndeplinirii condițiilor:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F(X)}{\partial x_i} + \sum_{j=1}^m \lambda_j \frac{\partial \varphi_j(X)}{\partial x_i} &= 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \\ \varphi_j(X) &\leq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, m) \\ \lambda_j \varphi_j(X) &= 0 \quad (j = 1, 2, \dots, m) \end{aligned} \quad (4.39)$$

Întrucît mărimile w_j sînt variabile auxiliare, acestea pot fi eliminate din sistemul (4.39). Din cea de-a doua relație a acestui sistem rezultă că oricare ar fi j , condiția $\varphi_j(X) = 0$ are loc numai dacă $w_j = 0$, sau ținînd seama și de ultima relație a aceluiași sistem se obține:

$$\lambda_j \varphi_j(X) = 0 \quad (j = 1, 2, \dots, m).$$

Prin eliminarea variabilei w_j , rezultă deci condițiile necesare pentru minim:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F(X)}{\partial x_i} + \sum_{j=1}^m \lambda_j \frac{\partial \varphi_j(X)}{\partial x_i} &= 0 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \\ \varphi_j(X) &\leq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, m) \\ \lambda_j \varphi_j(X) &= 0 \quad (j = 1, 2, \dots, m) \end{aligned} \quad (4.40)$$

căroră Kuhn și Tucker le-a adăugat în plus:

$$\lambda_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (4.41)$$

relații cunoscute sub numele de condițiile Kuhn-Tucker, ce sînt necesare atît pentru un minim local cît și pentru un minim global.

Dacă funcțiile $F(X)$, $\varphi_j(X)$ și domeniul admisibil sînt convexe ele devin condiții necesare și suficiente pentru un minim global.

Condițiile de optimalitate (4.40), (4.41) înlocuiesc programul matematic general (4.28), (4.29) printr-un sistem de ecuații și inecuații, a căror expresie matriceală are forma:

$$\begin{aligned}
\nabla_x(F) + \nabla_x(\Phi^T)\Lambda &= 0 \\
\Phi(X) &\leq 0 \\
\Lambda\Phi(X) &= 0 \\
\Lambda &= 0
\end{aligned}
\tag{4.42}$$

în care: $F(X)$, $\Phi(X)$ și domeniul admisibil sînt convexe, Λ -vector cu aceleași dimensiuni ca Φ , iar:

$$\nabla_x = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial}{\partial x_m} \end{bmatrix}
\tag{4.43}$$

$$\nabla_x(\Phi^T) = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial}{\partial x_n} \end{bmatrix} \{\varphi_1 \varphi_2 \dots \varphi_n\}
\tag{4.44}$$

Dacă o problemă de programare matematică este cunoscută a fi convexă prezintă avantajele:

- funcția nu are minime locale ci numai minim global;
- condițiile Kuhn-Tucker sînt necesare și suficiente pentru a indica un minim global.

În cele mai multe aplicații concrete din domeniul alimentărilor cu apă este dificil de arătat că funcția analizată este convexă, însă modelele de optimizare obținute în condiții de convexitate se pot aplica și în asemenea situații, cu observația că se va găsi un minim local.

4.2.3.2.3 *Prezentarea generală a metodelor de soluționare a problemelor de programare neliniară*

În [74] Wolfe a făcut o grupare a problemelor de programare după dimensiuni și complexitate, așezînd în grupa problemelor neliniare, în ordinea complexității, probleme cu variabile separate, probleme de programare pătratică, probleme cu restricții liniare și funcțiile obiectiv explicitate și cu derivate ușor de calculat.

Un algoritm care poate rezolva problema optimizării neliniare în formă generală este de regulă ineficient cînd se utilizează pentru rezolvarea unor astfel de probleme cu caracteristici speciale. De aceea au fost puși la punct o varietate de algoritmi, folosiți în scopuri particulare, legate de forma funcțiilor F și φ_j [61], [69].

Algoritmii de căutare numerică a optimului au la bază:

- metode directe de căutare în domeniul admisibil, ce utilizează evaluări ale funcției obiectiv în punctele din domeniul admisibil al variabilelor de optimizat;
- metode indirecte prin care problema cu restricții se transformă într-una fără restricții, modificînd funcția obiectiv;
- metode de gradient, ce utilizează evaluări atît ale funcției obiectiv cît și ale gradientului în puncte din domeniul admisibil.

Algoritmii de optimizare parcurg de regulă următoarele trei etape:

- E1) Alegerea unui punct de start X_0 , punct admisibil în cazul unei probleme cu restricții.

E2) Deplasarea prin puncte succesive X_k ($k=1,2,\dots$) pînă cînd se atinge optimul. De la un punct de bază X_{k-1} la un punct de bază nou X_k se trece prin deplasarea după o direcție $D_k = \{d_1^{(k)} d_2^{(k)} \dots d_n^{(k)}\}$, punctul X_k fiind optimul după această direcție. În cazul metodelor directe, direcțiile de deplasare se prevăd în algoritm, pe cînd la cele de gradient se evaluează în fiecare punct X_k .

E3) Verificarea criteriului de convergență, etapă care decide oprirea sau continuarea procesului de cercetare a optimului.

Este dificil a face afirmații general valabile privind superioritatea unui algoritm față de altul. În consecință alegerea celui mai bun algoritm, pentru o problemă dată, reprezintă un întreg proces de cercetare.

4.3 Elemente de teoria grafurilor

4.3.1 Notiuni generale

Ori de cîte ori o structură prezintă o mulțime de elemente distincte și există o lege care să stabilească o corespondență între acestea, avem de-a face cu un **graf** (fig. 4.4).

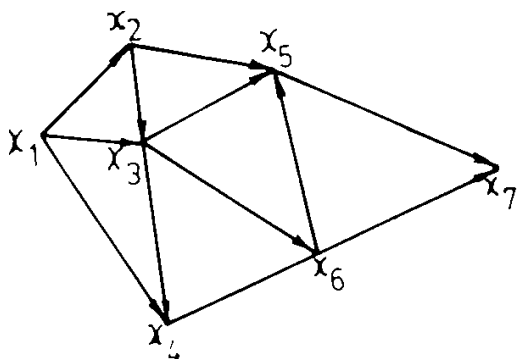


Fig. 4.4 Graf orientat

Pentru un graf trebuie definite în mod simetric aște mulțime de vîrfuri $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, și a tranzițiilor Γ , care există între acestea.

Cuplul format din mulțimea X și Γ se numește **graf orientat** și se notează prin $G=(X,\Gamma)$ sau $G=(X,U)$, unde U este mulțimea **arcelor**, reprezentate prin săgeți.

Tranzițiile de forma $(x_i \rightarrow x_j)$ au originea în vîrfurile x_i și extremitatea în vîrfurile x_j și se mai notează sub formele: (x_i, x_j) , u_j^i sau $x_i \in \Gamma x_j$.

Grafurile orientate permit tranziții de un singur sens. În acest caz între două vîrfuri consecutive este un singur arc cu săgeata într-un

anumit sens.

Arcele care au un vîrf comun se numesc arce adiacente, iar extremitățile unui arc se numesc vîrfuri adiacente.

Un arc este incident la un vîrf dacă vîrfurile respective sunt o extremitate a arcului.

O succesiune de arce adiacente formează un **drum**, care dacă trece o singură dată prin vîrfurile sale se numește **drum elementar**, dacă se întoarce în punctul de plecare se numește **circuit**, iar dacă trece o dată și numai o dată prin fiecare vîrf al grafului se numește **drum hamiltonian**.

Lungimea drumului este dată, prin convenție, de numărul arcelor sale.

Grafurile orientate care nu au circuite se numesc **arborescențe**.

Numărul ciclomatic al unui graf G dă numărul maxim de cicluri independente c și se scrie analitic cu ajutorul relației Euler:

$$c = a - (v - 1) \tag{4.45}$$

în care: a este numărul de arce; v - numărul total de vîrfuri.

La un **graf conjugat** un număr egal de arce se obține înlocuind fiecare vîrf cu un circuit și fiecare circuit cu un vîrf.

Numărul ciclurilor independente c_* ale grafului conjugat G_* este dat de relația:

$$c_* = a - c = v - 1 \quad (4.46)$$

Operația prin care fiecărui arc i se atribuie o valoare poartă numele de *valorizarea arcelor*. Valoarea unui drum este egală cu suma valorilor arcelor ce formează drumul.

Graful neorientat nu presupune relații univoce între elementele sale, iar vîrfurile sînt legate prin *muchi*, care se reprezintă fără săgeți. În locul drumului apare *lanțul*, a cărui lungime este dată de numărul muchiilor sale.

Într-un graf neorientat *gradul* unui vîrf x_i este numărul muchiilor care se leagă de vîrfurile x_i .

Pentru un graf neorientat cu m muchii, suma gradelor vîrfurilor sale este egală cu $2m$.

Un **graf complet** are proprietatea că oricare două vîrfuri sînt unite printr-o muchie, în cazul grafurilor neorientate și că oricare două vîrfuri ale sale x_i și x_j sînt unite printr-un arc (x_i, x_j) sau printr-un arc (x_j, x_i) ori prin ambele arce (x_i, x_j) și (x_j, x_i) , în cazul grafurilor orientate.

Un graf se numește *conex* dacă pentru oricare două vîrfuri ale sale există în graf cel puțin un drum (lanț) care le leagă, iar în caz contrar graful este *neconex*.

Graful neorientat conex fără cicluri se numește *arbore*. Muchiile complementare muchiilor grafului definesc *coarborele*.

Dacă $G = (X, U)$ este un arbore cu v vîrfuri și m muchii, atunci:

$$m = v - 1 \quad (4.47)$$

Graful parțial a lui $G = (X, \Gamma)$ este prin definiție un graf $\bar{G} = (X, \Delta)$ în care $\forall x_i, \Delta x_i \subset \Gamma x_i$.

Un graf $G = (X, \Gamma)$ poate conține un graf parțial care să fie arbore (arbore parțial) numai dacă este conex. Pentru determinarea arborelui parțial de valoare totală minimă se folosește de obicei algoritmul Kruskal [43], [214].

4.3.2 Condiții particulare de aplicare a grafurilor la calculul rețelelor de distribuție a apei

O rețea de alimentare cu apă alcătuită din noduri, care constituie centrele de greutate ale zonelor de consum, și conducte interconectate în noduri, poate fi reprezentată ca model matematic printr-un graf planar topologic conex, finit și fără bucle.

Gradul unui nod este dat de numărul conductelor incidente în acel nod și nu poate fi mai mic decît 1, întrucît rețelele de conducte sînt întotdeauna grafuri conexe. Gradul 0 îl are un punct izolat, iar nodurile cu gradul 1 sînt noduri periferice.

Rețeaua inelară reprezintă un graf conex care nu are vîrfuri cu gradul mai mic decît 2.

Folosirea și analiza relațiilor dintre elementele rețelelor de distribuție a apei ca și grafuri au aplicabilitate în rezolvarea unor probleme ca alegerea formei rețelelor, aprecierea gradului de siguranță, modul de transformare legat de metodele de calcul, determinarea regimului debitelor și al presiunilor și probleme economico-energetice.

Pentru calculul automat al unei repartii inițiale a debitelor pe artere și pentru alegerea cu ușurință a sistemului de inele independente, o rețea inelară dată se transformă într-o rețea ramificată, prin înlăturarea din fiecare inel a unor conducte ce îl închid, rezultînd un număr n de variante posibile exprimat prin relația:

$$n = C_m^v = \frac{m(m-1)\dots(m-v+1)}{v} \quad (4.48)$$

în care v și m sînt numărul vîrfurilor și al muchiilor grafului topologic al rețelei. Rețeaua virtual ramificată astfel obținută trebuie să îndeplinească următoarele cerințe:

- graful rețelei să rămînă convex;
- să se păstreze toate vîrfurile;

- în graful rețelei să nu rezulte muchii cu rezistențe hidraulice prea mari.

În conformitate cu teoria grafurilor, numărul maxim de inele independente M într-o rețea este egal cu numărul ciclomatic al grafului rețelei, dat de relația (4.45):

$$M = T - N + 1 \quad (4.49)$$

în care T și N sînt numărul tronsoanelor și al nodurilor rețelei.

În dezvoltarea modernă a studiilor de specialitate, grafurile se utilizează ca modele matematice pentru rezolvarea problemelor tehnice și economice ale rețelelor de alimentare cu apă prin calcul matriceal.

Metoda teoriei grafurilor permite să se efectueze înregistrarea tuturor caracteristicilor geometrice principale și a formei rețelei prin întocmirea unor matrice.

Astfel, graful neorientat al unei rețele poate fi descris prin matricea tranzitiilor $[A_t]_{N,N}$, avînd numărul de linii și de coloane egal cu numărul de vîrfuri N și elementele a_{ij} date de relațiile:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{dacă vîrfurile } i \text{ și } j \text{ sînt adiacente} \\ 0, & \text{dacă vîrfurile } i \text{ și } j \text{ nu sînt adiacente} \end{cases} \quad (4.50)$$

Neexistînd bucle, elementele diagonalei principale sînt nule. Această matrice permite determinarea gradului nodurilor, adică numărul de conducte convergente în nod, prin însumarea elementelor nenule pe linii sau pe coloane.

De asemenea, topologia unei rețele de conducte poate fi descrisă complet și univoc cu ajutorul matricei de incidență și a matricei de apartenență.

Matricea de incidență (matricea vîrfurilor) $[A_v]_{N,T}$ stabilește legătura între arcele și vîrfurile grafului orientat al unei rețele, ilustrînd interconectarea nodurilor în rețea și avînd pe linii numărul de ordine al vîrfurilor N , iar pe coloane cel al arcelor T . Elementele a_{ij} ale acestei matrice sînt definite de relațiile:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{dacă arcul } j \text{ are incidență în vîrfurile } i \\ 0, & \text{dacă arcul } j \text{ nu are incidență în vîrfurile } i \end{cases} \quad (4.51)$$

Matricea de apartenență (matricea ciclurilor) $[A_c]_{M,T}$ stabilește legătura între arcele și ciclurile grafului orientat al unei rețele, indicînd apartenența conductelor la inelele rețelei și avînd pe linii numărul de ordine al inelelor M , iar pe coloane cel al arcelor T . Elementele a_{ij} ale acestei matrice sînt definite de relațiile:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{dacă arcul } j \text{ aparține ciclului } i \\ 0, & \text{dacă arcul } j \text{ nu aparține ciclului } i \end{cases} \quad (4.52)$$

Avînd în vedere că majoritatea elementelor matricelor atașate grafului, definite sub formele menționate, sînt nule și că acestea ocupă un volum extrem de mare în memoria calculatoarelor electronice, folosirea în calculul automat al rețelelor a acestor matrice se face sub o formă particularizată.

Dintre elementele matricei A_v se rețin numai elementele nenule, precizîndu-se pentru fiecare arc j vîrfurile inițial și vîrfurile finale, spre care are loc curgerea. Pe lîngă faptul că se realizează astfel și prezentarea elementelor matricei A_t , eliminîndu-se perechile de noduri care nu sînt interconectate prin conducte, există posibilitatea de orientare a mișcării apei în conducte.

Dintre elementele matricei A_c se rețin de asemenea numai elementele nenule, prin nominalizarea tuturor nodurilor care formează un inel. Pentru calculul orientării se consideră întotdeauna același sens de parcurgere, de exemplu sensul orar, începînd cu un nod arbitrar și încheind ciclul cu același nod.

5. OPTIMIZAREA CALCULULUI REȚELELOR DE DISTRIBUȚIE A APEI

5.1 Considerații preliminare

În cadrul sistemelor centralizate de alimentare cu apă, rețelele de distribuție finalizează procesele prin care apa, în prealabil pregătită în condiții economice avantajoase și de bună calitate, este transportată utilizatorilor, iar funcționarea lor este asigurată prin acțiunile conjugate ale stațiilor de pompare și rezervoarelor.

Pe plan național însă există multă risipă de apă potabilă și industrială, la care se adaugă pierderile de apă în rețele și în special în instalațiile interioare, ce ridică considerabil consumul energetic în sistem.

Se apreciază că în consumul de energie electrică pentru exploatarea sistemelor centralizate de alimentare cu apă, o pondere însemnată de peste 80 % o reclamă distribuția apei în rețelele mari echipate exclusiv cu stații exterioare de pompare, din centrele economice și industriale, încărcând mult sistemul energetic național.

De aceea, în conjunctura energetică generală, optimizarea sistemelor de distribuție a apei în scopul micșorării consumului de energie electrică a devenit o problemă de mare actualitate necesitând, pe lângă optimizarea structurală și funcțională a sistemului de distribuție, elaborarea unor modele de calcul performante pentru rezolvarea optimă a problemelor de analiză și de proiectare a rețelelor de distribuție a apei, care constituie obiectul acestui capitol.

5.2 Indici de cost și energetici pentru realizarea rețelelor de distribuție a apei

Având în vedere că la execuția rețelelor de distribuție a apei se utilizează materiale și tehnologii ce înglobează o importantă cantitate de energie, iar pe întreaga durată de exploatare a rețelei se consumă energie necesară pentru pomparea apei, rezultă că în condițiile crizei actuale de energie, soluția optimă de rețea nu poate fi obținută decât prin satisfacerea unor criterii de optimizare în cadrul cărora un rol însemnat îl dețin *indicii specifici de cost și energetici* pentru realizarea și exploatarea acestor rețele.

5.2.1 Indici de cost

Din analiza situațiilor comparative a indicatorilor de cost realizați la execuția rețelelor de distribuție a apei în mai multe centre populate industriale, s-au determinat valorile medii ale

costurilor specifice de investiție în conductele rețelelor la nivelul anului 1990, a căror variație cu diametrul, în funcție de natura materialului de confecționare, este reprezentată grafic în figura 5.1.

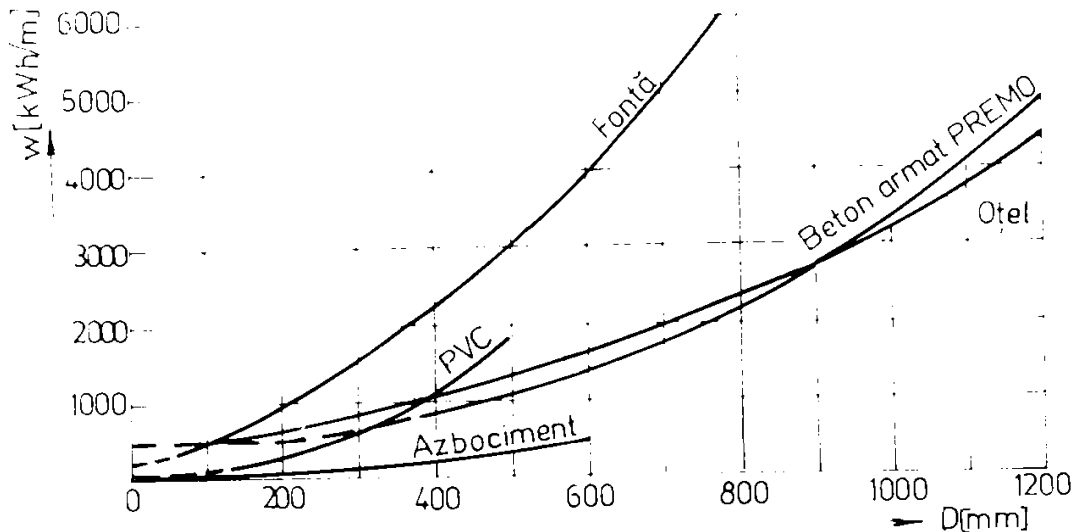


Fig. 5.1 Variația costurilor specifice medii de investiție în conductele rețelelor de distribuție

Rezultă că din punct de vedere economic, cel mai mic cost specific de investiție îl prezintă rețelele executate din tuburi de azbociment, urmînd în ordine rețelele din tuburi de PVC, beton armat, PREMO și oțel, iar cele din fontă au cel mai ridicat cost.

Din punct de vedere tehnic, rețelele realizate din tuburi de azbociment prezintă însă cele mai dese defecțiuni atât la îmbinări cît și pe traseu, datorită rezistenței relativ reduse la suprapresiunile interioare și la presiunile locale accidentale exterioare. De aceea se impune pentru diametrele mici, folosirea tuburilor din PVC, care au avantaje datorită rugozității reduse și evitării pericolului de formare a incrustațiilor.

Cea mai mare siguranță în exploatare o au rețelele executate din țevi de oțel, însă prezintă dezavantajul unei durate reduse de viață, iar costul suplimentar pentru realizarea unor protecții interioare și exterioare contra coroziunii face ca aceste rețele să nu fie mai ieftine decît cele din fontă.

Rețelele de conducte din beton armat și PREMO sînt economice și prezintă siguranță în exploatare pentru diametrele mijlocii și mari, asemănătoare cu cea a rețelelor din fontă, pentru diametre mici și mijlocii.

5.2.2 Indici energetici

Rețelele de distribuție a apei formează baza structurii sistemelor centralizate de alimentare cu apă și implică importante consumuri de combustibil și energie necesare pe de o parte la producerea și punerea în operă a conductelor, iar pe de altă parte pentru funcționarea în exploatare a instalațiilor de pompare pentru vehicularea apei în conducte.

De aceea se impune raționalizarea și reducerea consumului de energie electrică atât la sistemele existente pentru distribuția apei, cît mai ales la cele noi ce se proiectează, precum și utilizarea la realizarea acestora a conductelor cu energie înglobată minimă.

În diagrama din figura 5.2 sînt date pentru comparație consumurile specifice echivalente medii de energie electrică și combustibil care intervin la fabricarea și punerea în operă a diferitelor tipuri de conducte în funcție de materialul și diametrul acestora.

Rezultă că din punct de vedere energetic, cel mai redus consum specific de energie înglobată îl prezintă rețelele executate din tuburi de azbociment, urmînd în ordine rețelele din tuburi de beton armat, PREMO, oțel și PVC, iar cele de fontă au cea mai mare energie specifică înglobată.

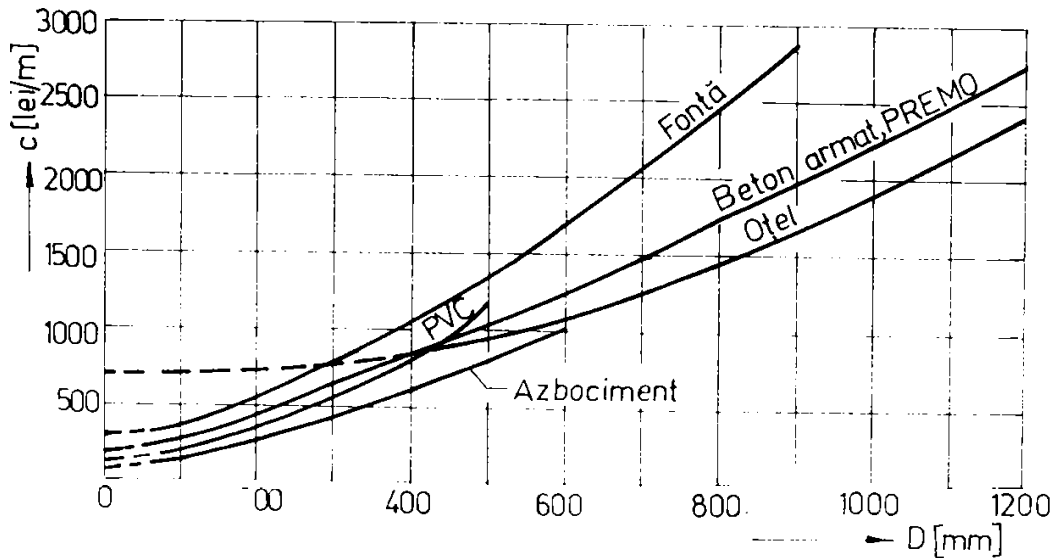


Fig. 5.2 Variația consumului de energie specifică înglobată pentru conductele rețelelor de distribuție

Afît curba costului specific de investiție c cît și curba energiei specifice înglobate w în raport cu diametrul D al conductelor rețelelor de distribuție, se pot aproxima folosind interpolarea geometrică modificată, printr-o funcție binomială de forma:

$$f = a + b D^\alpha \quad (5.1)$$

unde coeficienții a , b și exponentul α se determină statistic aplicînd metoda celor mai mici pătrate, potrivit căreia se minimizează suma abaterilor curbei teoretice față de curba reală.

Astfel, cunoscînd costurile specifice medii de investiție c_i respectiv energia specifică medie înglobată w_i notate cu f_i , pentru diverse diametre D_i , funcție de natura materialului de confecționare al conductei, se trasează cîte o curbă prin punctele (D_i, f_i) conform figurilor 5.1 și 5.2, de unde prin extrapolare ($D = 0$) se obține valoarea a corespunzătoare fiecărui material, apoi ținînd seama de (5.1) se scrie:

$$\lg(f_i - a) = \lg b + \alpha \lg D_i \quad (5.2)$$

Pentru expresia:

$$F = \sum_{i=1}^n [\lg b + \alpha \lg D_i - \lg(f_i - a)]^2 \quad (5.3)$$

se pun condițiile de minim:

$$\frac{\partial F}{\partial \lg b} = 0; \quad \frac{\partial F}{\partial \alpha} = 0 \quad (5.4)$$

și se obține:

$$\lg b = \frac{\sum_{i=1}^n \lg(f_i - a) \sum_{i=1}^n (\lg D_i)^2 - \sum_{i=1}^n \lg D_i \lg(f_i - a) \sum_{i=1}^n \lg D_i}{n \sum_{i=1}^n (\lg D_i)^2 - (\sum_{i=1}^n \lg D_i)^2} \quad (5.5)$$

$$\alpha = \frac{n \sum_{i=1}^n \lg D_i \lg(f_i - a) - \sum_{i=1}^n \lg D_i \sum_{i=1}^n \lg(f_i - a)}{n \sum_{i=1}^n (\lg D_i)^2 - (\sum_{i=1}^n \lg D_i)^2} \quad (5.6)$$

în care n este numărul diametrelor D_i analizate.

Pe baza relațiilor (5.5) și (5.6) s-a elaborat programul ordinator APROGE, cu ajutorul căruia s-au calculat valorile coeficienților specifici a, b și ale exponentului α funcție de materialul de confecționare al conductei ce se prezintă în tabelul 5.1.

Tabelul 5.1

Parametrii costului specific, energiei specifice și de rugozitate pentru conductele rețelelor de distribuție

Nr. crt.	Materialul conductei	Costul specific			Energia specifică înglobată			Rugozitatea	
		a	b	α	a	b	α	Δ [mm]	k
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Beton armat, PREMO	695	1160	2.10	460	2720	2.00	0.25	0.001495
2	Fontă	290	3060	1.52	200	8260	1.50	0.25	0.001495
3	Oțel	180	2030	1.20	400	3000	1.70	0.10	0.001495
4	Azbociment	140	2110	1.68	40	1060	1.90	0.05	0.001272
5	PVC	150	2675	1.50	60	8540	2.25	0.01	0.001272

Valorile parametrilor a, b și α ai costului specific de investiție și ai energiei specifice înglobate, pentru conductele rețelelor de distribuție, au o mare utilitate în calculele de optimizare a diametrelor acestor conducte.

5.3 Probleme fundamentale ale calculului hidraulic optimal al rețelelor inelare

Alimentarea cu apă a centrelor populate și industriilor se efectuează prin rețele de distribuție cu dimensiuni din ce în ce mai mari, care este necesar ca în scopul asigurării unei uniformizări și a unei mai mari stabilități a liniilor de presiune, cu efecte economico-energetice favorabile, să se realizeze cu o structură tot mai complexă (rețele inelare, alimentare din mai multe surse, stații de pompare integrate, elemente potențiale interioare). De asemenea, proiectarea extinderilor sau reconsiderarea unor rețele în vederea optimizării energetice a funcționării acestora conduce la complicarea schemei generale a sistemului și implicit la sporirea dificultăților de calcul.

5.3.1 Bazele calculului hidraulic în regim permanent de curgere a apei

Oricărei rețele de distribuție îi corespunde un graf orientat asociat, compus din arce care pot reprezenta tronsoane, pompe sau armături și vîrfuri ca rezervoare, pompe sau intersecții de

conducte. Topologia unei astfel de rețele poate fi descrisă complet și univoc cu ajutorul matricei de incidență și a matricei ciclurilor, construite pentru graful asociat acesteea.

Pentru o rețea inelară cu topologie simplă se poate stabili relația (4.49) între numărul de tronsoane T , noduri N și inele închise independente (conținând eventual și pompe integrate pe artere) M , iar în cazul topologiei complexe cu rezervoare și pompe în noduri, la numărul de inele închise dat de relația (4.49) se mai adaugă $N_{RP}-1$ inele deschise (fictive), astfel încât numărul total de inele independente se determină cu relația:

$$M = T - N + N_{RP} \quad (5.7)$$

în care N_{RP} este numărul total al rezervoarelor și pompelor din noduri.

Prin *calculul hidraulic* al rețelelor de distribuție se urmărește determinarea diametrelor, debitelor și pierderilor de presiune pe tronsoane, astfel încât să se asigure în toate punctele de consum debitele necesare și presiunea de serviciu.

La calculul hidraulic al unei rețele de distribuție trebuie să se respecte legile de mișcare a apei de-a lungul tuturor conductelor, exprimate prin condițiile:

- continuitatea debitului în noduri:

$$f_j = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N Q_{ij} + q_j = 0 \quad (j = 1, \dots, N - N_{RP}) \quad (5.8)$$

în care: f_j este debitul rezidual (neînchiderea) din nodul j ; Q_{ij} - debitul de tranzit al tronsonului ij , cu semnul (+) când intră în nodul j , respectiv (-) când iese din nodul j ; q_j - debitul concentrat al nodului j , cu semnul (+) când alimentează nodul și cu semnul (-) când se consumă în nod.

- conservarea energiei pe inele:

$$\Delta h_m = \sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^T \varepsilon_{ij} h_{ij} - f_m = 0 \quad (m = 1, \dots, M) \quad (5.9)$$

în care: Δh_m este pierderea de sarcină reziduală (divergența) din inelul m ; h_{ij} - pierderea longitudinală de sarcină pe tronsonul ij ; ε_{ij} - orientarea tronsonului ij cu valoarea (+1) sau (-1), după cum sensul de curgere al apei în conductă ij este același sau opus cu sensul de parcurs al inelului m și valoarea (0) dacă $ij \notin m$; f_m - sarcina piezometrică introdusă de elemente potențiale în inelul m , dată de relațiile:

• inele închise simple:

$$f_m = 0 \quad (5.10)$$

• inele închise conținând pompe integrate pe artere:

$$f_m = \sum_{\substack{ij \in m \\ ij=1}}^T \varepsilon_{ij} H_{p,ij} \quad (5.11)$$

• inele deschise cu pompe și/sau rezervoare în noduri:

$$f_m = Z_I - Z_E \quad (5.12)$$

unde: $H_{p,ij}$ este înălțimea de refulare a pompei integrate pe artera ij , la debitul Q_{ij} ; Z_I , Z_E - cotele piezometrice la instalațiile de punere sub presiune de la intrare, respectiv ieșire din ciclu.

În cazul particular al rețelelor ramificate ($M=0$, $T=N-1$) numărul ecuațiilor de nod egal cu $N-1$ este suficient pentru determinarea debitelor ca necunoscute.

Atât la dimensionarea cât și la verificarea funcționării rețelelor de distribuție, calculul hidraulic este de cea mai mare însemnatate, implicând în ambele cazuri echilibrarea debitelor în rețelele de tip inelar.

Relațiile (5.8) și (5.9) constituie modelul matematic pe baza căruia s-au elaborat mai multe metode de echilibrare hidraulică a rețelelor inelare, în cadrul cărora se folosesc diverse procedee de rezolvare a sistemului de ecuații neliniare formulat, în funcție de mărimile hidraulice adoptate ca necunoscute.

Indiferent de metoda utilizată, se dispune de un număr T de ecuații, dat de relația generală (5.7), care pot avea ca necunoscute debitele sau pierderile de sarcină pe tronsoane. În ambele cazuri intră implicit ca necunoscute și diametrele conductelor prin intermediul rezistențelor hidraulice ale acestora. Deci, se poate afirma că numărul total al necunoscutelor este $2T$, iar numărul ecuațiilor pentru aceeași rețea este T , apărând din punct de vedere matematic o problemă nedeterminată, cu gradul de nedeterminare egal cu numărul ciclomatic M al grafului topologic al rețelei.

Nedeterminarea se ridică, de obicei, alegându-se diametrele printr-un calcul de predimensionare. Astfel, la efectuarea calculului hidraulic al rețelelor inelare de distribuție a apei se poate spune că s-au conturat două probleme principale:

- *analiza rețelei*, avînd drept scop determinarea debitelor reale în conducte și verificarea cotelor piezometrice în noduri, considerînd ca date topologia rețelei, debitele concentrate în noduri și respectiv diametrele;

- *proiectarea (sinteza) rețelei*, presupunînd atît dimensionarea rețelei, care este necesar a se efectua după criteriile tehnice și economico-energetice bine fundamentate (proiectarea optimală), cît și verificarea hidraulică a acesteia.

5.3.2 Relația funcțională pierdere de sarcină-debit în conducte cu debit constant

La calculul hidraulic al conductelor rețelelor de distribuție a apei este necesar să se determine pierderile de energie care intervin în transportul apei, ce se manifestă în principal ca pierderi de presiune (de sarcină), dominante fiind cele longitudinale.

Potrivit prevederilor STAS-ului 1163-88, calculul pierderii de sarcină în conductele rețelelor exterioare de alimentare cu apă, în ipoteza consumului la noduri, se efectuează cu relația Darcy-Weisbach:

$$h_{ij} = \frac{8}{\pi^2 g} \lambda_{ij} \frac{L_{ij}}{D_{ij}^5} Q_{ij}^2 \quad (5.13)$$

în care: L_{ij} , D_{ij} , Q_{ij} , λ_{ij} sînt respectiv lungimea, diametrul, debitul și coeficientul de rezistență hidraulică al tronsonului ij , ce este funcție de regimul de mișcare a apei în conductă; r - exponent cu valoarea 5,0; g - accelerația gravitațională.

Dintre relațiile generale de calcul a coeficientului λ , cu valabilitate extinsă asupra întregului regim turbulent, se recomandă relația Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3,71 D} \right) \quad (5.14)$$

unde: Re este numărul Reynolds; D - diametrul conductei; Δ - rugozitatea absolută a peretelui conductelor, care potrivit STAS-ului 4163-88 are valorile din tabelul 5.1.

În scopul realizării unei economii la timpul afectat calculatorului, se recomandă pentru calculul coeficientului λ în domeniul turbulenței tranzitorii (cînd criteriul Moody $Re \sqrt{\lambda} \Delta/D$ are valori între 14 și 200) expresia explicită [8]:

$$\sqrt{\lambda} = \frac{A + \sqrt{A^2 + 16 \sqrt{\lambda_p} Re \Delta / D}}{2 Re \Delta / D} \quad (5.15)$$

în care:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_p}} = -2 \lg \frac{\Delta}{D} + 1,138 \quad (5.16)$$

$$A = \operatorname{Re} \frac{\Delta}{D} \sqrt{\lambda_p} + 8 \sqrt{\lambda_p} - 4 \quad (5.17)$$

unde λ_p este coeficientul de rezistență hidraulică corespunzător regimului turbulent pătratic de curgere a apei.

Relația (5.13) este incomodă de utilizat pentru calculul unei rețele de conducte și de aceea este convenabil a se pune sub o formă asemănătoare cu cea pentru cazul curgerii apei în regim pătratic de tip Chézy-Manning, folosită încă frecvent în tehnică.

Așa cum reiese din reprezentarea grafică dată de diagrama lui Moody, relația Colebrook-White poate fi aproximată pe intervale mari de debit cu o variație liniară pentru diverse valori ale raportului Δ/D . Pornind de la această observație [100], coeficientul de rezistență λ_{ij} se exprimă sub forma:

$$\lambda_{ij} = \lambda_* \cdot Q_{ij}^{-\mu} \quad (5.18)$$

în care λ_* și μ sînt constante pentru intervalul de variație a debitelor tranzitate în conductele rețelei și Δ/D_{ij} constant.

Alegînd două debite Q_1 și Q_2 , respectiv valorile Re_1 și Re_2 ale numărului Reynolds, care limitează domeniul de variație a debitelor pe tronsoane, se calculează coeficienții λ_1 și λ_2 corespunzători cu relația explicită (5.15).

Logaritmînd relația (5.18) scrisă pentru cele două debite se obține un sistem de două ecuații cu necunoscutele λ_* și μ , a cărui rezolvare conduce la expresiile:

$$\mu = \frac{\lg \lambda_2 - \lg \lambda_1}{\lg Q_1 - \lg Q_2} = \frac{\lg \lambda_2 - \lg \lambda_1}{\lg Re_1 - \lg Re_2} \quad (5.19)$$

$$\lambda_* = \lambda_1 Q_1^\mu = \lambda_1 \left(\frac{\pi}{4} \nu D_{ij} \right)^\mu Re_1^\mu \quad (5.20)$$

în care ν este vîscozitatea cinematică a apei.

Introducînd în relația (5.13) expresia (5.18) a coeficientului λ_{ij} , se exprimă pierderea de sarcină prin relația de forma generală:

$$h_{ij} = \frac{8\lambda_*}{\pi^2 g} \frac{L_{ij}}{D_{ij}^r} Q_{ij}^\beta = S_{ij} Q_{ij}^\beta = S_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} \quad (5.21)$$

unde:

$$S_{ij} = k \frac{L_{ij}}{D_{ij}^r} \quad (5.22)$$

$$k = \frac{8\lambda_*}{\pi^2 g} \quad (5.23)$$

$$\beta = 2 - \mu \quad (5.24)$$

în care S_{ij} este modulul de rezistență hidraulică al tronsonului ij .

Se observă că practic, relația de tip Chézy-Manning poate fi obținută prin particularizarea relației (5.21) pentru: $\beta=2$; $r=5,33$; $\lambda_* = k(\pi^2 g/8)$; $k=10,33n^2$, unde k este coeficientul ce caracterizează rugozitatea n a conductelor, avînd valorile din tabelul 5.1.

Admițînd viteza medie a apei de 0,5...1,5 m/s, s-a elaborat pe baza relațiilor (5.15), (5.19), (5.20), (5.24) programul ordinator PARELF, cu ajutorul căruia s-a calculat variația parametrilor λ_* și β pentru conducte din diferite materiale și temperaturi ale apei de 10 °C (sursă subterană) și 20 °C (sursă de suprafață), ce s-a reprezentat grafic în diagramele din figura 5.3.

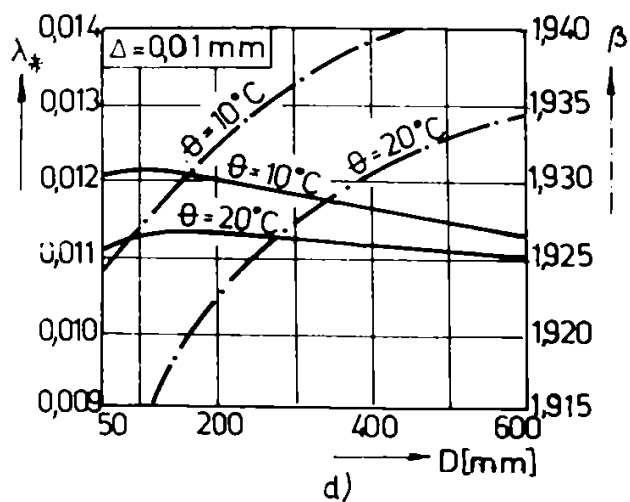
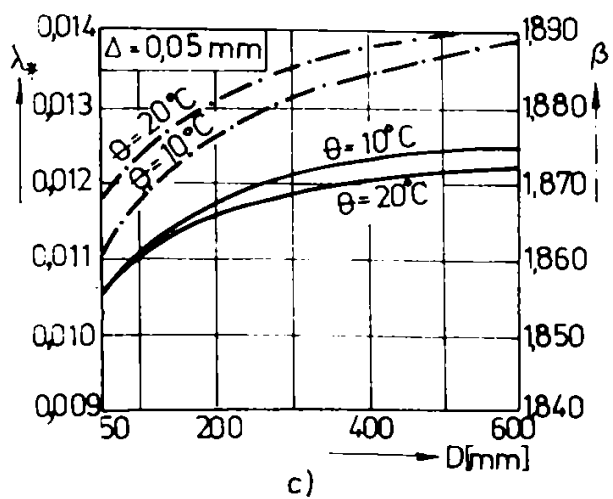
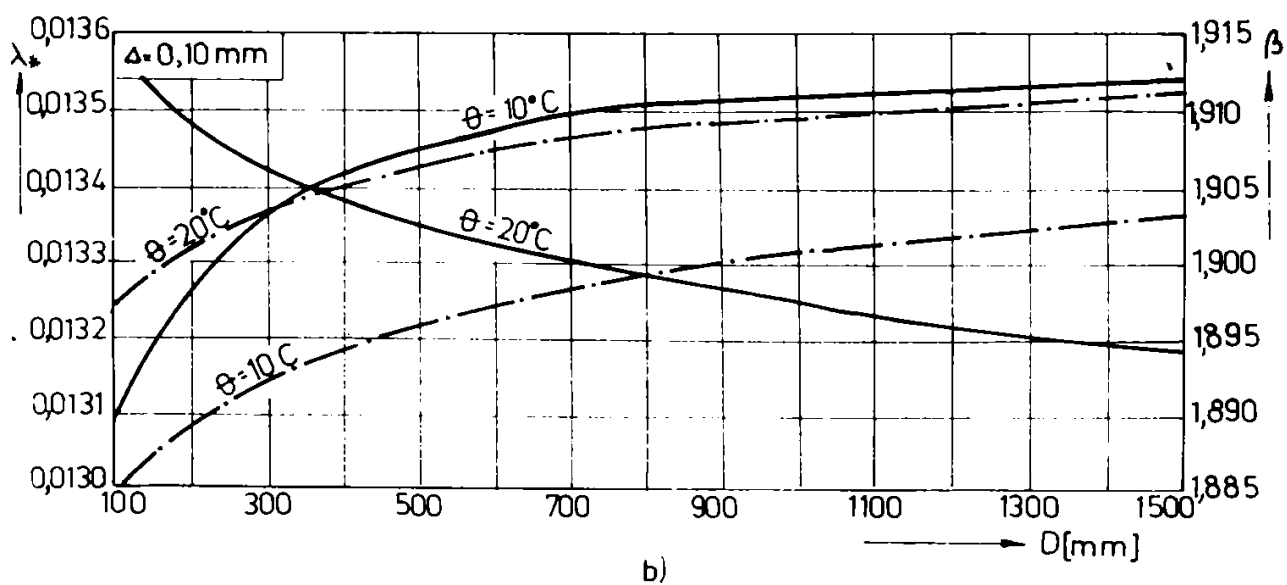
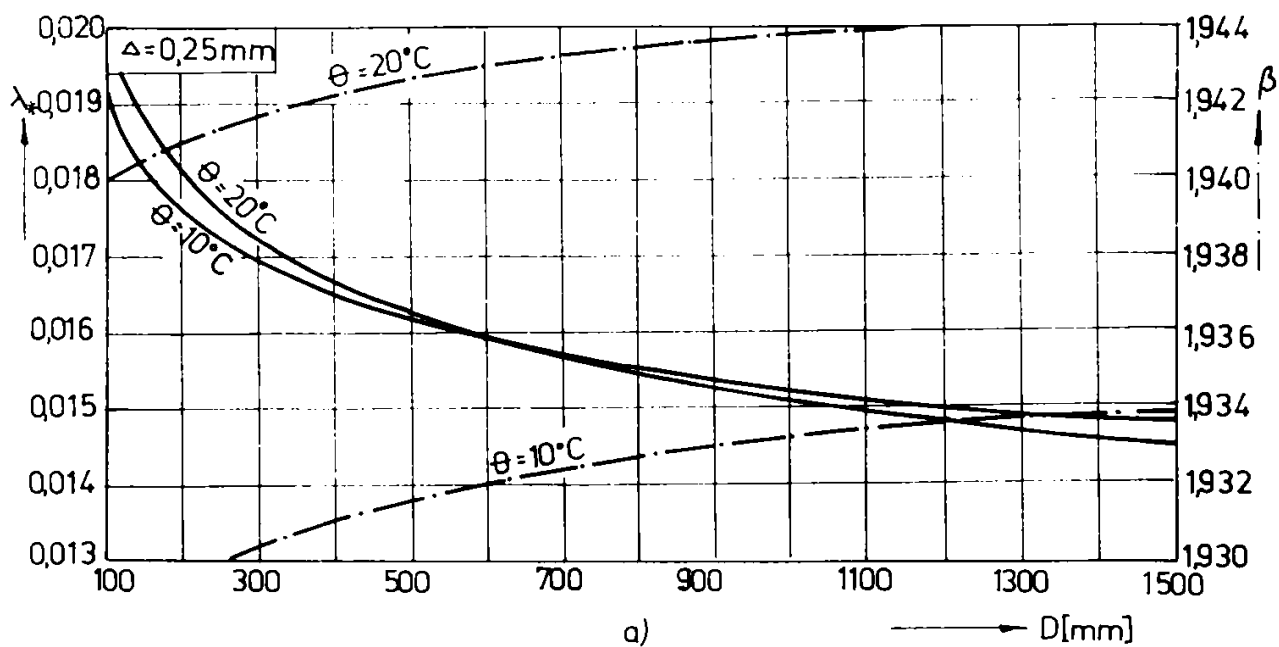


Fig. 5.3 Diagrame de variație a parametrilor λ_* și β
 a - beton armat și fontă; b - oțel; c - azbociment; d - PVC

5.3.3 Generalizarea relației funcționale pentru conducte cu consum continuu uniform distribuit

Pentru stabilirea mai precisă a pierderilor de energie în sistemul de distribuție a apei și implicit a parametrilor stațiilor de pompare se impune perfecționarea modelelor de calcul a rețelelor de distribuție, luând în considerare conductele cu debit variabil funcționând în domeniul turbulenței tranzitorii.

Pentru evaluarea energiei disipate în conducte cu debit variabil, în studii de specialitate de dată relativ recentă [50] s-a ajuns la o relație de calcul complexă, care ia în considerare efectele hidrodinamice complete inclusiv cele secundare de ramificație din zonele prizelor de consum.

Prin particularizarea acestei relații la cazul conductelor cu debit de consum continuu și uniform distribuit, expresia pierderii de sarcină între capetele extreme ale conductei primește forma:

$$h_i^* = S_{ij} Q_i^2 - Q_i Q_c - \frac{Q_i^2}{3} - \frac{8\alpha_o Q_i}{\pi^2 g D_{ij}^4} (2Q_o - Q_c) \quad (5.25)$$

în care D_{ij} , S_{ij} sînt diametrul și modulul de rezistență hidraulică al conductei ij ; Q_o - debitul conductei introdus în secțiunea inițială; Q_c - debitul consumat la prizele de pe conducta ij ; α_o - coeficientul de neuniformitate a distribuției vitezei în secțiunea conductei.

Termenul al doilea al relației (5.25) reprezintă pierderea de energie inerțială datorită variației longitudinale a debitului conductei și determină diminuarea pierderii totale de sarcină.

Pentru a putea considera debitul constant în conductele rețelei la calculul hidraulic al acestora, se face echivalarea unei conducte cu debit de consum continuu uniform distribuit printr-o conductă simplă cu consum egal repartizat la noduri, în ceea ce privește pierderea de presiune:

$$h_i^* = S_{e,ij} \left(Q_i - \frac{Q_i}{2} \right)^2 = S_{e,ij} Q_i^2 \quad (5.26)$$

în care $S_{e,ij}$ este modulul de rezistență echivalent al tronsonului ij ; Q_{ij} - debitul de calcul al tronsonului ij .

Din egalizarea relațiilor (5.25) și (5.26), după calcule elementare, rezultă expresia modulară de rezistență echivalent:

$$S_{e,ij} = S_{ij} \frac{\frac{1}{3} \theta_{ij}^2 - (1 - \omega_{ij}) \theta_{ij} + 1 - 2\omega_{ij}}{\left(1 - \frac{\theta_{ij}}{2}\right)^2} \quad (5.27)$$

în care s-au înlocuit următorii parametri adimensionali caracteristici:

$$\text{- coeficientul: } \theta_{ij} = \frac{Q_c}{Q_i} \quad (5.28)$$

$$\text{- coeficientul: } \omega_{ij} = \frac{\alpha_o D_{ij}}{\lambda_{ij} L_{ij}} \quad (5.29)$$

introducînd expresia (5.27) în relația (5.26) și folosind notațiile:

$$\phi_{ij} = \frac{4\theta_{ij}^2 - 3\theta_{ij} + 3}{3(2 - \theta_{ij}^2)} \quad (5.30) \quad \Omega_{ij} = \frac{4\alpha_o D_{ij}}{\lambda_{ij}(2 - \theta_{ij})} \quad (5.31)$$

relația pierderii de sarcină în conducte cu debit de consum continuu și uniform distribuit devine:

$$h_{ij}^* = h_{ij} \left(\Theta_{ij} - \frac{\Omega_{ij}}{L_{ij}} \right) \quad (5.32)$$

în care: h_{ij} este pierderea de sarcină pe tronsonul ij în ipoteza consumului la noduri, dată de relația (5.13) sau (5.21); L_{ij} - lungimea tronsonului ij .

Pentru $\Theta_{ij}=1$ și $\Omega_{ij}=0$, relația generalizată (5.32) primește formele particulare (5.13) sau (5.21), valabile pentru conducte cu debit constant.

5.3.4 Procedee de transformare a grafului asociat rețelelor inelare

În scopul ușurării și accelerării calculului rețelelor inelare, unele modele moderne de calcul hidraulic și tehnico-economic prevăd diferite transformări teoretice ale acestor rețele.

5.3.4.1 Transformarea rețelelor inelare în rețele virtual ramificate

Transformarea unei rețele inelare într-o rețea ramificată, poate avea drept scop alegerea cu ușurință a sistemului de inele teoretice independente și determinarea repartiției inițiale a debitelor de tranzit pe tronsoane cu ajutorul calculatoarelor electronice, putându-se realiza prin:

- efectuarea unui număr f de secțiuni fictive a nodurilor, dat de relația:

$$f = M + s - 1 \quad (5.33)$$

în care: M este numărul inelelor independente; s - numărul surselor de alimentare;

- suprimarea din fiecare inel a unor tronsoane care îl închid. Se recomandă înlăturarea conductelor transversale ale rețelei și nu a arterelor, pentru ca tranzitul debitelor să nu sufere modificări esențiale;

- determinarea, cu ajutorul unor modele de optimizare, a unui graf parțial de valoare optimă care include toate nodurile rețelei inelare.

După ce se calculează repartiția debitelor de tranzit pe tronsoanele rețelei virtual ramificate recursiv, pornind de la nodurile extreme ale acestora, se revine asupra rețelei inelare considerate și se efectuează verificarea închiderii liniilor de presiune pe inele în vederea reducerii divergenței sub limita cerută de actele normative.

5.3.4.2 Elaborarea rețelelor inelare echivalente

Procedeele rețelelor echivalente se aplică rețelelor inelare cu un număr foarte mare de inele, când calculul devine foarte laborios și complicat, creînd probleme chiar și în cazul utilizării calculatoarelor electronice.

Acest procedeu constă în transformarea unei rețele de distribuție cu un număr mare de inele într-o rețea cu un număr redus de inele sau la o succesiune de conducte. Este util mai ales în calcule tehnico-economice, deoarece prezintă posibilitatea considerării a numeroase alternative de analiză și studiu.

Condiția care se pune în echivalența rețelelor este ca pe un traseu de mare importanță funcțională a rețelei, în punctele extreme rețeaua echivalentă să admită aceleași condiții de margine ca și rețeaua reală.

Studiul se face astfel pe o altă rețea inelară dar care admite aceleași pierderi de sarcină între nodurile extreme ale traseului, ca și rețeaua inelară reală.

Mărimile hidraulice care suferă modificări în procesul de echivalență sînt debitul Q_{ij} și modulul de rezistență S_{ij} .

Sistemul de n conducte în serie (fig. 5.4-a) cu consumatori în fiecare nod și cu modulii de rezistență S_j și debitele de tranzit Q_j , este echivalent cu o conductă simplă avînd modulul de rezistență S_e și debitul de tranzit Q_e , date de relațiile:

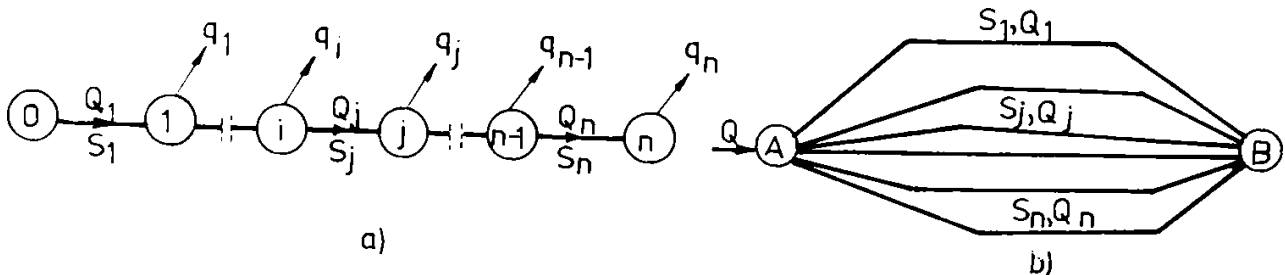


Fig. 5.4 Sisteme de conducte
a - serie; b - paralel

$$S_e = \sum_{j=1}^n S_j \quad (5.34)$$

$$Q_e = \frac{Q_1 + Q_n}{2} \quad (5.35)$$

iar pierderea de sarcină se calculează cu relația:

$$h_{om} = S_e Q_e^\beta \quad (5.36)$$

În cazul unui sistem de n conducte în paralel (fig. 5.4-b) se poate scrie:

$$h_{AB} = S_1 Q_1^\beta = S_2 Q_2^\beta = \dots = S_n Q_n^\beta \quad (5.37)$$

Se observă că debitul echivalent este dat de relația:

$$Q_e = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = \sum_{j=1}^n Q_j \quad (5.38)$$

Din (5.37) prin ridicare la puterea $1/\beta$ rezultă:

$$Q_1 S_1^{1/\beta} = Q_2 S_2^{1/\beta} = \dots = Q_n S_n^{1/\beta} = Q_e S_e^{1/\beta} \quad (5.39)$$

și dacă se explicitează din relațiile (5.39) debitele Q_1, \dots, Q_n în funcție de Q_e și se introduc în relația (5.38) se obține expresia modulului de rezistență echivalent:

$$\frac{1}{S_e^{1/\beta}} = \frac{1}{S_1^{1/\beta}} + \frac{1}{S_2^{1/\beta}} + \dots + \frac{1}{S_n^{1/\beta}} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{S_j^{1/\beta}} \quad (5.40)$$

Echivalența inelelor în paralel se rezolvă prin generalizarea procedurii de echivalență a conductelor, iar pentru echivalența inelelor în serie, procedeele menționate pentru conducte trebuie combinate.

Transformarea succesivă a grupurilor de inele în paralel și în serie duce la echivalența întregii rețele inelare.

Elaborarea rețelei echivalente se recomandă în cazul rețelelor inelare în care are loc o circulație mare a debitelor în conductele transversale.

5.3.5 Criterii de optimizare a dimensionării rețelelor de distribuție a apei

Calculul de optimizare a diametrelor pentru conductele rețelelor de distribuție a apei presupune stabilirea unei funcții obiectiv, mono sau multicriteriale, care prezintă prioritate din

punct de vedere economico-energetic în etapa respectivă. Se pot folosi *criterii de cost* sau *energetice*, simple ori compuse, care țin seama de investiția necesară realizării rețelei, costul energiei de pompare, cheltuielile de exploatare, energia înglobată, energia consumată, etc.

Astfel, dacă se consideră ca funcție obiectiv, o funcție dependentă de mărimea investițiilor C_c , valoarea ei crește o dată cu mărirea diametrului D al conductelor, iar dacă se alege ca funcție obiectiv o funcție dependentă de costul energiei necesare pomparei C_e , valoarea funcției scade cu creșterea diametrelor (fig. 5.5). Considerînd funcția bicriterială F_c dependentă atât de mărimea investițiilor cît și de costul energiei de pompare, soluția optimă corespunde minimului acestei funcții, obținută prin compunerea grafică a celor două costuri componente.

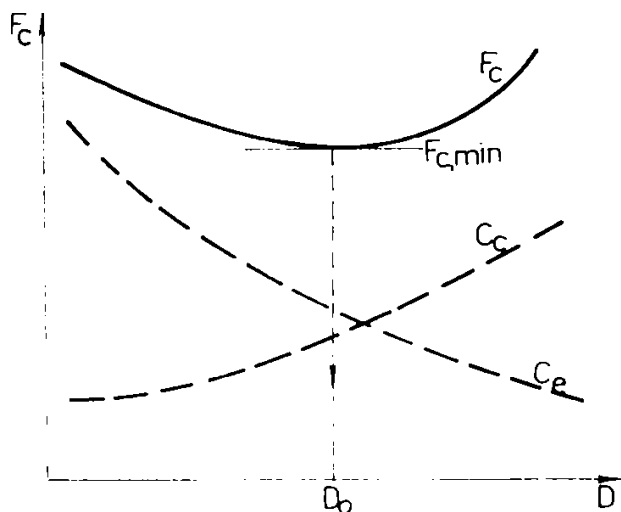


Fig. 5.5 Reprezentarea funcției obiectiv bicriteriale la o conductă alimentată prin pompare lungimea tronsonului ij .

Investiția în stația de pompare C_p , proporțională cu puterea instalată, are forma:

$$C_p = \frac{9,81}{\eta} f \sigma Q_p (\sum h_{ij} + H_0) \quad (5.42)$$

în care: η este randamentul global al instalației de pompare; f - costul de instalare a unității de putere; σ - factor supraunitar ce ține seama de rezerva de putere instalată; Q_p - debitul pompat în rețea prin stație; $\sum h_{ij}$ - suma pierderilor de sarcină pe un traseu defavorabil, plecînd de la stația de pompare spre punctul obligat; H_0 - componenta geodezică și de utilizare a înălțimii de pompare.

Costul anual al energiei de pompare C_e , se definește prin expresia:

$$C_e = W_e e = \frac{9,81}{\eta} 730 e \tau \sum_1^{12} \Phi_k Q_p (\sum h_{ij} + H_0) \quad (5.43)$$

unde: W_e este energia consumată pentru pomparea apei; e - tariful energiei electrice; $\tau = T_p/8760$ - coeficientul pomparei, ce ține seama de numărul efectiv de ore T_p de pompare pe perioada unui an; Φ_k - raportul între debitul lunar mediu și debitul pompat, cu valoarea 1 pentru întreprinderi

industriale la care se livrează un debit constant pe tot parcursul anului, corespunzînd $\sum_1^{12} \Phi_k = 12$, iar pentru centre populate se poate opera cu un șir de 12 valori din [153], căruiia îi corespunde

$$\sum_1^{12} \Phi_k = 10,44.$$

Cheltuielile anuale de exploatare C_{ex} , se exprimă sub forma:

În etapa actuală aceste criterii prezintă o mare importanță deoarece pe de o parte reducerea investiției înseamnă și diminuarea cantității de materiale pe ansamblul rețelei, iar pe de altă parte scăderea costului energiei de pompare înseamnă și micșorarea consumului energetic, care constituie o problemă majoră pe scară mondială.

Investiția necesară pentru o rețea C_c , se obține prin însumarea investițiilor necesare fiecărei conducte componente, cu relația:

$$C_c = \sum_{ij=1}^T (a + b D_{ij}^\alpha) L_{ij} \quad (5.41)$$

în care: T este numărul tronsoanelor de conducte din rețea; a , b , α - parametrii de cost, cu valorile din tabelul 5.1; D_{ij} , L_{ij} - diametrul și

$$C_{\text{ox}} = p_1 C_c + p_2 C_p + C_e \quad (5.44)$$

în care p_1 și p_2 sînt cotele de reparații, întreținere și revizii periodice pentru conductele rețelei, respectiv pentru stația de pompare.

Cheltuielile anuale de investiție și exploatare C_{an} , se definesc cu ajutorul funcției multicriteriale:

$$C_{\text{an}} = \beta_o (C_c + C_p) + C_{\text{ox}} \quad (5.45)$$

în care $\beta_o = 1/T_r$ este cota de amortizare pentru durata de exploatare T_r .

Cheltuielile totale actualizate C_{ac} , se exprimă prin funcția multicriterială:

$$C_{\text{ac}} = C_c + C_p + \frac{(1 + \beta_o)^t - 1}{\beta_o (1 + \beta_o)^t} C_{\text{ox}} \quad (5.46)$$

și se consideră pe toată durata de exploatare ($t = T_r$).

Energia înglobată în rețea W_c , se definește cu ajutorul funcției obiectiv binomiale de forma (5.41), în care parametrii a , b , α au valorile corespunzătoare din tabelul 5.1.

Consumul energetic al rețelei W_t , însumează energia înglobată în rețea și cea cheltuită pentru exploatarea rețelei, corespunzător perioadei de un an și se exprimă cu relația:

$$W_t = (\beta_o + p_1) W_c + W_e \quad (5.47)$$

în care: W_c este energia înglobată în rețea; W_e - energia consumată pentru pomparea apei, avînd expresia dedusă din (5.43).

Consumul specific de energie pentru distribuția apei în rețea w_{sd} , în kWh/m³, se obține raportînd puterea hidraulică disipată pe artere la suma debitelor de consum din noduri:

$$w_{\text{sd}} = 0,00272 \frac{\sum_{ij=1}^T S_{ij} |Q_{ij}|^{\beta+1}}{\sum_{\substack{j=1 \\ q < 0}}^N |q_j|} \quad (5.48)$$

în care: Q_{ij} , S_{ij} sînt debitul și modulul de rezistență hidraulică al tronsonului ij ; q_j - debitul consumat în nodul j .

Ținînd seama de relațiile (5.41)...(5.47) și făcînd notațiile:

$$r_a = \frac{(1 + \beta_o)^t - 1}{\beta_o (1 + \beta_o)^t} \quad (5.49)$$

$$\xi_1 = r_a p_1 + \frac{t}{T_r} ; \quad \xi_2 = r_a p_2 + \frac{t}{T_r} \quad (5.50)$$

$$\psi = \frac{9,81}{\eta} (f \sigma \xi_2 + 730 r_a e \tau \sum_1^{12} \Phi_k) \quad (5.51)$$

se stabilește o funcție obiectiv complexă multicriterială de forma generală:

$$F_c = \xi_1 \sum_{ij=1}^T (a + b D_{ij}^a) L_{ij} + \psi \sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} (\sum h_{ij} + H_o)_j \quad (5.52)$$

unde: t este durata pentru care se aplică criteriul de optimizare exprimat prin funcția obiectiv, avînd valoarea 1 sau T_r ; NP - numărul stațiilor de pompare.

Funcția obiectiv (5.52) dă posibilitatea ca prin particularizarea parametrului de timp t și a celorlalți parametri economici și energetici caracteristici sistemului de distribuție să se obțină câte o funcție criterială particulară avînd una din formele (5.41)...(5.47). De exemplu, pentru $t=1$, $r_a=1$, $e=1$, $f=0$ se obține criteriul consumului energetic minim al rețelei.

Avînd în vedere că diametrele conductelor unei rețele pot lua valori în gama diametrelor succesive variînd între 20 și 30 %, se pot adopta valori medii pentru anumiți parametri cu variații în limite cunoscute.

Pentru rețelele alimentate prin pompare, literatura de specialitate [1], [105], [153], [238], [240] recomandă folosirea *criteriului cheltuielilor anuale de investiție și exploatare minime (CAN)*, existînd și unele modele de calcul optimal avînd la bază acest criteriu, dar care nu se aplică în mod curent în practică. Explicarea cea mai probabilă a neutilizării lor provine de la majorarea diametrelor față de cele obținute prin metoda clasică, ceea ce înseamnă un efort inițial de investiție superior, mai palpabil decît o economie în exploatare realizabilă numai pe întreaga durată de recuperare. La aceasta se mai adaugă faptul că și costurile de exploatare se eșalonează în timp și se suportă mai ușor, chiar dacă pe total sînt mai mari, decît în cazul diametrelor optime.

Se poate totuși aduce o critică și utilizării criteriului CAN prin aceea că adoptînd la realizarea investiției diametrele optime obținute pe baza acestui criteriu, ele devin neeconomice la un moment dat după execuție datorită evoluției prețurilor în timp.

De aceea este recomandabilă dinamizarea criteriului CAN folosind *criteriul cheltuielilor totale actualizate minime (CTA)*, primul reprezentînd de fapt un caz particular al celui de-al doilea atunci cînd investiția se realizează într-un an, cheltuielile de exploatare sînt aceleași de la an la an, iar durata de viață a sistemului de distribuție este mare.

De asemenea, se propune utilizarea unor criterii diferite de cele de cost, cum sînt cele energetice. În acest sens, un alt mod de a pune problema, care-și păstrează mai bine valabilitatea în timp și conduce la omogenizarea funcției criteriale este dimensionarea rețelei pe *criteriul minimului sumei dintre energia înglobată și cea cheltuită pentru exploatare (WT)*.

În cazul rețelelor cu funcționare gravitațională, curgerea apei este asigurată de energia potențială inițială, acumulată în rezervoare de înmagazinare, iar dimensionarea optimală a acestora se efectuează pe baza *criteriului investiției minime* sau al *energiei înglobate minime*, și a unor condiții suplimentare pentru a nu se ajunge la o funcție monotonă.

5.4 Analiza rețelelor inelare de distribuție a apei [186], [209], [215]

5.4.1 Generalități

Formularea unor modele matematice adecvate, care să permită determinarea circulației debitelor și distribuției presiunilor în rețele cu o structură complexă este esențială atît pentru rezolvarea corectă și eficientă a etapei de proiectare, cît și pentru analiza rețelei în diferite regimuri de exploatare, normale sau de avarie.

Această problemă apare în particular la proiectarea extinderilor sau reconsiderarea unor rețele în vederea optimizării funcționale.

În literatura de specialitate, s-au conturat pentru analiza repartiției debitelor și a stării de presiune în rețele inelare de distribuție a apei, în funcție de mărimile hidraulice adoptate ca necunoscute, trei categorii de metode: cea care consideră debitele de corecție pe inele (*metoda*

ciclurilor), cea care consideră cotele piezometrice în noduri (*metoda nodurilor*) și cea care consideră debitele pe tronsoane (*metoda tronsoanelor*) drept necunoscute.

Atît în metoda ciclurilor cît și în metoda nodurilor se folosesc pentru rezolvarea sistemului de ecuații neliniare caracteristice acestora, procedee iterative ca Lobacev, Cross, Newton-Raphson, iar în metoda tronsoanelor se aplică procedeul iterativ de liniarizare a ecuațiilor de inel. Procedeele Lobacev și Cross efectuează corecția fiecărui inel sau nod în parte, pe cînd procedeul Newton-Raphson efectuează corecția simultană la toate inelele sau nodurile.

Autorul arată posibilitatea abordării diferite a acestei probleme, folosind pentru analiza ciclică și nodală procedeul formulărilor variaționale, care prezintă avantajul aplicării unui algoritm de optimizare specializat pentru a minimiza direct o funcție criterială multivariabilă fără restricții.

5.4.2 Metoda ciclurilor

Această metodă se folosește, îndeosebi, pentru analiza rețelelor care utilizează ca necunoscute debitele pe tronsoane.

5.4.2.1 Principiile metodei

Sistemul neliniar compus din $N-N_{RP}$ ecuații independente de tipul (5.8) și T ecuații de tipul (5.21) pentru determinarea celor T debite de tranzit în conducte și $N-N_{RP}$ cote piezometrice în nodurile rețelei, se reduce la sistemul de ecuații neliniare (5.9) cu dimensiunea M egală cu numărul inelelor independente, care se poate rezolva pe baza a două principii diferite, comportînd următoarele etape:

- fixarea unui sens inițial de mișcare a apei pe fiecare tronson;
- stabilirea unei convenții de semn pentru mărimile hidraulice proprii fiecărui tronson (debit, pierdere de sarcină), potrivit căruia sînt considerate ca pozitive debitele ce parcurg inelul în sens orar și ca negative debitele de sens invers;

- determinarea unei repartii inițiale a debitelor de tranzit pe tronsoane $Q_{ij}^{(0)}$ care să verifice condițiile (5.8) de bilanț al debitelor în noduri;

- aplicarea unuia din principiile metodei ciclurilor și anume principiul egalizării debitelor sau principiul egalizării presiunilor.

Principiul egalizării debitelor aparține lui Abramov [2] și este indicat în cazul în care se cunosc presiunile în nodurile de consum. Conform acestuia se calculează divergența pierderilor de sarcină Δh_m în fiecare inel m și se efectuează redistribuirea pierderilor de presiune în conductele fiecărui inel, astfel încît în toate inelele să fie satisfăcută condiția (5.9) de conservare a energiei, după care se calculează debitele cu relația funcțională (5.21).

Principiul egalizării presiunilor este cel mai frecvent utilizat și constă în calculul divergenței de sarcină Δh_m în fiecare inel m și introducerea unor corecții de debit astfel încît să fie satisfăcute condițiile (5.9) de conservare a energiei pe inele.

Astfel, asociind fiecărui inel m un debit de corecție ΔQ_m și alegînd o repartie inițială de debite pe tronsoane $Q_{ij}^{(0)}$, care trebuie însă să respecte condițiile (5.8) se poate scrie:

$$Q_{ij} = Q_{ij}^{(0)} + \sum_{m=1}^M \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \quad (ij = 1, \dots, T) \quad (5.53)$$

iar sistemul (5.8), (5.9), cu ecuația (5.9) explicitată ținând seama de (5.21), se reduce pentru inele simple ($f_m = 0$) la sistemul:

$$\sum_{(m)} \varepsilon_{ij} S_{ij} (Q_{ij}^{(0)} + \sum_{\substack{j \in m \\ m=1}}^M \varepsilon_{ij} \Delta Q_m) \left| Q_{ij}^{(0)} + \sum_{\substack{j \in m \\ m=1}}^M \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \right|^{\beta-1} = 0 \quad (m = 1, \dots, M) \quad (5.54)$$

în care orientarea ε_{ij} a tronsonului ij este dată de relația:

$$\varepsilon_{ij} = \begin{cases} +1, & \text{dacă sens } ij \equiv \text{sens } m \\ 0, & \text{dacă } ij \notin m \\ -1, & \text{dacă sens } ij \neq \text{sens } m \end{cases} \quad (5.55)$$

5.4.2.2 Procedul iterațiilor simple (*Lobacev*)

Acest procedeu a fost propus de Lobacev în anul 1934 și separat de Cross în anul 1936 [44], [126] și constă în principal în rezolvarea sistemului de ecuații de tipul (5.54) prin aproximații succesive, unde necunoscutele sînt corecțiile de debite pe inele.

În ipoteza regimului turbulent tranzitoriu de curgere a apei, pierderea de presiune reziduală în fiecare inel simplu m , se calculează cu relația:

$$\Delta h_m = \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} S_{ij} Q_{ij} \left| Q_{ij} \right|^{\beta-1} \quad (5.56)$$

iar debitele de corecție se determină separat pentru fiecare inel cu formula de aproximare liniară:

$$\Delta Q_m = -\frac{\Delta h_m}{SR_m} = -\frac{\Delta h_m}{\beta \sum_{(m)} S_{ij} \left| Q_{ij} \right|^{\beta-1}} \quad (5.57)$$

în care SR_m reprezintă suma rigidităților tronsoanelor ij ce alcătuiesc inelul m .

Pornind de la o repartitie inițială a debitelor $Q_{ij}^{(0)}$ care satisface condițiile (5.8), acestea se corectează folosind relația (5.53), pînă ce se obține o închidere cu eroare admisă.

De subliniat că debitele de corecție sînt approximate în acest caz, neglijîndu-se influența corecției din inele învecinate și corecția de debit la puteri mai mari decît 1 pentru inelul considerat.

5.4.2.3 Procedul iterațiilor cu transmițeri (*Hardy-Cross*)

Prin acest procedeu se determină corecția ciclică de debit într-un inel m cu mai multă precizie, luînd în considerare și influența corecției din inelele învecinate k , prin coeficienții de transmitere t_{k-m} , dați de relația:

$$t_{k-m} = \frac{(S_{ij} \left| Q_{ij} \right|^{\beta-1})_{k-m}}{\sum_{(m)} S_{ij} \left| Q_{ij} \right|^{\beta-1}} \quad (5.58)$$

care așa cum rezultă din această relație sînt întotdeauna pozitivi și subunitari.

Din condiția (5.54) de închidere a liniei de presiune pe inelul m , rezultă relația de calcul a corecției debitelor din inelul respectiv sub forma:

$$\Delta Q_m = \frac{\Delta h_m}{\beta \sum_{(m)} S_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1}} + \sum t_{k-m} \Delta Q_k \quad (5.59)$$

conducînd la un sistem de ecuații liniare, cu necunoscutele ΔQ_m ($m=1, \dots, M$), care se poate rezolva folosind metode numerice, cum ar fi algoritmul eliminării Gauss, sau după cunoscuta metoda Cross de transmitere a momentelor încovoietoare din statică.

Potrivit ultimei metode, pe o schemă de transmițeri, determinată de graful conjugat al rețelei inelare, se înscriu corecțiile de debit calculate la prima iterație a procedurii Lobacev, precum și coeficienții de transmitere t_{k-m} , t_{m-k} și se începe transmiterea valorilor cele mai mari, continuînd pînă cînd valorile transmise devin foarte mici.

Procedul iterațiilor cu transmițeri ține seamă mai fidel de sistemul de relații între inele, ceea ce conduce la o convergență mai rapidă decît a procedurii iterațiilor simple.

5.4.2.4 Adaptarea și perfecționarea procedurii clasice de analiză ciclică pentru rețelele inelare cu configurație complexă [209]

Avînd în vedere că metoda ciclurilor oferă o bună convergență și stabilitate numerică a procesului iterativ [5], [23], autorul a conceput în scopul determinării circulației debitelor și a distribuției presiunilor în rețelele inelare, un model de analiză bazat pe această metodă, utilizînd pentru rezolvarea ecuațiilor de inel o variantă îmbunătățită a procedurii clasice Lobacev, adaptat în mod corespunzător pentru rețele cu configurație complexă.

Se consideră în figura 5.6 schema unei rețele inelare, ce conține elemente potențiale interioare și exterioare (pompe integrate pe artere, rezervoare și pompe în noduri).

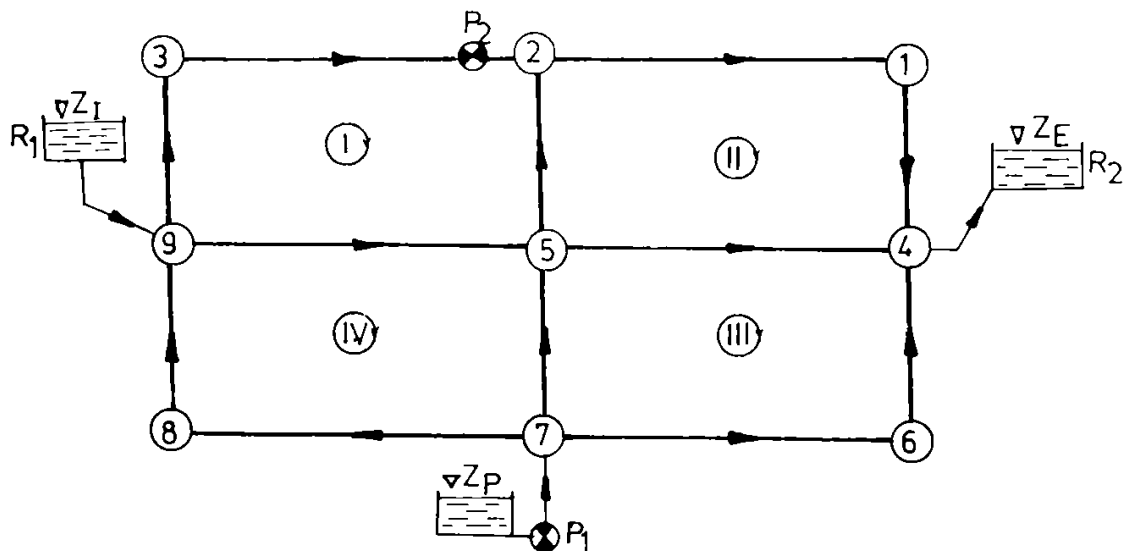


Fig. 5.6 Schema de principiu a unei rețele inelare complexe

Pentru a răspunde condițiilor tehnice create de acțiunea elementelor potențiale, în grafurile topologice ale rețelelor inelare trebuie introduse tranziții suplimentare, iar algoritmul de echilibrare trebuie adaptat în mod corespunzător.

În acest caz se mai adaugă pe lângă inelele efective închise, conținând eventual și pompe integrate pe artere, un număr de $N_{RP}-1$ inele fictive deschise, unde N_{RP} este numărul total al rezervoarelor și pompelor din noduri, rezultând un număr M de inele independente dat de relația (5.7).

Fiecare inel deschis leagă un nod cu cotă piezometrică cunoscută (rezervor) sau cu o relație între debit și nivelul piezometric determinată (stație de pompare) cu un alt nod cu cotă piezometrică cunoscută sau cu o relație între debit și nivel piezometric determinată.

Se prezintă în continuare modul în care se modifică relațiile modelului de echilibrare după procedeul Lobacev, în cazul rețelelor inelare cu topologie complexă:

a) relații pentru inele închise cu pompe integrate pe artere

Întrucât după procedeul Lobacev se neglijează influența mișcării apei în inelele învecinate, se consideră inelul închis singular din figura 5.7, de tipul inelului 9-3-2-5-9 ce aparține rețelei din figura 5.6, pentru care relația de calcul a divergenței în ipoteza regimului turbulent tranzitoriu va fi:

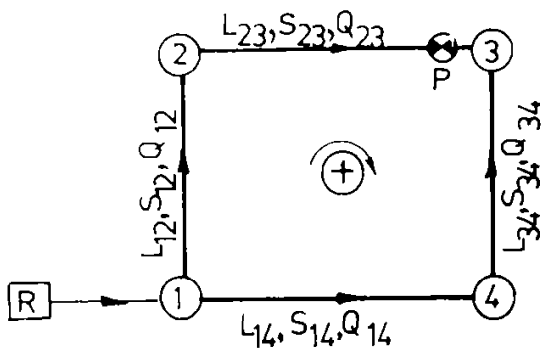


Fig. 5.7 Calculul divergenței pe un inel închis

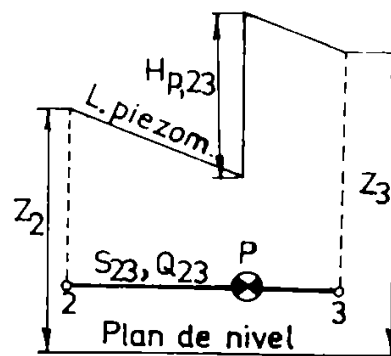


Fig. 5.8 Graficul piezometric în lungul unui tronson

$$\Delta h = S_{12} Q_{12}^\beta + S_{23} Q_{23}^\beta - S_{34} Q_{34}^\beta - S_{14} Q_{14}^\beta - H_{p,23} \quad (5.60)$$

unde s-a ținut seama că scriind ecuația lui Bernoulli în lungul tronsonului de conductă 2-3, definit de nodul amonte 2 și aval 3 (fig. 5.8) și conținând pompa intermediară P cu înălțimea de pompare $H_{p,23}$, rezultă că diferența $Z_2 - Z_3$ a cotelor piezometrice în cele două noduri este:

$$h_{23} = Z_2 - Z_3 = S_{23} Q_{23}^\beta - H_{p,23} \quad (5.61)$$

Prin generalizare, pentru un inel oarecare m relația (5.60) devine:

$$\Delta h_m = \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} S_{ij} Q_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} - \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} H_{p,ij} \quad (5.62)$$

în care: ε_{ij} este orientarea tronsonului ij , dată de relația (5.55); $H_{p,ij}$ - înălțimea de refulare a pompei integrate pe artera ij , la debitul Q_{ij} , aproximată prin interpolare parabolică pe caracteristica dată prin puncte, sub forma:

$$H_{p,ij} = A Q_{ij}^2 + B |Q_{ij}| + C \quad (5.63)$$

unde coeficienții A , B , C au fost determinați pentru mai multe tipuri de pompe și prezența în tabelul 5.2

Tabelul 5.2

**Coeficienții funcției de interpolare a înălțimii de pompare
la unele pompe centrifuge**

Nr. crt.	Tipul pompei	A	B	C
0	1	2	3	4
1	BRATEȘ-350	-88,82	24,82	13,74
2	BRATEȘ-500	-13,09	0,28	15,85
3	SIRET-400	-169,81	12,23	30,66
4	SIRET-900	-8,43	7,11	29,55
5	NDS-12	-183,96	39,03	62,40
6	NDS-18	-111,12	81,06	46,34
7	LOTRU-80	-27272,81	-649,35	51,22
8	LOTRU-100	-16256,09	-83,75	57,65
9	CERNA-125	-16656,61	1000,00	19,67
10	CERNA-200	-2608,72	387,17	17,53
11	CRÎȘ-125	-13000,04	200,00	19,70
12	CRÎȘ-200	-849,12	56,84	21,14

Pentru determinarea corecției ciclice în inelul m considerat, se pune condiția anulării divergenței Δh_m^* prin corecția de debit ΔQ_m , presupunând că $\Delta h_m < 0$ și ținând seama de (5.63):

$$\Delta h_m^*(Q_{ij} + \varepsilon_{ij} \Delta Q_m) = S_{12}(Q_{12} + \Delta Q_m)^\beta + S_{23}(Q_{23} + \Delta Q_m)^\beta - S_{34}(Q_{34} - \Delta Q_m)^\beta - S_{14}(Q_{14} - \Delta Q_m)^\beta - A(Q_{23} + \Delta Q_m)^2 - B(Q_{23} + \Delta Q_m) - C = 0 \quad (5.64)$$

Scriind formula de dezvoltare în serie Taylor a funcției (5.64), rezultă:

$$\Delta h_m^*(Q_{ij} + \varepsilon_{ij} \Delta Q_m) = \Delta h_m + \sum_{(m)} \frac{\partial \Delta h_m}{\partial Q_{ij}} (\varepsilon_{ij} \Delta Q_m) + \frac{1}{2} \sum_{(m)} \frac{\partial^2 \Delta h_m}{\partial Q_{ij}^2} (\varepsilon_{ij} \Delta Q_m)^2 + \dots = 0 \quad (5.65)$$

iar exemplificînd pentru cazul considerat în figura 5.7:

$$\Delta h_m^*(Q_{ij} + \varepsilon_{ij} \Delta Q_m) = \Delta h + [\beta (S_{12}Q_{12} + S_{23}Q_{23} + S_{34}Q_{34} + S_{14}Q_{14}) - (2AQ_{23} + B)]\Delta Q_m + f(\Delta Q_m^2, \Delta Q_m^3, \dots) = 0 \quad (5.66)$$

Făcînd notația:

$$SR_m = \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} \frac{\partial \Delta h_m}{\partial Q_{ij}} \quad (5.67)$$

și neglijînd infiniții mici de grad superior lui 1, din (5.65) se obține formula cunoscută în aproximația liniară pentru calculul corecțiilor ciclice, după procedeul iterațiilor simple:

$$\Delta Q_m = -\frac{\Delta h_m}{SR_m} \quad (5.68)$$

care prin explicitarea rigidității SR_m a inelului m cu ajutorul relației (5.66), ținînd seama de (5.62) și (5.63) primește forma generală:

$$\Delta Q_m = -\frac{\Delta h_m}{\beta \sum_{(m)} S_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} - \sum_{(m)} (2A|Q_{ij}| + B)} \quad (5.69)$$

În cazul cînd nu există pompe integrate pe artere, deci este vorba de un inel simplu, în relațiile (5.62) și (5.69) se ia $A=B=C=0$, regăsindu-se relațiile particulare (5.56) și respectiv (5.57).

b) relații pentru inele deschise cu rezervoare sau pompe în noduri

Inelele cu rezervoare sau pompe în noduri sînt cicluri deschise (închise fictiv, avînd la capete cîte o pompa sau rezervor) care introduc condiții suplimentare pentru determinarea debitelor în aceste noduri.

În figura 5.9 s-a reprezentat graficul piezometric pentru un astfel de inel deschis, care poate avea în nodul I de intrare în ciclu un rezervor sau o pompă, precum și în nodul E de ieșire din ciclu.

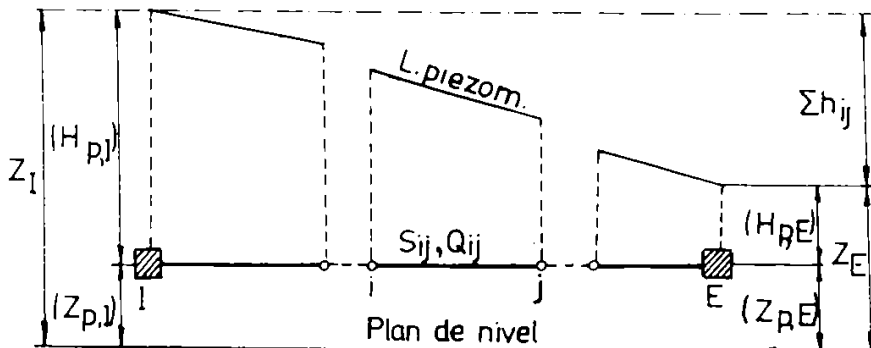


Fig. 5.9 Graficul piezometric în lungul unui inel deschis (fictiv)

Pentru un inel cu rezervoare în noduri, cum este inelul 9-5-4 din figura 5.6, neînchiderea pe inel este dată de relația:

$$\Delta h_m = Z_E + \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} S_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} + \sum_{k=1,E} \varepsilon_k S_k |q_k|^{\beta-1} - Z_I \quad (5.70)$$

în care: Z_I, Z_E sînt cotele apei în rezervorul de la intrare, respectiv ieșire; q_k - debitul în brașamentele la nodurile de intrare și ieșire din ciclul m ; S_k - modulul de rezistență hidraulică pentru brașamente; ε_k - orientarea egală cu (+1) sau (-1) după cum sensul de curgere a apei în brașament coincide sau nu cu convenția de semn la nod.

Procedînd în mod analog ca la inelul închis, se determină expresia corecției de debit pe inelul m :

$$\Delta Q_m = \frac{\Delta h_m}{\beta \left(\sum_{(m)} S_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} + \sum_{k=1,E} S_k |q_k|^{\beta-1} \right)} \quad (5.71)$$

Dacă în nodurile de intrare și ieșire din ciclul m se află pompe, atunci relația (5.70) rămîne valabilă cu observația că:

$$Z_I = H_{p,I} + Z_{p,I} \quad (5.72) \quad Z_E = H_{p,E} + Z_{p,E} \quad (5.73)$$

iar corecția inelară de debit are expresia:

$$\Delta Q_m = - \frac{\Delta h_m}{\beta \left(\sum_{(m)} S_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} + \sum_{k=1,E} S_k |q_k|^{\beta-1} + 2(A_E |q_E| - A_I |q_I|) + (B_E - B_I) \right)} \quad (5.74)$$

în care: $H_{p,I}, H_{p,E}$ sînt înălțimile de refulare ale pompelor de la intrare și ieșire din ciclul m , exprimate în funcție de debitele q_k printr-o relație de forma (5.63); $Z_{p,I}, Z_{p,E}$ - cotele apei în bazinele de aspirație ale pompelor.

c) relații pentru inele deschise cu pompe și rezervoare în noduri

În figura 5.6 un asemenea inel este 7-5-4 cu pompa în nodul inițial și rezervorul în nodul de ieșire.

Dacă se notează cu Z_I cota apei în bazinul de aspirație al pompei, expresia divergenței Δh_m pe inelul m este:

$$\Delta h_m = \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} Q_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} + \sum_{k=1,E} \varepsilon_k S_k q_k |q_k|^{\beta-1} - H_{p,I} - Z_I \quad (5.75)$$

în care: Z_E este cota apei în rezervorul amplasat la ieșire din ciclu; $H_{p,I}$ - înălțimea de refulare a pompei amplasate la intrare în ciclu.

Exprimînd înălțimea de pompare $H_{p,I}$ printr-o relație de tipul (5.63) și procedînd analog ca în cazul inelului închis, se determină relația de calcul a corecției de debit pe inelul m:

$$\Delta Q_m = - \frac{\Delta h_m}{\beta \left(\sum_{(m)} S_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} + \sum_{k=1,E} S_k |q_k|^{\beta-1} \right) - (2A_I |q_I| + B_I)} \quad (5.76)$$

în care q_I este debitul pompat; S_I - rezistența hidraulică a bransamentului pompei.

Modelul de calcul presupune cunoscute următoarele date de bază: topologia rețelei; lungimile, diametrele și rugozitatea absolută a conductelor; cotele geodezice și debitele concentrate pentru fiecare nod de consum; cota piezometrică în nodul obligat.

Pornind de la aceste date se calculează debitele, pierderile de sarcină și vitezele apei în conducte, precum și cotele piezometrice în noduri.

Calculul debitelor se face, potrivit procedurii Lobacev, furnizînd o repartitie inițială ce respectă condițiile de continuitate la noduri și care este corectată succesiv cu ajutorul ecuațiilor ciclurilor astfel încît să fie satisfăcută conservarea energiei pe inele independente.

Ținînd seama de relațiile (5.62), (5.70) și (5.75), divergențele pierderilor de sarcină pe cele trei tipuri de inele se sistematizează și se pun sub o formă generală restrînsă:

$$\Delta h_m = Z_E + \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} (h_{ij} - H_{p,ij}) - Z_I \quad (5.77)$$

în care: Z_I, Z_E sînt cotele apei în rezervoare (bazine de aspirație) la intrarea și respectiv ieșirea din ciclul m; ε_{ij} - orientarea tronsonului ij, inclusiv a bransamentului în nodul de intrare și ieșire; h_{ij} - pierderea de sarcină pe tronsonul ij, inclusiv bransamente; $H_{p,ij}$ - înălțimea de refulare a pompei intermediare amplasată pe tronsonul ij sau a pompei exterioare bransată în nodul de intrare al ciclului m.

Pornind de la soluția inițială $Q_{ij}^{(0)}$ se corectează debitele iterativ folosind relația (5.53). Pentru calculul corecțiilor ciclice la iterația (k) se utilizează formula dedusă în aproximația liniară:

$$\Delta Q_m^{(k)} = - \frac{\Delta h_m^{(k)}}{SR_m^{(k)}} \quad (5.78)$$

în care divergența $\Delta h_m^{(k)}$ și suma rigidităților $SR_m^{(k)}$ pe ansamblul inelului m au expresiile:

$$\Delta h_m^{(k)} = Z_E + \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} S_{ij} Q_{ij}^{(k)} |Q_{ij}^{(k)}|^{\beta-1} - \sum_{(m)} \varepsilon_{ij} [A_{ij} (Q_{ij}^{(k)})^2 + B_{ij} |Q_{ij}^{(k)}| + C_{ij}] - Z_I \quad (5.79)$$

$$SR_m = \beta \sum_{(m)} S_{ij} |Q_{ij}^{(k)}|^{\beta-1} - \sum_{(m)} (2A_{ij} |Q_{ij}^{(k)}| + B_{ij}) \quad (5.80)$$

Corecția calculată la fiecare ciclu se aplică imediat, nu la încheierea iterației ca în metoda standard, ceea ce permite propagarea mai rapidă a corecțiilor la ciclurile care urmează și mărirea vitezei de convergență.

Procesul iterativ se oprește atunci când se atinge pe fiecare ciclu precizia prescrisă prin valoarea limită a corecției debitelor (0,00005...0,000001 m³/s) sau atunci numărul iterațiilor depășește o valoare maxim admisă.

Pentru a accelera convergența modelului de calcul se determină rețeaua virtual ramificată optimă folosind algoritmul de optimizare descris la pct. 5.5.2, care minimizează suma rezistențelor hidraulice S_{ij} , iar soluția inițială $Q_{ij}^{(0)}$ se obține considerând debitele nule în conductele care nu aparțin rețelei virtual ramificate și determinând celelalte debite recursiv, pornind de la nodurile extreme ale acestei rețele.

Acest model de calcul este eficace întrucât modificarea debitelor în conductele unui inel modifică în mod egal echilibrul celorlalte inele având conducte comune cu acesta, permițând propagarea mai rapidă a corecțiilor în rețea, cu efecte pozitive asupra vitezei de convergență. În plus, se menționează că relațiile generale (5.79), (5.80) se aplică numai ciclurilor fictive, iar ciclurile închise se tratează separat, cu o buclă paralelă pentru pompe pe artere, de aici rezultând o reducere substanțială a volumului calculelor.

După ce s-a determinat repartitia finală a debitelor, se calculează cu relația funcțională (5.21) pierderile de sarcină pe tronsoane, iar apoi pornind de la un nod cu cota piezometrică cunoscută se obțin cotele piezometrice Z_j în toate celelalte noduri ale rețelei, funcție de care rezultă presiunile disponibile H_j în noduri:

$$H_j = Z_j - ZT_j \quad (5.81)$$

în care ZT_j este cota geodezică în nodul j .

Modelul de analiză descris a fost implementat în cadrul programului ordinator ACIREC.

5.4.2.5 Elaborarea unui model de analiză ciclică a rețelilor inelare complexe în formulare variațională [215]

S-a arătat în formularea clasică a analizei ciclice a rețelilor inelare că relațiile fundamentale de calcul sînt ecuația de continuitate (5.8), ecuația de conservare a energiei pe inele (5.9) și ecuația funcțională (5.21), iar determinarea debitelor Q_{ij} pentru care are loc echilibrarea rețelei se efectuează pe criteriul conservării energiei în fiecare inel separat.

Se poate ajunge și la o formulare variațională a calculului de echilibrare hidraulică a rețelilor inelare în metoda ciclurilor, atunci când determinarea debitelor Q_{ij} se realizează pe criteriul minimizării consumului de energie în rețea raportată la unitatea de timp (putere), exprimat analitic prin funcția obiectiv:

$$F_0 = \sum_{i=1}^T \left[\int_0^{Q_{ij}} (Z_i - Z_j) dQ_{ij} \right] - \sum_{i=1}^T \left(\int_0^{Q_{ij}} H_{p,ij} dQ_{ij} \right) - \sum_{j=1}^{N_*} \left(\int_0^{q_j} Z_j^* dq_j \right) \rightarrow \min \quad (5.82)$$

supusă la restricțiile (5.8) de continuitate a debitelor în noduri și în care s-au folosit notațiile: Z_i, Z_j - cotele piezometrice în nodurile i și j ; $H_{p,ij}$ - înălțimea de refulare a pompelor integrate pe artera ij ;

N_* - numărul nodurilor de alimentare cu cotele piezometrice Z_j^* .

În relația (5.82), funcționalele din primul termen semnifică pierderea de putere pe tronsoanele rețelei atunci când aceasta transportă debitele rezultate din condițiile de continuitate, iar funcționalele din al doilea termen reprezintă aportul de putere provenit din exteriorul sistemului.

Introducînd în funcția obiectiv (5.82) relația funcțională (5.21) scrisă sub forma:

$$h_{ij} = Z_i - Z_j = S_{ij} Q_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} \quad (5.83)$$

și ținând seama de relația (5.53) de corectare a debitelor în conducte, precum și de expresia (5.63) a înălțimii de pompare, se elimină toate restricțiile, iar determinarea debitelor în rețea se reduce la găsirea minimumului unei funcții de M variabile (ΔQ_m) fără restricții, care în urma efectuării integralelor devine:

$$F_o = F_{o1} - F_{o2} - F_{o3} \rightarrow \min \quad (5.84)$$

unde:

$$F_{o1} = \frac{1}{\beta + 1} \sum_{ij=1}^T S_{ij} \left| Q_{ij}^{(o)} + \sum_{\substack{m=1 \\ ij \in m}}^M \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \right|^{\beta+1} \quad (5.85)$$

$$F_{o2} = \sum_{ij=1}^T \left(\frac{1}{3} A_{ij} \left| Q_{ij}^{(o)} + \sum_{\substack{m=1 \\ ij \in m}}^M \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \right|^3 + \frac{1}{2} B_{ij} \left| Q_{ij}^{(o)} + \sum_{\substack{m=1 \\ ij \in m}}^M \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \right|^2 + C_{ij} \left| Q_{ij}^{(o)} + \sum_{\substack{m=1 \\ ij \in m}}^M \varepsilon_{ij} \Delta Q_m \right| \right) \quad (5.86)$$

$$F_{o3} = \sum_{j=1}^{N_s} Z_j^* q_j \quad (5.87)$$

Se observă că punând pentru (5.84) condițiile de extremum $\partial F_o / \partial \Delta Q_m = 0$ ($m=1, \dots, M$), se obține în cazul unei rețele simple, sistemul de ecuații (5.54) din formularea clasică a problemei.

Formularea variațională reduce considerabil dimensiunile problemei, ajungându-se de la o funcție cu T necunoscute și $N - N_{RP}$ restricții la o funcție doar cu M necunoscute, fără restricții, devenind astfel avantajoasă folosind un algoritm specific pentru a minimiza direct funcția (5.84), cum este algoritmul gradientilor conjugați, care a fost implementat în cadrul programului ordinator ACIREV.

Convergența procesului de calcul al corecțiilor de debit depinde foarte mult de soluția inițială, motiv pentru care se recomandă considerarea întâi a corecțiilor obținute la prima iterație a procedurii Lobacev.

Debitele în conducte Q_{ij} se obțin folosind relația (5.53), în care se introduc corecțiile ΔQ_m rezultate din minimizarea funcției criteriale, iar în final, după calcularea pierderilor de sarcină cu relația (5.21), se determină cotele piezometrice Z_j și presiunile disponibile H_j în noduri cu ajutorul relației (5.81), pornind de la un nod cu cota piezometrică cunoscută.

5.4.3 Metoda nodurilor

În cazul în care se impune analiza stării de presiune într-o rețea de distribuție sau când rețeaua conține diverse elemente potențiale și armături este potrivită utilizarea ca necunoscute a cotelor piezometrice, adică a ecuațiilor nodale.

5.4.3.1 Principiul metodei

Relația funcțională (5.21) între pierderea de sarcină și debit se pune sub forma:

$$Q_{ij} = S_{ij}^{-1} h_{ij}^1 = S_{ij}^{-1} (Z_i - Z_j + \Pi_{ij}) |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}|^{1-\beta} \quad (5.88)$$

în care Z_i și Z_j reprezintă cotele piezometrice în nodurile i și j , iar Π_{ij} - presiunea activă cunoscută pe tronsonul ij .

Introducând (5.88) în (5.8), ecuația de continuitate a debitului devine:

$$f_j = \sum_{i=1}^N S_{ij}^{-1} (Z_i - Z_j + \Pi_{ij}) |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}|^{1-\beta} + q_j = 0 \quad (j=1, \dots, N - N_*) \quad (5.89)$$

unde N_* este numărul nodurilor cu cota piezometrică necesară a fi cunoscută, egal cu numărul surselor de alimentare.

Relația (5.89) scrisă pentru toate nodurile N conduce la un sistem de $N - N_*$ ecuații neliniare independente, prin rezolvarea căruia se determină cotele piezometrice în $N - N_*$ noduri, în N_* din noduri cota piezometrică fiind necesară a fi cunoscută (cel puțin $N_* = 1$), iar apoi se calculează debitele care circulă pe tronsoane, cunoscând configurația geometrică a rețelei și consumurile la noduri.

Principiul metodei nodale constă în considerarea unui set de cote piezometrice inițiale în noduri ca și cunoscute, care se corectează succesiv pînă cînd reziduul debitelor în noduri f_j devine cît mai mic posibil, iar pentru a realiza acest obiectiv se pretează utilizarea algoritmului numeric Newton-Raphson, cu unele precauții pentru evitarea punctelor singulare, avînd în vedere ușurința construcției și implementării într-un program ordinator a acestuia.

5.4.3.2 Algoritmul Newton-Raphson

Se consideră sistemul de N ecuații neliniare cu N necunoscute de forma:

$$f_j(Z_1, Z_2, \dots, Z_N) = 0 \quad (j=1, \dots, N) \quad (5.90)$$

Ansamblul necunoscutelor Z_1, Z_2, \dots, Z_N și al funcțiilor f_1, f_2, \dots, f_N formează cîte un vector: $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_N\}^T$; $F = \{f_1, f_2, \dots, f_N\}^T$, astfel încît sistemul (5.90) poate fi scris sub forma matriceală:

$$F(Z) = \{f_1(Z_1, Z_2, \dots, Z_N), \dots, f_N(Z_1, Z_2, \dots, Z_N)\} = 0 \quad (5.91)$$

Soluția sistemului se obține pornind de la o aproximație inițială a acestuia $Z^{(0)} = \{Z_1^{(0)}, Z_2^{(0)}, \dots, Z_N^{(0)}\}^T$ la care se adună, succesiv, vectori de corecție $\Delta Z = \{\delta Z_1, \delta Z_2, \dots, \delta Z_N\}^T$ cu norma descrescătoare, potrivit procesului iterativ:

$$Z^{(k+1)} = Z^{(k)} + \theta \Delta Z^{(k+1)} \quad (5.92)$$

în care coeficientul de pondere $\theta \in (0, 1]$, iar vectorul de corecție de la iterația $(k+1)$ este termenul liniar din dezvoltarea în serie Taylor în jurul lui $Z^{(k)}$ a funcției vectoriale $F(f_1, f_2, \dots, f_N)$, avînd expresia:

$$\Delta Z^{(k+1)} = -[J^{(k)}]^{-1} F(Z^{(k)}) \quad (5.93)$$

unde:

$$J^{(k)} = F'(Z^{(k)}) = \left[\frac{\partial f_i(Z)}{\partial Z_j} \right] \quad (i, j=1, \dots, N) \quad (5.94)$$

poartă numele de matricea Jacobian corespunzătoare vectorului $Z^{(k)}$.

Deoarece algoritmul Newton-Raphson comportă calculul laborios al inversei matricei J la fiecare iterație, pentru aplicații practice relația (5.93) se scrie sub forma:

$$J^{(k)} \Delta Z^{(k+1)} = -F(Z^{(k)}), \quad (5.95)$$

astfel încît inversarea matricei $J^{(k)}$ la fiecare iterație se înlocuiește cu operația ceva mai simplă de rezolvare a unui sistem liniar.

Calculul continuă pînă cînd se satisface un criteriu de precizie (valoarea absolută a unei necunoscute Z_j , valorile absolute ale funcțiilor f_j , norma vectorului Z sau numărul de iterații):

$$\left| Z_j^{(k)} \right| \leq \varepsilon; \quad \left| -f_j^{(k)} \right| \leq \varepsilon; \quad \left| \frac{\delta Z_j^{(k)}}{Z_j^{(k)}} \right| \leq \varepsilon \quad (j = 1, \dots, N) \quad (5.96)$$

în care ε este eroarea admisă.

5.4.3.3 Model de analiză a rețelelor inelare complexe folosind metoda nodală [186]

O rețea de distribuție a apei pentru un centru populat are o configurație cunoscută rezultată din proiectarea acesteia și presiuni de serviciu stabilite în funcție de regimul de construcție adoptat. În timp, la rețeaua existentă se pot adăuga consumatori și elemente potențiale care modifică distribuția inițială a presiunilor și prin urmare, este necesară o analiză în vederea găsirii unor soluții pentru asigurarea presiunilor de serviciu în toate nodurile de consum.

Folosind un număr suficient de simulări numerice se pot stabili cota piezometrică (cotele piezometrice) a nodului (nodurilor) de alimentare și alte măsuri necesare pentru asigurarea presiunilor de serviciu precum și soluțiile de optimizare energetică a rețelei. În acest scop este eficientă folosirea analizei nodale, în care necunoscutele sînt în general cote piezometrice.

Deși în metoda nodală numărul ecuațiilor este mai mare decît în metoda ciclurilor, densitatea elementelor nenule ale matricei ecuațiilor de nod este mai mică decît cea pentru ecuațiile pe inele, iar sistemul ecuațiilor nodale este mai ușor de formulat, furnizînd o matrice rară a coeficienților. Ținînd seama de avantajele utilizării metodei pentru situațiile menționate, diverși cercetători [10], [16], [36], [55], [59], [99], [119], [123], [186], au folosit analiza nodală ca mijloc de calcul al rețelelor de distribuție.

Avînd în vedere că în țara noastră, analiza rețelelor se efectuează numai cu ajutorul ecuațiilor de inel, precum și avantajele metodei nodurilor prezentate anterior, autorul a abordat [186] metoda nodală ca mijloc de analiză a rețelelor inelare de distribuție, extinzînd-o la rețelele complexe și la probleme noi posibile de rezolvat cu ajutorul ei, în scopul găsirii unor soluții de optimizare energetică pentru rețelele existente.

Modelul de analiză nodală apelează la următoarele date de bază: topologia rețelei; lungimile, diametrele și rugozitatea conductelor; cotele geodezice și debitele concentrate pentru fiecare nod; presiunile active pe tronsoane; cota piezometrică în unul sau mai multe noduri ale rețelei (puncte obligate, instalații de punere sub presiune).

Aplicarea algoritmului Newton-Raphson la sistemul ecuațiilor nodale presupune următorii pași principali:

a) stabilirea unei aproximări inițiale ($k = 0$) a cotelor piezometrice $Z^{(0)} = \{Z_1^{(0)} Z_2^{(0)} \dots Z_N^{(0)}\}$, care se realizează din relația (5.89), admițînd pentru relația (5.88) o formă liniară:

$$\sum_{i=1}^N S_{ij}^{-1} (Z_j^{(0)} - Z_i^{(0)} - \Pi_{ij}) = q_j^0 \quad (j = 1, \dots, N - N_s) \quad (5.97)$$

b) determinarea vectorului de corecție $\Delta Z = \{\delta Z_1 \delta Z_2 \dots \delta Z_N\}$ la o iterație oarecare ($k+1$) se face rezolvînd sistemul liniar (5.95) ce primește forma explicită:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial Z_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial Z_N} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_N}{\partial Z_1} & \dots & \frac{\partial f_N}{\partial Z_N} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta Z_1 \\ \vdots \\ \delta Z_N \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -f_1 \\ \vdots \\ -f_N \end{Bmatrix} \quad (5.98)$$

unde derivatele parțiale se obțin din (5.89).

Deoarece obligatoriu trebuie impuse cel puțin $N_* = 1$ cote de referință, sistemul (5.89) se rezolvă pentru $N - N_*$ necunoscute, unde N_* este numărul cotelor piezometrice cunoscute;

c) modificarea vectorului Z al necunoscutelor potrivit relației (5.92);

d) pașii b și c se efectuează iterativ pînă la atingerea preciziei de calcul stabilită prin condiția:

$$| -f_j^{(k)} | \leq \varepsilon \quad (j = 1, \dots, N - N_*), \quad (5.99)$$

sau a numărului maxim de iterații admis.

După determinarea cotelor piezometrice Z_j , se pot calcula ușor și debitele pe tronsoane cu ajutorul relației (5.88), precum și alți parametri hidraulici caracteristici rețelei (presiuni disponibile, viteze, etc.).

Deși ecuațiile de nod sînt mai ușor de generat, ele sînt însoțite de unele dificultăți de calcul cum ar fi apariția oscilațiilor în jurul soluției [55] și existența unor puncte singulare ($Z_i + \Pi_{ij} \cong Z_j$) ale Jacobianului, generate de tronsoanele cu pierderi de sarcină mici.

Pentru a elimina dificultățile datorate instabilității în punctele singulare se procedează la o regularizare de tip spline cubic pentru funcția de forma $\text{sgn}(Z_i - Z_j + \Pi_{ij}) |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}|^x$, înlocuind funcțiile $f_j(Z_i - Z_j)$ exprimate de (5.89), prin funcțiile:

$$f_j = \begin{cases} \sum_{i=1}^N S_{ij}^{-1} (Z_i - Z_j + \Pi_{ij}) |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}|^{x-1} + q_j = 0; & |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}| > \omega \\ \sum_{i=1}^N \omega^x S_{ij}^{-x} \frac{Z_i - Z_j + \Pi_{ij}}{\omega} [(x-1) \left(\frac{Z_i - Z_j + \Pi_{ij}}{\omega}\right)^2 + 3 - x] + q_j = 0; & |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}| \leq \omega \end{cases} \quad (5.100)$$

în care $x = 1/\beta$, iar ω se alege în mod convenabil ($10^{-4} \dots 10^{-5}$).

Derivatele parțiale se obțin din (5.100), după cum urmează:

$$\frac{\partial f_j}{\partial Z_i} = \frac{\partial f_i}{\partial Z_j} = \begin{cases} x S_{ij}^{-x} |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}|^{x-1}; & |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}| > \omega \\ \omega^x S_{ij}^{-x} \left[\frac{3}{\omega} (x-1) \left(\frac{Z_i - Z_j + \Pi_{ij}}{\omega}\right)^2 + \frac{3-x}{\omega} \right]; & |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}| \leq \omega \end{cases} \quad (5.101)$$

$$\frac{\partial f_j}{\partial Z_i} = - \sum_{i=1}^N \frac{\partial f_i}{\partial Z_j} \quad (5.102)$$

Din examinarea relației (5.89) se observă că satisfacerea continuității debitelor în noduri se poate realiza admitând ca variabile nu numai cotele piezometrice Z_j ci și rezistențele hidraulice S_{ij} și debitele concentrate în noduri q_j , cu condiția ca suma tuturor acestor necunoscute să fie $N-N_*$, astfel încît utilizarea modelului poate fi extinsă la rezolvarea de noi probleme.

Dacă se notează necunoscutele cote piezometrice cu $\bar{Z} = \{Z_1 \dots Z_w\}$, rezistențe hidraulice cu $\bar{S} = \{S_{ij} \dots S_{pr}\}$ și debite concentrate în noduri cu $\bar{q} = \{q_1 \dots q_n\}$, atunci pornind de la vectorul inițial al necunoscutelor $X^0 = \{Z_1^{(0)} \dots Z_w^{(0)} S_{ij}^{(0)} \dots S_{pr}^{(0)} q_1^{(0)} \dots q_n^{(0)}\}$ se determină corecțiile la fiecare iterație din sistemul:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial Z_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial q_n} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_{w+1}}{\partial Z_1} & \dots & \frac{\partial f_{w+1}}{\partial q_n} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_N}{\partial Z_1} & \dots & \frac{\partial f_N}{\partial q_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta Z_1 \\ \vdots \\ \delta S_{ij} \\ \vdots \\ \delta q_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -f_1 \\ \vdots \\ -f_{w+1} \\ \vdots \\ -f_N \end{bmatrix} \quad (5.103)$$

în care derivatele parțiale referitoare la S_{ij} și q_j au expresiile:

$$\frac{\partial f_j}{\partial S_{ij}} = \begin{cases} -x S_{ij}^{-(x+1)} (Z_i - Z_j + \Pi_{ij}) |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}|^{x-1}; & |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}| > \omega \\ -x \omega^{-x} S_{ij}^{-(x+1)} \frac{Z_i - Z_j + \Pi_{ij}}{\omega} [(x-1) \left(\frac{Z_i - Z_j + \Pi_{ij}}{\omega}\right)^2 + 3 - x]; & |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}| \leq \omega \end{cases} \quad (5.104)$$

$$\frac{\partial f_j}{\partial q_j} = 1 \quad (5.105)$$

Sistemul de ecuații (5.103) nu are soluție pentru orice combinație a necunoscutelor, la alegerea acestora trebuind să se respecte unele reguli, rezultate din neadmiterea existenței de linii sau coloane în matricea sistemului cu toți termenii nuli, după cum urmează:

- la fiecare nod trebuie să existe cel puțin una din necunoscutele: debit concentrat în nod, cotă piezometrică în nodul respectiv sau la oricare nod adiacent, rezistență hidraulică a oricărui tronson care concurează în nod;

- un nod care are debitul concentrat necunoscut trebuie conectat la cel puțin un alt nod cu debit cunoscut;

- un tronson de conductă cu rezistență hidraulică necunoscută nu trebuie să aibe mai mult de o necunoscută la nodurile care îl definesc, ce poate fi cota piezometrică sau debitul consumat în nod.

La aplicarea algoritmului Newton-Raphson pentru rezolvarea sistemului de ecuații neliniare (5.100) se ține seama de avantajele:

- matricea Jacobian conține cel mult $N+2T$ elemente nenule, ceea ce îi conferă proprietatea de a fi rară;

- în majoritatea cazurilor această matrice este simetrică, ireductibilă și slab dominant diagonală, ceea ce asigură existența matricei inverse;

- mai mult, matricea inversă este o matrice pozitivă, proprietate ce conferă calități de stabilitate numerică în rezolvarea sistemului algebric liniar (5.103) la fiecare iterație a algoritmului Newton-Raphson.

Pe baza modelului de analiză nodală s-a elaborat programul ordinator ANOREC.

5.4.3.4 Formularea variațională a analizei nodale a rețelelor inelare complexe [215]

Folosind ecuațiile (5.9) de conservare a energiei pe inele ca restricții împreună cu funcția criterială:

$$F_0 = \sum_{i=1}^T \left(\int_0^{h_{ij}} Q_{ij} dh_{ij} \right) - \sum_{j=1}^N \left(\int_0^{Z_j} q_j dZ_j \right) \rightarrow \min \quad (5.106)$$

în care notațiile au semnificațiile anterioare, se poate ajunge la o formulare variațională a calculului de echilibrare hidraulică a rețelelor inelare și în metoda nodală.

În urma introducerii în funcția obiectiv (5.106) a relației funcționale sub forma (5.88) și a efectuării integralelor se elimină restricțiile, iar problema se reduce la găsirea minimumului unei funcții de $N-N_*$ variabile (Z_i, Z_j) fără restricții:

$$F_0 = \frac{\beta}{\beta+1} \sum_{i=1}^T S_{ij}^{-\frac{1}{\beta}} |Z_i - Z_j + \Pi_{ij}|^{\frac{\beta+1}{\beta}} - \sum_{j=1}^N q_j Z_j \rightarrow \min, \quad (5.107)$$

care se poate realiza folosind algoritmul gradientilor conjugați.

Se observă că punând condițiile de extremum $\partial F_0 / \partial Z_j = 0$ ($j=1, \dots, N-N_*$) se obține sistemul de ecuații nodale (5.89).

Având determinate cotele piezometrice în noduri, se calculează presiunile disponibile și apoi debitele de tranzit în conducte cu relația (5.88), precum și alți parametri hidraulici ai rețelei.

Pe baza acestui model de calcul al regimului hidraulic în rețele inelare s-a elaborat programul ordinator ANOREV.

5.4.4 Metoda tronsoanelor

5.4.4.1 Principiul metodei

În cazul ecuațiilor de tronson, se dispune de $N-N_*$ ecuații de nod independente (5.8) liniare în raport cu debitul și de M ecuații de inel (5.9) neliniare, care însă se liniarizează scriind relația funcțională (5.21) sub forma:

$$h_{ij} = S_{ij} Q_{ij} |Q_{ij}|^{\beta-1} = K_{ij} Q_{ij} \quad (5.108)$$

unde toți coeficienții K_{ij} se calculează la fiecare iterație cu noile debite [250], [251]. Acest procedeu nu necesită o evaluare inițială pentru necunoscute.

5.4.4.2 Modelul conținut de analiză pe tronsoane a rețelelor inelare complexe

Dacă pentru rețelele inelare de distribuție a apei se folosesc în loc de relațiile (5.8), (5.9) și (5.21) așa cum se face în mod obișnuit, relațiile (5.8), (5.21) și o funcție de performanță ce exprimă conținutul energetic al rețelei, analiza rețelei se poate efectua cu un model de optimizare condiționată denumit *modelul conținut* [15], [42].

Determinarea debitelor Q_{ij} pentru care are loc echilibrarea rețelei se realizează pe criteriul minimizării conținutului de energie al întregii rețele raportată la unitatea de timp, care pentru structurile cu elemente potențiale (pompe integrate pe artere, rezervoare și pompe în noduri) se exprimă analitic prin funcția obiectiv:

$$F_e = \sum_{\bar{ij}=1}^T \left[\int_0^{Q_{\bar{ij}}} (Z_i - Z_j) dQ_{\bar{ij}} - \int_0^{Q_{\bar{ij}}} H_{p,\bar{ij}} dQ_{\bar{ij}} \right] - \sum_{j=1}^{N_*} Z_j^* dq_j \rightarrow \min \quad (5.109)$$

supusă la restricțiile de continuitate (5.8) și cele de nenegativitate pentru debite:

$$Q_{ij} \geq 0 \quad (5.110)$$

unde N_* este numărul nodurilor de alimentare cu cotele piezometrice Z_j^* , iar restul notațiilor folosite au semnificațiile menționate anterior.

Ținând seama de relația funcțională (5.21) și de relația (5.63) de aproximare a înălțimii de refulare a pompelor integrate pe artere, în urma efectuării integralelor din (5.109), expresia funcției criteriale devine:

$$F_e = \sum_{\bar{ij}=1}^T \left[\frac{1}{\beta+1} S_{\bar{ij}} Q_{\bar{ij}}^{\beta+1} - \left(\frac{1}{3} A_{\bar{ij}} Q_{\bar{ij}}^3 + \frac{1}{2} B_{\bar{ij}} Q_{\bar{ij}}^2 + C_{\bar{ij}} Q_{\bar{ij}} \right) \right] - \sum_{j=1}^{N_*} Z_j^* q_j \rightarrow \min, \quad (5.111)$$

iar împreună cu restricțiile (5.8) și (5.110) formează un model de programare neliniară, ce poate fi rezolvat aplicând algoritmul gradientilor condiționați.

Avînd determinată repartitia debitelor pe tronsoane, după calcularea pierderilor de sarcină cu relația (5.21) se determină cotele piezometrice Z_j și presiunile disponibile H_j în noduri, pornind de la un nod cu cota piezometrică cunoscută, iar apoi se obțin și alți parametri hidraulici.

5.4.5 Aplicații numerice

Pentru exemplificarea aplicării modelelor de analiză descrise anterior și efectuarea unor studii comparative, la acest punct se consideră două rețele inelare de distribuție a apei cu topologii și dimensiuni diferite, realizate din fontă, care se vor urmări ca exemple și în aplicarea modelelor de dimensionare expuse la punctele următoare.

5.4.5.1 Determinarea sarcinii de pompare și a repartiției debitelor și a presiunilor într-o rețea simplă prin aplicarea procedurii Lobacev standard și a modelelor de analiză propuse

Pentru rețeaua de alimentare cu apă cu configurația din figura 5.10, ce distribuie un debit de $0,41 \text{ m}^3/\text{s}$, avînd cunoscute: lungimile L_{ij} , în m și diametrele D_{ij} , în mm, ale tronsoanelor; debitele industriale consumate concentrat în noduri q_j , în m^3/s ; cotele geodezice în noduri ZT_j , în m; cota piezometrică a nodului obligat $Z_1 = 124 \text{ m CA}$; exponentul $\beta = 1,936$, se pune problema determinării sarcinii de pompare și a regimului debitelor și al presiunilor, aplicînd atît procedeul

uzual Lobacev cît și modelele elaborate pentru analiza ciclică și nodală în formulare clasică și variațională.

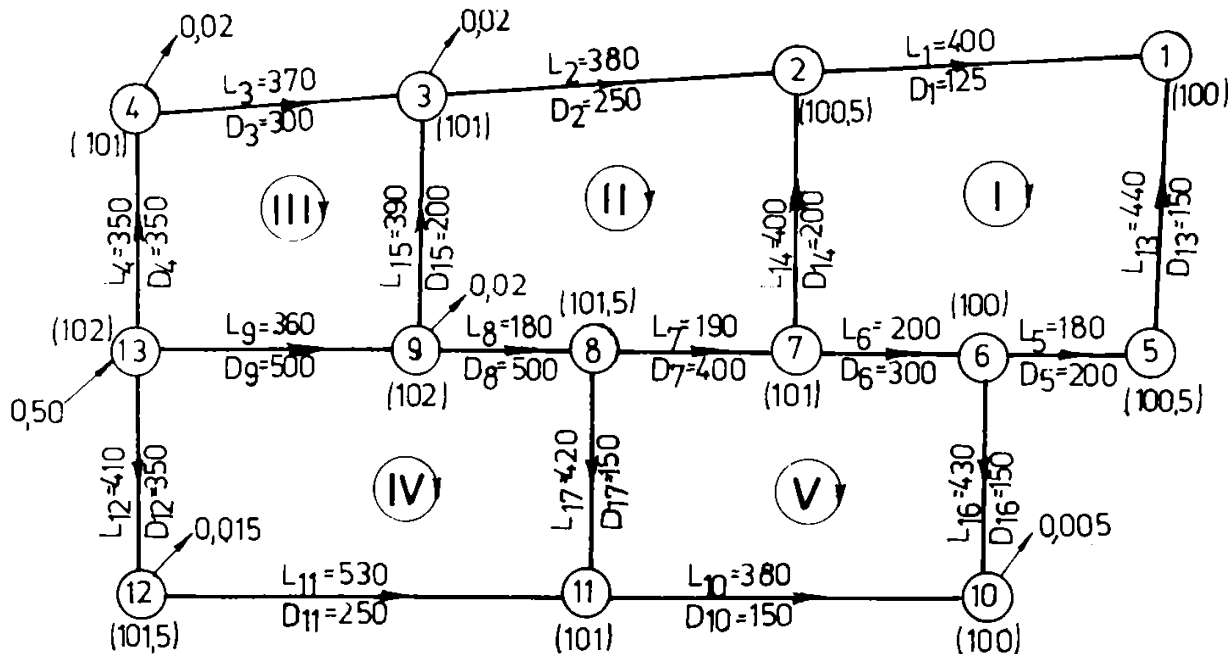


Fig. 5.10 Schema rețelei inelare (M=5, N=13, T=17) de distribuție

În tabelul 5.3 se prezintă debitele și pierderile de presiune pe tronsoane stabilite cu ajutorul programelor ACIRECS, ACIREC, ACIREV, ANOREC și ANOREV, constatîndu-se că valorile obținute sînt foarte apropiate între ele. Astfel, diferența între debite la aplicarea celor patru modele de calcul propuse față de procedeul Lobacev (programul ACIRECS) variază între 0 % (tronsonul 9-8) la folosirea modelului ACIREV și 1,8 % (tronsonul 8-11) la utilizarea modelului ANOREC, datorită gradului de precizie diferit.

Tabelul 5.3

Debitele și pierderile de presiune pe tronsoane

Trons. i-j	Modelul de analiză									
	ACIRECS		ACIREC		ACIREV		ANOREC		ANOREV	
	Q[m ³ /s]	h [m]	Q[m ³ /s]	h [m]	Q[m ³ /s]	h [m]	Q[m ³ /s]	h [m]	Q[m ³ /s]	h [m]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2-1	0,01210	3,955	0,01209	3,949	0,01219	4,007	0,01219	3,754	0,01204	3,915
3-2	0,03618	0,895	0,03608	0,890	0,03616	0,894	0,03616	0,915	0,03605	0,889
4-3	0,06957	1,217	0,06917	1,203	0,06902	1,198	0,06902	1,251	0,06916	1,203
13-4	0,11413	1,369	0,11373	1,359	0,11358	1,356	0,11358	1,437	0,11371	1,356
6-5	0,03770	1,443	0,03771	1,443	0,03761	1,437	0,03762	1,428	0,03776	1,447
7-6	0,08206	0,907	0,08199	0,906	0,08174	0,900	0,08174	0,938	0,08206	0,907
8-7	0,13518	0,521	0,13520	0,521	0,13496	0,519	0,13496	0,559	0,13531	0,521
9-8	0,17542	0,261	0,17547	0,262	0,17542	0,261	0,17544	0,288	0,18034	0,276
13-9	0,25264	1,064	0,25299	1,067	0,25317	1,069	0,25318	1,172	0,25266	1,065
11-10	0,01589	2,495	0,01597	2,518	0,01613	2,568	0,01614	2,469	0,01610	2,558
12-11	0,04797	2,156	0,04802	2,160	0,04799	2,158	0,04798	2,206	0,04806	2,163
13-12	0,09503	1,122	0,09508	1,123	0,09505	1,123	0,09504	1,192	0,09501	1,122
5-1	0,01655	3,124	0,01656	3,127	0,01647	3,094	0,01647	2,972	0,01661	3,147
7-2	0,02618	1,578	0,02626	1,588	0,02628	1,590	0,02628	1,584	0,02625	1,587
9-3	0,02549	1,461	0,02579	1,495	0,02602	1,521	0,02603	1,516	0,02579	1,495
6-10	0,01673	3,120	0,01666	3,092	0,01649	3,034	0,01649	2,910	0,01661	3,075
8-11	0,01329	1,951	0,01332	1,958	0,01351	2,014	0,01353	1,938	0,01327	1,945

În tabelul 5.4 sînt înscrise valorile cotelor piezometrice Z_j și a presiunilor disponibile H_j în noduri, determinate cu modelele de analiză menționate.

Tabelul 5.4

Cotele piezometrice și presiunile disponibile în noduri

Nod j	Modelul de analiză									
	ACIRECS		ACIREC		ACIREV		ANOREC		ANOREV	
	Z_i [m]	H_i [m]	Z_i [m]	H_i [m]	Z_i [m]	H_i [m]	Z_i [m]	H_i [m]	Z_i [m]	H_i [m]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	124,000	24,000	124,000	24,000	124,000	24,000	124,000	24,000	124,000	24,000
2	127,955	27,455	127,949	27,449	128,007	27,507	127,754	27,254	127,915	27,415
3	128,850	27,850	128,839	27,839	128,901	27,901	128,668	27,668	128,804	27,804
4	130,066	29,066	130,042	29,042	130,099	29,099	129,920	28,920	130,007	29,007
5	127,124	26,624	127,127	26,627	127,094	26,594	126,972	26,472	127,147	26,647
6	128,566	28,566	128,571	28,571	128,530	28,530	128,399	28,399	128,594	28,594
7	129,533	28,533	129,537	28,537	129,597	28,597	129,338	28,338	129,502	28,502
8	130,053	28,553	130,058	28,558	130,116	28,616	129,896	28,396	130,023	28,523
9	130,371	28,371	130,335	28,335	130,386	28,386	130,184	28,184	130,299	28,299
10	125,446	25,446	125,478	25,478	125,497	25,497	125,490	25,490	125,520	25,520
11	128,157	27,157	128,118	27,118	128,175	27,175	127,958	26,958	128,078	27,078
12	130,313	28,813	130,278	28,778	130,332	28,832	130,165	28,665	130,241	28,741
13	131,435	29,435	131,402	29,402	131,455	29,455	131,356	29,356	131,363	29,363

Pentru cota piezometrică necesară în nodul de alimentare se obțin valorile: 131,435 m CA; 131,402 m CA; 131,455 m CA; 131,356 m CA; 131,363 m CA, puțin diferite între ele, asigurînd în nodul de alimentare 13 o presiune disponibilă corespunzătoare de 29,435 m CA; 29,402 m CA; 29,455 m CA; 29,356 m CA; 29,363 m CA, pentru alimentarea cu apă a consumatorilor.

De asemenea, se constată că neînchiderea Δh a liniei de presiune pe conturul rețelei variază de la 0,216 m CA, la folosirea procedurii Lobacev, pînă la anulare, la aplicarea modelului ANOREC (tab. 5.5), în toate cazurile însă fiind sub limita de 0,5 m CA prescrisă de normativele în vigoare.

Tabelul 5.5

Neînchiderea liniei de presiune pe conturul rețelei

Modelul de calcul	ACIRECS	ACIREC	ACIREV	ANOREC	ANOREV
$ \Delta h $ [m CA]	0,216	0,122	0,109	0,000	0,001

5.4.5.2 Ilustrarea comportării conductelor unei rețele de distribuție în legătură cu regimul de curgere a apei

Pentru ilustrarea comportării conductelor în legătură cu regimul de curgere a apei se apelează la același exemplu de rețea din figura 5.10 și se determină cu ajutorul programului ACIREC caracteristicile hidraulice ale conductelor considerînd regimul de curgere atît turbulent tranzitoriu ($\beta = 1,936$) cît și turbulent pătratic ($\beta = 2$), rezultatele calculelor fiind prezentate în tabelul 5.6.

Caracteristicile hidraulice ale conductelor

Tronson i-j	Regimul de curgere							
	Turbulent tranzitoriu				Turbulent pătratic			
	Q [m ³ /s]	h [m]	V[m/s]	Re√λ Δ/D	Q [m ³ /s]	h [m]	V[m/s]	Re√λ Δ/D
0	1	2	3	4	5	6	7	8
2-1	0,01209	3,949	0,99	34,6	0,01192	5,528	0,97	40,7
3-2	0,03608	0,890	0,74	23,7	0,03582	1,179	0,73	27,3
4-3	0,06917	1,203	0,98	30,6	0,06897	1,611	0,98	35,6
13-4	0,11373	1,359	1,18	36,1	0,11353	1,816	1,18	41,8
6-5	0,03771	1,443	1,20	39,2	0,03788	2,053	1,21	47,0
7-6	0,08199	0,906	1,16	36,1	0,08219	1,237	1,16	42,1
8-7	0,13520	0,521	1,08	32,6	0,13549	0,689	1,08	37,4
9-8	0,17547	0,262	0,89	26,3	0,17572	0,334	0,90	30,0
13-9	0,25299	1,067	1,29	37,8	0,25317	1,388	1,29	43,0
11-10	0,01597	2,518	0,90	31,0	0,01595	3,557	0,90	36,6
12-11	0,04802	2,160	0,98	31,3	0,04803	2,958	0,98	36,7
13-12	0,09508	1,123	0,99	30,4	0,09509	1,492	0,99	35,0
5-1	0,01656	3,127	0,94	32,1	0,01673	4,537	0,95	38,7
7-2	0,02626	1,588	0,88	27,8	0,02635	2,207	0,84	32,6
9-3	0,02579	1,495	0,82	27,1	0,02573	2,052	0,82	31,8
6-10	0,01666	3,092	0,94	32,1	0,01668	4,407	0,94	38,3
8-11	0,01332	1,958	0,75	26,1	0,01328	2,728	0,75	30,5
Z ₁₃ [m]	131,402				134,135			
w _{sd} [kWh/m ³]	0,00705				0,00951			

Se constată că pentru toate tronsoanele rețelei în ambele regimuri de mișcare considerate criteriul Moody satisface relația: $14 < Re\sqrt{\lambda}\Delta/D < 200$, ceea ce demonstrează căci conductele rețelei funcționează în mod real în domeniul turbulenței tranzitorii. În cazul regimului pătratic se obțin pierderi de sarcină sporite pe tronsoane conducând la mărirea cotei piezometrice în nodul de alimentare Z₁₃, de la 131,402 m CA la 134,135 m CA și la creșterea presiunilor disponibile în nodurile rețelei și deci implicit la un consum suplimentar de energie de pompare.

Astfel, consumul specific de energie pentru distribuția apei în rețea w_{sd} crește cu 25,8 %, de la 0,00705 kWh/m³ la 0,00951 kWh/m³.

De aceea se impune luarea în considerare la calculul hidraulic al rețelelor de distribuție a regimului turbulent tranzitoriu de curgere a apei, ținând seama și de facilitățile oferite de calculatoarele electronice numerice.

5.4.5.3 Analiza comparativă a stării de presiune într-o rețea inelară alimentată din două surse, obținută prin aplicarea programelor de calcul propuse

Pentru rețeaua inelară cu configurația din figura 5.11 ce distribuie un debit de 1,22 m³/s provenit de la două surse de alimentare, având cunoscute cotele piezometrice în nodurile de alimentare Z₂₁ = 139,50 m CA, Z₃₂ = 139,58 m CA și presiunea de serviciu HN = 24 m CA, se efectuează analiza comparativă a stării de presiune aplicând programele de analiză ciclică sau nodală în formulare clasică și variațională ACIREC, ACIREV, ANOREC și ANOREV.

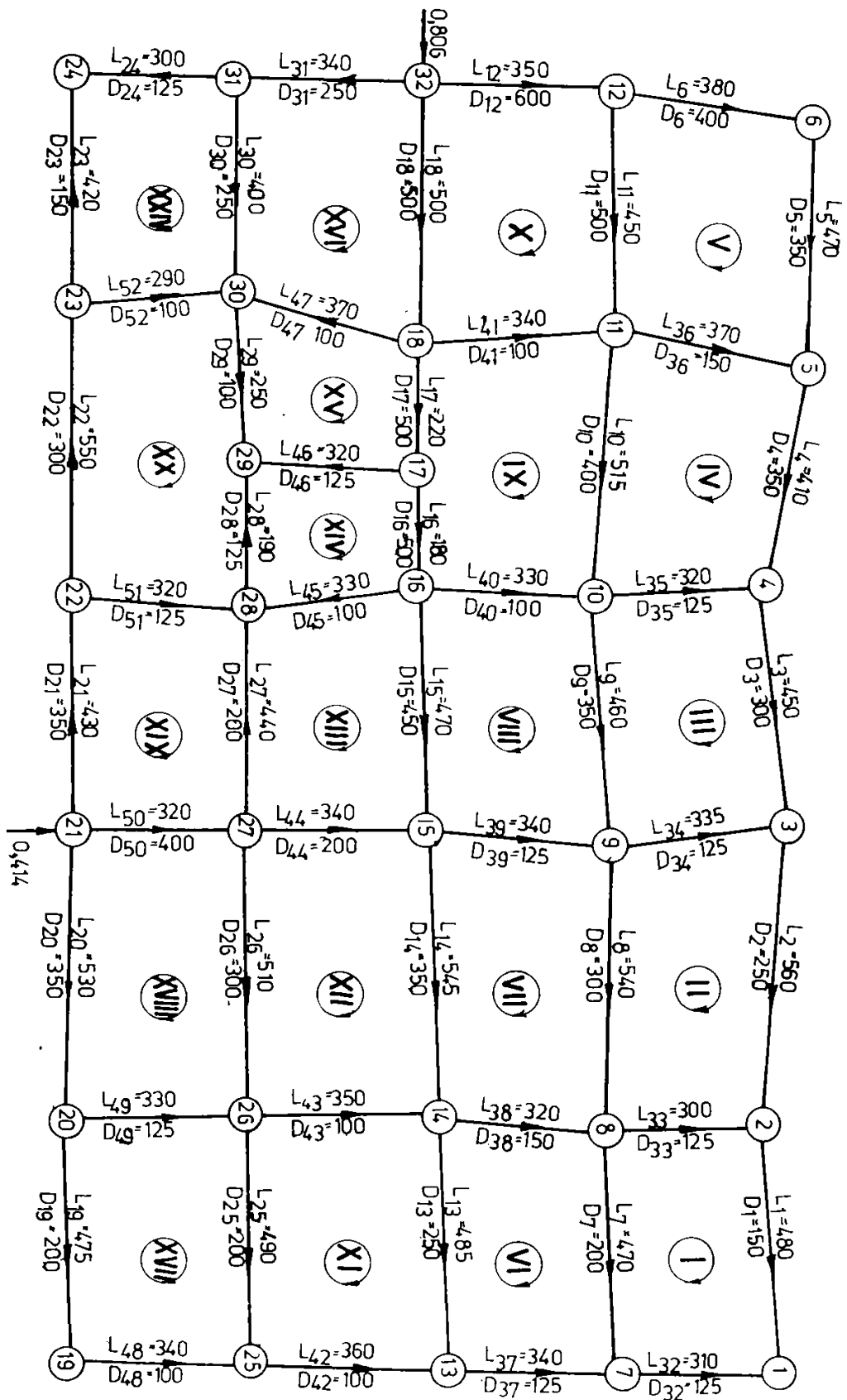


Fig. 5.11 Schema rețelei inelare (M=22, N=32, T=52) de distribuție

În tabelul 5.7 se prezintă cotele piezometrice Z_j și presiunile disponibile H_j în nodurile rețelei, constatîndu-se o bună apropiere între rezultatele obținute prin aplicarea modelelor menționate.

Tabelul 5.7

Cotele piezometrice și presiunile disponibile în noduri

Nod j	ZT _j [m]	Modelul de analiză							
		ACIREC		ACIREV		ANOREC		ANOREV	
		Z _i [m]	H _i [m]	Z _i [m]	H _i [m]	Z _i [m]	H _i [m]	Z _i [m]	H _i [m]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	103,0	127,415	24,415	127,295	24,295	127,493	24,493	127,419	24,419
2	103,1	129,788	26,688	129,645	26,545	129,683	26,583	129,791	26,691
3	103,5	131,782	28,282	131,614	28,414	131,639	28,139	131,784	28,284
4	103,8	133,595	29,795	133,405	29,605	133,452	29,652	133,597	29,797
5	104,3	134,941	30,641	134,668	30,368	134,818	30,518	134,940	30,640
6	104,8	137,177	32,377	137,211	32,411	137,067	32,267	137,179	32,379
7	103,0	129,573	26,573	129,596	26,596	129,457	26,457	129,574	26,574
8	103,2	131,584	28,384	131,570	28,370	131,368	28,168	131,588	28,388
9	103,6	133,308	29,708	133,260	29,660	133,086	29,486	133,312	29,712
10	104,0	135,172	31,172	135,090	31,090	134,970	30,970	135,177	31,177
11	104,5	137,349	32,849	137,236	32,736	137,206	32,706	137,360	32,860
12	104,5	138,483	33,983	138,495	33,995	138,406	33,906	138,501	34,001
13	103,2	131,991	28,791	132,272	29,072	131,764	28,564	131,992	28,792
14	103,4	134,056	30,656	134,310	30,910	133,790	30,390	134,061	30,661
15	103,2	136,143	32,343	136,386	32,536	135,927	32,127	136,150	32,350
16	104,0	136,955	32,955	137,182	33,182	136,782	32,782	136,964	32,964
17	104,5	137,275	32,775	137,293	32,793	137,122	32,622	137,278	32,278
18	105,0	137,803	32,803	137,814	32,814	137,685	32,685	137,806	32,806
19	103,5	135,862	32,362	135,751	32,251	135,688	32,188	135,893	32,393
20	103,9	138,443	34,543	138,407	34,507	138,240	34,340	138,481	34,581
21	104,0	139,531	35,531	139,524	35,524	139,386	35,386	139,563	35,563
22	104,4	138,077	33,677	138,059	33,659	137,896	33,496	138,111	33,711
23	104,8	136,898	32,098	136,878	32,078	136,720	31,920	136,927	32,127
24	104,9	134,937	30,037	134,951	30,051	134,989	30,089	134,948	30,048
25	103,4	132,833	29,433	133,036	29,636	132,720	29,320	132,838	29,438
26	103,6	135,808	32,208	136,047	32,447	135,603	32,003	135,819	32,219
27	104,1	137,863	33,763	138,107	34,007	137,676	33,576	137,878	33,778
28	104,3	135,451	31,151	135,734	31,434	135,426	31,126	135,452	31,152
29	104,6	134,645	30,045	134,500	29,900	134,721	30,121	134,655	30,055
30	104,9	135,568	30,668	135,459	30,559	135,591	30,691	135,569	30,669
31	104,0	136,396	32,396	136,404	32,404	136,413	32,413	136,404	32,404
32	102,0	139,580	37,580	139,580	37,580	139,580	37,580	139,580	37,580
w_{sd} [kWh/m ³]		0,01172		0,01173		0,01197		0,01175	

Cotele piezometrice la surse asigură în nodurile de intrare 21 și 32 presiuni disponibile de 35,50 m CA și respectiv 37,58 m CA, care sînt suficiente pentru alimentarea cu apă a consumatorilor, deoarece presiunile disponibile în toate nodurile de consum sînt superioare presiunii de serviciu.

Apa este distribuită la consumatori cu un consum specific de energie de aproximativ 0,012 kWh/m³.

5.4.5.4 Evidențierea modului de variație a numărului de iterații cu precizia de calcul la aplicarea programelor de analiză ACIRECS și ACIREC

Pentru a pune în evidență modul de variație a numărului de iterații cu precizia de calcul a corecțiilor ciclice de debite la aplicarea modelelor de analiză ACIRECS și ACIREC se apelează la același exemplu de rețea din figura 5.11.

Din reprezentarea grafică a rezultatelor calculului în figura 5.12, reiese că la aceeași valoare limită a corecțiilor de debite ϵ numărul iterațiilor ITER efectuate la aplicarea modelului ACIRECS este mai mare față de cel obținut la folosirea modelului ACIREC, cu atât mai mult cu cât precizia crește.

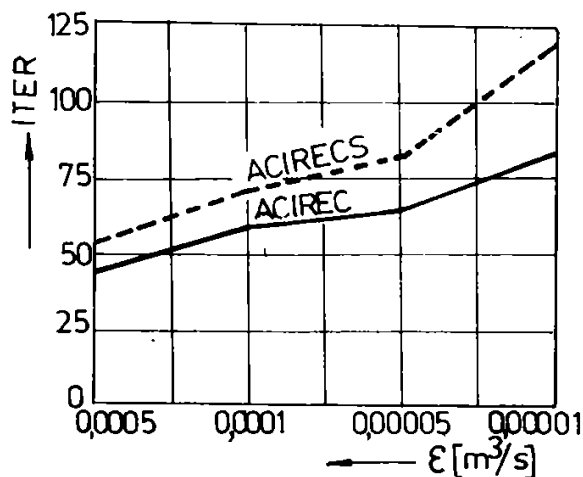


Fig. 5.12 Variația numărului de iterații cu precizia de calcul

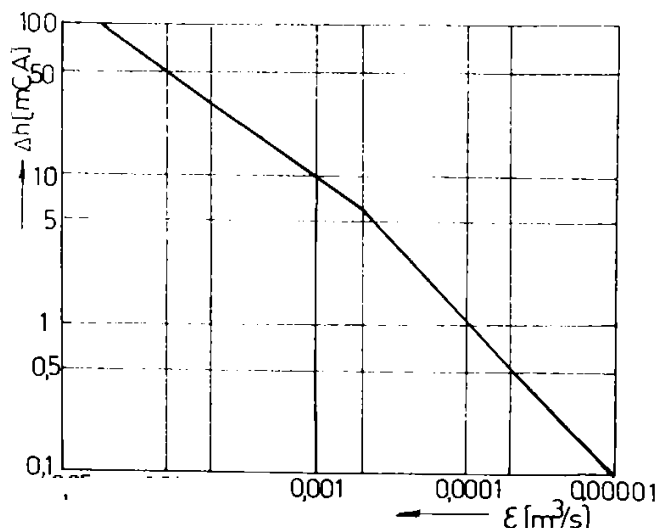


Fig. 5.13 Evoluția procesului de calcul la aplicarea modelului ACIREC

La aplicarea modelului de analiză ciclică în formulare clasică perfecționată ACIREC, rezultă că pentru valori limită a corecțiilor de debite sub $0,00005 \text{ m}^3/\text{s}$ se obțin divergențe totale Δh , ce se înscriu sub limita admisă de $0,5 \text{ m CA}$ (fig. 5.13) și că pe măsura sporirii preciziei, se înregistrează creșteri ale consumului specific de energie pentru distribuție, care însă sînt neesențiale (cca $0,08 \%$ pentru mărirea preciziei ϵ de la $0,00005 \text{ m}^3/\text{s}$ la $0,00001 \text{ m}^3/\text{s}$).

Rezultatele obținute în cadrul aplicațiilor numerice abordate elucidează valabilitatea modelelor și programelor concepute pentru analiza rețelelor inelare de distribuție a apei.

5.4.6 Concluzii parțiale

Cele trei metode de analiză a rețelelor inelare (ciclică, nodală, de tronson) sînt echivalente teoretic, modelul matematic al tuturor constituindu-se pe baza ecuațiilor de conservare a debitelor în noduri și a energiei pe inele alături de relația funcțională pierdere de sarcină-debit în elementele componente ale rețelei.

Metoda ciclurilor are avantajul că folosește cel mai mic număr de ecuații, egal cu numărul inelelor independente M ($M \cong N/3 \dots N/2$) și este superioară metodei nodale în ceea ce privește convergența și stabilitatea numerică, însă se poate folosi, îndeosebi, pentru analiza rețelelor care utilizează ca necunoscute debitul pe tronsoane. Se pretează bine în cadrul unor modele de proiectare a rețelelor inelare la echilibrarea debitelor în rețea.

În cazul în care necunoscutele unei rețele de distribuție sînt cotele piezometrice în noduri, cum este cazul extinderilor sau reconsiderărilor de rețele este de preferat ca mijloc de analiză metoda nodală.

Prin posibilitatea de introducere ca necunoscute a consumurilor la noduri și a rezistențelor hidraulice ale unor conducte, analiza nodală oferă o elasticitate mai mare în comparație cu analiza ciclică și își extinde folosirea la noi probleme cum sînt studierea unei rețele existente în vederea stabilirii posibilităților de racordare a noi consumatori sau a identificării rezistențelor hidraulice, alături de determinarea stării de presiune în rețea în scopul asigurării presiunii de serviciu.

Arătînd posibilitatea abordării diferite de formularea clasică a problemei analizării rețelelor inelare, autorul a elaborat cîte un model de analiză ciclică și respectiv nodală în formulare variațională, bazate pe procedee de optimizare necondiționată. Aceste modele înlocuiesc rezolvarea sistemului de ecuații neliniare (5.8), (5.9), (5.21) cu minimizarea directă a unei funcții criteriale multivariabile, fără restricții, ce exprimă consumul energetic în rețea. Programele ordinatoare proprii ACIREV și ANOREV includ acest aspect particular, avînd implementat algoritmul gradientilor conjugați, ceea ce le conferă eficiență în abordarea analizei rețelelor de distribuție a apei de dimensiuni apreciabile.

Modelele de analiză ciclică și nodală în formulare variațională, folosesc ca necunoscute debitele pe inele, respectiv cotele piezometrice în noduri, la fel ca în formularea clasică și au un element comun cu modelul "conținut" în sensul că problema este formulată ca minimumul unei funcții criteriale. Față de modelul "conținut" nu necesită a se cunoaște aprioric sensul de curgere pe fiecare tronson. De asemenea, reduc efortul de programare și zona de memorie ocupată în comparație chiar și cu modelele corespunzătoare în formulare clasică.

Avantajele și dezavantajele utilizării modelelor de analiză în formulare variațională comparativ cu modelele clasice pot fi puse în evidență mai pregnant numai după o experiență semnificativă dobîndită în analiza rețelelor de distribuție folosind aceste modele.

Deoarece, în țara noastră, analiza rețelelor de alimentare cu apă se efectuează numai cu ajutorul sistemului de ecuații inelare, se recomandă o diversificare a mijloacelor de analiză prin folosirea și a celorlalte sisteme de ecuații.

5.5 Proiectarea optimală a rețelelor complexe de distribuție a apei [176], [181], [182], [183], [184], [192], [197], [201], [204]

5.5.1 Generalități

Proiectarea rețelelor inelare de distribuție a apei a ridicat întotdeauna probleme dificile în fața specialiștilor, atît prin formularea modelului matematic cît și prin volumul mare de lucru pe care îl implică.

Complexitatea mare a calculului rețelelor de distribuție a condus la două tendințe diferite de tratare a acestor probleme, una de a considera sisteme simple, dar în condiții de funcționare complexe și alta de a trata sisteme complexe, adoptînd însă numeroase ipoteze simplificatoare referitoare la :

- configurația geometrică a rețelei;
- legea de curgere a apei în conducte;
- numărul de situații funcționale analizate;
- legea consumului de debit;

- precizia admisă pentru respectarea ecuațiilor de continuitate a debitelor și a liniilor piezometrice.

Intervenția calculatoarelor electronice a eliberat proiectantul de unele dificultăți de calcul și se manifestă printr-o substanțială modificare a concepției de calcul și chiar a concepției de proiectare. De asemenea, disciplinele matematice moderne prin calculul operațional pun la îndemna proiectantului un vast aparat de analiză științifică în stabilirea deciziilor optime pentru problemele proiectării sistemelor de distribuție a apei. O mare contribuție în calculul optimal a acestor sisteme o aduce crearea programării matematice și a teoriei grafurilor, lărgindu-se aria de modelare a problemelor optimizării. Acest avantaj devine operațional prin formularea funcției obiectiv astfel încât să exprime un criteriu de optimizare cât mai complex și prin stabilirea restricțiilor de așa manieră încât soluția acceptabilă să simuleze cât mai fidel comportarea reală a rețelei.

Având în vedere că modelele de analiză a rețelelor inelare își concentrează eforturile îndeosebi asupra eficientizării algoritmului matematic de rezolvare, facilitățile oferite de calculatoarele electronice numerice și de tehnicile moderne de calcul trebuie să fie folosite în special pentru o sinteză (proiectare) optimală a soluției tehnice și economico-energetice.

În acest context, unul din obiectivele principale ale cercetării îl constituie formularea unor modele de optimizare a proiectării rețelelor de distribuție a apei și elaborarea unor programe de calcul care să conducă la rezultate superioare în comparație cu alte modele de calcul uzuale sau existente în literatura tehnică de specialitate.

5.5.2 Model de optimizare a traseului rețelelor ramificate [182], [194]

În multe cazuri un sistem de distribuție a apei este caracterizat în faza inițială de consumuri mai mici, deserving un teritoriu restrâns, iar o dată cu sporirea consumului în timp și cu extinderea vetrei alimentate, încărcarea hidraulică a sistemului crește, fiind necesar ca arterele realizate inițial să corespundă și în dezvoltarea de perspectivă. În această situație soluția rațională de realizare a unor rețele noi se prezintă, în general, ca soluție optimă a unei rețele de bază ramificată care ulterior urmează a se transforma într-o rețea inelară cu capacitate mărită.

De asemenea, sporirea convergenței modelului de analiză ciclică a rețelelor inelare implică determinarea traseului optim al rețelei virtual ramificate de bază pe criteriul minimului sumei rezistențelor hidraulice.

Având în vedere că această problemă de optimizare poate avea una sau mai multe soluții și că algoritmi cunoscuți pentru rezolvarea ei determină, de regulă, o singură soluție care, în anumite situații [159], se dovedește a fi suboptimă, s-a conceput un algoritm bazat pe teoria grafurilor, ce generează toți arborii minimi ai grafului format cu nodurile unde se amplasează utilizatorii și de legăturile dintre ei, determinându-se astfel toate soluțiile optime.

Modelarea problemei se realizează prin reprezentarea grafului conex neorientat alcătuit din instalația de punere sub presiune ca origine, nodurile de consum ca vîrfuri și traseele arterelor ce unesc aceste puncte ca muchii.

Fie graful conex neorientat $G = (X, U)$ cu $X = \{1, 2, \dots, n\}$, în care fiecare muchie $u_j^i \in U$ are asociată o valoare $\lambda(u_j^i) > 0$, în unități convenționale, conform criteriului de optimizare adoptat. Acestui graf i se atașează matricea C de ordin n ale cărei elemente sînt:

$$c_{ij} = \begin{cases} \lambda(u_j^i), & \text{dacă } u_j^i \in U \\ \infty, & \text{dacă } u_j^i \notin U, \text{ sau } i = j \end{cases} \quad (5.112)$$

Indicii vîrfurilor muchiilor u_j ce aparțin grafului parțial al arborilor minimi și valorile corespunzătoare c_{ij} se rețin într-o matrice M , care potrivit faptului că un arbore minim are $n-1$ muchii, va avea 3 coloane și $n-1$ linii. Această matrice se construiește în următoarele etape:

E1) Se determină elementele minime de pe fiecare linie a matricei C .

E2) Se alege una din liniile pentru care elementul minim este unic și se notează cu r, s indicii săi.

E3) Se înregistrează pe prima linie a matricei M valorile r, s, c_{rs} și se marchează elementele c_{rs}, c_{sr} din matricea C .

E4) Se determină minimul elementelor nemarcate de pe liniile matricei C pe care există cel puțin un element marcat și se notează cu r, s indicii elementului minim sau a unuia dintre ele în cazul că există mai multe.

E5) Dacă pe linia s a matricei C există elemente marcate, se marchează și elementele c_{rs}, c_{sr} și se trece la etapa E6, iar dacă pe linia s a matricei C nu există elemente marcate, pentru fiecare element c_{is} aflat pe o linie marcată și egal cu c_{rs} se adaugă matricei M o nouă linie formată din valorile i, s, c_{is} și se marchează elementele c_{is}, c_{si} din matricea C , după care se trece la etapa E6.

E6) Se trece la etapa E4 sau se opresc calculele după cum mai există sau nu linii în matricea C cu nici un element nemarcat.

Dacă pentru matricea M , rezultă un număr de linii mai mare decît ordinul grafului considerat, problema arborelui minim are mai multe soluții.

În acest caz se permută mai întîi liniile matricei M astfel încît elementele coloanei a doua să fie ordonate crescător. Pe coloana a doua se vor găsi numai indicii a $n-1$ vîrfuri ale grafului. Dacă se notează frecvențele absolute a acestor indici pe coloana a doua a matricei M cu F_i , iar frecvențele cumulate cu F_i^* ($i=1,2,\dots,n-1$), numărul de arbori minimi ai grafului n_a , are valoarea dată de relația:

$$n_a = \prod_{i=1}^{n-1} F_i \quad (5.113)$$

Pentru identificarea arborilor minimi se construiește o matrice A cu $n-1$ linii și n_a coloane, în etapele:

E7) Se asociază fiecărei frecvențe absolute F_i o variabilă $V_{i,k}$ ale cărei valori sînt elementele mulțimii $N_i = (F_{i-1}^*, F_{i-1}) \cap \{N\}$, ($i = 1, 2, \dots, n-1$), iar $F_0^* = 0$.

E8) Pe fiecare linie i a matricei A se înregistrează de n_a/F_i ori elementele $V_{i,k}$ ale mulțimii N_i astfel ca matricea A obținută în final să aibă coloanele ordonate lexicografic.

Pe fiecare coloană a matricei A se găsesc indicii liniilor matricei M ce conțin caracteristicile muchiilor unuia din arborii optimi.

Pe baza algoritmului descris s-a elaborat programul ordinator OTREDIRA.

5.5.3 Optimizarea repartiției debitelor de tranzit în rețelele inelare [201]

5.5.3.1 Necesitatea optimizării repartiției debitelor de tranzit

Este cunoscut că deși sistemul inelar de rețea necesită, de obicei, o investiție sporită față de cel ramificat care alimentează aceleași noduri și are aceeași încărcare hidraulică, la rețelele inelare siguranța în alimentarea nodurilor este mult mai mare și prin urmare se impune introducerea în calculul de dimensionare optimală și a unei condiții referitoare la *gradul de siguranță în exploatare*.

Funcția obiectiv de forma generală (5.52), utilizată la dimensionarea optimă a rețelelor de distribuție a apei, este din punct de vedere matematic o funcție atât de debitele Q_{ij} (prin intermediul pierderii de sarcină h_{ij}) cât și de diametrele D_{ij} ale fiecărui tronson, ceea ce face să se întâmpine serioase dificultăți în problema obținerii unui minim pe cale analitică. Prin anulare, derivatele parțiale de forma $\partial F_c / \partial D_{ij}$ și $\partial F_c / \partial Q_{ij}$ arată că funcția obiectiv F_c admite extreme, însă derivatele de ordinul doi indică trecerea funcției obiectiv F_c prin valori minime în raport cu diametrele D_{ij} și prin valori maxime în raport cu debitele Q_{ij} , ceea ce complică soluționarea problemei.

De asemenea, cunoscând la dimensionarea rețelelor inelare debitele consumate în noduri față de debitul de alimentare, se pot stabili debitele de tranzit pe tronsoane într-o înfinitate de moduri, astfel încât să satisfacă restricțiile (5.8) de continuitate în noduri, afectând însă gradul de siguranță și condițiile tehnice și economico-energetice ale sistemului. Astfel, în cazul utilizării de criterii exclusiv cantitative (CAN, CTA, WT) la dimensionarea optimă a tipurilor uzuale de sisteme inelare, pot rezulta ramuri de alimentare cu diametre de valori foarte diferite [196], ceea ce din punct de vedere practic constituie o rețea mixtă.

Pentru a evita aceste situații se propune etapizarea calculului de dimensionare optimă a rețelelor inelare în două procese principale:

- *optimizarea repartiiției debitelor de tranzit pe baza unui criteriu calitativ, care ține seama de gradul de siguranță în exploatare;*
- *determinarea efectivă a diametrelor optime prin aplicarea unui criteriu de optimizare, ținând seama de debitele de tranzit optimizate.*

5.5.3.2 Modele de calcul al repartiiției optime a debitelor de tranzit

Optimizarea debitelor de tranzit pe tronsoane presupune cunoașterea elementelor geometrice ale rețelei și admiterea ipotezei consumului la noduri. Numărul soluțiilor acceptabile pentru repartiiția debitelor în conductele unei rețele date se restrânge considerabil dacă se folosește criteriul calitativ de siguranță în exploatare.

În acest sens, se utilizează pentru optimizarea debitelor *criteriul lucrului de transport minim*, care se exprimă analitic prin M funcții obiectiv de forma:

$$F_t = \sum_{\substack{j \in m \\ i=1}}^T L_{ij} Q_{ij}^\gamma \rightarrow \min, \quad (m = 1, \dots, M) \quad (5.114)$$

unde lungimile L_{ij} ale conductelor sînt cunoscute și la care se alătură și ecuațiile de continuitate (5.8) ca restricții.

Modelul descris de relațiile (5.114), (5.8) asigură alimentarea nodurilor rețelei pe drumul cel mai scurt și cu un efort minim de transport, iar pentru rezolvarea acestuia se aplică *metoda iterațiilor*, calculînd cîte un debit de corecție ΔQ_m în fiecare inel m , din condiția:

$$F_t = \sum_{\substack{j \in m \\ i=1}}^T L_{ij} (Q_{ij} + \Delta Q_m)^\gamma \rightarrow \min \quad (5.115)$$

care necesită egalarea cu zero a derivatei $\partial F_t / \partial \Delta Q_m = f(\Delta Q_m)$, adică:

$$f(\Delta Q_m) = \gamma \sum_{\substack{j \in m \\ i=1}}^T L_{ij} (Q_{ij} + \Delta Q_m)^{\gamma-1} = 0, \quad (5.116)$$

de unde, pentru simplificare se rețin numai primii doi termeni ai seriei Mac-Laurin:

$$f(\Delta Q_m) = f(0) + \Delta Q_m f'(0) = 0 \quad (5.117)$$

Făcînd derivata funcției (5.116) și particularizînd-o pentru $\Delta Q_m = 0$, rezultă:

$$f'(0) = \gamma (\gamma - 1) \sum_{\substack{j \in m \\ j=1}}^T L_{ij} Q_{ij}^{\gamma-2} \quad (5.118)$$

cu care, din relația (5.117), se obține:

$$\Delta Q_m = - \frac{\sum_{\substack{j \in m \\ j=1}}^T L_{ij} Q_{ij}^{\gamma-1}}{(\gamma - 1) \sum_{\substack{j \in m \\ j=1}}^T L_{ij} |Q_{ij}|^{\gamma-2}} \quad (m = 1, \dots, M) \quad (5.119)$$

unde debitele Q_{ij} sînt mărimi orientate, avînd semnul (+) atunci cînd sensul lor, pe tronsoane coincide cu sensul de parcurs al inelului, iar în caz contrar avînd semnul (-).

Pornind de la soluția inițială, obținută considerînd debitele nule în conductele care nu aparțin rețelei virtual ramificate de bază dată de algoritmul descris la pct. 5.5.2 și determinînd celelalte debite recursiv, începînd cu nodurile extreme ale acestei rețele, se corectează debitele iterativ, pînă se atinge precizia prescrisă prin eroarea maximă admisă pe un ciclu.

Debitul corectat Q_{ij} se calculează cu relația (5.120) sau (5.121) după cum conducta considerată este singulară sau comună la inelele m și k :

$$Q_{ij} = Q_{ij}^{(0)} + \Delta Q_m \quad (5.120) \quad Q_{ij} = Q_{ij}^{(0)} + \Delta Q_m - \Delta Q_k \quad (5.121)$$

în care: $Q_{ij}^{(0)}$ este debitul în conducta ij la aproximația precedentă; ΔQ_m , ΔQ_k - corecția de debit ce se aplică în inelul m și respectiv k .

Ținînd seama de faptul că funcția $1/(\gamma-1)$ are valori foarte mari în vecinătatea punctului 1, în raport cu funcția putere $Q_{ij}^{\gamma-1}$, modelul de optimizare (5.119) poate fi aplicat la rețele avînd mai mult de 5...10 inele, cu rezultate corespunzătoare din punct de vedere tehnic, doar pentru valori ale exponentului γ în domeniile: $0 < \gamma < 0,5$ și $\gamma > 1,25$.

Modelul de optimizare a debitelor de tranzit poate fi formulat și ca un *program neliniar de minim condiționat*, avînd funcția obiectiv unică:

$$F_t = \sum_{j=1}^T L_{ij} Q_{ij}^\gamma \rightarrow \min \quad (5.122)$$

supusă pe lîngă restricțiile de continuitate (5.8) și la restricțiile de ordin tehnic:

$$Q_{ij} \geq Q_0^* \quad (ij = 1, \dots, T) \quad (5.123)$$

în care Q_0^* este un debit minim necesar în conductele rețelei astfel încît să se evite posibilitatea transformării rețelei inelare într-una parțial ramificată.

Rezolvarea acestui model matematic se poate efectua aplicând metoda gradientilor condiționați și are dezavantajul că necesită cunoașterea apriorică a sensului de curgere pe fiecare tronson.

Modelul iterativ de optimizare (5.119) s-a implementat în cadrul programului ordinator REOPDERA, care permite pe lângă calculul debitelor optimizate pentru diverși exponenți γ ai funcției obiectiv F_t , și efectuarea dimensionării optimale a conductelor rețelei după mai multe criterii folosind modelul cunoscut de optimizare Moșnin. Pentru fiecare exponent γ luat în studiu se determină, cu valorile diametrelor optime efectiv calculate cât și a diametrelor comerciale alese, valoarea criteriului F_c de optimizare a diametrelor și valoarea criteriului F_t de optimizare a debitelor. Corespunzător valorii minime a funcției de performanță F_c rezultă valoarea optimă a exponentului γ .

5.5.3.3 Determinarea exponentului optim al funcției obiectiv de optimizare a debitelor de tranzit

Se prezintă parțial rezultatele studiului efectuat cu ajutorul programului REOPDERA privind optimizarea repartiției debitelor de tranzit, și anume pentru rețeaua inelară din figura 5.14 alimentată prin pompare cu debitul $Q_p = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Calculul s-a efectuat pentru un număr de 20 valori ale exponentului γ considerînd regimul de curgere al apei în conducte atât turbulent tranzitoriu cât și turbulent pătratic și adoptînd pentru optimizarea diametrelor criteriul CTA precum și criteriul WT. Pentru a se putea determina cu certitudine valoarea optimă a exponentului γ s-au calculat valorile funcției obiectiv F_c luînd în considerare nu numai diametrele comerciale alese ci și diametrele efectiv calculate.

În figurile 5.15 și 5.16 se prezintă graficele de variație a funcției obiectiv F_c în raport cu exponentul γ , iar în figura 5.17 se dă graficul de variație a funcției de performanță F_t , calculată pentru întreg sistemul inelar, în raport cu exponentul γ .

După cum reiese din reprezentările făcute în figurile 5.15 și 5.16, în toate ipotezele de calcul considerate s-a obținut pentru exponentul γ valoarea optimă $\gamma_0 = 1,5$, căreia îi corespunde cea mai mică dintre valorile minime ale funcției obiectiv F_c de optimizare a diametrelor.

Din figura 5.17 rezultă că valoarea minimă a funcției obiectiv F_t , de optimizare a debitelor, deci gradul maxim de siguranță în exploatarea rețelei, corespunde exponentului $\gamma = 2,3$.

Analize teoretice asemănătoare s-au efectuat și pentru alte rețele inelare de dimensiuni și cu încărcări hidraulice diferite, conducînd la concluzia că valoarea optimă a exponentului γ al funcției de performanță F_t se află în domeniul 1,5...2,5, valorile mici referindu-se la rețele de dimensiuni mari și invers.

Din analizele numerice efectuate a rezultat că, pentru $\gamma = 2$, valoarea fiecăreia dintre funcțiile obiectiv F_c și F_t este foarte apropiată de valoarea minimă corespunzătoare a acestora (eroare sub 1 % și respectiv 5 %). De aceea se recomandă ca modelul de optimizare a debitelor să minimizeze produsele de transport pătratice ($\gamma_0 = 2$), ceea ce are ca semnificație fizică, în ipoteza egalității modurilor de rezistență hidraulică pe cele două ramuri ale unui inel, minimizarea consumului energetic pe fiecare inel și deci pe întreg sistemul inelar.

Implementarea în cadrul unor programe complexe de dimensionare optimală a rețelelor inelare a modelului matematic (5.119) de optimizare a debitelor, după criteriul lucrului mecanic de tranzit minim cu produse de transport de grad $\gamma = 2$, conduce nu numai la rețele optime din punctul de vedere al diametrelor, dar conferă și un grad mare de siguranță în funcționarea lor.

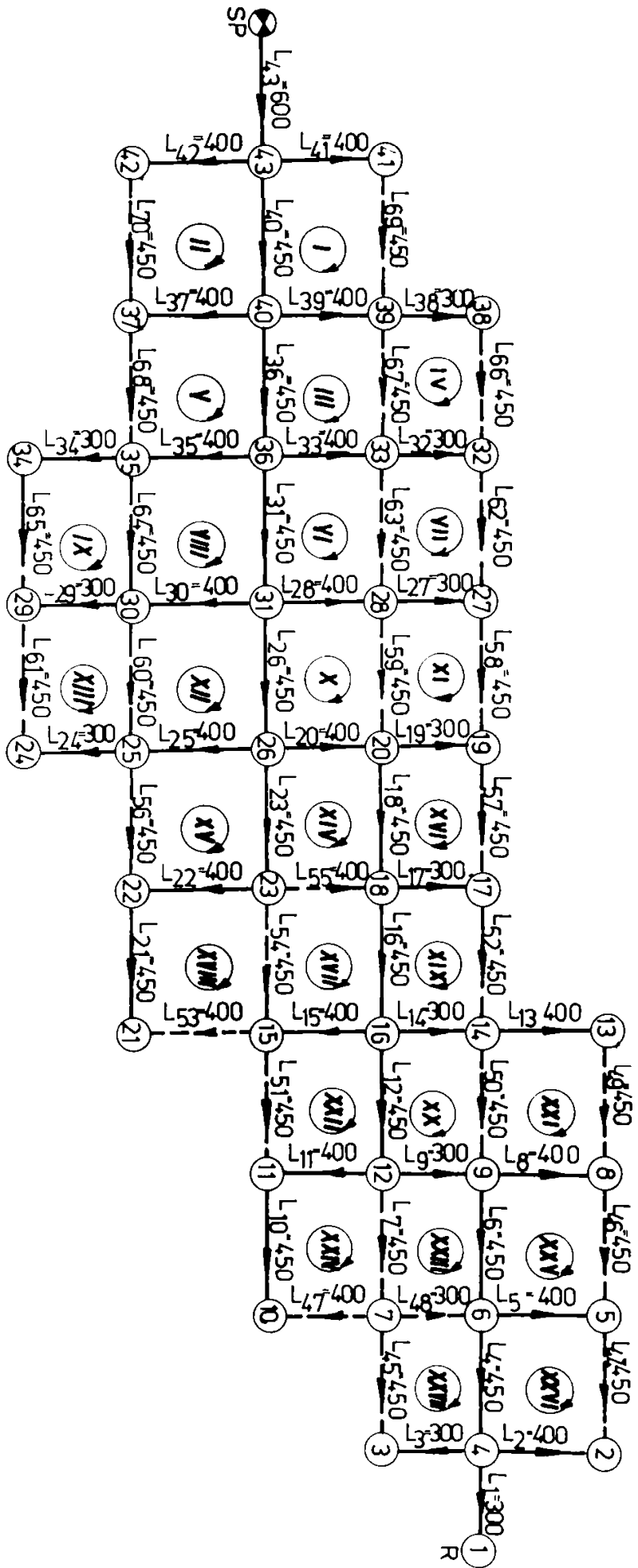


Fig. 5.14 Schema rețelei înelare (M=27, N=43, T=70) de distribuție

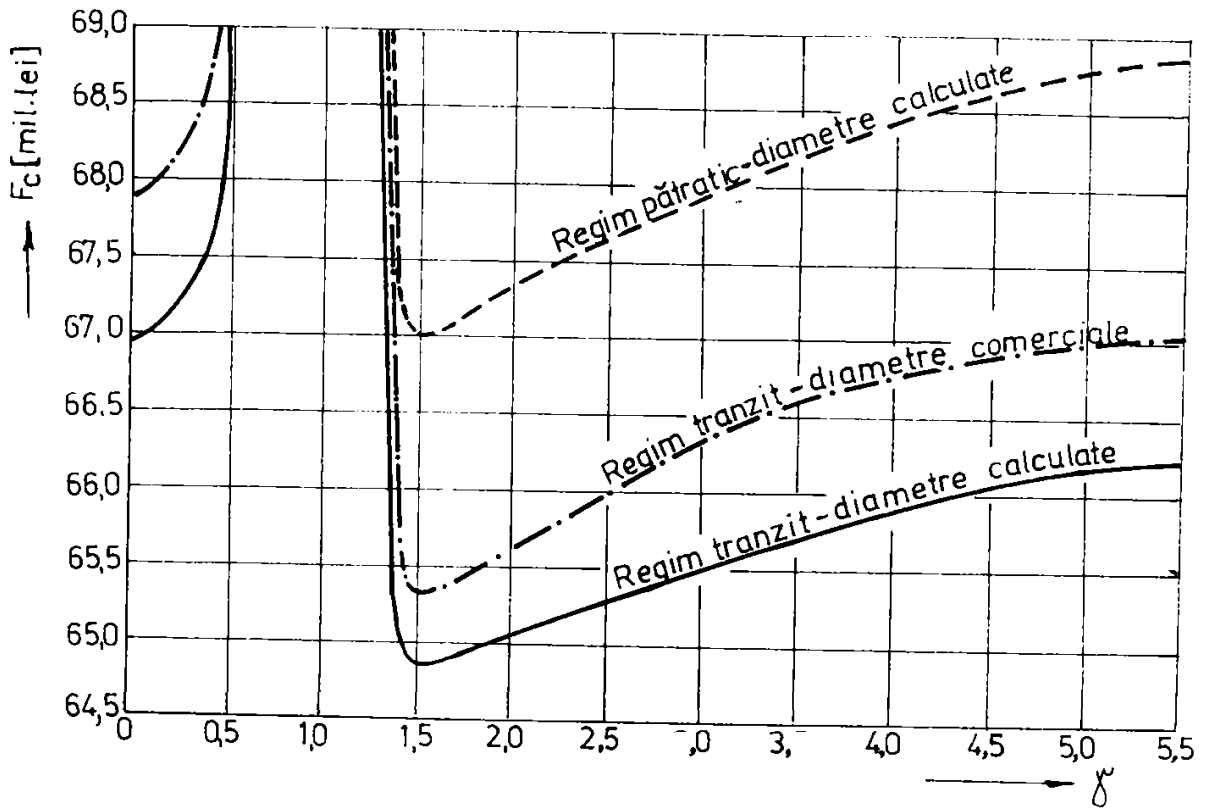


Fig. 5.15 Variația cheltuielilor totale actualizate minime în raport cu γ

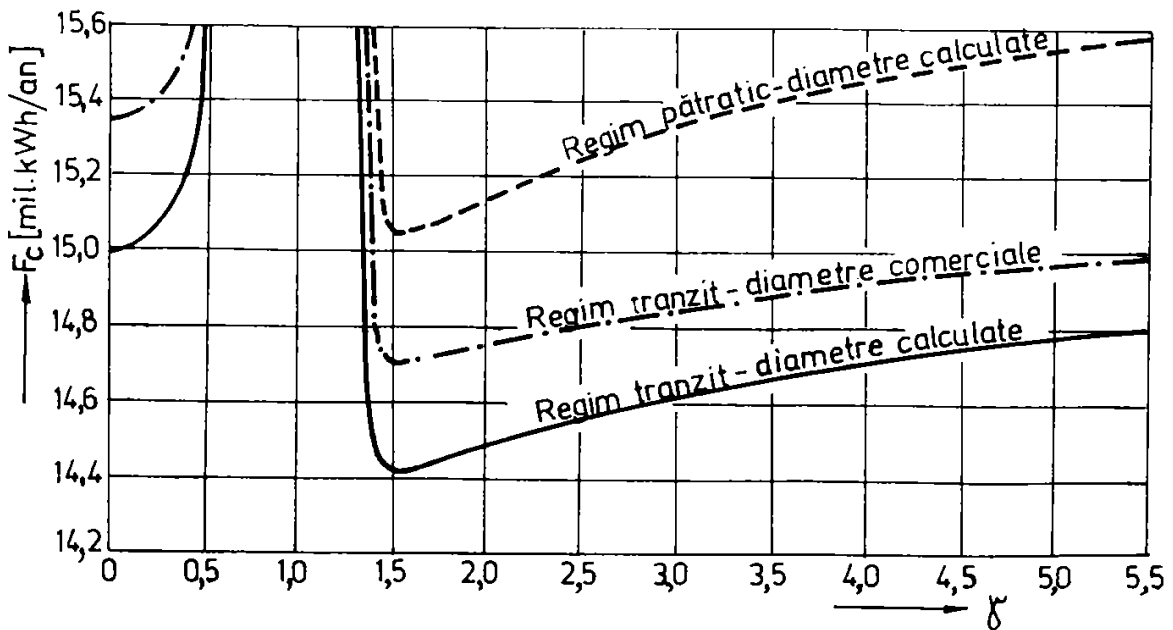


Fig. 5.16 Variația consumului energetic minim în raport cu γ

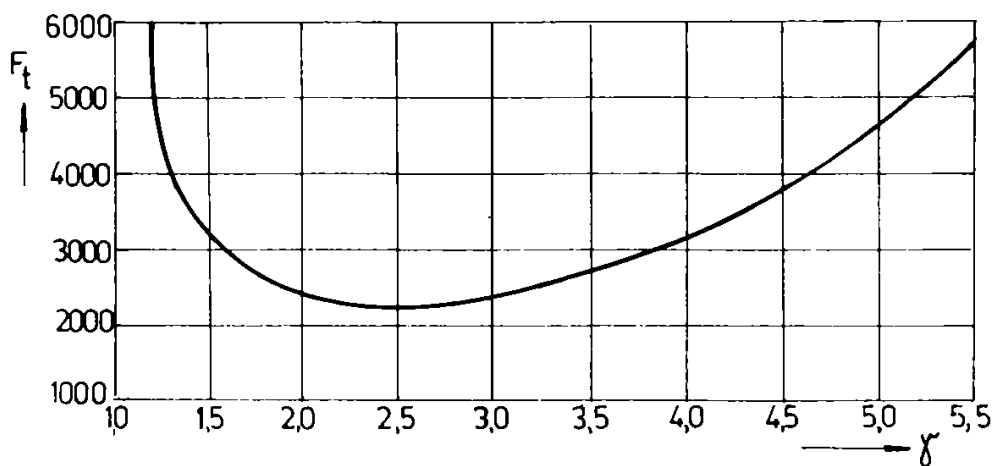


Fig. 5.17 Variația lucrului de tranzit minim în raport cu γ

5.5.4 Modele de optimizare a dimensionării rețelelor inelare [176], [183], [195], [197], [204]

5.5.4.1 Generalități

În cadrul proceselor de optimizare pe care le implică proiectarea rațională a rețelelor de distribuție a apei, care să conducă la folosirea judicioasă a fondurilor de investiție, la o exploatare normală cu consum minim de energie și cheltuieli reduse de o mare importanță este optimizarea dimensionării acestora.

Practica actuală a dimensionării se caracterizează de obicei printr-o alegere a diametrelor conductelor funcție de vitezele medii economice (MVE), procedeu care necesită tatonări și rareori duce la un optim din punct de vedere al unui criteriu economic și tehnic.

O dată cu perfecționarea calculatoarelor electronice problema proiectării optimale și-a găsit ecou atât în țară cât mai ales în străinătate.

Un procedeu de dimensionare optimală superior funcțional metodei curente este procedeu discontinuu [118], utilizabil însă doar pentru rețele în sistem ramificat.

Există și alte modele analitice sau numerice ce utilizează optimizarea criteriilor de economie [1], [9], [10], [14], [30], [35], [98], [107], [153], [240], dar deși acestea cer respectarea condițiilor hidraulice de bază ale rețelelor inelare simple, rămân condiții legate de funcționalitatea, siguranța în exploatare și aspectul energetic care, în general, nu pot fi respectate în totalitatea lor, fiind necesare ajustări postoptimale ce alterează soluția optimă obținută inițial, conducând la un optim relativ.

De asemenea, fie că unele din aceste metode necesită studierea mai multor variante posibile [153], fie că au un grad de aplicabilitate limitat, neincluzând cazul rețelelor inelare alimentate gravitațional [1], [9], [107] ori cel al rețelelor inelare alimentate din mai multe surse și având pompe integrate pe artere [10], [30], [240] sau neoferind posibilitatea folosirii unor criterii de optimizare complexe și multiple [14], [35], [52] și a considerării mai multor ipoteze de funcționare [9], [98], [222], [240].

Pe de altă parte, aproape toate aceste modele de optimizare consideră curgerea în domeniul turbulenței pătratică, au la bază ipoteza consumului concentrat la noduri și nu permit practic decât folosirea unui singur diametru pe toată lungimea fiecărui tronson de conductă [9], [240], de obicei rotunjit la valoarea standardizată cea mai apropiată [10], [14], [35], [52], [107], [153], neoferind

siguranța obținerii unui optim absolut, iar unele nu permit decât dimensionarea rețelelor noi [14], [35], [52], [98], [222].

Având în vedere aceste considerente, autorul a reformulat modelul cunoscut de optimizare Moșnin [1], [2], [105] pentru dimensionarea rețelelor inelare alimentate de la mai multe stații de pompare în regim de curgere turbulent tranzitoriu și a elaborat două modele de dimensionare optimă a rețelelor de distribuție, cu un grad de generalitate și performanțe sporite, bazate pe metodele programării matematice neliniare și respectiv liniare.

5.5.4.2 Reformularea modelului de optimizare Moșnin pentru rețele inelare alimentate din mai multe surse în regim de curgere turbulent tranzitoriu [192], [197]

Unul din modelele de calcul cu bune rezultate în optimizarea rețelelor inelare de distribuție a apei descris în literatura de specialitate este *modelul de optimizare Moșnin (MOM)*. Acesta se reformulează astfel încât să facă posibilă dimensionarea optimă a rețelelor inelare alimentate de la una sau mai multe stații de pompare, în regim turbulent tranzitoriu de curgere a apei în conducte, prin minimizarea unuia din criteriile de optimizare exprimate de funcția obiectiv complexă de forma (5.52).

Conform acestui model se determină un parametru unic X_{ij} cu valoare optimizată pentru fiecare tronson ij , ce respectă condițiile de continuitate în noduri și condițiile de bilanț energetic pe inele, cu ajutorul căruia se calculează diametrul optim D_{ij} .

Din relația funcțională de forma generală (5.21) se exprimă diametrul D_{ij} în funcție de pierderea de sarcină h_{ij} și se introduce în funcția de performanță (5.52), rezultând:

$$F_c = \xi_1 \sum_{ij=1}^T [a + b(\frac{k}{h_{ij}})^r (Q_{ij}^\beta L_{ij})^{\frac{\alpha}{r}}] L_{ij} + \psi \sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} (\sum h_{ij} + H_o)_j \quad (5.124)$$

în care k este dat de relația (5.23).

Deoarece în calculul de optimizare se utilizează ecuațiile de conservare a energiei pe inele este mai practic să se efectueze derivatele funcției obiectiv F_c în raport cu pierderile de presiune h_{ij} :

$$\frac{\partial F_c}{\partial h_{ij}} = -\frac{\alpha}{r} \xi_1 b k^{\frac{\alpha}{r}} \frac{s_{ij}}{h_{ij}^{1+\frac{\alpha}{r}}} + \psi Q_p \quad (5.125)$$

în care:

$$s_{ij} = (Q_{ij}^\beta L_{ij})^{\frac{\alpha}{r}} L_{ij}; \quad Q_p = \sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} \quad (5.126)$$

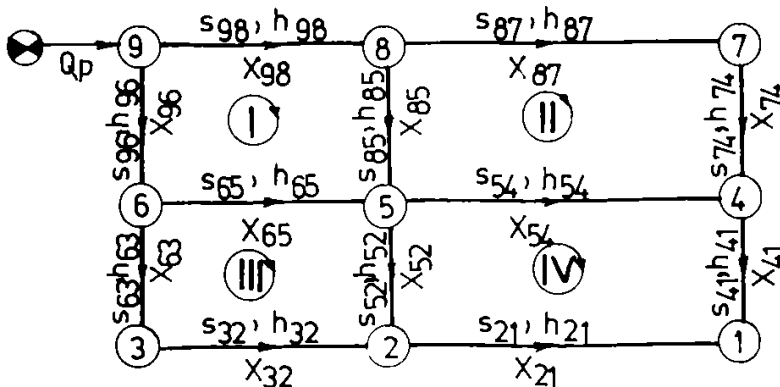


Fig. 5.18 Schemă rețea

La efectuarea derivatelor parțiale trebuie să se țină seama de condițiile hidraulice pentru o rețea inelară. Astfel, pentru o rețea cu M inele, N noduri și T tronsoane se pun M condiții între pierderile de presiune h_{ij} încât $N-NP$ valori h_{ij} se pot considera independente, iar restul $T-N+NP$ trebuie explicitate.

Dacă se consideră pentru ușurarea expunerii, rețeaua

simplă (NP = 1) din figura 5.18 cu M = 4 inele, N = 9 noduri și T = 12 tronsoane, rezultă că trebuie alese 4 variabile dependente ale pierderilor de sarcină.

Astfel, considerînd ca variabile dependente, pierderile de sarcină h_{96} , h_{85} , h_{63} , h_{52} se scriu următoarele ecuații de bilanț energetic:

$$\begin{aligned} h_{96} &= h_{98} + h_{87} + h_{74} - h_{65} - h_{54} \\ h_{85} &= h_{87} + h_{74} - h_{54} \\ h_{63} &= h_{65} + h_{54} + h_{41} - h_{32} - h_{21} \\ h_{52} &= h_{54} + h_{41} - h_{21} \end{aligned} \quad (5.127)$$

În acest fel funcția obiectiv se poate explicita sub forma:

$$F_c = \xi_1 T a + \xi_1 b k^{\frac{\alpha}{r}} \left[\frac{S_{98}}{h_{98}^{\frac{\alpha}{r}}} + \frac{S_{96}}{(h_{98} + h_{87} + h_{74} - h_{65} - h_{54})^{\frac{\alpha}{r}}} + \frac{S_{63}}{h_{65}^{\frac{\alpha}{r}}} + \dots \right] + \psi Q_p (\sum h_{ij} + H_o) \quad (5.128)$$

Dacă se anulează derivata parțială în raport cu h_{21} și se fac notațiile:

$$E = \frac{r \psi k}{\xi_1 b \alpha} \quad (5.129) \quad A = \frac{\psi}{\xi_1 b^{\frac{\alpha}{r}} k^{\frac{\alpha}{r}}} = \frac{E}{k^{1+\frac{\alpha}{r}}} \quad (5.130)$$

se obține:

$$\frac{S_{98}}{h_{98}^{1+\frac{\alpha}{r}}} + \frac{S_{96}}{(h_{98} + h_{87} + h_{74} - h_{65} - h_{54})^{1+\frac{\alpha}{r}}} = A Q_p \quad (5.131)$$

Prin considerarea unei noi variabile X_{ij} denumită debit fictiv:

$$X_{ij} = \frac{S_{ij}}{h_{ij}^{1+\frac{\alpha}{r}}} \frac{1}{A Q_p} \quad (5.132)$$

relația (5.131) devine:

$$X_{98} + X_{96} = 1 \quad (5.133)$$

Această relație are loc între variabilele X_{98} și X_{96} ale conductelor care pornesc din nodul de alimentare 9.

Anularea celorlalte derivate parțiale duc la obținerea unui sistem de N = 9 ecuații, din care numai N - NP = 8 sînt independente:

$$\begin{aligned} X_{98} + X_{96} &= 1 & X_{65} + X_{63} &= X_{96} & X_{63} &= X_{32} \\ X_{25} + X_{87} &= X_{98} & X_{65} + X_{85} &= X_{52} + X_{54} & X_{32} + X_{52} &= X_{21} \\ X_{87} &= X_{74} & X_{54} + X_{74} &= X_{41} & X_{21} + X_{41} &= 1 \end{aligned} \quad (5.134)$$

Celelalte M = 4 relații, pentru variabilele dependente, se scriu exprimînd pierderile de sarcină h_{ij} în funcție de debitele fictive X_{ij} din relația (5.132) după înlocuirea primei relații (5.126):

$$h_{ij} = \frac{(Q_{ij}^{\beta} L_{ij})^{\frac{\alpha}{r}} L_{ij}^{\frac{r}{\alpha+r}}}{X_{ij}^{\frac{r}{\alpha+r}} (A Q_p)^{\frac{r}{\alpha+r}}} = \frac{h f_{ij}}{(A Q_p)^{\frac{r}{\alpha+r}}} \quad (5.135)$$

Dacă se folosește prin analogie cu pierderile de sarcină reale notația $h f_{ij}$, reprezentînd pierderea de sarcină fictivă, ea va avea expresia:

$$h f_{ij} = Q_{ij}^{\frac{\beta \alpha}{r}} L_{ij}^{\frac{r}{\alpha+r}} X_{ij}^{\frac{r}{\alpha+r}} = S f_{ij} X_{ij}^{\frac{r}{\alpha+r}} \quad (5.136)$$

în care prin $S f_{ij}$ s-a notat modulul fictiv de rezistență, definit de relația:

$$Sf_{ij} = L_{ij} Q_{ij}^{\frac{\beta\alpha}{\alpha+r}} \quad (5.137)$$

Cu pierderile de sarcină fictive astfel obținute se pune condiția închiderii liniei de presiune fictivă analog cu condițiile din cazul pierderilor de presiune reale.

Debitele fictive X_{ij} se propun inițial astfel încât să fie respectate condițiile de bilanț în noduri. În nodul de alimentare și nodul de închidere, suma valorilor X_{ij} pe tronsoanele concurente în acestea trebuie să formeze unitatea.

Dacă rețeaua este alimentată de la mai multe surse, în fiecare nod de alimentare j suma debitelor fictive pe tronsoanele concurente în nod este $Q_{p,j}/Q_p$ ($j = 1, 2, \dots, NP$).

Debitele fictive se echilibrează prin aproximații succesive cu ajutorul corecțiilor inelare ΔX_m calculate pentru fiecare inel m .

Se scrie condiția de echilibrare:

$$f(\Delta X_m) = \sum_{\substack{j \in m \\ i=1}}^T Sf_{ij} (X_{ij} + \Delta X_m)^{-\frac{r}{\alpha+r}} = 0 \quad (5.138)$$

din care pentru simplificare se rețin numai primii doi termeni ai seriei Mac-Laurin:

$$f(\Delta X_m) = f(0) + \Delta X_m f'(0) \quad (5.139)$$

Făcînd derivata funcției (5.138) și particularizînd-o pentru $\Delta X_m = 0$, rezultă:

$$f'(0) = -\frac{r}{\alpha+r} \sum_{\substack{j \in m \\ i=1}}^T Sf_{ij} X_{ij}^{-\frac{r}{\alpha+r}}, \quad (5.140)$$

cu care din relația (5.139) se obține modelul matematic:

$$\Delta X_m = \frac{\alpha+r}{r} \frac{\sum_{\substack{j \in m \\ i=1}}^T Sf_{ij} X_{ij}^{-\frac{r}{\alpha+r}}}{\sum_{\substack{j \in m \\ i=1}}^T Sf_{ij} X_{ij}^{-\frac{2r+\alpha}{\alpha+r}}} \quad (m = 1, \dots, M) \quad (5.141)$$

Pentru valorile particulare $\alpha=1,8$ și $r=5,33$, forma practică utilizabilă pentru corecția de debit fictiv este:

$$\Delta X_m = \frac{4}{3} \frac{\sum_{\substack{j \in m \\ i=1}}^T Sf_{ij} X_{ij}^{-0,75}}{\sum_{\substack{j \in m \\ i=1}}^T Sf_{ij} X_{ij}^{-1,75}} \quad (m = 1, \dots, M) \quad (5.142)$$

iar modulul fictiv de rezistență devine:

$$Sf_{ij} = L_{ij} \sqrt{Q_{ij}} \quad (5.143)$$

Debitele fictive corectate se determină cu relații de tipul (5.120) și (5.121), valabile pentru calculul debitelor reale optimizate.

De reținut că modulul fictiv S_{fij} , debitele fictive X_{ij} , divergențele fictive pe inele $\sum S_{fij} X_{ij}^{-0,75}$ și corecțiile de debit ΔX_m sînt mărimi orientate.

Explicitînd debitele fictive X_{ij} , prin introducerea în relația (5.132) a relațiilor (5.21), (5.126), (5.130) se deduce relația generală de optimizare a diametrelor:

$$D_{ij} = E^{\frac{1}{\alpha+r}} (X_{ij} Q_p)^{\frac{1}{\alpha+r}} Q_{ij}^{\frac{\beta}{\alpha+r}} \quad (5.144)$$

Mărimea X_{ij} se poate interpreta ca fracțiunea din debitul pompat Q_p care trebuie considerată în calculul unei conducte ce face parte dintr-o rețea inelară.

Introducînd $X_{ij}=1$ în relația (5.144) se obține relația particulară pentru dimensionarea optimală a conductelor rețelelor ramificate.

Modelul de optimizare Moșnin s-a implementat în cadrul programului complex DIOPREDA, care permite dimensionarea optimală a rețelelor de distribuție a apei în centre populate și ansambluri de clădiri concomitent cu verificarea hidraulică a acestora în mai multe ipoteze de funcționare, servind la efectuarea unor analize comparative de dimensionare și cu alte modele noi de optimizare. Acest model de calcul este aplicabil și pentru dimensionarea optimală a extinderii unor rețele existente.

5.5.4.3 Elaborarea modelului de optimizare neliniară [176], [204]

Prin perfecționarea modelului de calcul simplificat din [176], autorul a generalizat acest model de optimizare pentru rețelele inelare complexe funcționînd prin pompare, sub forma unei probleme de programare neliniară avînd ca și clasă de variabile fie pierderile de sarcină fie debitele în conducte, care se reduce la rezolvarea numerică a unui sistem de ecuații neliniare.

Modelul de optimizare neliniară (MON) presupune cunoscută topologia rețelei, precum și unii parametri energetico-economici și hidraulici și face posibilă dimensionarea optimală a rețelelor inelare prin minimizarea unuia dintre criteriile de optimizare exprimate prin funcția obiectiv complexă de forma generală (5.52).

Dacă se explicitiază diametrul D_{ij} din relația funcțională (5.21) în funcție de debit și pierdere de sarcină:

$$D_{ij} = k^r Q_{ij}^{\frac{\beta}{\alpha+r}} h_{ij}^{-\frac{1}{\alpha+r}} L_{ij}^{\frac{1}{\alpha+r}} \quad (5.145)$$

și se introduce în funcția obiectiv (5.52), ținînd seama și de ecuațiile de continuitate a debitului (5.8) și de conservare a energiei pe inele (5.9) și pe cîte un traseu de conducte cuprins între instalațiile de pompare IP_j și nodurile obligate din sistem, dimensionarea optimală a rețelelor inelare se efectuează cu modelul matematic:

$$F_c = \xi_1 \sum_{ij=1}^T (a + b k^r Q_{ij}^{\frac{\beta}{\alpha+r}} h_{ij}^{-\frac{1}{\alpha+r}} L_{ij}^{\frac{1}{\alpha+r}}) L_{ij} + \psi \sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} (\sum h_{ij} + H_o)_j \rightarrow \min \quad (5.146)$$

$$\sum_{i=1}^N Q_{ij} + q_j = 0 \quad (j = 1, \dots, N - NP) \quad (5.147)$$

$$\sum_{ij=1}^T \varepsilon_{ij} h_{ij} - f_m = 0 \quad (m = 1, \dots, M) \quad (5.148)$$

$$Z_{IP,j} - \sum_{\ddot{y}=1}^{NT_j} \varepsilon_{\ddot{y}} (h_{\ddot{y}} - H_{p,\ddot{y}}) - Z_o = 0 \quad (j = 1, \dots, NP) \quad (5.149)$$

în care: $Z_{IP,j}$ este cota piezometrică la instalația de punere sub presiune IP_j ; Z_o - cota piezometrică în nodul obligat o ; NT_j - numărul tronsoanelor de conducte aflate pe traseul $IP_j - o$; $H_{p,\ddot{y}}$ - înălțimea de refulare a pompelor integrate pe artera \ddot{y} .

Modelul de optimizare (5.146)...(5.149) reprezintă o problemă de programare neliniară cu restricții de egalitate, care se reduce prin aplicarea procedurii coeficienților nedeterminați de tip Lagrange la un sistem de ecuații neliniare.

Se formează funcția lagrangean Γ de forma:

$$\Gamma = F_c + \sum_{n=1}^{N-NP} \Lambda_n \left(\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N Q_{\ddot{y}} + q_j \right) + \sum_{m=1}^M \Lambda_m \left(\sum_{\substack{\ddot{y}=1 \\ \ddot{y} \in m}}^T \varepsilon_{\ddot{y}} h_{\ddot{y}} - f_m \right) + \sum_{j=1}^{NP} \Lambda_j [Z_{IP,j} - \sum_{\ddot{y}=1}^{NT_j} \varepsilon_{\ddot{y}} (h_{\ddot{y}} - H_{p,\ddot{y}}) - Z_o] \quad (5.150)$$

în care $\Lambda_n, \Lambda_m, \Lambda_j$ sînt multiplicatori Lagrange.

Soluția optimă a modelului (5.146)...(5.149) se obține prin anularea derivatelor parțiale de ordinul întâi ale funcției Γ în raport cu $y_i \in \{Q_{ij}, h_{ij}\}$ și multiplicatorii $\Lambda_n, \Lambda_m, \Lambda_j$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Gamma}{\partial y_i} = \frac{\partial F_c}{\partial y_i} + \sum_{n=1}^{N-NP} \Lambda_n \frac{\partial (\sum Q_{\ddot{y}} + q_j)}{\partial y_i} + \sum_{m=1}^M \Lambda_m \frac{\partial (\sum \varepsilon_{\ddot{y}} h_{\ddot{y}} - f_m)}{\partial y_i} + \\ + \sum_{j=1}^{NP} \Lambda_j \frac{\partial [Z_{IP,j} - \sum \varepsilon_{\ddot{y}} (h_{\ddot{y}} - H_{p,\ddot{y}}) - Z_o]}{\partial y_i} = 0 \end{aligned} \quad (5.151)$$

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial \Lambda_n} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N Q_{\ddot{y}} + q_j = 0 \quad (j = 1, \dots, N - NP) \quad (5.152)$$

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial \Lambda_m} = \sum_{\substack{\ddot{y}=1 \\ \ddot{y} \in m}}^T \varepsilon_{\ddot{y}} h_{\ddot{y}} - f_m = 0 \quad (m = 1, \dots, M) \quad (5.153)$$

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial \Lambda_j} = Z_{IP,j} - \sum_{\ddot{y}=1}^{NT_j} \varepsilon_{\ddot{y}} (h_{\ddot{y}} - H_{p,\ddot{y}}) - Z_o \quad (j = 1, \dots, NP) \quad (5.154)$$

Prin eliminarea multiplicatorilor $\Lambda_n, \Lambda_m, \Lambda_j$ sistemul se reduce la $2T+NP$ ecuații cu tot atîtea necunoscute ($Q_{ij}, h_{ij}, Z_{IP,j}$) alcătuit din:

- $N-NP$ ecuații nodale de tipul (5.152);
- M ecuații de inel (5.153);
- NP ecuații funcționale (5.154);
- $N-NP$ ecuații energetico-economice de nod de tipul:

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^N Q_{\ddot{y}} = \begin{cases} - \text{noduri alimentate prin pompare: } -\frac{\psi}{A} Q_{p,j} & (j = 1, \dots, NP) \\ - \text{celelalte noduri: } 0 & (j = NP + 1, \dots, N - NP) \end{cases} \quad (5.155)$$

unde:

$$Q_{ij}^* = Q_{ij}^r h_{ij}^{\frac{\beta\alpha}{r}} L_{ij}^{\frac{\alpha+r}{r}} \quad (5.156)$$

$$A = \frac{\alpha}{r} \xi_1 b k^{\frac{\alpha}{r}} \quad (5.157)$$

e) M ecuații energetico-economice de inel avînd forma:

$$\sum_{j=1}^I H_{ij}^* = 0 \quad (m = 1, \dots, M) \quad (5.158)$$

unde:

$$H_{ij}^* = Q_{ij}^r h_{ij}^{\frac{\beta\alpha-r}{r}} L_{ij}^{\frac{\alpha+r}{r}} \quad (5.159)$$

Ecuatiile (5.155) se scriu în același mod ca și ecuațiile de continuitate a debitului, atribuind lui Q_{ij}^* același semn ca și pentru Q_{ij} , iar ecuațiile (5.158) se scriu la fel ca și ecuațiile de bilanț energetic pe inele, atribuind lui H_{ij}^* același semn ca și pentru h_{ij} .

În principiu sistemul de ecuații (5.152)...(5.155) și (5.158) permite determinarea variabilelor Q_{ij} și h_{ij} , însă trebuie cercetată existența extremului funcției obiectiv F_c .

Derivatele de ordinul doi ale funcției F_c în raport cu h_{ij} și Q_{ij} sînt:

$$\frac{\partial^2 F_c}{\partial h_{ij}^2} = \frac{\alpha + r}{r} A Q_{ij}^r h_{ij}^{\frac{\beta\alpha}{r} - \frac{\alpha+2r}{r}} L_{ij}^{\frac{\alpha+r}{r}} \quad (5.160)$$

$$\frac{\partial^2 F_c}{\partial Q_{ij}^2} = \beta A \frac{\beta\alpha - r}{r} Q_{ij}^{\frac{\beta\alpha-2r}{r}} h_{ij}^{\frac{\alpha}{r}} L_{ij}^{\frac{\alpha+r}{r}} \quad (5.161)$$

Întrucît $Q_{ij} \geq 0$, $h_{ij} \geq 0$ și ținînd seama că pentru valorile uzuale ale lui α din tabelul 5.1, raportul $(\alpha+r)/r > 0$, rezultă că $\partial^2 F_c / \partial^2 h_{ij} > 0$.

Pentru valorile practice luate de α și β (fig. 5.3), raportul $(\beta\alpha-r)/r < 0$, astfel încît rezultă că $\partial^2 F_c / \partial^2 Q_{ij} < 0$.

În consecință în toate cazurile funcția obiectiv F_c este convex-concavă în domeniul de definire și prin urmare nu are extremum. Pentru stabilirea unui extremum trebuie să se cunoască un set de variabile (Q_{ij} sau h_{ij}).

Considerînd ca necunoscute variabilele h_{ij} , calculul de optimizare presupune două etape principale:

- determinarea repartiției debitelor de tranzit Q_{ij} și optimizarea acestora pe baza criteriului lucrului mecanic de transport minim folosind unul din modelele matematice prezentate la pct. 5.5.3;

- determinarea pierderilor de sarcină h_{ij} prin rezolvarea sistemului de ecuații (5.153), (5.154), (5.155), funcție de care se calculează diametrele optime D_{ij} cu relația (5.145) ce se rotunjesc la valori comerciale, recalcularea pierderilor de presiune cu relația (5.13) sau (5.21) și efectuarea echilibrării hidraulice a rețelei cu modelul matematic descris la pct. 5.4.2.4.

Făcînd notațiile:

$$c_{ij} = Q_{ij}^r L_{ij}^{\frac{\alpha+r}{r}} \quad (5.162)$$

$$x = -\frac{\alpha + r}{r} \quad (5.163)$$

ecuațiile energetico-economice nodale (5.155) devin:

$$\sum_{i=1}^N c_{ij} h_j^x = \begin{cases} -\frac{\psi}{A} Q_{p,j} & (j=1, \dots, NP) \\ 0 & (j=NP+1, \dots, N-NP) \end{cases} \quad (5.164)$$

și împreună cu ecuațiile (5.153) și (5.154) formează un sistem neliniar, care se rezolvă aplicând metoda gradientilor.

Pentru soluționarea sistemului neliniar (5.153), (5.154), (5.164) scris sub forma vectorială:

$$F(H) = \{f_1(h_1, h_2, \dots, h_n), \dots, f_n(h_1, h_2, \dots, h_n)\} = 0, \quad (5.165)$$

metoda gradientilor utilizează procesul iterativ de forma:

$$H^{(k+1)} = H^{(k)} - \theta J_k^T F(H^{(k)}) \quad (5.166)$$

în care: $H^{(k+1)}$, $H^{(k)}$ sînt componentele iterației (k) și (k+1); J_k^T - matricea Jacobian transpusă, corespunzătoare vectorului $X^{(k)}$; θ - coeficientul de pondere, cuprins între limitele: $0 < \theta \leq 1/\max\|J(H)\|^2$.

Terminarea procesului iterativ este condiționată de îndeplinirea condițiilor:

$$|f_i^{(k)}| \leq \varepsilon \quad (i=1, \dots, n) \quad (5.167)$$

sau de depășirea unui anumit număr de iterații.

Pentru stabilirea unei aproximante inițiale $H^{(0)}$ a vectorului necunoscutelor H se efectuează cu valorile optimizate Q_{ij} o predimensionare a rețelei după MVE.

Dacă sînt date inițial pierderile de sarcină h_{ij} , se determină debitele Q_{ij} , prin rezolvarea sistemului de ecuații (5.147), (5.149), (5.159), funcție de care se calculează diametrele optime tot cu relația (5.145).

La o dimensionare optimală, linia piezometrică a unui traseu de NT_j conducte, situate în aceeași zonă de presiune, trebuie să reprezinte o linie poligonală care să se apropie cît mai bine de forma optimă exprimată prin ecuația:

$$Z_n = Z_{p,j} - \left[1 - \left(\frac{d}{\sum_{i=1}^{NT} L_i} \right)^{\frac{\beta \alpha - 1}{\alpha - 1}} \right] \sum_{i=1}^{NT} h_i \quad (5.168)$$

în care: Z_n este cota piezometrică în nodul n; d - distanța nodului n față de instalația de punere sub presiune j.

Modelul de optimizare neliniară s-a implementat în cadrul programului ordinator OPNELIRA.

5.5.4.4 Elaborarea modelului de optimizare liniară [183], [195]

Pentru a elimina dezavantajul MCM și MCN de a furniza o soluție optimă alterată ca urmare a alegerii unor valori comerciale pentru diametrele optime calculate, se propune un model perfecționat cu grad sporit de generalitate și precizie pentru dimensionarea optimală a rețelelor de distribuție noi și parțial extinse funcționînd prin pompare sau gravitațional, ce se bazează pe metoda programării liniare și permite determinarea unei repartiții optime a diametrelor standardizate pe lungimea fiecărui tronson al rețelei și a lungimii sectoarelor de tronsoane

corespunzătoare acestor diametre, cu posibilitatea luării în considerare a diferite regimuri de funcționare caracteristice în exploatare și a consumului continuu uniform distribuit.

La elaborarea *modelului de optimizare liniară* (MOL) se presupun cunoscute: topologia rețelei; debitele introduse în rețea, corespunzătoare fiecărei zone de consum și ipoteză de funcționare; parametrii energetico-economici și hidraulici; cota geodezică, presiunile de serviciu și debitele concentrate pentru fiecare nod de consum; cotele nivelului apei în bazinele de aspirație, în cazul că instalațiile de punere sub presiune sînt stații de pompare; cotele piezometrice la instalațiile de punere sub presiune, cînd se aleg apriori.

Pentru fiecare ipoteză de funcționare se determină debitele de tranzit pe tronsoane Q_{ij} , a căror repartiție în cazul rețelelor inelare se optimizează pe baza criteriului lucrului mecanic de transport minim aplicînd modelul iterativ prezentat la pct. 5.5.3.

Se stabilește pentru fiecare tronson ij seria diametrelor standardizate posibil a fi utilizate $D_{k,ij} \in [D_{\max,ij}, D_{\min,ij}]$ pe baza valorilor limită ale diametrelor optime $D_{\max,ij}$ și $D_{\min,ij}$ calculate cu relația de optimizare (5.169) pentru rețelele alimentate prin pompare, obținută din (5.144) cu $X_{ij} = 1$, sau cu relația (5.170) pentru rețelele alimentate gravitațional, obținută din condiția ca viteza apei în conductă să fie cuprinsă între limitele vitezei economice V_{\min} și V_{\max} din [153]:

$$D_{\max(\min),ij} = E_{\max(\min)}^{\frac{1}{\alpha+r}} Q_p^{\frac{1}{\alpha+r}} Q_{ij}^{\frac{\beta}{\alpha+r}} \quad (5.169)$$

$$D_{\max(\min),ij} = \sqrt{\frac{4Q_{ij}}{\pi V_{\min(\max),ij}}} \quad (5.170)$$

în care: Q_{ij} este debitul de calcul al tronsonului ij ; $Q_p = \sum Q_{pj}$ - debitul pompat în rețea.

Factorul energetico-economic al conductelor E , cu expresia (5.129), se introduce în relația (5.169) cu valoarea maximă respectiv minimă calculată și dată în tabelul 5.8, în funcție de criteriul de optimizare adoptat, corespunzător valorilor limită de variație ale parametrilor energetico-economici ai sistemului de distribuție.

Tabelul 5.8

Valorile E_{\min} și E_{\max} ale factorului energetico-economic al conductelor

Nr. crt.	Materialul conductei	Criteriul CAN		Criteriul CTA		Criteriul WT	
		E_{\min}	E_{\max}	E_{\min}	E_{\max}	E_{\min}	E_{\max}
0	1	2	3	4	5	6	7
1	Beton armat, PREMO	0,46	2,28	0,21	1,46	0,34	1,38
2	Fontă	0,24	1,11	0,14	0,78	0,20	0,80
3	Oțel	0,46	2,28	0,21	1,46	0,34	1,38
4	Azbociment	0,32	1,62	0,16	1,02	0,63	2,13
5	PVC	0,28	1,20	0,13	0,90	0,17	0,51

Pentru optimizarea diametrelor în cazul extinderii unei rețele existente, s-a conceput un coeficient de penalizare p_{ij} , care la conductele cu diametre fixate are valoarea, în m, a diametrului corespunzător impus, rezultînd $D_{k,ij} = p_{ij}$

Admițînd că un tronson ij de lungime L_{ij} al unei rețele alcătuite din T tronsoane, funcționînd prin pompare, poate fi format din s_{ij} sectoare k de diametre $D_{k,ij}$ și lungime $X_{k,ij}$ și țînînd seama de notațiile:

$$c_{k,ij}^* = \xi_1 (a + b D_{k,ij}^\alpha) \quad (5.171)$$

$$Z_{\text{IPP},j} = (\sum h_{ij} + H_o)_j \quad (5.172)$$

funcția obiectiv (5.52) primește forma:

$$F_c = \sum_{ij=1}^T \sum_{k=1}^{s_{ij}} c_{k,ij}^* X_{k,ij} + \psi \sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} Z_{IPP,j} \rightarrow \min \quad (5.173)$$

Necunoscutele funcției obiectiv sînt variabilele $X_{k,ij}$ și $Z_{IPP,j}$ în număr de $NP + \sum_{ij=1}^T s_{ij}$

În cazul că instalația de punere sub presiune este unul sau mai multe rezervoare ($\psi = 0$), expresia (5.173) a funcției de performanță devine:

$$F_c = \sum_{ij=1}^T \sum_{k=1}^{s_{ij}} c_{k,ij}^* X_{k,ij} \rightarrow \min, \quad (5.174)$$

minimizînd energia înglobată sau costul de investiție al rețelei și avînd ca necunoscute variabilele $X_{k,ij}$.

Ținînd seama de relația funcțională (5.13), se poate determina în ipoteza clasică a consumului la noduri, pentru fiecare sector k al tronsonului ij , pierderea de sarcină specifică $J_{k,ij}$ cu relația:

$$J_{k,ij} = \frac{h_{k,ij}}{X_{k,ij}} = \frac{8}{\pi^2 g} \lambda_{k,ij} \frac{Q_{ij}^2}{D_{k,ij}^5} \quad (5.175)$$

unde coeficientul de rezistență hidraulică al sectorului k de pe tronsonul ij , $\lambda_{k,ij}$, în regimul normal de exploatare al turbulenței tranzitorii se calculează cu relația (5.15) explicitată sub forma:

$$\sqrt{\lambda_{k,ij}} = \frac{A_2 + \sqrt{A_2^2 + 20,38 A_1 \sqrt{\lambda_p}}}{2,55 A_1} \quad (5.176)$$

cu notațiile:

$$\sqrt{\lambda_p} = \frac{1}{-2 \lg \frac{\Delta}{D_{k,ij}} + 1,138} \quad (5.177)$$

$$A_1 = \frac{Q_{ij} \Delta}{D_{k,ij}^2 \nu} \quad (5.178)$$

$$A_2 = (1,274 A_1 + 8) \sqrt{\lambda_p} - 4 \quad (5.179)$$

în care: Δ este rugozitatea absolută a peretelui conductei; ν - viscozitatea cinematică a apei; λ_p - coeficientul de rezistență hidraulică corespunzătoare regimului turbulent pătratic de mișcare a apei.

Întrucît în condițiile de funcționare reale, debitul pe tronsoanele rețelei de distribuție (în speță de serviciu) scade de la o secțiune la alta în sensul de curgere al apei, acesta creează la ieșirea din conductă, printr-un fenomen asemănător reculului, o creștere a presiunii în conductă, care are ca efect diminuarea pierderii de sarcină, astfel încît în cazul consumului continuu uniform distribuit se obține, ținînd seama de (5.32), expresia pierderii de sarcină specifice pe fiecare sector k al tronsonului ij sub forma:

$$J_{k,ij}^* = \frac{h_{k,ij}^*}{X_{k,ij}} = J_{k,ij} \left(\Theta_{ij} - \frac{\Omega_{k,ij}}{X_{k,ij}} \right) \quad (5.180)$$

în care Θ_{ij} și $\Omega_{k,ij}$ sînt date de relațiile (5.30) și (5.31).

Așadar, trebuie determinate valorile variabilelor astfel încît să se minimizeze funcția criterială F_c în condițiile satisfacerii restricțiilor:

- de tip constructiv (C):

$$\sum_{k=1}^{s_{ij}} X_{k,ij} = L_{ij} \quad (ij = 1, \dots, T) \quad (5.181)$$

- de tip funcțional (F) care se scriu în fiecare ipoteză de funcționare, exprimînd condiția ca pornind pe diverse trasee de la instalațiile de punere sub presiune IPP_j (fig. 5.19) la punctele obligate să fie asigurată presiunea necesară HN_0 :

$$Z_{IPP,j} - \sum_{ij=1}^{NT_j} \sum_{k=1}^{s_{ij}} \varepsilon_{ij} \Theta_{ij} J_{k,ij} X_{k,ij} \geq Z_{T_0} + HN_0 - \sum_{ij=1}^{NT_j} \left(\sum_{k=1}^{s_{ij}} \varepsilon_{ij} \Omega_{k,ij} J_{k,ij} + H_{p,ij} \right) \quad (5.182)$$

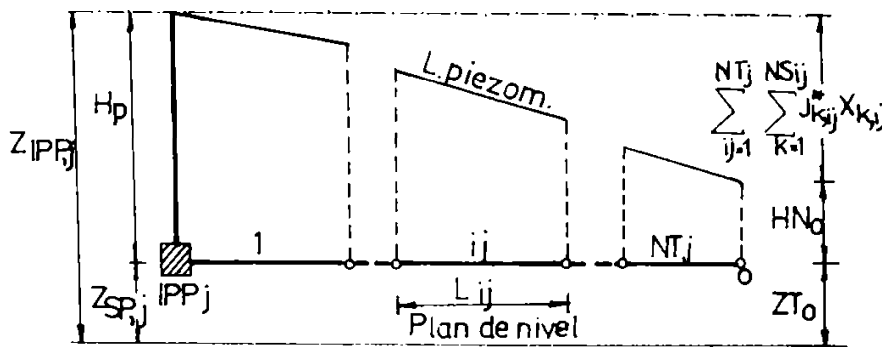


Fig. 5.19 Schema unui traseu IPP_j - punctul obligat o

în care: NT_j este numărul de tronsoane pe traseul IPP_j-o; Z_{T_0} - cota geodezică în punctul obligat o; $Z_{IPP,j}$ - cota piezometrică la instalația de punere sub presiune j; $H_{p,ij}$ - presiunea introdusă de pompa intermediară amplasată pe tronsonul ij, avînd expresia (5.6).

- de tip hidraulic (H) caracterizate numai rețelelor inelare, ce exprimă condiția de

conservare a energiei pe fiecare inel m:

$$\sum_{ij=1}^T \sum_{m=1}^M \varepsilon_{ij} \Theta_{ij} J_{k,ij} X_{k,ij} = \sum_{m=1}^M \varepsilon_{ij} \Omega_{k,ij} J_{k,ij} + f_m \quad (m = 1, \dots, M) \quad (5.183)$$

în care sarcina piezometrică f_m se exprimă prin relațiile (5.10), (5.11), (5.12), iar orientarea tronsoanelor e_{ij} este dată de relația (5.55).

În situația că nivelele piezometrice $Z_{IPP,j}$ sînt cunoscute, nefiind necesar a se determina prin optimizare, funcția obiectiv (5.173) primește forma (5.174), iar valorile $Z_{IPP,j}$ intră în componența termenului liber al restricțiilor (5.182) și (5.183).

Funcția obiectiv (5.173) sau (5.174) și restricțiile (5.181), (5.182), (5.183) fiind liniare în raport cu necunoscutele sistemului, soluția optimă se determină pe baza metodei programării liniare, utilizînd algoritmul Simplex.

Într-o soluție optimă, pentru un tronson dat, de obicei cel mult două din variabilele $X_{k,ij}$ vor fi diferite de zero, astfel încît soluția respectivă este realizabilă din punct de vedere tehnic, mai ales dacă lungimea tronsonului este însemnată.

Determinînd prin optimizare necunoscutele $Z_{IPP,j}$, la rețelele funcționînd prin pompare rezultă înălțimile de pompare corespunzătoare:

$$H_{p,j} = Z_{IPP,j} - Z_{SP,j} \quad (5.184)$$

în care $Z_{SP,j}$ este cota nivelului apei în bazinul de aspirație al IPP_j.
Ținând seama de pierderea de sarcină SH_n pe traseul IPP_j-n:

$$SH_n = \sum_{j=1}^{NT_j} \sum_{k=1}^{s_{ij}} \Theta_{ij} J_{k,ij} X_{k,ij} - \sum_{j=1}^{NT_j} \left(\sum_{k=1}^{s_{ij}} \Omega_{k,ij} J_{k,ij} + H_{p,ij} \right) \quad (5.185)$$

se obțin cota piezometrică Z_n și presiunea disponibilă H_n în nodul de consum n, cu relațiile:

$$Z_n = Z_{IPP,j} - SH_n \quad (5.186) \quad H_n = Z_n - ZT_n \quad (5.187)$$

în care ZT_n este cota geodezică în nodul de consum n.

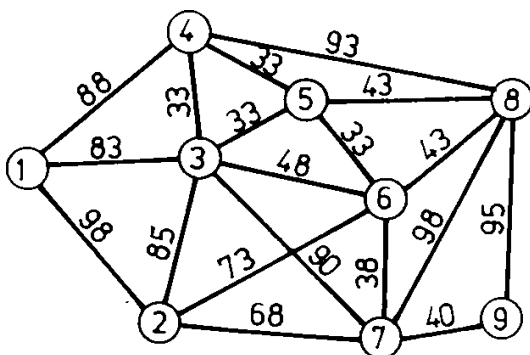
Pe baza modelului de optimizare liniară s-a elaborat programul ordinator OPLIRA.

5.5.4.5 Aplicații numerice

Modelele de calcul expuse pentru dimensionarea optimă a rețelelor de distribuție și programele elaborate pe baza lor au fost testate și validate pe un microcalculator IBM-PC AT386 considerînd mai multe aplicații numerice, la acest punct prezentîndu-se doar rezultatele unora dintre acestea.

5.5.4.5.1 Determinarea soluțiilor optime ale traseului unei rețele ramificate după criteriul costului de investiție minim

Se consideră graful de ordinul 9 al traseelor posibile ale unei rețele de distribuție (fig. 5.20), pentru care matricea costurilor este:



$$C = \begin{bmatrix} \infty & 98 & 83 & 88 & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty \\ 98 & \infty & 85 & \infty & \infty & 73 & 68 & \infty & \infty \\ 83 & 85 & \infty & 33 & 33 & 48 & 90 & \infty & \infty \\ 88 & \infty & 33 & \infty & 33 & \infty & \infty & 93 & \infty \\ \infty & \infty & 33 & 33 & \infty & 33 & \infty & 43 & \infty \\ \infty & 73 & 48 & \infty & 33 & \infty & 38 & \infty & 43 \\ \infty & 68 & 90 & \infty & \infty & 38 & \infty & 98 & 40 \\ \infty & \infty & \infty & 93 & 43 & 43 & 98 & \infty & 95 \\ \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & \infty & 40 & 95 & \infty \end{bmatrix}$$

Fig. 5.20 Graful traseelor posibile

Utilizînd programul OTREDIRA s-au obținut soluțiile de trasee optime după criteriul costului de investiție minim, prezentate în figura 5.21.

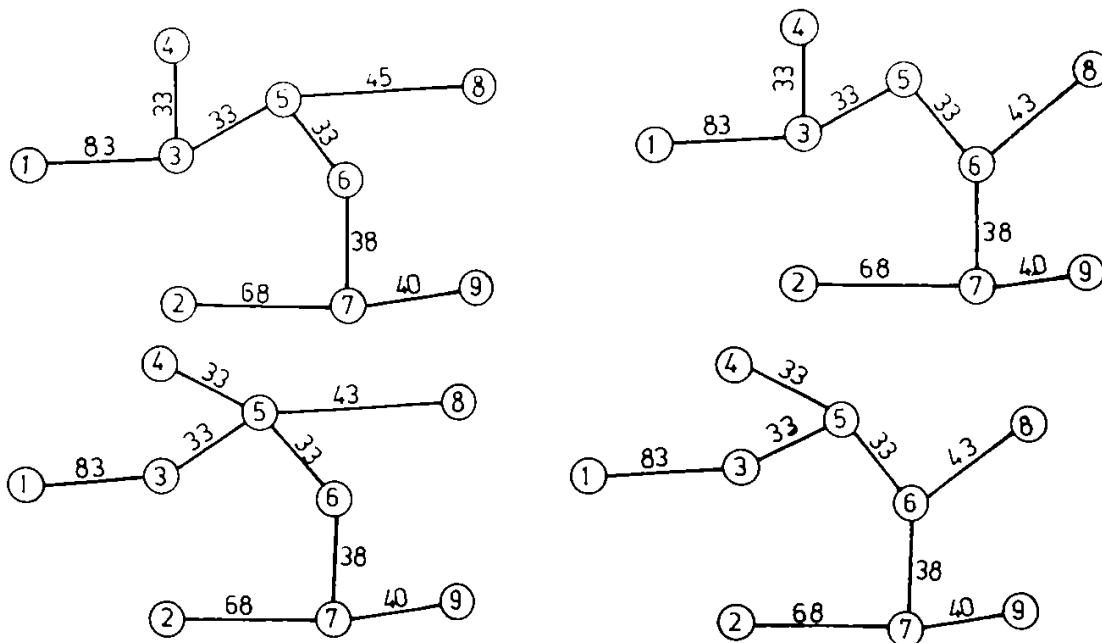


Fig. 5.21 Traseele optime ale rețelei de distribuție

Întrucât soluția optimă obținută este multiplă, luarea deciziei de adoptare a uneia dintre aceste soluții se face considerând și alte criterii, conducând în final la economie de conducte, terasamente și energie electrică de pompare.

5.5.4.5.2 Studiu comparativ al dimensionării unei rețele inelare alimentate de la două stații de pompare, prin aplicarea MVE, MOM, MON și MOL

Pentru rețeaua inelară cu topologia și caracteristicile din figura 5.11 s-a efectuat un studiu comparativ de dimensionare utilizând modelele de calcul MVE, MOM, MON și MOL, ultimul fiind aplicat atât în ipoteza consumului la noduri (MOL-N), cât și a consumului continuu uniform distribuit (MOL-D).

Calculul s-a făcut considerând regimul de curgere a apei în conducte turbulent tranzitoriu, iar criteriul de optimizare adoptat a fost cel al cheltuielilor totale actualizate minime.

Având în vedere că pentru debitul de alimentare a rețelei, diametrele tronsoanelor pot lua valori $D_{ij} = 100 \dots 600$ mm, se consideră parametrii hidraulici $\lambda_* = 0,0171$, $\beta = 1,937$, ca valori medii ale valorilor extreme corespunzătoare limitelor posibile de variație ale diametrelor. De asemenea, pentru parametrii economico-energetici s-au adoptat următoarele valori medii: $p_1 = 0,035$, $p_2 = 0,090$, $T_r = 10$ ani, $\eta = 0,70$, $f = 5000$ lei/kW, $\sigma = 1,3$, $\tau = 0,95$, $\Sigma\Phi_k = 10,44$, $e = 0,60$ lei/kWh.

Rezultatele calculului de dimensionare, efectuat cu ajutorul programelor DIOPREDA, OPNELIRA și OPLIRA, referitoare la caracteristicile hidraulice ale conductelor, se prezintă în tabelele 5.9 și 5.10.

Semnificația afectării de semnul (-) a debitelor și pierderilor de presiune pe unele tronsoane din tabelele 5.9 și 5.10 o reprezintă schimbarea sensului de curgere pe tronsoanele respective față de sensurile considerate inițial în figura 5.11.

Tabelul 5.9

Caracteristicile hidraulice ale conductelor determinate cu modelele MVE, MOM, MON

Trons. i-j	L [m]	MVE				MOM				MON			
		Q _{ii} [m ³ /s]	D _{ii} [mm]	h _{ii} [m]	V _{ii} [m/s]	Q _{ii} [m ³ /s]	D _{ii} [mm]	h _{ii} [m]	V _{ii} [m/s]	Q _{ii} [m ³ /s]	D _{ii} [mm]	h _{ii} [m]	V _{ii} [m/s]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2-1	480	0,01372	150	2,370	0,78	0,01488	300	0,097	0,21	0,01715	200	0,838	0,55
3-2	560	0,04476	250	1,992	0,91	0,04467	400	0,221	0,36	0,04557	250	2,062	0,93
4-3	450	0,07719	300	1,812	1,09	0,07195	400	0,460	0,57	0,07005	350	0,682	0,73
5-4	410	0,10431	350	1,345	1,08	0,08931	350	1,316	0,93	0,08692	400	0,477	0,69
6-5	470	0,12616	350	2,235	1,31	0,07299	350	1,008	0,76	0,08514	350	1,039	0,89
12-6	380	0,15178	400	1,306	1,21	0,09861	350	1,487	1,03	0,11076	400	0,707	0,88
8-7	470	0,02729	200	2,010	0,87	0,01984	300	0,169	0,28	0,01934	200	1,034	0,62
9-8	540	0,06848	300	1,722	0,97	0,04405	350	0,422	0,46	0,03863	250	1,444	0,79
10-9	460	0,11621	350	1,864	1,21	0,06718	350	0,836	0,70	0,07668	350	0,830	0,80
11-10	515	0,16874	400	2,177	1,34	0,08398	350	1,462	0,87	0,10410	400	0,850	0,83
12-11	450	0,23271	500	1,133	1,19	0,13028	400	1,509	1,04	0,13969	450	0,720	0,88
32-12	350	0,42005	600	1,097	1,49	0,26445	500	1,472	1,35	0,28601	700	0,236	0,74
14-13	485	0,04911	250	2,066	1,00	0,02912	300	0,377	0,41	0,02019	200	1,159	0,64
15-14	545	0,11293	350	2,088	1,17	0,07325	400	0,578	0,58	0,07628	350	0,974	0,79
16-15	470	0,14540	450	0,812	0,91	0,07548	350	1,078	0,78	0,06911	350	0,694	0,72
17-16	180	0,19425	500	0,319	0,99	0,13865	400	0,684	1,10	0,14401	450	0,305	0,91
18-17	220	0,22695	500	0,527	1,16	0,15660	400	1,066	1,25	0,16457	450	0,484	1,04
32-18	500	0,27757	500	1,777	1,41	0,25322	500	1,928	1,29	0,26553	600	0,640	0,94
20-19	475	0,03088	200	2,582	0,98	0,05114	300	1,137	0,72	0,06085	350	0,549	0,63
21-20	530	0,08192	350	1,087	0,85	0,15016	450	1,260	0,94	0,14410	450	0,900	0,91
22-21	430	-0,10602	350	-1,456	1,10	-0,03066	300	-0,370	0,43	-0,02680	300	-0,226	0,38
23-22	550	-0,05587	300	-1,183	0,79	0,04011	300	0,810	0,57	0,01985	250	0,410	0,40
24-23	420	-0,01337	150	-1,973	0,76	0,07448	350	0,938	0,77	0,05484	350	0,397	0,57
31-24	300	0,00833	125	1,440	0,68	0,09618	400	0,548	0,77	0,07654	400	0,273	0,61

Tabelul 5.9 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
26-25	490	0,03270	200	2,976	1,04	0,03873	300	0,673	0,55	0,03619	250	1,155	0,74
27-26	510	0,07723	300	2,056	1,09	0,07319	350	1,099	0,76	0,08074	400	0,515	0,64
28-27	440	-0,03105	200	-2,417	0,99	0,02257	250	0,542	0,46	0,01942	250	0,315	0,40
29-28	190	-0,00791	125	-0,825	0,64	0,05624	300	0,550	0,80	0,05534	300	0,401	0,78
30-29	250	0,00399	100	0,914	0,51	0,08290	350	0,691	0,86	0,07939	400	0,244	0,63
31-30	400	0,03376	250	0,824	0,69	0,13064	400	1,349	1,04	0,11834	450	0,464	0,74
32-31	340	0,07343	250	3,176	1,50	0,25816	600	0,516	0,91	0,22622	600	0,319	0,80
7-1	310	0,01009	125	2,154	0,82	0,00893	200	0,196	0,28	0,00666	125	0,969	0,54
8-2	300	0,00934	125	1,795	0,76	0,01059	200	0,268	0,34	0,01196	150	1,138	0,68
9-3	335	0,00811	125	1,526	0,66	0,01325	200	0,468	0,42	0,01605	200	0,516	0,51
10-4	320	0,00845	125	1,577	0,69	0,01821	200	0,843	0,58	0,01869	200	0,659	0,60
11-5	370	0,01582	150	2,408	0,90	0,05399	300	0,987	0,76	0,03946	250	1,031	0,80
13-7	340	0,01655	150	2,415	0,94	0,02285	300	0,162	0,32	0,02108	200	0,883	0,67
14-8	320	0,01728	150	2,470	0,98	0,03550	300	0,369	0,50	0,04179	250	0,996	0,85
15-9	345	0,01101	125	2,836	0,90	0,04076	300	0,525	0,58	0,02864	250	0,518	0,58
16-10	330	0,00489	100	1,784	0,62	0,05038	300	0,767	0,71	0,04025	300	0,377	0,57
18-11	340	0,00234	100	0,453	0,30	0,05818	300	1,053	0,82	0,05435	350	0,316	0,57
13-25	360	-0,00315	100	-0,842	0,40	-0,02944	300	-0,286	0,42	-0,03661	250	-0,867	0,75
14-26	350	-0,00470	100	-1,753	0,60	-0,04261	300	-0,582	0,60	-0,03694	250	-0,858	0,75
27-15	340	0,02977	200	1,721	0,95	0,08977	350	1,103	0,93	0,08705	400	0,397	0,69
16-28	330	0,00447	100	1,500	0,57	-0,02669	250	-0,568	0,54	-0,00482	250	-0,018	0,10
17-29	320	0,01101	125	2,632	0,90	-0,00375	125	-0,438	0,31	-0,00114	100	-0,112	0,15
18-30	370	0,00518	100	2,231	0,66	-0,00465	200	-0,064	0,15	0,00352	150	0,138	0,20
25-19	340	-0,00632	100	-3,009	0,81	-0,02657	250	-0,581	0,54	-0,03628	250	-0,805	0,74
26-20	330	-0,01080	125	-2,615	0,88	-0,05878	300	-1,044	0,83	-0,04302	350	-0,196	0,45
21-27	320	0,18657	400	1,646	1,49	0,18891	450	1,204	1,19	0,19690	500	0,582	1,00
28-22	320	-0,01097	125	-2,612	0,89	-0,03159	300	-0,292	0,45	-0,00747	250	-0,038	0,15
30-23	290	-0,00453	100	-1,353	0,58	0,00360	150	0,139	0,20	0,00299	125	0,199	0,24

Tabelul 5.10

Caracteristicile hidraulice ale conductelor determinate cu modelele MOL-N, MOL-D

Trons. i-j	MOL-N						MOL-D					
	Q _{ij} [m ³ /s]	Sector k	X _{k,ij} [m]	D _{k,ij} [mm]	h _{k,ij} [m]	V _{k,ij} [m/s]	Q _{ij} [m ³ /s]	Sector k	X _{k,ij} [m]	D _{k,ij} [mm]	h _{k,ij} [m]	V _{k,ij} [m/s]
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2-1	0,01678	1	480	250	0,260	0,34	0,01698	1	480	250	0,306	0,35
3-2	0,04538	1	27	400	0,009	0,36	0,04585	1	22	400	0,001	0,37
		2	534	350	0,351	0,47		2	538	350	0,343	0,48
4-3	0,07099	1	273	400	0,216	0,57	0,07217	1	183	400	0,107	0,57
		2	177	350	0,275	0,74		2	267	350	0,358	0,75
5-4	0,08745	1	410	400	0,483	0,70	0,08943	1	410	400	0,443	0,71
6-5	0,07716	1	470	400	0,435	0,61	0,07890	1	470	400	0,407	0,63
12-6	0,10278	1	185	500	0,096	0,52	0,10452	1	103	500	0,020	0,53
		2	195	400	0,313	0,82		2	277	400	0,377	0,83
8-7	0,01996	1	96	300	0,029	0,28	0,01987	1	28	300	0,001	0,28
		2	374	250	0,282	0,41		2	442	250	0,355	0,41
9-8	0,04966	1	540	350	0,422	0,52	0,04957	1	540	350	0,397	0,52
10-9	0,07172	1	379	400	0,305	0,57	0,07285	1	225	400	0,144	0,58
		2	81	350	0,128	0,75		2	235	350	0,312	0,76
11-10	0,09208	1	6	500	0,002	0,47	0,09797	1	94	500	0,012	0,50
		2	509	400	0,663	0,73		2	421	400	0,544	0,78
12-11	0,12788	1	319	500	0,251	0,65	0,13111	1	236	500	0,141	0,67
		2	131	400	0,322	1,02		2	214	400	0,420	1,04
32-12	0,26622	1	350	600	0,450	0,94	0,27119	1	350	600	0,360	0,96
14-13	0,02521	1	485	300	0,227	0,36	0,02526	1	485	300	0,231	0,36
15-14	0,05825	1	159	450	0,047	0,37	0,05872	1	72	450	0,003	0,37
		2	386	350	0,411	0,61		2	473	350	0,470	0,61

Tabelul 5.10 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
16-15	0,07150	1	389	400	0,311	0,57	0,06994	1	206	400	0,118	0,56
		2	81	350	0,127	0,74		2	264	350	0,334	0,73
17-16	0,12354	1	66	500	0,048	0,63	0,12257	1	180	400	0,297	0,98
		2	114	400	0,263	0,98						
18-17	0,13930	1	43	500	0,040	0,71	0,13864	1	220	400	0,491	1,10
		2	177	400	0,514	1,11						
32-18	0,25872	1	500	600	0,609	0,92	0,26230	1	500	600	0,524	0,93
20-19	0,05466	1	475	350	0,447	0,57	0,05439	1	475	350	0,407	0,57
21-20	0,14958	1	480	500	0,513	0,76	0,14945	1	452	500	0,411	0,76
		2	50	400	0,165	1,19		2	78	400	0,086	1,19
22-21	-0,05292	1	340	450	-0,085	0,33	-0,03930	1	430	450	-0,068	0,25
		2	90	350	-0,079	0,55						
23-22	0,03393	1	51	350	0,019	0,35	0,03627	1	262	350	0,097	0,38
		2	499	300	0,412	0,48		2	388	300	0,245	0,51
24-23	0,06466	1	420	450	0,153	0,41	0,06678	1	270	450	0,082	0,42
		2						2	150	350	0,145	0,69
31-24	0,08636	1	34	500	0,013	0,44	0,08848	1	300	400	0,302	0,70
		2	266	400	0,306	0,69						
26-25	0,03711	1	227	350	0,102	0,39	0,03721	1	221	350	0,082	0,39
		2	263	300	0,257	0,53		2	269	300	0,235	0,53
27-26	0,08245	1	510	400	0,536	0,66	0,08173	1	510	400	0,477	0,65
28-27	0,03953	1	440	350	0,223	0,41	0,03837	1	262	350	0,106	0,40
								2	178	300	0,148	0,54
29-29	0,06559	1	190	350	0,254	0,68	0,06957	1	190	350	0,221	0,72
30-29	0,09444	1	250	400	0,342	0,75	0,09810	1	4	500	0,001	0,50
								2	246	400	0,289	0,78
31-30	0,12749	1	365	500	0,286	0,65	0,13003	1	250	500	0,150	0,66
		2	35	400	0,087	1,02		2	150	400	0,252	1,04
32-31	0,24520	1	340	600	0,373	0,87	0,24985	1	340	600	0,296	0,88
7-1	0,00703	1	310	250	0,033	0,14	0,00683	1	310	250	0,037	0,14

Tabelul 5.10 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8-2	0,01178	1	300	250	0,084	0,24	0,01151	1	300	250	0,086	0,23
9-3	0,01493	1	335	250	0,146	0,30	0,01422	1	335	250	0,139	0,29
10-4	0,01910	1	320	300	0,089	0,27	0,01830	1	138	300	0,027	0,26
11-5	0,04796	1	370	350	0,271	0,50	0,04820	1	182	250	0,103	0,37
13-7	0,02083	1	41	300	0,013	0,29	0,02072	1	68	300	0,009	0,29
14-8	0,03120	2	299	250	0,245	0,42	0,03094	2	272	250	0,208	0,42
15-9	0,04350	1	133	350	0,043	0,32	0,04157	1	237	350	0,063	0,32
16-10	0,04771	2	187	300	0,131	0,44	0,04216	2	83	300	0,031	0,44
18-11	0,06265	1	340	350	0,210	0,45	0,06555	1	340	350	0,397	0,68
13-25	-0,03134	1	302	350	-0,099	0,33	-0,03117	1	119	350	-0,028	0,32
14-26	-0,04940	2	58	300	-0,041	0,44	-0,04871	2	241	300	-0,182	0,44
27-15	0,08148	1	350	350	-0,271	0,51	0,08158	1	350	350	-0,294	0,51
16-28	-0,03515	1	340	400	0,350	0,65	-0,02902	1	340	400	0,299	0,65
17-29	-0,00595	1	330	350	-0,134	0,37	-0,00563	1	326	350	-0,102	0,30
18-30	0,01368	2	284	200	0,205	0,50	0,01501	2	4	300	-0,001	0,41
25-19	-0,03009	1	320	250	-0,076	0,20	-0,02983	1	320	250	-0,027	0,20
21-27	0,17292	1	370	300	0,137	0,28	0,17347	1	370	250	0,174	0,31
28-22	-0,04767	1	340	500	-0,223	0,43	0,03639	1	330	350	-0,343	0,57
30-23	0,00724	1	320	450	-0,065	0,30	0,00746	1	320	500	0,363	0,88
F _{opt}		1	290	200	0,099	0,23		1	290	200	0,127	0,24
			0,105823 E+06						0,105321 E+06			

În figura 5.22 s-au reprezentat grafic, pornind de la punctul de alimentare 32 la nodul obligat 1, pe traseul 32-18-17-16-15-14-13-7-1, liniile piezometrice obținute prin utilizarea modelelor de calcul menționate și s-au înscris valorile corespunzătoare ale funcției criteriale F_c , ale consumului energetic pentru pompare W_e , precum și ale consumului specific de energie pentru distribuția apei w_{sd} .

În figura 5.23 s-a pus în evidență abaterea liniilor piezometrice reale pe același traseu față de forma optimă teoretică a acestora.

În urma studiului efectuat se constată că:

- toate conductele rețelei funcționează în domeniul turbulenței tranzitorii;
- față de diametrele obținute cu MVE se înregistrează pe ansamblu o creștere a diametrelor conductelor la utilizarea modelelor de optimizare (MOM, MON, MOL), explicabilă prin faptul că modelul clasic nu ține seama de consumul minim de energie și de diversitatea parametrilor economici, care determină costul de investiție și exploatare;
- în comparație cu rezultatele obținute prin aplicarea MVE, rezultatele furnizate de modelele de optimizare sînt mai economice, obținîndu-se o micșorare substanțială a consumului specific de energie pentru distribuția apei (MOM - 29,9 %; MON - 59,8 %; MOL-N - 70,9 %; MOL-D - 74,3 %), precum și reducere a consumului energetic pentru pomparea apei (MOM -18,4 %; MON -18,6%; MOL-N - 27,2 %; MOL-D - 27,8 %), în condițiile în care în toate cazurile și funcția obiectiv are valori mai mici (MOM - 5,8 %; MON - 6,6 %; MOL-N - 4 %; MOL-D - 4,8 %);

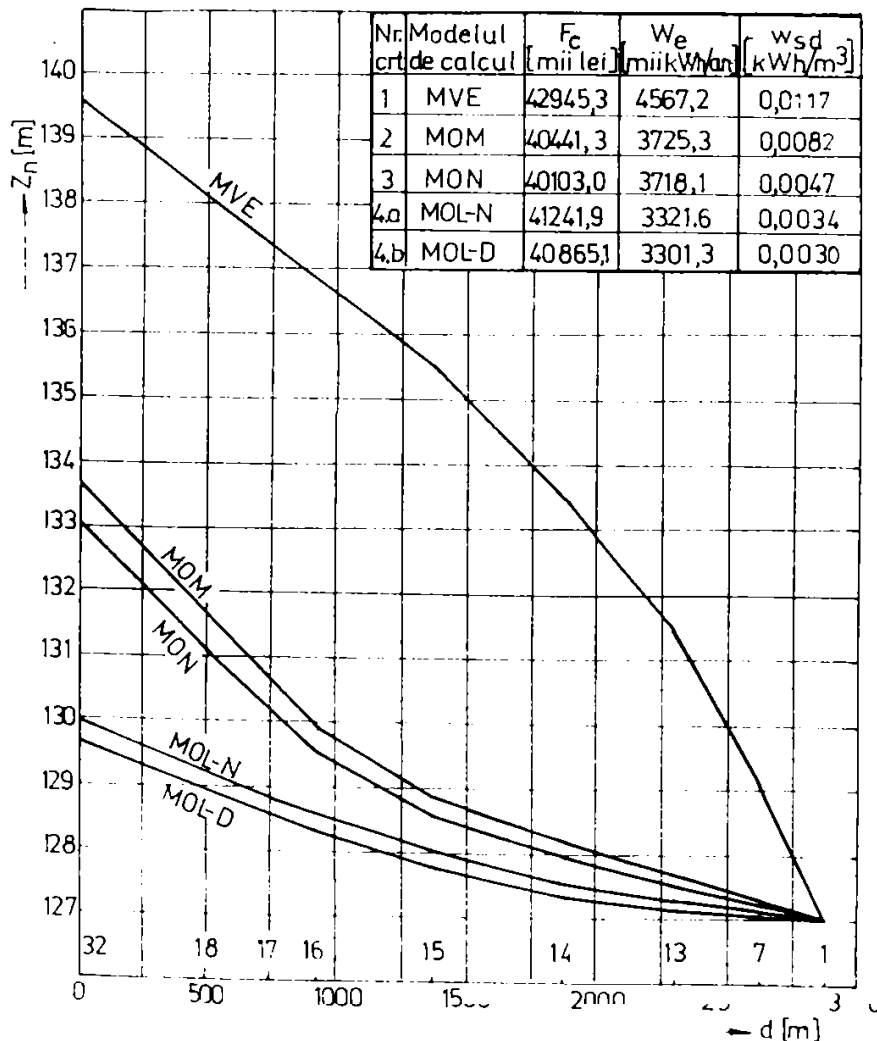


Fig. 5.22 Reprezentarea liniilor piezometrice pe traseul 32-18-17-16-15-14-13-7-1

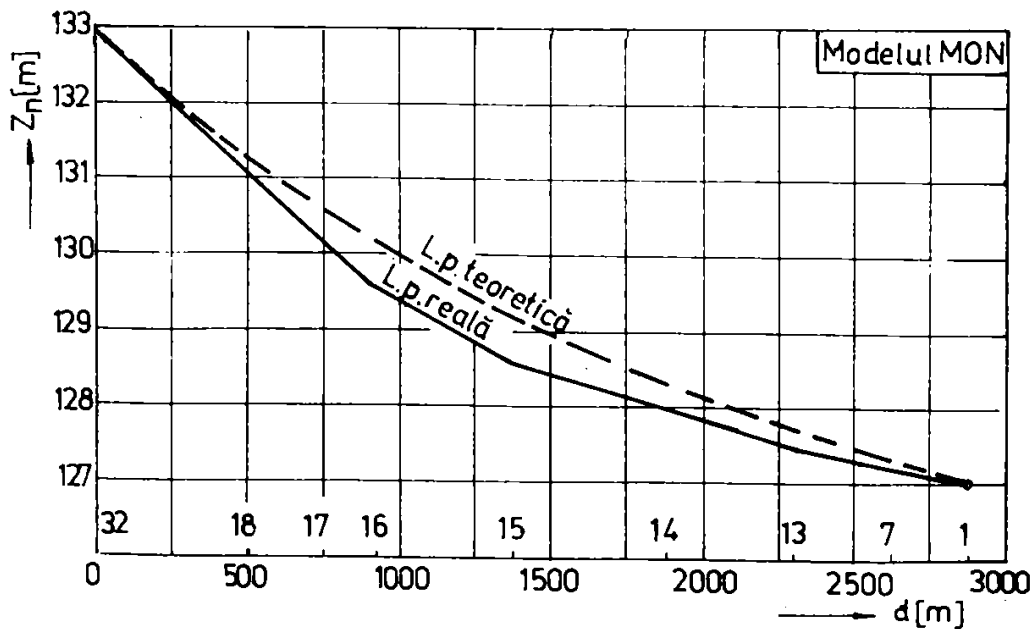
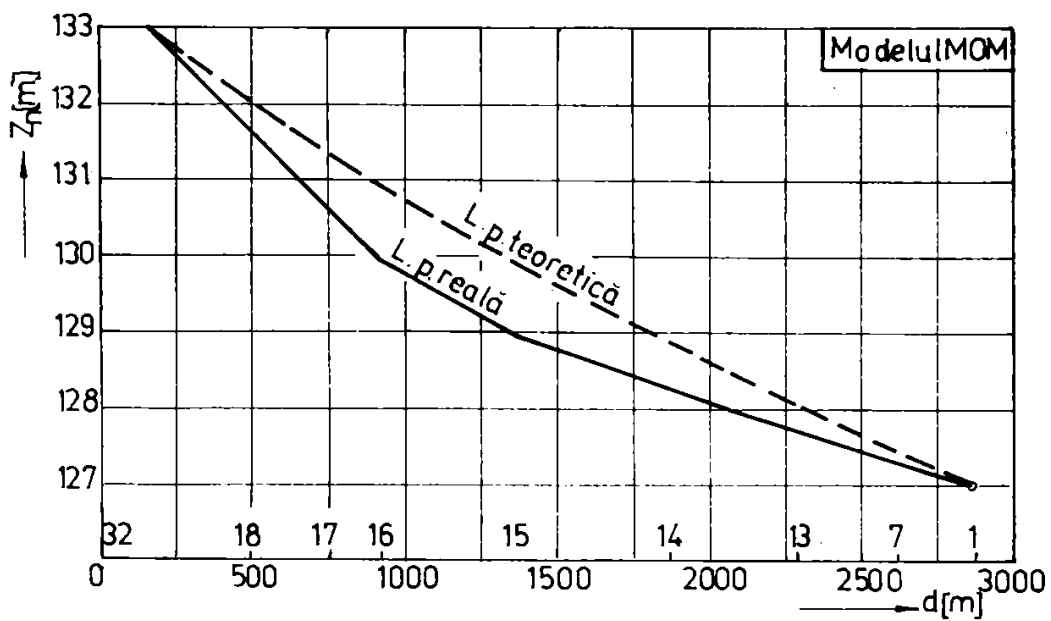
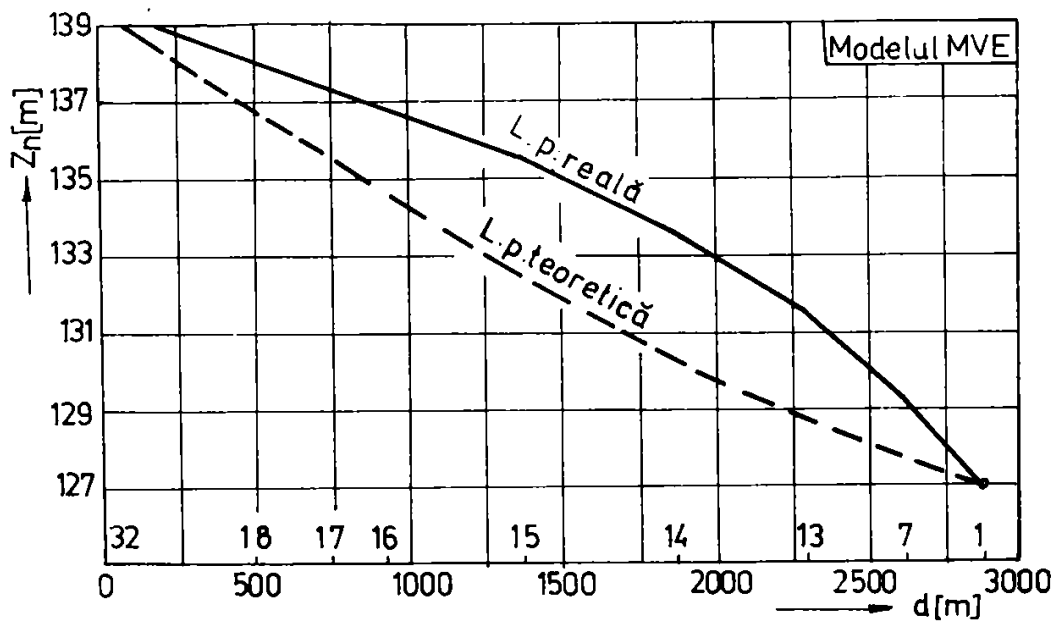


Fig. 5.23 Abaterea liniilor piezometrice reale față de linia optimă teoretică

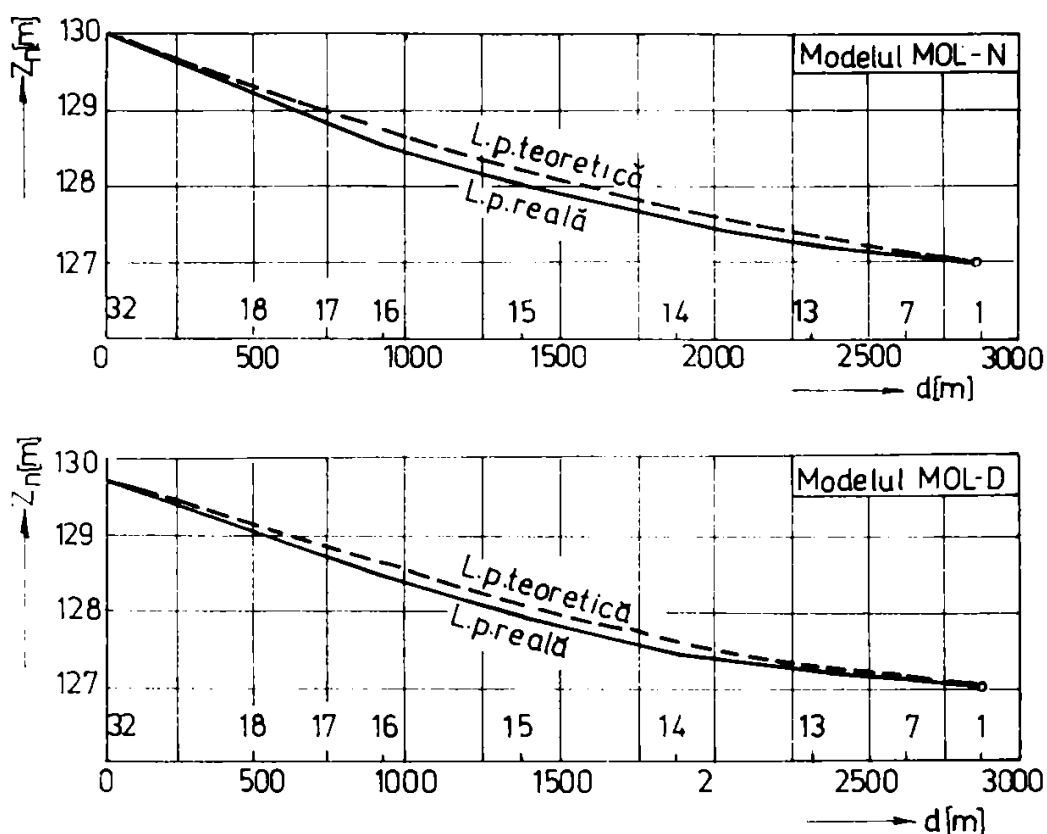


Fig. 5.23 (continuare)

- rezultatele optime obținute prin utilizarea MOL sînt superioare din punct de vedere energetic celor oferite de MOM și MON, conducînd la o economie de energie electrică de pompare de 11 %, în condițiile în care funcția obiectiv are o ușoară creștere, dar aceasta este nesemnificativă (sub 2 %);

- de asemenea, aplicarea MOL în ipoteza consumului uniform distribuit a condus la cele mai mici abateri față de forma optimă a liniei piezometrice și mai ales la o mai uniformă distribuție a energiei de pompare, prin eliminarea presiunilor disponibile sporite pe unele trasee chiar la consum maxim, fenomen reflectat și de cea mai scăzută valoare a consumului energetic specific, de $0,003 \text{ kWh/m}^3$;

- reducerea în acest fel a presiunii în rețeaua de distribuție are o deosebită importanță practică, contribuind implicit la micșorarea pierderilor de apă din sistem.

5.5.4.5.3 Extinderea optimă a unei rețele existente

Se prezintă rezultatele calculelor de optimizare efectuate cu ajutorul programului DIOPREDA pentru extinderea optimă (fig. 5.24), după criteriul WT, a unei rețele existente de forma celei din figura 5.10, ce distribuie un debit de $0,618 \text{ m}^3/\text{s}$, cunoscînd cota piezometrică a nodului obligat $Z_6 = 127 \text{ m CA}$. Datele esențiale referitoare la rețeaua existentă și diametrele optime ale conductelor noi ale rețelei extinse sînt redată în figura 5.24.

Pe traseul format din conductele cuprinse între punctul de alimentare 19 și nodul obligat 6, a rezultat graficul piezometric prezentat în figura 5.25.

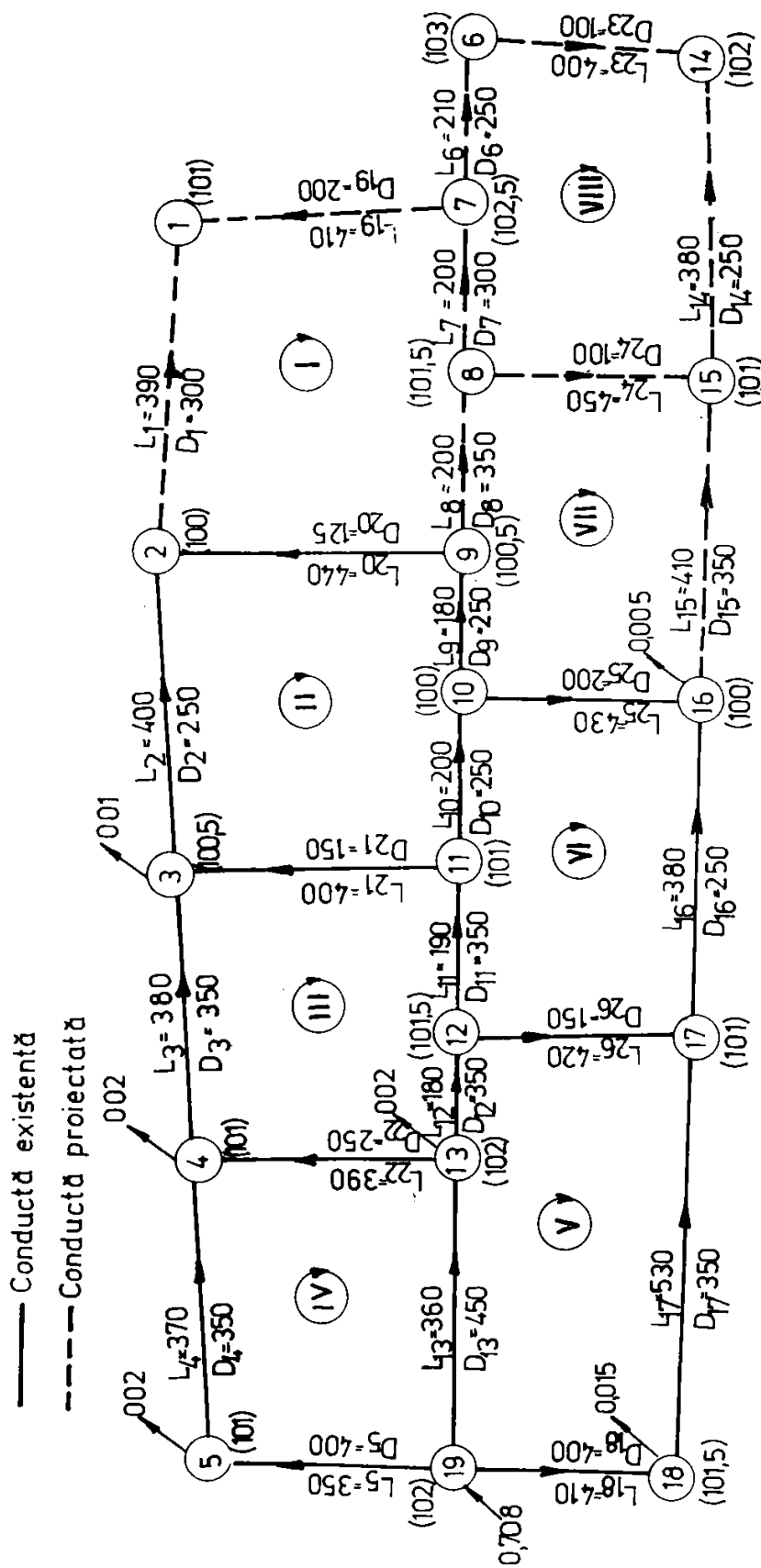


Fig. 5.24 Schema rețelei extinse (M=8, N=19, T=26)

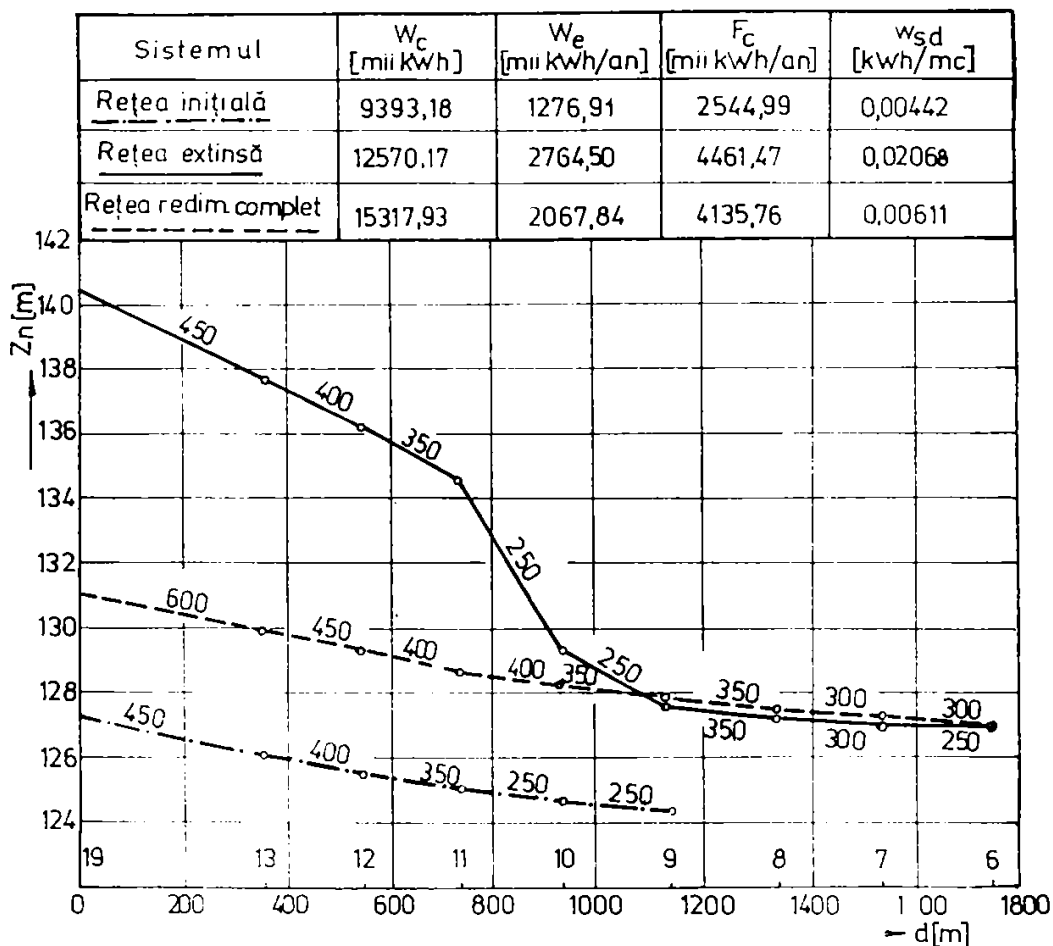


Fig. 5.25 Graficul piezometric pe traseul 19-13-12-11-10-9-8-7-6

Pentru a pune în evidență diferențele datorate extinderii optime a rețelei existente, față de situația în care s-ar fi dimensionat optim de la început întreaga rețea (inițială + extindere), s-a utilizat același program de calcul. În condițiile de redimensionare completă, graficul piezometric pe traseul menționat ar fi cel reprezentat cu linie întreruptă în figura 5.25, pentru diametrele optime specificate. Pe aceeași figură s-au înscris și valorile criteriilor energetice (energia înglobată în conducte W_c , energia consumată la pompare W_e , consumul total anual de energie F_c , consumul specific de energie pentru distribuția apei w_{sd}).

Se constată că, în urma extinderii, sarcina optimă de pompare a crescut de la 25,17 m CA la 38,48 m CA, iar valoarea funcției obiectiv de la 2545 mii kWh/an la 4461 mii kWh/an (cu 43 %).

La redimensionarea rețelei complete a rezultat sarcina optimă de pompare de 28,78 m CA pentru o valoare optimă a funcției obiectiv de 4135 mii kWh/an, care este mai scăzută decât la extindere (cu cca 7 %) ceea ce era de altfel, previzibil. Conductele deja existente (cu diametre precizate) creează restricții în găsirea unei soluții optime satisfăcătoare. În consecință, soluția optimă de extindere a unei rețele va conduce la o rezolvare cu consum energetic mai mare (în cazul de față cu 7,3 %) față de situația dimensionării optime, de la început, a întregului sistem. De asemenea, distribuția energiei de pompare este foarte neuniformă, înregistrându-se un consum specific de energie pentru distribuția apei sporit (în cazul analizat cu circa 70 %).

5.5.5 Concluzii parțiale

Programarea matematică, ca procedeu de bază în optimizarea structurilor în general și a rețelelor de apă în particular, împreună cu teoria grafurilor și cu implicarea tot mai mare a tehnicii

moderne de calcul în rezolvarea formulărilor matematice au creat condiții de soluționare eficientă a unor probleme de optimizare a proiectării rețelelor de distribuție a apei. Diversele tipuri de programare existente (liniară, întreagă, neliniară, geometrică, etc.) oferă posibilități multiple de rezolvare a problemelor specifice.

Modelele de calcul propuse, cu un grad de generalitate și performanțe sporite, oferă posibilitatea proiectării optimale a rețelelor de alimentare cu apă folosind multiple criterii de optimizare și considerând curgerea apei în regim turbulent tranzitoriu sau pătratic, și au avantajul că prin opțiuni simple în funcția obiectiv (5.52) se pot exprima criterii referitoare nu numai la costuri ci și la consumuri energetice, consumuri de resurse deficitare, etc.

Modelul MOM a fost adaptat pentru rețele noi sau parțial extinse alimentate prin pompare din mai multe surse, în regim turbulent tranzitoriu de funcționare.

Modelul MON este aplicabil rețelelor inelare alimentate prin pompare de la una sau mai multe surse, putându-se alege în cadrul său ca și clasă de variabile fie pierderile de sarcină, fie debitele în conducte.

Modelul MOL este aplicabil oricărei rețele inelare sau ramificate când aceasta funcționează în diferite regimuri de exploatare prin pompare ori gravitațional, atât în situațiile în care trebuie determinate cotele piezometrice la instalațiile de punere sub presiune (stații de pompare exterioare sau rezervoare) cât și atunci când aceste cote sînt date. El permite determinarea unei repartiții optime a diametrelor standardizate pe lungimea fiecărui tronson al rețelei și a lungimii sectoarelor de tronsoane corespunzătoare acestor diametre și oferă posibilitatea luării în considerare a consumului de debit continuu uniform distribuit la rețelele de serviciu. Conduce la o mai uniformă distribuție a energiei de pompare, putându-se astfel stabili mai precis pierderile de energie în sistem și parametrii stațiilor de pompare.

Dacă prin specificul lui, MON poate rezolva dimensionarea optimală doar a rețelelor noi, utilizarea MOL oferă posibilitatea dimensionării optimale și pentru extinderi de rețele.

Pentru diferite rețele analizate, economia de energie electrică pe seama micșorării pierderilor de presiune și reducerea costului de exploatare prin aplicarea modelelor de optimizare elaborate, reprezintă valori de cca 10...30 %, de o deosebită importanță în conjunctura energetică actuală.

Soluțiile optime de rețele pentru distribuția apei sînt afectate de mărimea pierderilor și risipei de apă, luate în calculul repartiției de debit, oricare ar fi funcția obiectiv și criteriul de optimizare adoptat.

În general, costul specific al lucrărilor de reparații, întreținere și revizii periodice este comparabil cu economiile specifice realizabile prin micșorarea pierderilor și risipei de apă, de unde necesitatea efectuării unor studii care să evidențieze principalele cauze și factorii ce influențează aceste pierderi și propunerea de soluții și măsuri pentru reducerea lor.

5.6 Aspecte hidraulice ale funcționării îndelungate a conductelor cu implicații asupra consumului energetic în rețelele de alimentare cu apă [211]

5.6.1 Generalități

Modelele de optimizare elaborate alături de cele existente în publicațiile din ultimele decenii soluționează, în majoritatea cazurilor, problema relativ complicată a dimensionării optimale sau a analizei rețelelor de distribuție, iar ordinatoarele electronice numerice înlătură dificultățile de calcul create de mărimea, complexitatea și diversele ipoteze de funcționare ale rețelelor, rămînînd

ca efortul proiectanților să se concentreze la stabilirea cât mai corectă a datelor de bază, ce condiționează exactitatea rezultatelor.

O atenție sporită trebuie acordată *aprecierii suficient de exacte a rugozității conductelor*, ce stă la baza calculului pierderilor de sarcină, întrucât acestea au o influență energetică importantă asupra soluției optime de rețea într-un sistem de alimentare cu apă.

În continuare se evaluează comportarea în timp a conductelor de alimentare cu apă, cu principalele implicații ale creșterii rugozității acestora în exploatare, elaborându-se diagrame de variație a parametrilor λ_* , β , funcție de viteza de creștere a rugozității în timp, pentru conducte din diferite materiale, în scopul utilizării lor în calculele de analiză și dimensionare a extinderilor și reamenajărilor de rețele.

5.6.2 Evaluarea comportării în timp a conductelor de alimentare cu apă

La dimensionarea hidraulică a rețelelor de distribuție se consideră conducte noi, curate și îmbinate corect, iar rugozitatea absolută a acestora se adoptă potrivit STAS-ului 4163-88, în funcție de materialul conductei.

Între valorile rugozității absolute recomandate de actele normative și cele indicate în literatura de specialitate apar diferențe destul de mari, chiar pentru același material. Astfel, după Idelcik [91], pentru tuburi de fontă $\Delta = 0,25 \dots 1,5$ mm, iar după Kittner [116], pentru conducte de oțel zincat $\Delta = 0,3 \dots 3$ mm.

Pe de altă parte, numeroase măsurători efectuate de mai mulți cercetători [32], [91], [217], [260] arată o creștere în timp a rugozității pereților interiori ai conductelor ca urmare a fenomenelor de corodare, depuneri de material și îmbătrânire ce are ca și consecință reducerea capacității de transport a acestora pînă la 50 %, trebuind ca pentru a realiza debitul luat în calculul de dimensionare să se mărească panta piezometrică și deci proporțional energia de pompare. Astfel, pentru conducte din fontă cu diametrul de 200 mm după circa 40 ani de funcționare, s-au obținut [260] valori ale coeficientului λ de 0,034...0,058, corespunzătoare unei rugozități absolute medii de aproximativ 1,5...5 mm.

De asemenea, reziduurile de fier și de substanțe minerale depuse în conducte, precum și produsele corodării acestora conduc și la modificarea calității apei transportate în rețea.

Pentru conductele de alimentare cu apă, luînd în considerare proprietățile apei în privința formării depunerilor în conducte Kamerstein propune împărțirea apelor naturale în cinci grupe, cărora le corespund tot atîtea viteze medii de creștere a rugozității, fiecare din ele determinînd caracterul și intensitatea procesului de reducere a capacității de transport a conductelor.

Reducerea debitului transportat cu durata lor de serviciu, se poate exprima prin relația [91]:

$$Q_{ij} = Q_{ij}^{(0)} (1 - 0,01 n_o t^{m_o}) \quad (5.188)$$

în care: $Q_{ij}^{(0)}$ este capacitatea de transport calculată a conductei; t - durata de exploatare, în ani; n_o , m_o - parametrii dependenți de proprietățile fizico-chimice ale apei tranzitate, avînd valorile medii cele mai probabile din tabelul 5.11.

Tabelul 5.11

Valorile parametrilor ω , n_o , m_o funcție de proprietățile fizico-chimice ale apei

Nr. grupă	Proprietățile apei	ω [mm/an]	n_o [-]	m_o [-]
0	1	2	3	4
I	Ape slab mineralizate, necorosive. Ape cu conținut neînsemnat de substanțe organice și fier dizolvat.	0,025	2,3	0,50

Tabelul 5.11 (continuare)

0	1	2	3	4
II	Ape slab mineralizate, corosive. Ape conținând substanțe organice și fier dizolvat sub 3 mg/dm ³ .	0,070	2,3	0,50
III	Ape corosive, cu conținut mic de cloruri și sulfatați. Ape cu conținut de fier de peste 32 mg/dm ³ .	0,200	6,4	0,50
IV	Ape corosive, cu conținut mare de cloruri și sulfatați (peste 500...700 mg/dm ³). Ape netratate cu conținut mare de substanțe organice.	0,510	11,6	0,40
V	Ape puternic mineralizate (reziduu fix mineral peste 2000 mg/dm ³) și corosive, cu duritate carbonică mare și cu duritate permanentă redusă.	0,800	18,0	0,35

Variația rugozității absolute funcție de numărul anilor de exploatare se poate exprima cu relația obținută pe baza determinărilor lui Kamerstein:

$$\Delta = \Delta_0 + \omega t \quad (5.189)$$

în care Δ_0 este valoarea inițială a rugozității absolute; ω - viteza de creștere a rugozității conductelor, având valorile din tabelul 5.11.

Întrucât creșterea rugozității în timp depinde de foarte mulți factori, realizarea în laborator a unei rugozități reale este deosebit de dificilă și nu s-a putut face o fundamentare științifică asupra acesteia, fiind nevoie pentru aprecierea cât mai exactă a rugozității absolute a conductelor de determinări directe în rețelele în funcțiune.

În lipsa unor date certe rezultate din încercări în condiții reale, se pot efectua calculele cu valorile date de relația (5.189), pe baza căreia s-a determinat, cu ajutorul programului PARELF, variația coeficientului de rugozitate λ_* și a exponentului debitului β funcție de ω pentru conducte din beton armat precomprimat, fontă, oțel, azbociment și PVC cu durate de exploatare de 10, 25 și 50 ani, la temperatura medie a apei de 15 °C, și s-a reprezentat grafic în diagramele din figurile (5.26) și (5.27).

5.6.3 Implicații ale creșterii rugozității conductelor în exploatare

Principalele fenomene care apar în timpul exploatării ce conduc la creșterea rugozității pereților interiori ai conductelor sînt *depunerile de material (colmatarea)* și *corodarea sau erodarea materialului conductei*.

Vitezele foarte mici sau nule ale apei, pentru perioade mai lungi de timp, facilitează colmatarea și consolidarea depunerilor în prezența carbonaților. Pe lângă această colmatare mecanică se remarcă și colmatarea biologică și prin precipitare.

Principalele cauze care determină formarea depunerilor în conducte sînt:

- substanțele în suspensie aflate în apă, la rețelele de apă industrială, netratată;
- duritatea temporară a apei;
- acțiunea corosivă a apei vehiculate, care conduce la formarea de depozite de oxid de fier;
- acțiunea biologică datorită bacteriilor feruginoase și unor protozoare.

Atît corodarea cît și colmatarea prin creșterea rugozității pereților interiori ai conductelor măresc și pierderile de energie, defavorizînd distribuția presiunilor și debitelor în rețea. În această situație, pe ansamblul sistemului rezultă o alimentare cu apă preferențială a unor puncte de consum în dauna altora care resimt lipsa debitelor și presiunilor necesare în utilizarea apei.

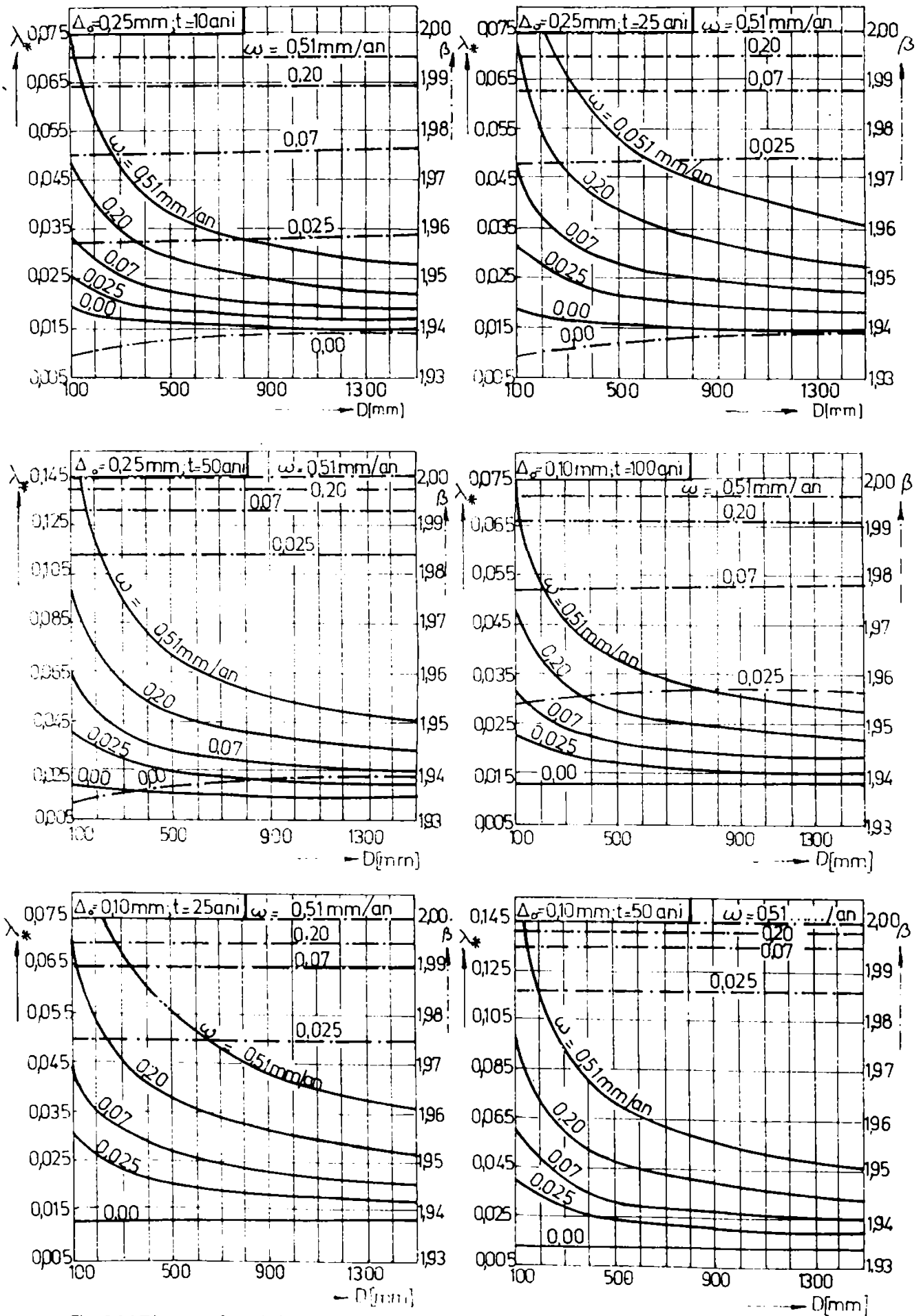


Fig. 5.26 Diagrame de variație a parametrilor λ_* și β pentru conducte din beton armat, fontă și oțel

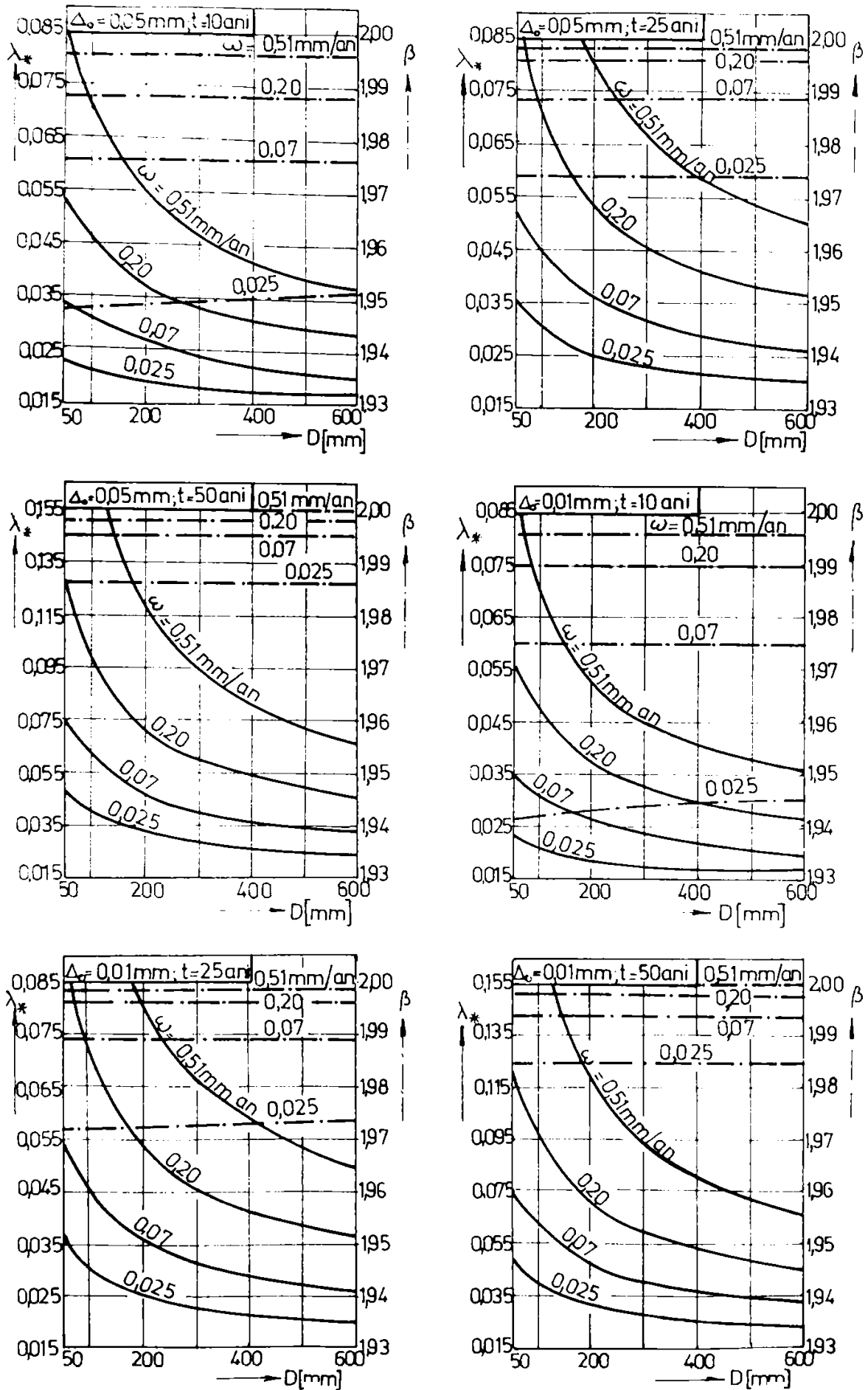


Fig. 5.27 Diagrame de variație a parametrilor λ_* și β pentru conducte din azbociment și PVC

Definind *stabilitatea distribuției presiunilor* în rețea ca raportul presiunii minime (la consum maxim în punctul obligat) și maxime (la consum nul):

$$\sigma_H = \frac{H_{\min}}{H_{\max}} \quad (5.190)$$

și ținând seama de relațiile de similitudine ale pompelor centrifuge, se definește în mod asemănător și *stabilitatea repartiției debitelor*:

$$\sigma_Q = \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}} = \sqrt{\frac{H_{\min}}{H_{\max}}} \quad (5.191)$$

5.6.4 Aplicație numerică

Pentru ilustrarea celor menționate anterior s-a apelat la rețeaua de distribuție din figura 5.10, pentru care s-au calculat cu ajutorul programului ACIREC pe lângă presiunile disponibile în noduri la proiectare, și cele după 10, 25 și 50 ani de exploatare cu două viteze de creștere a rugozității, precum și stabilitatea presiunilor și a debitelor. Rezultatele calculului sînt prezentate în tabelul 5.12.

Tabelul 5.12

Presiunile disponibile în noduri, H_j [m]

Nod j	ω [mm/an]						
	0,00	0,025			0,200		
	Proiect	t [ani]			t [ani]		
		10	25	50	10	25	50
0	1	2	3	4	5	6	7
1	24,000	22,859	22,371	20,453	18,202	13,364	7,284
2	26,955	26,502	26,295	25,485	24,548	22,587	20,213
3	26,850	26,528	26,374	25,776	25,087	23,651	21,920
4	29,066	28,855	28,770	28,443	28,069	27,293	26,364
5	26,624	26,021	25,754	24,719	23,525	21,024	17,986
6	28,566	28,283	28,122	27,498	26,784	25,312	23,568
7	28,533	28,224	28,231	27,831	27,375	26,443	25,355
8	28,553	28,415	28,338	28,043	27,709	27,034	26,248
9	28,371	28,213	28,151	27,912	27,643	27,099	26,467
10	25,446	24,731	24,353	22,870	21,133	17,416	12,773
11	27,157	26,645	26,438	25,631	24,695	22,724	20,315
12	28,813	28,644	28,576	28,312	28,008	27,379	26,824
13	29,435	29,435	29,435	29,435	29,435	29,435	29,435
σ_H	0,815	0,777	0,760	0,695	0,618	0,454	0,247
σ_Q	0,903	0,881	0,872	0,834	0,786	0,674	0,497
w_{sd} [kWh/m ³]	0,0071	0,0082	0,0086	0,0103	0,0123	0,0165	0,0216
Spor energie pompare [%]		3,9	5,5	12,0	19,7	36,1	56,7

Se constată că după un timp de exploatare de 10 ani cu o viteză de creștere a rugozității de 0,025 mm/an se obține o creștere relativ mică a pantei piezometrice în conductele rețelei, de la 4,1

% (tronsonul 8) pînă la 17,3 % (tronsonul 1), însă pentru un serviciu de 50 ani și o viteză de creștere a rugozității de 0,2 mm/an pantele piezometrice cresc foarte mult, ajungînd de la 175 % (tronsonul 8) pînă la 259 % (tronsonul 13).

Stabilitatea distribuției presiunilor scade cu 4,7...69,7 %, iar stabilitatea repartiției debitelor se înrăutățește cu 2,4...45 %.

Pentru a menține capacitatea de transport a conductelor, în cazul rețelei analizate, este nevoie de mărirea sarcinii de pompare și deci a consumului de energie electrică de la 3,9 % ($\omega = 0,025$ mm/an, $t = 10$ ani) pînă la 56,7 % ($\omega = 0,2$ mm/an, $t = 50$ ani), iar în mod corespunzător crește și energia specifică pentru distribuția apei în rețea de la 15,6 % pînă la 206 %.

5.6.5 Concluzii parțiale

Efectul creșterii rugozității conductelor în timp asupra distribuției presiunilor constă în majorarea cu atît mai pronunțată a pantelor piezometrice față de cele scontate la proiectare cu cît durata de funcționare a rețelei este mai mare, avînd următoarele implicații:

- reducerea importanță a debitului de apă asigurat punctelor de consum, conducînd la dificultăți în utilizarea apei și de multe ori la necesitatea supraechipării stațiilor de pompare, precum și la proiectarea greșită a extinderilor sau restructurărilor de rețele în care o parte din conducte au deja o durată de exploatare;

- creșterea presiunii în rețea pentru a realiza același debit transportat, avînd ca și consecințe sporirea consumului de energie și denaturarea calcului optimal;

- producerea unei pierderi de apă suplimentare în rețea, care poate fi cu atît mai mare cu cît spre sfîrșitul perioadei de existență a materialului și numărul de avarii și defecțiuni crește.

Dacă la conductele noi, rugozitatea absolută se poate considera că rămîne relativ aceeași pentru o durată de pînă la 10...12 ani, peste această perioadă de funcționare este obligatoriu să se țină seama de schimbarea stării de rugozitate a pereților interiori ai conductelor. Pentru aprecierea cît mai corectă a rugozității de calcul la unele extinderi sau reamenajări de rețele sînt necesare determinări directe în rețelele în funcțiune, iar la proiectarea rețelelor noi se pot lua valori ale rugozității majorate cu pînă la 20...30 % față de cele recomandate de normativele actuale.

Diagramele de variație a parametrilor λ_s și β sînt utile în calculele de analiză a rețelelor existente și de proiectare a extinderilor și reamenajărilor de rețele.

Pentru a se putea menține pierderea de sarcină și implicit consumul de energie pentru pomparea apei în limitele avute în vedere la proiectare este necesar ca, pe lîngă asigurarea unei tratări corespunzătoare a apei (limpezire, dedurizare, deferizare, dezacidare, etc.) și a unei exploatare normale a rețelei (evitarea scăderii presiunilor în rețea sub cele de serviciu), să se procedeze periodic la curățirea și spălarea conductelor, cu verificarea pierderii de presiune și a debitelor tranzitate înainte și după efectuarea acestor operații. În cazuri justificate se poate recurge la acoperirea interioară a tuburilor cu materiale de protecție puțin rugoase, cum ar fi mortarul de ciment

Folosirea dispozitivelor de tratare magnetică a apei contribuie la evitarea depunerilor de carbonat de calciu (piatră) pe conductele de apă rece și în special caldă și la dezincrustarea conductelor cu depuneri deja formate, reducîndu-se esențial cheltuielile de întreținere, precum și energia necesară pentru vehicularea apei.

6. OPTIMIZAREA STRUCTURALĂ ȘI FUNCȚIONALĂ DIN PUNCT DE VEDERE ENERGETIC A SISTEMELOR DE DISTRIBUȚIE A APEI

6.1 Considerații privind problemele energetico-economice ale distribuției apei

Procedeul uzual de asigurare a presiunii necesare la utilizatorii de apă ai marilor centre populate industriale prin rețele alimentate exclusiv cu stații de pompare exterioare, reclamă un consum energetic ridicat de 70 ... 80 % din energia consumată în exploatarea întregului sistem centralizat de alimentare cu apă, care depinde de randamentul global al sistemului de distribuție alcătuit din stațiile de pompare de treapta a II-a și rețeaua de distribuție, între acestea existînd o strînsă interdependență.

În condițiile menționate, presiunile disponibile sînt foarte mari în punctele de consum periferice, în care de obicei sînt necesare presiuni mai reduse, în timp ce în zonele centrale ale rețelei apar presiuni insuficiente.

Distribuția apei calde cu un program redus, de 6 ... 8 ore/zi, creează oscilații foarte mari ale necesarului orar de apă, astfel încît în lipsa funcției compensatoare de rețea stațiile de pompare exterioare necesită puteri instalate mari.

De asemenea, suprapunerea orelor de vîrf, 7 - 9 dimineața și 17 - 21 seara, pentru necesarul de apă, căldură și energie electrică, conduce la creșteri foarte mari ale cheltuielilor de exploatare.

Avînd în vedere aceste considerente, reconsiderarea principiilor de alcătuire și funcționare a sistemelor de distribuție a apei din punct de vedere al optimizării energetice devine imperios necesară, fiind realizabilă printr-o nouă concepție de structurare a acestora. În prezentul capitol se expun procedee și măsuri atît pentru optimizarea funcțională a pompelor existente în sistemele de distribuție, cît și pentru optimizarea structurală a sistemelor de distribuție, precum și soluții de optimizare a condițiilor energetice ale distribuției apei calde în sistemele centralizate.

6.2 Analiza unor posibilități de optimizare a funcționării pompelor în sistemele de distribuție a apei în scopul reducerii consumului de energie electrică [203]

Studiul optimizării funcționării pompelor în sistemele de distribuție ridică o serie de probleme legate de dimensionarea optimală a rețelei și alegerea pompelor, dintre care la stațiile de

pompare existente interesează în primul rând reducerea consumului energetic, factor ce determină economicitatea procesului de pompare.

În continuare se descriu și se analizează din punct de vedere energetic unele soluții propuse pentru optimizarea funcțională a pompelor în sistemele mari de distribuție a apei, ce conduc la mărirea randamentului energetic și la corelarea debitului pompat cu consumul real de apă.

6.2.1 Analiza energetică a funcționării pompelor în rețea

Analiza energetică a funcționării pompelor în rețea are ca parametrii determinanți *energia specifică de pompare* w_p , care reprezintă energia consumată pentru pomparea unității de volum și se exprimă în kWh/m³ cu relația (6.1) și *energia specifică a sistemului* w_s , care reprezintă consumul de energie specifică pentru o înălțime geodezică dată și se exprimă în kWh/(m³.m), conform relației (6.2):

$$w_p = 0,00272 \frac{H_p}{\eta} \quad (6.1)$$

$$w_s = \frac{w_p}{H_g} = \frac{0,00272}{\eta \eta_r} \quad (6.2)$$

unde:

$$\eta_r = \frac{H_g}{H_p} \quad (6.3)$$

în care: H_p este înălțimea de pompare corespunzătoare punctului de funcționare, în m; H_g - înălțimea geodezică de pompare, în m; η - randamentul general al stației de pompare; η_r - randamentul hidraulic al rețelei.

Puterea absorbită P , în kW, la o anumită turație se calculează cu relația:

$$P = \frac{\gamma Q H_p}{1000 \eta} = 3600 w_p Q \quad (6.4)$$

în care: γ este greutatea specifică a apei, în N/m³; Q - debitul pompat, în m³/s; w_p - energia specifică de pompare, în kWh/m³.

În general, pentru pompele centrifuge produse în țară raportul H_p/η nu corespunde valorii maxime a randamentului η_{\max} (fig. 6.1), ci unei valori mai mici, pe curba descendentă, adică:

$$\eta w_{p\min} \neq \frac{H_p}{\eta_{\max}} \quad (6.5)$$

Dacă se consideră o pompă supradimensionată față de necesitățile rețelei, se ajunge la situația prezentată în figura 6.2.

Caracteristica rețelei $H_{r1}=f(Q)$ stabilește punctul de funcționare nominală a pompei în F , corespunzător sarcinii H_F , debitului Q_F și energiei specifice w_{pF} . La energia specifică minimă w_{p0} corespunde punctul de funcționare O .

Din relația (6.2) se observă că energia specifică a sistemului w_s este invers proporțională cu randamentul total al sistemului:

$$\eta_t = \eta \eta_r \quad (6.6)$$

și direct proporțională cu energia specifică de pompare w_p .

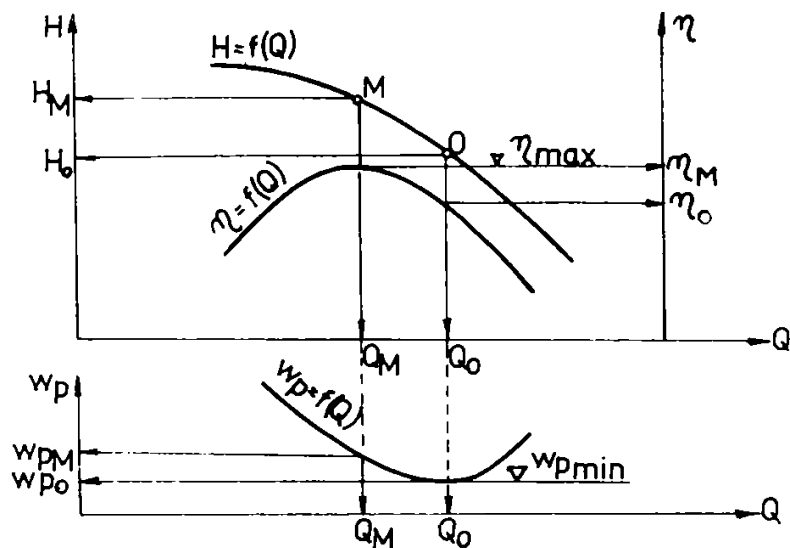


Fig. 6.1 Curbe caracteristice ale unei pompe centrifuge

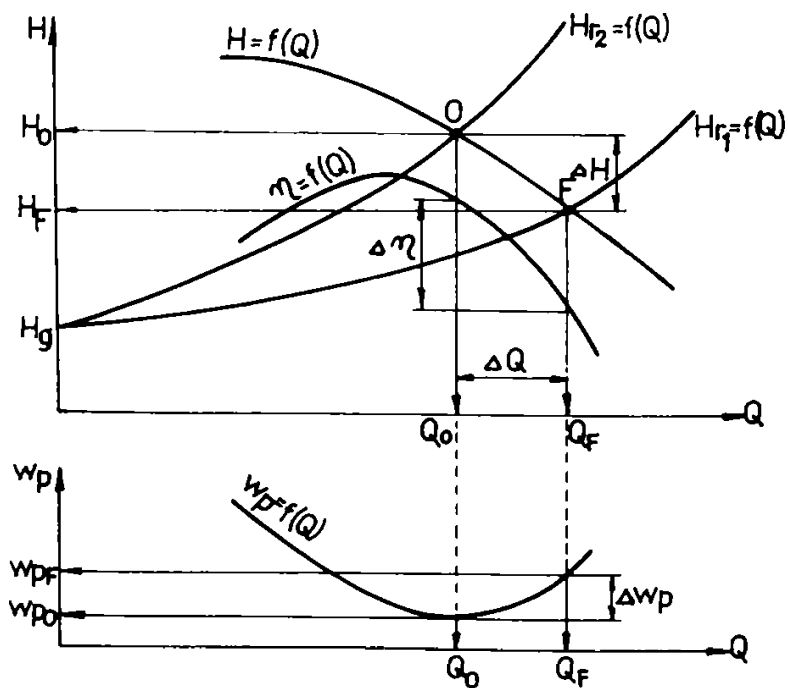


Fig. 6.2 Reglarea debitului cu ajutorul vanei de refulare

6.2.2 Propuneri de soluții pentru reducerea consumului energetic

6.2.2.1 Mărirea randamentului energetic al sistemului

Ținând seama de numărul redus de tipodimensiuni și de dezvoltarea ulterioară a zonei deservite, pompele pentru asigurarea parametrilor funcționali ai instalației de pompare se aleg mai mari, apărând de obicei ca supradimensionate față de condițiile de exploatare de moment. Din această cauză în unele situații, punctul de funcționare al pompelor se mută spre zona debitelor mari, chiar în afara diagramelor date de furnizor.

În vederea creșterii randamentului sistemului și implicit, reducerii consumului energetic, ar fi necesară deplasarea punctului de funcționare spre O (fig. 6.2). În acest scop se poate utiliza *procedeul de reglaj prin vana de refulare*.

Obținând parțial refularea, caracteristica rețelei devine $H_{r2}=f(Q)$, iar corespunzător noului punct de funcționare, debitul scade la Q_0 , sarcina pompei crește la H_0 , energia specifică de pompare scade la $w_{p0}=w_{pmin}$, iar randamentul pompei crește de la η_F la η_0 .

Creșterea sarcinii de pompare conduce la scăderea randamentului hidraulic al rețelei η_r , motiv pentru care se afirmă în literatură [6], [81], [226], [238] că reglajul prin vana de refulare este un procedeu nerecomandat din punct de vedere energetic, deoarece duce la scăderea randamentului global al sistemului η_t .

Din examinarea alurii curbei energiei specifice w_p , se observă însă că dacă reglajul se efectuează pe caracteristica pompei, sub punctul O, corespunzător energiei specifice de pompare minime, rezultă o micșorare a consumului energetic, respectiv o creștere a randamentului total η_t (η crește mai mult deși η_r se reduce din cauza obturării vanei).

Dacă reglarea punctului de funcționare se efectuează deasupra punctului O, prin creșterea înălțimii de pompare, crește și energia specifică de pompare, rezultând în final mărirea consumului energetic.

Rezultă, deci, că din punctul de vedere al eficienței reglajului prin vana de refulare, diagrama de funcționare a unei pompe centrifuge se poate împărți în două zone, delimitate de punctul de funcționare corespunzător energiei minime de pompare.

Pentru sarcini superioare acestui punct, reglajul este nerecomandabil, în timp ce reglajul efectuat de la sarcini mai mici spre acest punct conduce la reduceri ale consumului energetic.

Datorită variațiilor consumului de apă din rețeaua de distribuție, sarcina de pompare H_p nu este constantă pe durata funcționării pompei, ci ocupă o plajă pe caracteristica acesteea.

Reglajul prin vana de refulare trebuie aplicat doar pentru perioadele în care pompa funcționează la sarcini $H_p < H_0$, crescînd valoarea înălțimii de pompare pînă la egalitatea $H_p = H_0$ și scăzînd în consecință debitul de la valoarea nominală Q_F la valoarea Q_0 .

Ca orice sistem de reglare și acest procedeu necesită o buclă formată din trei elemente principale: elementul de măsură (traductorul), elementul de prelucrare a informației (regulatorul) și elementul de execuție pentru care este recomandabil a se folosi vana electromagnetică, ce acționează asupra modificării debitului de apă.

6.2.2.2 Corelarea debitului pompat cu consumul de apă real

Funcționarea clasică a stațiilor de pompare de treapta a II-a se bazează pe graficul de variație orară a consumului de apă determinat statistic [84], [105], [238], iar reglarea parametrilor acestora se efectuează în trepte, prin cuplarea și decuplarea unui anumit număr de pompe cu montaj în paralel.

În numeroase sisteme centralizate de alimentare cu apă se constată adesea lipsa apei la consumatori între anumite ore pe perioada unei zile de consum, datorită fie a unei subdimensionări a sistemului, fie a depășirii normelor de consum de către unii utilizatori, fie datorită funcționării necorespunzătoare a stației de pompare, ca urmare a neconcordanței între graficul de variație orară statistică a consumului de apă cu cel real, sau a unei combinații a acestor cauze.

Pe de altă parte trebuie să se țină seama că livrarea apei la consumatori în condiții optime impune cunoașterea, la stația de pompare, a presiunilor în punctele semnificative (centrele de greutate ale zonelor de consum) ale rețelei de distribuție.

Deși reglarea debitului de apă prin vana de refulare a agregatelor de pompare conduce la mărirea randamentului energetic al sistemului de distribuție atunci cînd sarcinile nominale ale pompelor sînt inferioare înălțimii de pompare optime, acest procedeu prezintă inconveniente:

- uzură accentuată la organele de obturare;
- zgomote, vibrații și lovituri de berbec cu efecte nedorite în sistem;

- funcționare la regimuri mai puțin fiabile pentru pompe.

Cel mai avantajos procedeu prin care se poate realiza variația debitului de apă este *modificarea turației motorului de antrenare a agregatului de pompare*, aceasta devenind elementul de execuție al buclei de reglare, eliminându-se vana de reglaj montată pe conducta de refulare.

Reglarea debitului (fig. 6.3) nu se mai face prin modificarea caracteristicii rețelei și a deplasării punctului de funcționare F_1 pe caracteristica fixă a pompei, ca la reglajul cu vana de refulare, ci se realizează datorită deplasării punctului de funcționare în F_2 prin modificarea caracteristicii pompei H (la turații diferite n_1, n_2), pe caracteristica fixă a rețelei H_r . Punctul de funcționare F_2 corespunde înălțimii de pompare H_{F2} redusă cu căderea de presiune pe vana de reglare eliminată.

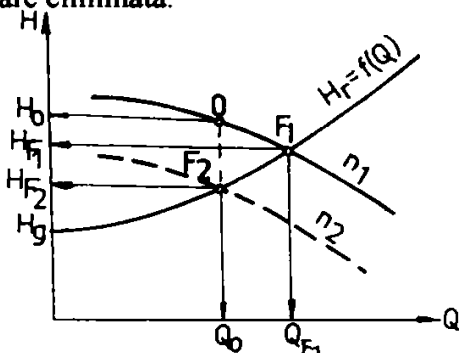


Fig. 6.3 Reglarea debitului prin varierea turației

Caracteristica pompei la turații reduse se poate calcula și reprezenta grafic prin relațiile de similitudine:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (6.7)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (6.8)$$

Variația debitului de apă, conform relației (6.7) este direct proporțională cu variația turației agregatului, care este comandată direct de regulatorul din bucla de reglare automată.

Dependența randamentului de variația turației este dată de relația (6.9), cu care se poate deduce randamentul η_2 în punctul F_2 corespunzător turației n_2 , funcție de randamentul η_1 , la turația n_1 :

$$\eta_2 = 1 - (1 - \eta_1) \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^{0.1} \quad (6.9)$$

În fapt, la majoritatea pompelor și în special la cele mari, modificarea randamentului se poate neglija la un domeniu de variație a turației de 1/3 din turația nominală.

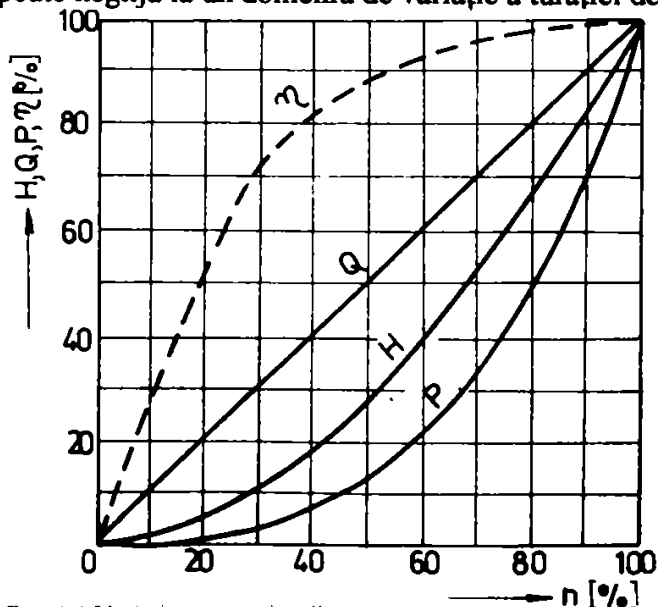


Fig. 6.4 Variația caracteristicilor pompelor centrifuge cu turația

În figura 6.4 s-a reprezentat variația caracteristicilor H, Q, P, η ale pompelor centrifuge cu turația n , constatându-se că reducând cu 20 % turația, puterea absorbită scade cu 50 %, iar randamentul pompei rămâne practic nemodificat, de unde reiese clar posibilitatea reducerii consumului de energie la pompare prin reglarea turației agregatelor de pompare.

O dată cu aplicarea procedeelor electronice la acționarea motoarelor electrice, reglarea turației a fost deja extinsă în unele țări la scară industrială [22].

Variația turației motorului de antrenare a pompei se poate realiza printr-o varietate de soluții [226]. Dintre acestea motorul asincron cu rotorul în scurtcircuit asociat cu un convertizor static de frecvență cu tiristoare sau tranzistoare de putere (200 kW și respectiv 25 kW) formează un echipament electric de acționare cu turație reglabilă în limite largi.

Semnalul de comandă dat de regulator se introduce în elementul de execuție al buclei de reglare reprezentat prin convertizorul de turație, care poate fi comandat de la un calculator de proces sau de la un element de comandă manuală.

Dacă este necesară funcționarea mai multor pompe în paralel se poate efectua varierea turației unei singure pompe (celelalte funcționând la turația nominală), convertizorul de turație comutându-se automat la oricare din pompe.

În scopul corelării debitului pompat cu consumul de apă real și al asigurării presiunii necesare cu un consum minim de energie s-a conceput un *sistem de automatizare cu echipament electronic*, având elementele principale din figura 6.5.

Traductoarele electronice de presiune 1 transmit presiunea din punctele semnificative ale rețelei de distribuție prin liniile de conexiune 2, cu ajutorul semnalelor electronice 2 ... 10 mA c.c sau 4 .. 20 mA c.c, la miliampermetrele reglatoare 3 amplasate în stațiile de pompare uzinale. În același timp semnalele electronice se transmit și unui înregistrator electronic 4, legat în serie cu miliampermetrele reglatoare, care permite înregistrarea în mod continuu pe o diagramă a presiunilor din maximum douăsprezece puncte de măsură.

Pupitrele de semnalizare 5 conțin lămpi de semnalizare și sonerii comandate de miliampermetrele reglatoare prin relele de minim și maxim. În același timp miliampermetrele reglatoare comandă cu ajutorul unui programator continuu și discontinuu 6, prin intermediul liniilor de conexiune 7, cuplarea sau decuplarea de la rețeaua 8 de alimentare cu energie electrică a motoarelor 9 de antrenare a pompelor 10 din stația de pompare.

Programatorul continuu și discontinuu este în legătură, prin intermediul liniilor de conexiune 11, cu un calculator electronic de proces 12 la care se efectuează o prescriere inițială a valorilor minime și maxime a presiunilor necesare în punctele semnificative ale sistemului, în vederea asigurării unei alimentări optime cu apă, la un consum energetic minim.

La motoarele electrice funcționând cu turație variabilă se cuplează traductoarele de turație 13 ce transmit semnalul lor la elementul de comparație 14, care în funcție de mărimea acestuia comandă convertizorul static de frecvență 15, deservind unul sau mai multe motoare electrice de antrenare a pompelor.

Prin intermediul convertizorului de turație se poate efectua o reglare brută prin cuplarea, respectiv decuplarea pompelor și o reglare fină în intervalul de cuplare al pompelor, prin modificarea turației unei pompe. Rezultă deci, ca necesară echiparea stației de pompare cu un număr $n_p = n_c + n_v$ de pompe, unde n_c este numărul pompelor clasice (P_c), iar n_v - numărul pompelor cu turație variabilă (P_v).

Pentru această soluție pledează următoarele avantaje:

- poate realiza o variație a turației într-o gamă largă;
- menține cu precizie turația prescrisă;
- se integrează perfect și ușor într-o buclă de reglare automată;
- se montează ușor, fără modificări esențiale, într-un sistem existent.

Alegerea procedurii optim de reglare a debitului se face în funcție de economia de energie și durata de amortizare a investițiilor suplimentare în sistemul de reglare adoptat.

Pentru a stabili economia de energie realizabilă prin utilizarea unui anumit procedeu de reglare se au în vedere condițiile de exploatare:

- caracteristica rețelei de distribuție;
- caracteristica consumului de apă, ce exprimă variația debitului necesar pe perioada unei zile.

Consumul specific de energie w_e , în %, într-o perioadă T_p de exploatare optimizată a pompelor se determină cu relația:

$$w_e = \frac{\int_0^{T_p} P dt}{\sum_{i=1}^n \frac{Q_i H_i}{\eta_i} T_p} 100 \quad (6.10)$$

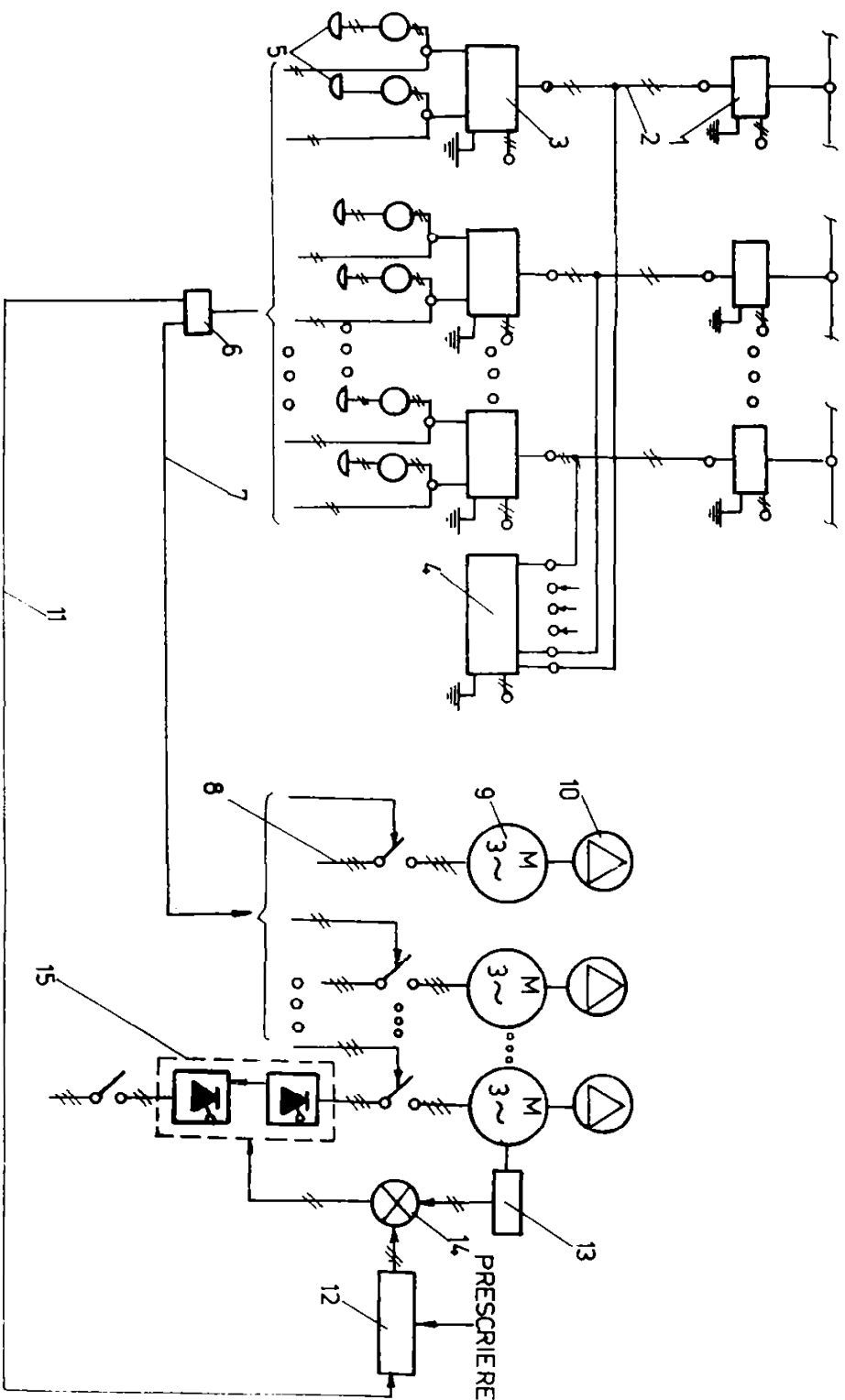


Fig. 6.5 Schema bloc a sistemului de optimizare a funcționării pompelor în sistemele de distribuție a apei folosind reglarea turației
 I-traductor de presiune FE 1 GM; 2, 7, 11-linii de conexiune; 3-miliampermetru regulator 1 ARE 192; 4-inregistrator electronic ELR 362 A; 5-pupitră de semnalizare; 6-programator continuu și discontinuu ELX 733; 8-rețea electrică; 9-motor electric; 10-pompă; 12-calculator de proces; 13-traductor de turație DT 171; 14-element de comparație; 15-convertitor static de frecvență CSFV

în care: Q_i , H_i , η_i sînt caracteristicile pompei sau grupului de pompe la funcționarea clasică în ora i

aunei zile; $\int_0^{T_p} P dt$ - energia consumată în perioada T_p , funcționînd la debite diferite de Q_i .

6.2.3 Analiza energetică comparativă a funcționării unei stații de pompare prin aplicarea sistemului de reglare clasic și optimizat

Eficiența energetică-economică a procedeelor de optimizare propuse se evidențiază printr-un exemplu de analiză comparativă a funcționării unei stații de pompare din cadrul sistemului de alimentare cu apă potabilă a municipiului Timișoara, echipată cu 6 pompe de tip 12 NDS-1450, ce trebuie să asigure zilnic livrarea a 172800 m³ de apă.

Rezultatele numerice obținute pe baza curbelor caracteristice din figura 6.6 sînt date în tabelul 6.1.

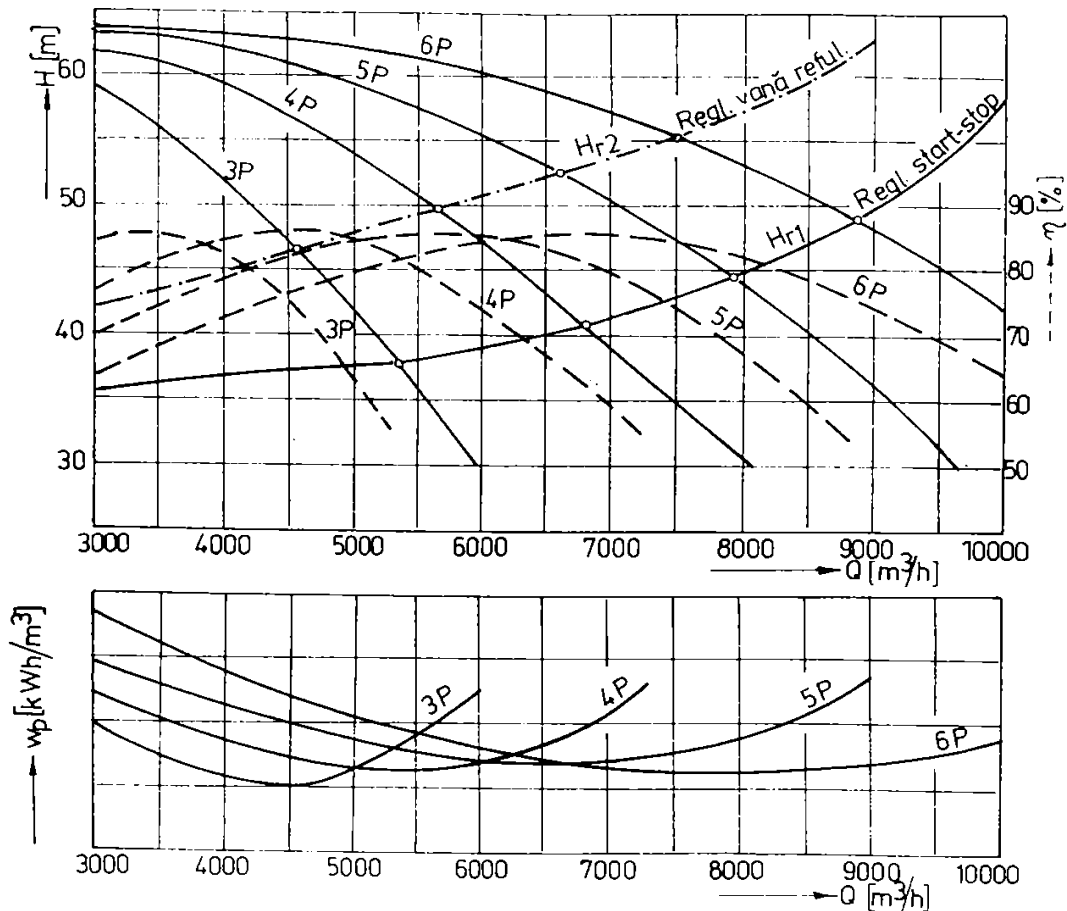


Fig. 6.6 Curbele caracteristice H-Q, η -Q, w_p -Q și punctele de funcționare pentru diferite montaje de pompe tip 12 NDS-1450 în paralel

Din analiza efectuată se constată că la funcționarea optimizată a stației de pompare folosind sistemul de automatizare prin reglarea turației, consumul specific de energie este de 80 % față de 88 % la sistemul prin reglarea cu vana de refulare. Pentru primul procedeu se obține o economie de energie electrică față de funcționarea clasică ce urmărește graficul variației statistice a consumului de apă de 2280 MWh/an, iar în cazul celui de-al doilea procedeu se economisește 1345 MWh/an.

Tabelul 6.1

Calculul consumului specific de energie și al economiei de energie la aplicarea procedeeleor de reglaj optimizat

Nr. crt.	Mod de reglare	Interval de ore	Nr. pompe în funcț	Debitul pompat Q [m ³ /s]	Înălț. de pompare H _p [m]	Puterea absorb. P [kW]	Energia consumată W _e [kWh/zi]	Consum energetic specific w _e [%]
0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	clasic (start-stop)	0-4	3 P _c	1,47	38,6	696,3	31705,6	100
		4-10	6 P _c	2,48	49,8	1730,8		
		10-14	4 P _c	1,91	42,5	995,4		
		14-17	5 P _c	2,18	45,7	1303,1		
		17-22	6 P _c	2,48	49,8	1730,8		
		22-24	4 P _c	1,91	42,5	995,4		
2	optimiz (reglaj vană)	0-5	3 P _c	1,42	38,6	672,6	27970,5	88
		5-6	6 P _c	2,25	53,0	1424,0		
		6-7	6 P _c	2,48	49,8	1730,8		
		7-8	6 P _c	2,25	53,0	1424,0		
		8-10	5 P _c	2,08	47,5	1138,2		
		10-12	4 P _c	1,91	42,5	995,4		
		12-13	5 P _c	1,81	56,0	1181,6		
		13-15	4 P _c	1,91	42,5	995,4		
		15-16	6 P _c	2,08	47,5	1138,2		
		16-20	6 P _c	2,25	53,0	1424,0		
		20-23	6 P _c	2,46	50,0	1544,1		
		23-24	4 P _c	1,81	43,0	1122,6		
3	optimiz (reglaj turație)	0-5	2P _c +1P _v	1,42	37,6	655,2	25375,5	80
		5-6	5P _c +1P _v	2,25	45,5	1222,5		
		6-7	6 P _c	2,48	49,8	1730,8		
		7-8	5P _c +1P _v	2,25	45,5	1222,5		
		8-10	5 P _c	2,08	43,0	1030,3		
		10-12	4 P _c	1,91	42,5	995,4		
		12-13	3P _c +1P _v	1,81	40,0	708,9		
		13-15	4 P _c	1,91	42,5	995,4		
		15-16	5P _c +1P _v	2,08	43,0	1030,3		
		16-20	5P _c +1P _v	2,25	45,5	1222,5		
		20-23	5P _c +1P _v	2,46	49,6	1534,5		
		23-24	3P _c +1P _v	1,81	40,0	708,9		
Economia de energie, ΔW _{e,2-1}			[MWh/an]			1345,0		
				[%]			11,6	
Economia de energie, ΔW _{e,3-1}			[MWh/an]			2280,0		
				[%]			20	
Economia de energie, ΔW _{e,3-2}			[MWh/an]			935,0		
				[%]			8,4	

Rezultă că prin procedeul variației turației se obține, față de procedeul reglării cu vana de refulare, o economie de energie suplimentară în proporție de cca 10 %.

Considerând tariful mediu al energiei electrice de 0,60 lei/kWh și evaluând costul investiției suplimentare pentru sistemul de reglare prin modificarea turației, față de cel de reglare prin vană, la 702000 lei, rezultă un timp de amortizare a acestei investiții de cca 1 an, arătând economicitatea energetico-economică a primului sistem față de cel de-al doilea.

Reglarea prin modificarea turației constituie un procedeu avantajos de optimizare a funcționării pompelor în sistemele de distribuție a apei, asigurând corelarea debitului pompat cu

consumul de apă real în condițiile obținerii unor economii însemnate de energie electrică, care pot atinge în anumite împrejurări chiar 30 %.

Este de așteptat ca acest sistem de reglare să se generalizeze și la noi în țară în scopul economiei de energie.

6.3 Optimizarea energetică a sistemelor de distribuție prin separarea rețelelor pe zone de presiune [205]

6.3.1 Procedee de zonare

Separarea rețelelor de distribuție a apei pe zone de presiune este obligatorie din condiții tehnice, atunci când presiunile disponibile în rețea depășesc valoarea limită $H_{max} = 60$ m CA, dar se poate aplica și pentru a asigura o optimizare energetică-economică a sistemului.

Se analizează procedee și soluții propuse pentru optimizarea structurală și funcțională a sistemelor de distribuție prin zonarea rețelelor, determinându-se eficiența energetică-economică a acestora cu exemplificări numerice.

În principiu separarea rețelelor pe zone de presiune se poate realiza prin:

a) *zonarea orizontală*, ce presupune repompări succesive impuse de lungimea mare a traseului la rețelele de mare extindere situate în regiunea de șes (fig. 6.7-a). Înălțimea de pompare se subîmparte în mai multe trepte, asigurându-se presiunea de serviciu H_n , iar la capătul fiecărei zone k se amenajează câte un rezervor tampon R_k și câte o stație de pompare SP_k ;

b) *zonarea verticală*, prilejuită îndeosebi de clădirile înalte de pe o vatră de mică extindere (fig. 6.7-b). Aceasta presupune realizarea unei rețele pentru consumatorii de la nivelele P+4E, cu o înălțime de pompare H_{p1} și altă rețea pentru nivelele etajelor E5...10, alimentată de la stația de pompare SP_2 prevăzută cu recipiente hidropneumatice.

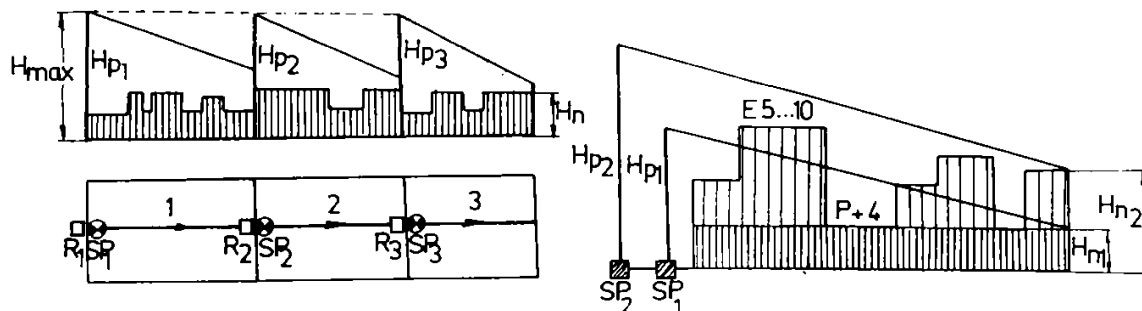


Fig. 6.7 Schema de principiu a separării rețelelor pe zone de presiune
a - zonare orizontală; b - zonare verticală

La rețelele alimentate prin pompare, atât zonarea orizontală cât și cea verticală se poate realiza *în serie* sau *în paralel*, în figurile 6.8 și 6.9 prezentându-se aceste două procedee tehnice pentru zonarea verticală.

6.3.2 Particularitățile zonării în serie

La zonarea în serie (fig. 6.8), stațiile de pompare se amplasează la limita zonelor astfel încât să nu se depășească presiunea maximă admisă în rețea. Stația de pompare inferioară SP_1 vehiculează debitul de apă (Q_1+Q_2) necesar pentru întregul centru populat la o sarcină de pompare H_{p1} corespunzătoare zonei I, iar dintr-un rezervor intermediar, agregatele stației de pompare SP_2 aspiră debitul Q_2 necesar zonei II, cu propriul rezervor R_2 .

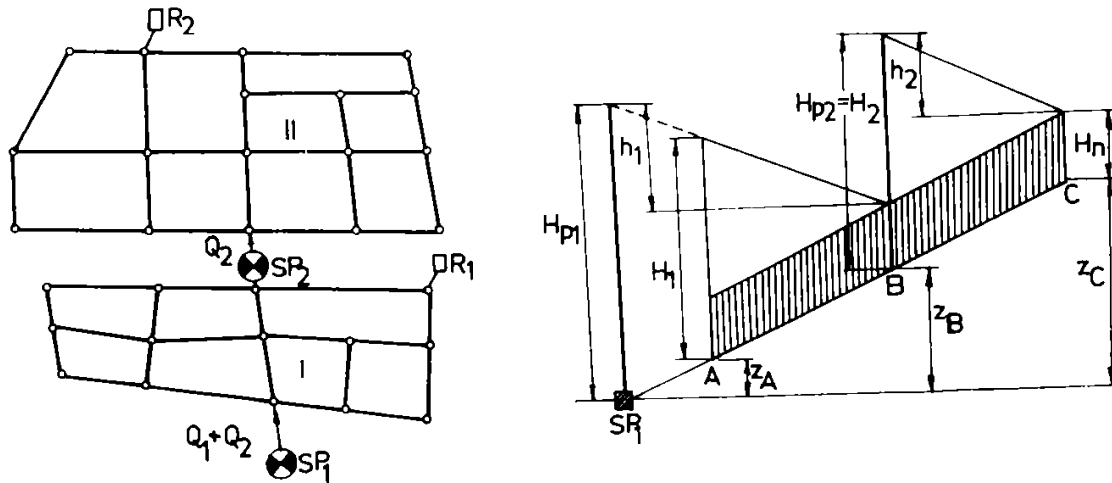


Fig. 6.8 Schema de principiu a procedului de zonare în serie

Presiunea maximă, în zona inferioară I (A-B), este dată de relația (6.11), iar în zona superioară II (B-C) se determină cu relația (6.12):

$$H_1 = H_n + (z_B - z_A) + h_1 \leq H_{\max} \quad (6.11)$$

$$H_2 = H_n + (z_C - z_B) + h_2 \leq H_{\max} \quad (6.12)$$

în care: H_n este presiunea necesară; z_A, z_B, z_C - cotele geodezice în punctele A, B, C; h_1, h_2 - pierderile de sarcină în zonele I și II.

Dacă fiecare zonă are prevăzut rezervor propriu de compensare, volumele acestora rezultă din repartizarea proporțională cu valorile consumului maxim zilnic al fiecărei zone. Rezerva de avarie se păstrează numai în rezervorul principal al zonei inferioare, iar rezerva de incendiu este recomandat a se repartiza în rezervoarele fiecărei zone de presiune.

6.3.3 Particularitățile zonării în paralel

La zonarea în paralel (fig. 6.9), fiecare stație de pompare livrează debitul corespunzător zonei pe care o deserveste Q_1 și Q_2 în cîte o rețea prevăzută fiecare cu rezervor (R_1, R_2) și avînd astfel o mai mare independență decît în cazul zonării în serie.

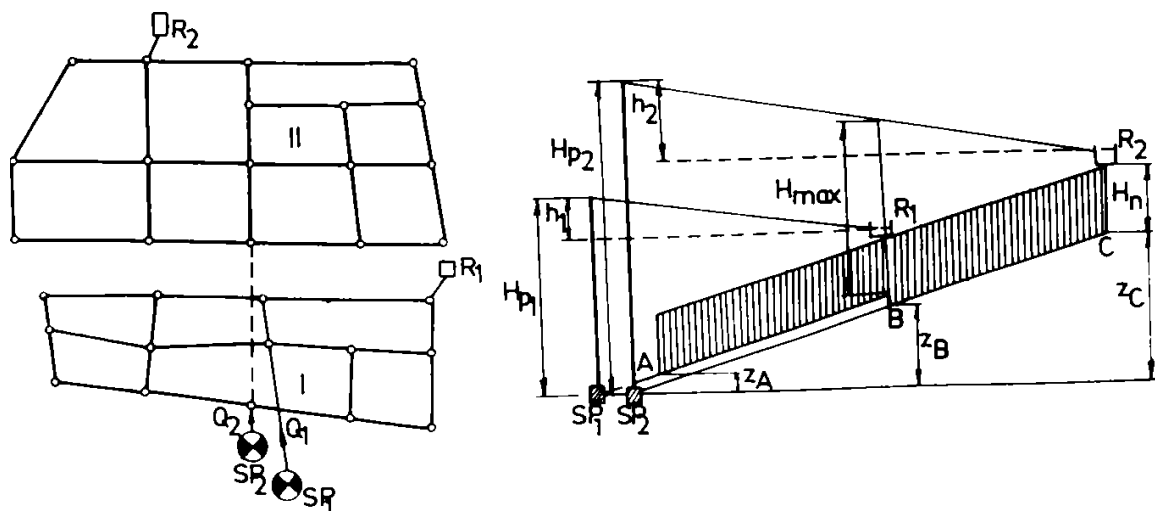


Fig 6.9 Schema de principiu a procedului de zonare în paralel

Conducta de refulare a stației de pompare SP₂ trece prin zona I fără să facă serviciu, distribuind apa numai în zona II și putînd avea presiunea nelimitată de condiția de funcționare (6.12).

Este avantajos ca agregatele de pompare să fie amenajate în aceeași clădire a stației uzinale, iar pentru o mai bună utilizare și întreținere a lor, se poate instala un singur tip de pompă urmînd ca agregatele comutate pentru zonele superioare să funcționeze în serie.

Rezerva de avarie este comună, iar rezerva de compensare și cea de combatere a incendiilor se recomandă să înzestreze fiecare zonă în parte.

6.3.4 Eficiența energetică-economică a procedeeleor de zonare

Presupunînd, teoretic, zone de înălțime egală și de însemnătate funcțională echivalentă, se justifică și se evaluează reducerea consumului de energie electrică în sistemele de distribuție, la separarea rețelelor pe zone de presiune.

Consumul anual de energie folosită la pomparea apei W_e , într-un sistem nezonat se exprimă prin relația:

$$W_e = kV_a H_p \quad (6.13)$$

în care: V_a este volumul de apă distribuit anual; H_p - înălțimea medie de pompare; k - factor de proporționalitate.

Asimilînd reprezentarea liniilor piezometrice reale cu diagrame cvasitriunghiulare (fig. 6.10), se exprimă consumul anual de energie electrică pentru pomparea apei în sistemul zonat cu ajutorul relațiilor:

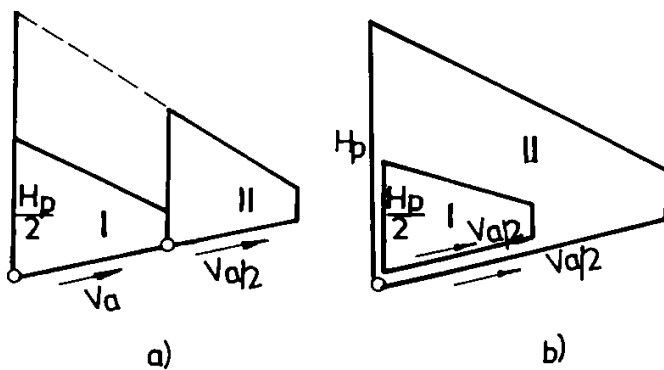


Fig. 6.10 Aproximarea liniilor de presiune
a - zonare serie; b - zonare paralel

- pentru sisteme zonate în serie:

$$W_e = k\left(V_a \frac{H_p}{2} + \frac{V_a}{2} \frac{H_p}{2}\right) = \frac{3}{4} kV_a H_p \quad (6.14)$$

- pentru sisteme zonate în paralel:

$$W_e = k\left(\frac{V_a}{2} H_p + \frac{V_a}{2} \frac{H_p}{2}\right) = \frac{3}{4} kV_a H_p \quad (6.15)$$

Rezultă că în ambele procedee de zonare, consumul anual de energie reprezintă în sistemele zonate numai 75 % din consumul anual de energie al sistemelor nezonate.

Față de situația ideală a subîmpărțirii rețelei în două zone de presiune echivalente, zonarea este în mod real de cele mai multe ori încă mai avantajoasă sub aspectul consumului de energie electrică. Zona inferioară este întotdeauna mai dezvoltată, reprezentînd 70 ... 90 % din consumul energetic al sistemului, ceea ce înseamnă că la înălțimi practic egale ale zonelor se poate economisi chiar peste 35 % energie electrică.

Deși ca investiție rețelele zonate sînt mai costisitoare prin faptul că necesită mai multe stații de pompare și rezervoare sau camere de rupere a presiunii, ele sînt mai economice în exploatare prin consumul redus de energie.

Trebuie studiate comparativ soluția cu rețea nezonată avînd înălțimea de pompare mare, ce necesită o investiție I_1 mică, însă cheltuieli anuale de exploatare C_1 mari și soluția cu rețea zonată, avînd sarcini mai reduse la stațiile de pompare, investiția I_2 mai mare și cheltuieli anuale de exploatare C_2 scăzute.

Pentru a determina economicitatea soluției cu rețeaua zonată, se aplică relația timpului de recuperare comparativ:

$$T_r = \frac{I_1 - I_2}{C_2 - C_1} \leq T_n \quad (6.16)$$

în care T_n este durata normată de amortizare.

6.3.5 Exemplificări numerice ale evaluării energetice și economice a procedeelelor de zonare

6.3.5.1 Evaluarea energetică a zonării rețelelor publice circulare

La rețelele de mare capacitate și extindere nu pot fi asigurate presiunile necesare și mai ales presiunea mai mare a zonelor centrale fără a adopta unele soluții de optimizare prin zonarea rețelei.

Spre exemplificare, se realizează evaluarea energetică a zonării în serie a unei rețele cu schema ideală echivalentă circulară (fig. 6.11), atât în alternativa ramificată cât și inelară, considerînd debitul de alimentare $Q_p = 2,4 \text{ m}^3/\text{s}$, iar presiunea necesară $H_n = 15 \text{ m CA}$ în zonele periferice și $H_n = 30 \text{ m CA}$ în zona centrală.

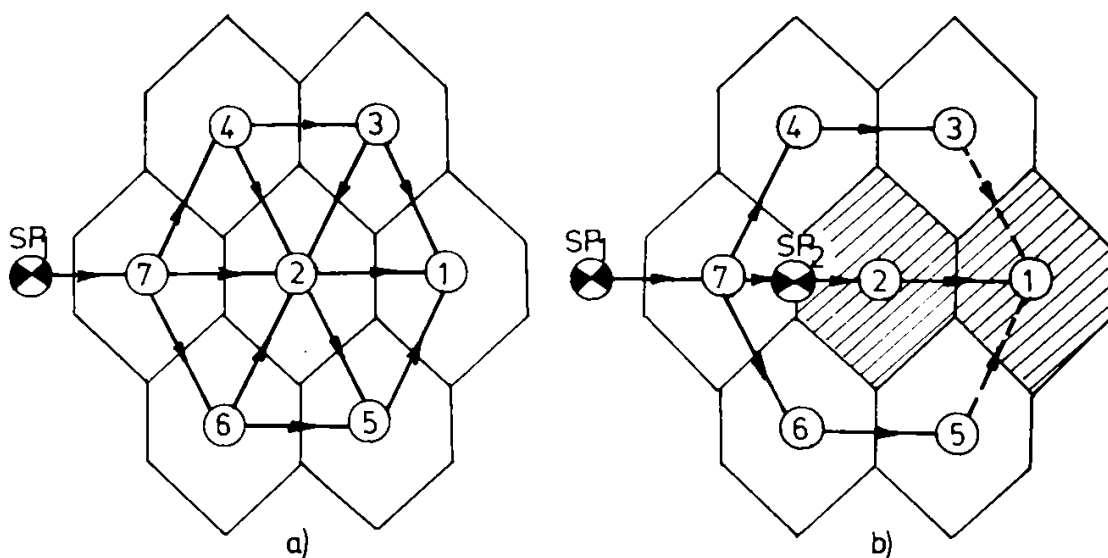


Fig. 6.11 Schema unei rețele circulare ideale echivalente
a - distribuție nezonată; b - distribuție zonată

Traseul arterelor trece prin centrele de greutate ale ariilor consumatorilor considerați punctiformi în vîrfurile grafului rețea.

Zonarea în serie (fig. 6.11-b) presupune dotarea sistemului cu o stație de pompare principală SP_1 pentru zonele de presiune redusă și o stație de repompare SP_2 pentru zona centrală cu presiunea necesară ridicată.

Se aplică montarea în serie a agregatelor stației de repompare, însă sub protecția unui rezervor pneumatic, pentru a nu se pierde presiunea disponibilă în rețeaua amonte.

Rezultatele numerice ale calculului energetic comparativ între distribuția zonată și nezonată sînt prezentate în tabelul 6.2.

Caracteristicile energetice comparative ale sistemului circular de distribuție

Nr. crt.	Soluția pentru distribuție	Alternativa de rețea	Stația de pompare SP ₁			Stația de pompare SP ₂			Energia consum., W _e [MWh/an]
			Q ₁ [m ³ /s]	H _p [m]	W _{e1} [MWh/an]	Q ₂ [m ³ /s]	H _p [m]	W _{e2} [MWh/an]	
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Sistem nezonat	ramificată	2,4	51,84	12172,9	-	-	-	12172,9
		inelară	2,4	50,80	11991,6	-	-	-	11991,6
2	Sistem zonat	ramificată	2,4	39,12	9224,1	0,90	7,72	678,6	9902,7
		inelară	2,4	38,28	9051,1	0,89	7,52	646,2	9697,3
Econom de energ., ΔW _e [%]		ramificată	18,6						
		inelară	19,1						

Rezultă că prin zonarea sistemului circular de distribuție cu o singură stație de repompare dotată cu rezervor pneumatic se obține o economie de energie electrică de 18 ... 20 %.

6.3.5.2 Evaluarea economico-energetică a zonării rețelelor de distribuție din ansambluri de clădiri cu regim de construcție diferit

Se consideră cazul unui ansamblu de clădiri de locuit totalizând 3000 apartamente cu cca 11000 locuitori și având două zone de presiune corespunzătoare la două regimuri de înălțime ale clădirilor. În prima zonă de presiune trebuie asigurată alimentarea cu apă a clădirilor P+4E și a hidranților de gradină, iar a doua zonă necesită alimentarea cu apă a clădirilor P+10E.

Distribuția apei reci în acest ansamblu de clădiri se realizează cu o rețea unică executată din țevi de oțel, alimentată de la stația de ridicare a presiunii SP₁ și reprezentată în figura 6.12 cu linie plină, corespunzătoare presiunii maxime necesare H_n = 42 m CA.

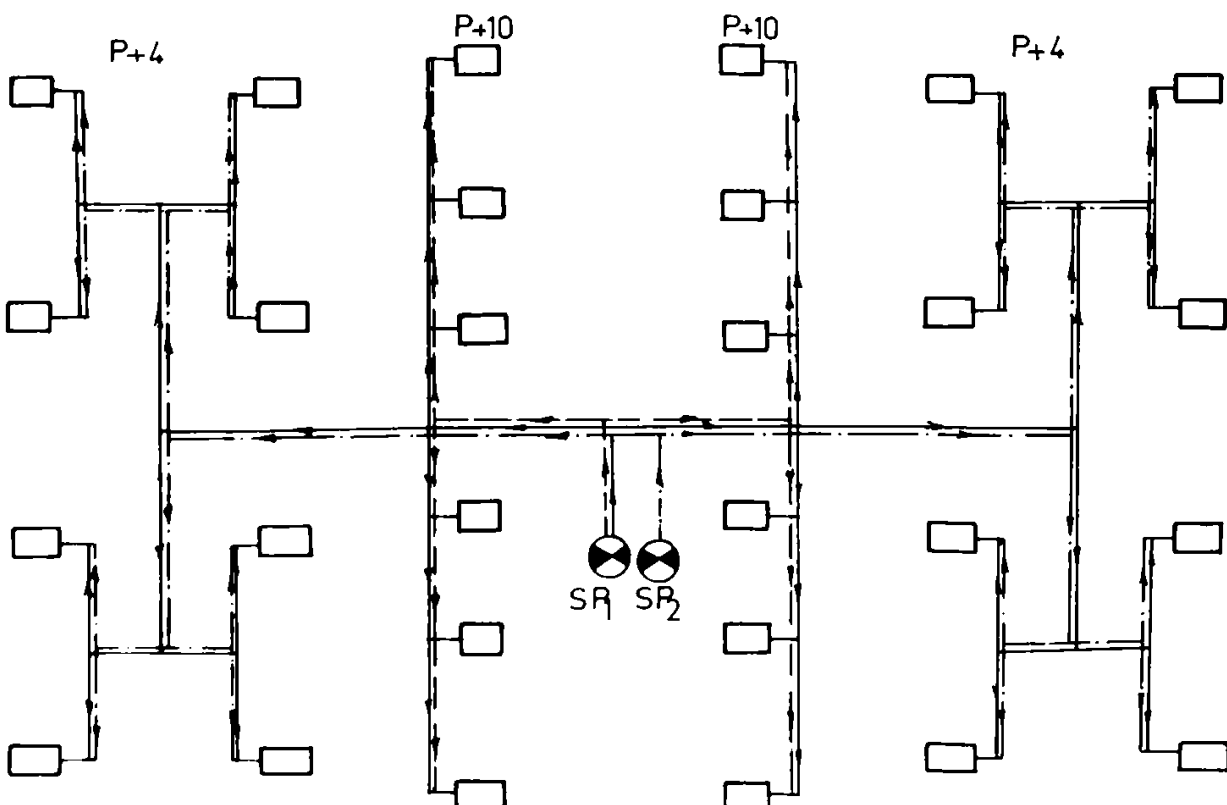


Fig 6.12 Schema rețelelor de distribuție a apei în ansamblul de clădiri

Ca alternativă de optimizare energetică la soluția cu rețeaua nezonată se adoptă soluția zonării în paralel, ce presupune ca fiecare din cele două zone, în care presiunile necesare sînt $H_{n1} = 42$ m CA și $H_{n2} = 21,5$ m CA, să fie alimentate de la cîte o stație de pompare cu recipiente hidropneumatice (SP_1 , SP_2) prin cîte o rețea de distribuție separată reprezentată în figura 6.12 cu linie întreruptă și respectiv punctată.

Rezultatele calculului energetic-economic obținute în urma dimensionării rețelelor cu ajutorul programului DIOPREDA pentru cele două soluții analizate, sînt prezentate în tabelul 6.3.

Tabelul 6.3

Caracteristicile energetic-economic comparative ale rețelelor de distribuție

Nr crt.	Soluția de distrib.	Stația de pompare SP_1			Stația de pompare SP_2			W_e [kWh/an]	I [mii lei]	C [mii lei/an]
		Q_1 [dm ³ /s]	H_p [m]	W_{e1} [kWh/an]	Q_2 [dm ³ /s]	H_p [m]	W_{e2} [kWh/an]			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Rețea nezonată	43,98	42,6	70133	-	-	-	70133	978	79,0
2	Rețea zonată	23,50	42,6	37500	20,48	22,28	17050	54550	1027	68,8
<i>Economia de energie, ΔW_e</i>		[kWh/an]			15583					
		[%]			22,2					
<i>Durata de recuperare, T_r</i>		[ani]			5					

Calculul efectuat arată că soluția optimă cu rețea de distribuție zonată conduce la cheltuieli anuale de exploatare minime, precum și la o economie de energie electrică pentru pompare de 15583 kWh/an, reprezentînd cca 22 % din consumul energetic al soluției cu rețeaua nezonată, iar investiția suplimentară în conducte, stații de pompare și recipiente hidropneumatice se amortizează într-o perioadă de 5 ani, mai redusă decît durata de recuperare normată.

6.4 Optimizarea energetică a sistemelor de distribuție folosind elemente potențiale interioare [206]

6.4.1 Generalități

Sistemele mari de distribuție a apei, echipate exclusiv cu stații exterioare de pompare, sînt caracterizate printr-un consum mare de energie, necesară pentru vehicularea unor debite importante de apă și asigurarea presiunii de serviciu la utilizatori.

Astfel, în municipiul Timișoara, consumul de energie electrică pentru distribuția apei ajunge la valori de peste 80 MWh/zi, îndeosebi datorită faptului că orele de vîrf ale necesarului de apă caldă corespund cu cele ale consumului de energie electrică.

De aceea, pe lîngă problema reducerii consumului de energie electrică în mod absolut, prezintă interes înșăși micșorarea consumului de energie electrică în orele de vîrf ale distribuției apei. Ca soluție tehnică în acest scop se poate aplica micșorarea puterii de pompare (chiar oprirea agregatelor dacă este posibil) pe această durată, în schimbul unei livrări sporite în afara orelor de vîrf, fiind necesară în consecință dotarea sistemului de distribuție cu rezervoare de compensare, care în prezenta lucrare se denumesc generic *rezervoare interioare (zonale)* ale rețelei, iar stațiile pentru pomparea apei din acestea poartă denumirea de *stații de pompare interioare*.

Un deziderat însă de importanță mai mare este reducerea absolută a consumului de energie pentru pompare, care devine posibilă numai prin zonarea sistemului. În acest scop se poate utiliza fie o formă specială a procedeei zonării în paralel, fie o zonare verticală integrând pe artere stații intermediare de pompare, fie o soluție combinată cu mai multe elemente potențiale.

În continuare se analizează procedeele și soluțiile propuse în scopul micșorării consumului energetic de pompare, folosind elemente potențiale interioare, determinându-se eficiența energetică-economică a acestora, cu exemplificări numerice și se formulează principiile care stau la baza noii concepții de dezvoltare structurală a sistemelor de distribuție a apei în centre populate.

6.4.2 Procedee de optimizare structurală și funcțională cu elemente potențiale interioare

Principalele procedee de ordin structural ce trebuie avute în vedere la optimizarea energetică a sistemelor de distribuție a apei constau în:

a) amplasarea optimă pe unele magistrale ale sistemului de distribuție a unor rezervoare subterane interioare, alimentate prin aducții de mică presiune, pe cât posibil gravitațional, cu debitul necesar pentru consumatorii din aval, din care se repompează în rețea debitul transportat prin aducții, la presiunea relativ redusă a magistralei în punctul de racord, astfel încât nu se mai permite o pierdere considerabilă de energie ce ar avea loc la umplerea rezervoarelor prin rețeaua de distribuție;

b) integrarea pe artere a stațiilor intermediare, care efectuează o repompă directă sau prin intermediul unor rezervoare sub presiune;

c) utilizarea castelelor de apă (rezervoare înalte), care asigură condiții optime pentru funcția compensatoare și pentru stabilitatea liniilor de presiune, devenind posibilă și oportună în condițiile perfecționării tehnologiei de execuție [40], [227] din elemente prefabricate ansamblate prin postcomprimare;

d) folosirea rezervoarelor subterane pneumatice mari, care înlocuiesc castelele înalte și au avantajul unor oscilații mari a regimului de presiune, dar necesită pompări și în orele de vîrf a solicitărilor de energie electrică;

e) amenajarea unor rezervoare subterane cu acțiunea coordonată cu aceea a unor mici rezervoare înalte pe același amplasament, alimentate cu stații de pompare proprii în afara orelor de vîrf.

6.4.2.1 Folosirea rezervoarelor subterane zonale și a stațiilor de repompă interioare

Prin acest procedeu se realizează o subîmpărțire a debitelor și sarcinilor elementelor potențiale exterioare astfel:

- din debitul total livrat de NP stații de pompare exterioare, o parte Q_{pr} este transportat prin magistralele rețelei sub presiune și altă parte Q_{pa} este trimis prin aducții la NR rezervoare, conform relației:

$$\sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} = \sum_{j=1}^{NP} Q_{pr,j} + \sum_{k=1}^{NR} Q_{pa,k} \quad (6.17)$$

- înălțimea de pompare H_{pe} la stațiile exterioare se micșorează la valoarea h_{pe} , astfel încât puterea totală a instalațiilor de pompare este dată de relația (6.18) sau (6.19), după cum se realizează aducții gravitaționale sau funcționînd prin pompare:

$$P = \frac{\gamma}{\eta} \left(\sum_{j=1}^{NP} Q_{pr,j} h_{pe,j} + \sum_{k=1}^{NR} Q_{pa,k} H_{pi,k} \right) \quad (6.18)$$

$$P = \frac{\gamma}{\eta} \left(\sum_{j=1}^{NP} Q_{pr,j} h_{pe,j} + \sum_{k=1}^{NR} Q_{pa,k} H_{pa,k} + \sum_{k=1}^{NR} Q_{pa,k} H_{pi,k} \right) \quad (6.19)$$

în care: γ este greutatea specifică a apei; η - randamentul general al stațiilor de pompare; $Q_{pa,k}$ - debitele pompate de stațiile interioare; $H_{pi,k}$ - înălțimile de pompare corespunzătoare presiunilor necesare în zonele k deservite de stațiile interioare; $H_{pa,k}$ - sarcinile de pompare în aducții.

Sarcinile de pompare $h_{pe,j}$ sînt mult mai mici decît înălțimile de pompare $H_{pe,j}$, dat fiind faptul că pierderile de sarcină se modifică cu pătratele rapoartelor $Q_{pr,j}/Q_{p,j} < 1$, astfel încît puterea stațiilor de pompare exterioare scade atît prin micșorarea debitului cît și de pe urma reducerii presiunii, iar puterea totală se micșorează cu:

$$\Delta P = \frac{\gamma}{\eta} \left(\sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} H_{pe,j} - P \right) \quad (6.20)$$

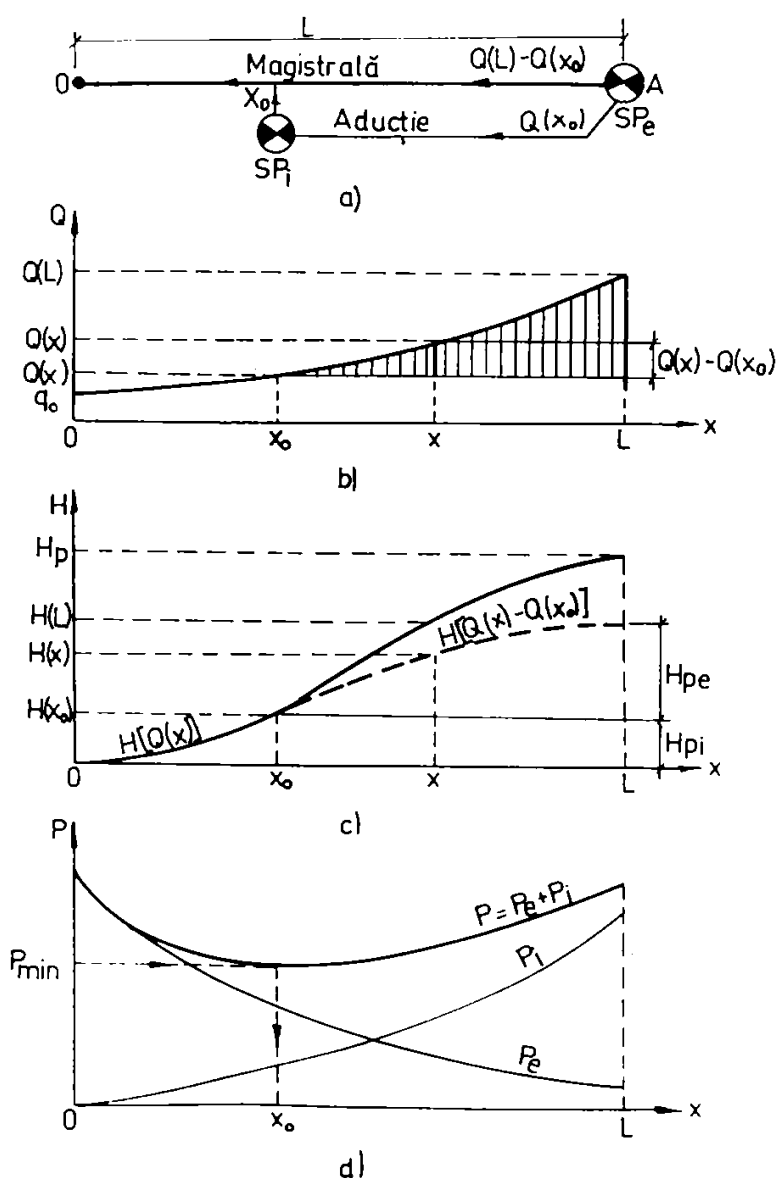


Fig. 6.13 Amplasamentul optim al unui rezervor interior

ceea ce conduce la reducerea consumului energetic în sistem, realizîndu-se pe durata de exploatare T_p , economia de energie electrică:

$$\Delta W_e = \Delta P T_p \quad (6.21)$$

Apare dubla funcție compensatoare, aceea de uzină și de re ea, cu volumul rezervoarelor dat respectiv de relațiile:

$$V_{uz} = \int_0^T (Q_{uz} - Q_p) dt \quad (6.22)$$

$$V_r = \int_0^T (Q_{pa} - Q_{pr}) dt \quad (6.23)$$

în care: Q_{uz} este debitul capabil al uzinei de apă; T - numărul de unități de timp în ciclul zilnic.

Se caută ca în măsura posibilităților să se utilizeze potențialul natural determinat de diferența cotelor geodezice ale rezervoarelor uzinale și ale rezervoarelor zonale din rețea.

Pe măsură ce locul unui rezervor zonal cuplat cu o stație de pompare interioară pe o magistrală se deplasează spre debitele din ce în ce mai mari, adică spre extremitatea amonte a magistralei, puterea P_i a

stației interioare crește tot mai mult, pe când puterea P_e a stației exterioare se micșorează foarte mult, întrucît prin descărcarea tronsoanelor amonte ale magistralei, pierderile de sarcină scad după legea pătratică a lui Darcy-Weisbach. Rezultă că amplasamentul optim al rezervorului este dat de minimumul sumei puterilor stațiilor de pompare exterioară și interioară (fig. 6.13), pentru a cărui determinare s-a conceput un model matematic, ce presupune cunoscute lungimea L a magistralei, distribuția debitelor în lungul acesteia și diametrele D_M, D_m în secțiunea de alimentare A , de către stația de pompare exterioară SP_e și respectiv în secțiunea terminală O .

Se folosesc notațiile: x - abscisa secțiunii de calcul, raportată la extremitatea aval a magistralei; $Q(x)$ - debitul de calcul în secțiunea x (fig. 6.13-b); $S_0(x)$ - rezistența hidraulică specifică în secțiunea de calcul.

În nodul A magistrala se descarcă de debitul $Q(x_0)$ printr-o aducție situată între secțiunile A și X_0 în care este amplasat rezervorul subteran și stația de pompare interioară.

Pierderea de sarcină pînă într-o secțiune de calcul (fig. 6.13-c) este dată de relația:

$$H(x) = \int_0^x S_0(x) Q^\beta(x) dx \quad (6.24)$$

Variațiile debitului $Q(x)$ și a rezistenței hidraulice specifice $S_0(x)$ se exprimă respectiv prin relațiile:

$$Q(x) = q_0 + ax^\alpha \quad (6.25) \quad S_0(x) = s_0 - bx^2 \quad (6.26)$$

în care constantele reale q_0, s_0, b se determină din condițiile de margine: $x = 0, Q(x) = q_0, S_0(x) = 8\lambda_*/(\pi^2 g D_m^5)$ și $x = L, S_0(x) = 8\lambda_*/(\pi^2 g D_M^5)$, iar coeficientul a și exponentul α se stabilesc statistic, cu ajutorul metodei celor mai mici pătrate, fiind cunoscută repartitia debitelor în lungul magistralei.

Introducînd expresiile (6.25) și (6.26), relația (6.24) se pune sub o formă aproximativă cu bune rezultate practice pentru integrarea pînă în secțiunea X_0 :

$$H(x_0) = s_0 q_0^\beta x_0 - \frac{b q_0^\beta}{3} x_0^3 + \frac{s_0 a^\beta}{\beta\alpha + 1} x_0^{\beta\alpha + 1} - \frac{b a^\beta}{\beta\alpha + 3} x_0^{\beta\alpha + 3} \quad (6.27)$$

Pentru descrierea regimului hidraulic în amonte de secțiunea X_0 , relația debitului se scrie sub o formă mai simplă:

$$Q'(x) = Q(x) - Q(x_0) = a(x^\alpha - x_0^\alpha) \quad (6.28)$$

rezultînd sarcina piezometrică în nodul de alimentare al magistralei:

$$H(L) = H(x_0) + \frac{s_0 a^\beta}{\beta\alpha + 1} L^{\beta\alpha + 1} - \frac{b a^\beta}{\beta\alpha + 3} L^{\beta\alpha + 3} - \frac{s_0 a^\beta}{\beta\alpha + 1} x_0^{\beta\alpha + 1} + \frac{b a^\beta}{\beta\alpha + 3} x_0^{\beta\alpha + 3} \quad (6.29)$$

La introducerea stației de pompare interioare în secțiunea X_0 , linia piezometrică coboară pe curba reală $H[Q(x) - Q(x_0)]$, din cauza descărcării magistralei cu debitul $Q(x_0)$.

Neglijînd componenta geodezică și de utilizare a înălțimii de pompare întrucît este aproximativ aceeași atît pentru stația de pompare exterioară cît și pentru cea interioară, expresiile restrînse ale puterilor corespunzătoare stațiilor de pompare sînt:

$$P_i = \frac{\gamma}{\eta} Q(x_0) H(x_0) \quad (6.30) \quad P_e = \frac{\gamma}{\eta} [Q(L) - Q(x_0)] [H(L) - H(x_0)] \quad (6.31)$$

care în urma înlocuirilor și efectuării calculului devin:

$$P_i = \frac{\gamma}{\eta} \left(s_0 q_0^{\beta+1} x_0 + s_0 a q_0^\beta x_0^{\alpha+1} - \frac{b q_0^{\beta+1}}{3} x_0^3 - \frac{a b q_0^\beta}{3} x_0^{\alpha+3} + \frac{s_0 q_0 a^\beta}{\beta\alpha+1} x_0^{\beta\alpha+1} + \frac{s_0 a^{\beta+1}}{\beta\alpha+1} x_0^{\alpha+\beta\alpha+1} - \frac{q_0 b a^\beta}{\beta\alpha+3} x_0^{\beta\alpha+3} - \frac{b a^{\beta+1}}{\beta\alpha+3} x_0^{\alpha+\beta\alpha+3} \right) \quad (6.32)$$

$$P_o = \frac{\gamma}{\eta} \left[\frac{s_0 a^{\beta+1}}{\beta\alpha+1} L^{\alpha+\beta\alpha+1} - \frac{b a^{\beta+1}}{\beta\alpha+3} L^{\alpha+\beta\alpha+3} + \left(\frac{b a^{\beta+1}}{\beta\alpha+3} L^{\beta\alpha+3} - \frac{s_0 a^{\beta+1}}{\beta\alpha+1} L^{\beta\alpha+1} \right) x_0^\alpha - \frac{s_0 a^{\beta+1}}{\beta\alpha+1} L^\alpha x_0^{\beta\alpha+1} + \frac{s_0 a^{\beta+1}}{\beta\alpha+1} x_0^{\alpha+\beta\alpha+1} + \frac{b a^{\beta+1}}{\beta\alpha+3} L^\alpha x_0^{\beta\alpha+3} - \frac{b a^{\beta+1}}{\beta\alpha+3} x_0^{\alpha+\beta\alpha+3} \right] \quad (6.33)$$

Soluția optimă de amplasare a stației de pompare interioare este determinată de valoarea x_0 pentru care puterea totală $P = P_i + P_e$ devine minimă:

$$P = \frac{\gamma}{\eta} (c_0 + c_1 x_0 + c_2 x_0^\alpha + c_3 x_0^{\alpha+1} + c_4 x_0^3 + c_5 x_0^{\alpha+3} + c_6 x_0^{\beta\alpha+1} + c_7 x_0^{\alpha+\beta\alpha+1} + c_8 x_0^{\beta\alpha+3} + c_9 x_0^{\alpha+\beta\alpha+3}) \rightarrow \min, \quad (6.34)$$

coeficienții funcției obiectiv avînd expresiile:

$$c_0 = \frac{s_0 a^{\beta+1}}{\beta\alpha+1} L^{\alpha+\beta\alpha+1} - \frac{b a^{\beta+1}}{\beta\alpha+3} L^{\alpha+\beta\alpha+3} \quad (6.35) \quad c_1 = s_0 q_0^{\beta+1} \quad (6.36)$$

$$c_2 = \frac{b a^{\beta+1}}{\beta\alpha+3} L^{\beta\alpha+3} - \frac{s_0 a^{\beta+1}}{\beta\alpha+1} L^{\beta\alpha+1} \quad (6.37) \quad c_3 = s_0 a q_0^\beta \quad (6.38)$$

$$c_4 = -\frac{b q_0^{\beta+1}}{3} \quad (6.39) \quad c_5 = -\frac{a b q_0^\beta}{3} \quad (6.40)$$

$$c_6 = \frac{s_0 a^\beta}{\beta\alpha+1} (q_0 - a L^\alpha) \quad (6.41) \quad c_7 = 2 \frac{s_0 a^{\beta+1}}{\beta\alpha+1} \quad (6.42)$$

$$c_8 = \frac{b a^\beta}{\beta\alpha+3} (a L^\alpha - q_0) \quad (6.43) \quad c_9 = -2 \frac{b a^{\beta+1}}{\beta\alpha+3} \quad (6.44)$$

Minimul funcției obiectiv (6.34) se evaluează utilizînd metoda numerică a interpolării, pe baza algoritmului de căutare cu pas accelerat cuplat cu interpolare pătratică, descris la pct. 4.2.2.3, care s-a implementat în cadrul programului ordinator AMPORIN.

Pe măsură ce amplasamentul stației interioare se deplasează de la extremitatea aval a magistralei înspre amonte, sarcina de pompare și puterea stației interioare crește foarte repede, iar puterea stației exterioare scade încet. Locul în care scăderea puterii P_e devine nesemnificativă arată oportunitatea montării unui nou rezervor sau, mai indicat, a micșorării diametrului magistralei, valorile existente nemaifiind justificate.

Procedeele folosirii rezervoarelor zonale și a stațiilor de repompare interioare se poate aplica și în vederea amplificării capacității de transport a unor magistrale din rețea, cu sau fără majorarea unor diametre în amonte respectiv dedublări ale conductelor magistrale, pentru a face față creșterii continue a consumului de apă în sistem.

6.4.2.2 Integrarea stațiilor intermediare de pompare pe artere

Procedeul integrării agregatelor de pompare direct pe arterele magistrale ale rețelei reprezintă cea mai rațională posibilitate de conservare a energiei incluse în procesul distribuției.

Pe arterele pe care se montează o stație de pompare cu agregate în paralel, apa este preluată la o presiune mai scăzută p_1 și refulată la o presiune mai mare p_2 , sarcina de pompare fiind $H_{pi}=(p_2-p_1)$

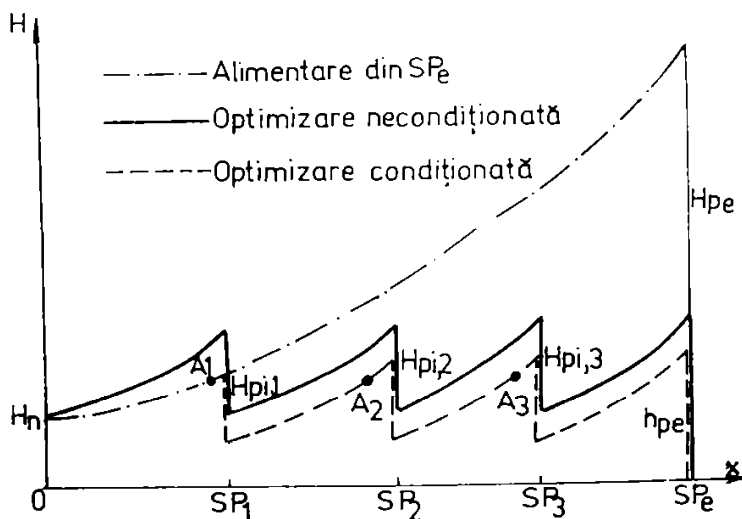


Fig. 6.14 Schema optimizării prin integrarea stațiilor de repompare pe artere

Utilizarea stațiilor intermediare de pompare montate în serie pe unele artere (fig. 6.14) amplifică debitul de tranzit al acestor conducte, provocând o zonă de mică presiune amonte, în nodul dinspre aspirație, dar asigură o creștere înseriată a presiunii în nodul de refulare, creindu-se deci creșteri locale, favorabile, ale cotelor piezometrice în sistem. Stația de repompare astfel integrată se vede aproape de nodul amonte, de aspirație, iar racordarea conductelor de serviciu la tronsoanele amonte nu se face din nodul de aspirație ci imediat aval de pompă.

Considerând că într-un sistem de distribuție deservit de NP stații de pompare exterioare, pe un număr NA de artere se prevăd stații de repompare montate direct, în serie, puterea totală în sistem este:

$$P = \frac{\gamma}{\eta} \left(\sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} h_{pe,j} + \sum_{k=1}^{NA} Q_{pa,k} H_{pi,k} \right) \quad (6.45)$$

în care: $Q_{p,j}$, $h_{pe,j}$ sînt debitul și sarcina stației exterioare de pompare j ; $Q_{pa,k}$, $H_{pi,k}$ - debitul și înălțimea de pompare, corespunzătoare presiunii necesare din rețea, la care funcționează stația de repompare integrată k .

Întrucît înălțimile de pompare ale stațiilor exterioare se micșorează ($h_{pe,j} \ll H_{pe,j}$), iar debitele stațiilor intermediare devin egale cu debitele locale ale arterelor pe care se integrează, rezultă o reducere de putere:

$$\Delta P = \frac{\gamma}{\eta} \left(\sum_{j=1}^{NP} Q_{p,j} H_{pe,j} - P \right), \quad (6.46)$$

ceea ce conduce și la micșorarea consumului energetic în sistem, realizîndu-se economia de energie electrică ΔW_e dată de relația (6.21).

În cazul *optimizării necondiționate*, așa cum se arată în figura 6.14, treptele de presiune create prin integrarea stațiilor de pompare intermediare, trebuie să respecte limitele presiunilor necesare H_n pe artere.

Se poate aplica și o *optimizare condiționată*, prin racordarea conductelor de serviciu imediat aval de stațiile de repompare integrate, în puncte de felul A_1 , A_2 , A_3 astfel încît în artere presiunea să scadă practic chiar sub valorile asigurate H_n , obținîndu-se o și mai mare economie de energie în sistem.

O problemă deosebit de complexă este alegerea tipului optim de agregate și a numărului lor în fiecare stație. În acest sens se recomandă pompele cu rotor în dublu flux, întrucât se montează pe artere în bune condiții și cu cele mai mici rezistențe hidraulice.

Dintre familiile de pompe centrifuge analizate cele mai bune s-au dovedit pompele radiale monoetajate tip SIRET-400 pentru sarcini mari de pompare și pompele diagonale monoetajate tip BRATEȘ-350 pentru înălțimi medii de pompare. Puterea fiecărui agregat de acest tip în funcțiune este de 70 ... 125 kW, fiind necesară echiparea stației cu un singur agregat la debite pînă la valorile înscrise în tabelul 6.4.

Tabelul 6.4

Numărul de agregate necesare în funcție de debit

Nr. agreg.	Debitul arterei, Q_{pa} [m ³ /s]		Înălțimea de pompare	Puterea consumată
	inițial	în acțiune	H_p [m]	P [kW]
0	1	2	3	4
1	0,35...0,5	0,5...0,8	11,0... 8,5	70...125
2	0,80...1,2	0,8...1,4	11,5...10,0	115...230
3	1,20...1,5	1,4...2,0	12,0...10,5	210...340
4	1,50...1,9	2,0...2,5	12,5...11,0	310...440
5	1,90...2,5	2,5...3,0	14,0...11,5	410...590
6	2,50...3,0	3,0...3,6	16,0...12,0	510...810

Alegerea amplasamentului unei stații de repompare integrate depinde în foarte mare măsură de rezistența hidraulică a conductelor din nodul inițial și din nodul final al arterei pe care se intercalează. Pentru ca repomparea să fie eficientă este nevoie ca diametrele ramificațiilor alimentate aval de stațiile integrate să fie mai mici decît acelea ale arterei de repompare.

Introducerea stațiilor intermediare de pompare în rețelele inelare modifică esențial regimul hidraulic al sistemului.

Acțiunea fiecărei stații de repompare integrate în rețea este dublă, pe de o parte ea ridică presiunea apei în conductă în sensul de mișcare al apei, iar pe de altă parte mărește pierderea de sarcină pe traseul ei de acționare, deoarece contribuie la creșterea debitului pe același traseu. Scăderea presiunii în zona de aspirație poate atinge valori importante și cu atît mai mari cu cît numărul de agregate este mai mare.

De aceea sînt necesare mai multe încercări pentru stabilirea amplasamentului optim și alegerea numărului de pompe.

Soluția optimă de amplasare a stațiilor de pompare intermediare și de alegere a numărului acestora, precum și al agregatelor în cadrul fiecăreia, este aceea cu puterea totală instalată minimă.

6.4.2.3 Amenajarea castelelor de apă

Rezervoarele înalte din rețelele de distribuție a apei, prin funcția compensatoare pe care o exercită, prezintă oscilații importante de nivel, fiind necesar ca presiunea de serviciu să fie asigurată chiar și la cele mai mici nivele de apă din cuve.

Compensarea uzinală și cea de rețea necesită capacități ale castelelor de apă date de relațiile (6.22) și (6.23).

Din punct de vedere constructiv, castelele de apă aplicate curent se execută de formă cilindrică, tronconică sau cu o geometrie specială, forme care au fost optimizate [227] pentru a se realiza indicatori tehnico-economici cît mai favorabili. La profilul optim, din considerente de ordin static și de rezistență, înălțimea apei în rezervoare ajunge la valori mari, de 6 ... 10 m, ceea ce

atrage după sine ridicarea cotelor liniilor de presiune în sistem și creșterea esențială a consumului de energie de pompare.

Din punct de vedere energetic, costul relativ ridicat al rezervoarelor înalte se justifică prin micșorarea consumului de energie în orele de vîrf. La vîrfurile programului de pompare, între orele 7-9 și 17-21, cînd tariful energiei electrice este mai ridicat, este recomandabil să se livreze debite mai mici prin stațiile de pompare exterioare, diferențele compensatoare completîndu-se din castelele de apă, a căror umplere trebuie asigurată în afara acestor ore.

Din cauza oscilațiilor mari de nivel însă, avantajul economisirii energiei de vîrf se pierde de obicei prin creșterea consumului energetic global.

6.4.3 Eficiența economică a procedeelor de distribuție a apei în rețele cu elemente potențiale interioare

Introducerea elementelor potențiale în rețelele de distribuție a apei necesită o investiție suplimentară, a cărei eficiență se cercetează cu ajutorul *timpului de recuperare diferențial* T_r , calculat cu relația:

$$T_r = \frac{\Delta I}{C_e - C_i} \leq T_n \quad (6.47)$$

în care: ΔI este investiția suplimentară necesară în cazul sistemului optimizat; C_e - cheltuielile anuale de exploatare pentru sistemul de distribuție referențial cu rețea alimentată prin pompare unilaterală din exterior; C_i - cheltuielile anuale de exploatare pentru sistemul cu elemente potențiale interioare; T_n - durata normată de amortizare, adoptată de 10 ani.

Investiția suplimentară ΔI are expresia generală:

$$\Delta I = I_a + \sum f_i P_i + \sum r_i V_i \quad (6.48)$$

în care: I_a este investiția necesară realizării aducțiilor; f_i - costul de instalare a unității de putere în stațiile de pompare interioare, cu puterile P_i ; r_i - costul unitar pentru investiții în rezervoarele interioare ale sistemului, cu volumele V_i .

Cheltuielile anuale principale de exploatare C_e și C_i , formate din cotele de amortizare, reparații și întreținere și costul energiei necesare la pompare, se exprimă prin relațiile:

$$C_e = p I_e + \sum e P_e T_{pe} \quad (6.49) \quad C_i = p(I_e + \Delta I) + \sum e P'_e T'_{pe} + \sum e P_i T_{pi} \quad (6.50)$$

unde:

$$I_e = I_c + \sum f_e P_e + \sum r_e V_e \quad (6.51)$$

în care: p este cota medie anuală de amortizare, reparații și întreținere pentru sistemul de distribuție; I_e - investiția necesară realizării sistemului de distribuție referențial; e - tariful energiei electrice considerat diferențiat pentru orele de vîrf și restul orelor de consum energetic; T_{pe} - timpul de funcționare a stațiilor de pompare exterioare cu puterile P_e , în sistemul referențial; T'_{pe} - timpul de funcționare a stațiilor de pompare exterioare cu puterile P'_e , în sistemul optimizat; T_{pi} - timpul de funcționare a stațiilor de pompare interioare cu puterile P_i ; I_c - investiția în conductele magistrale ale sistemului clasic; f_e - costul de instalare a unității de putere în stațiile de pompare exterioare; r_e - costul unitar pentru investiții în rezervoarele uzinale ale sistemului, cu volumele V_e .

Ținînd seama de relațiile (6.49), (6.50) și folosind notațiile:

$$C_{we} = \sum e P_e T_{pe} \quad (6.52) \quad C_{wi} = \sum e P'_e T'_{pe} + \sum e P_i T_{pi} \quad (6.53)$$

$$\Delta C_w = C_{we} - C_{wi}, \quad (6.54)$$

expresia (6.47) a timpului de recuperare diferențial primește forma:

$$T_r = \frac{\Delta I}{\Delta C_w - p\Delta I} \leq T_n \quad (6.55)$$

în care ΔC_w este diferența dintre costul energiei C_{we} în sistemul de distribuție referențial și costul energiei C_{wi} în sistemul optimizat.

6.4.4 Principii de bază pentru dezvoltarea structurală a sistemelor de distribuție cu elemente potențiale interioare

Deoarece realizarea sistemelor centralizate de alimentare cu apă se efectuează etapizat, procedeele propuse pentru optimizarea distribuției în scopul micșorării consumului energetic de pompare se pot combina, respectîndu-se unele principii de bază în dezvoltarea structurală a sistemului de distribuție:

- în prima etapă se execută rezervoarele subterane zonale și stațiile de pompare interioare atașate, astfel încît primele elemente potențiale care intră în funcțiune să asigure circulația favorabilă a debitelor de tranzit și să ridice presiunile disponibile în zonele cele mai deficitare;

- introducerea stațiilor intermediare de pompare pe artere se realizează etapizat, pe măsură ce apare necesitatea ridicării locale a presiunii în anumite zone ale rețelei și numai pe artere ce rămîn în funcțiune în etapele de perspectivă, întrucît mutarea ulterioară a amplasamentului acestor stații este costisitoare și ridică probleme dificile legate de consumul de energie și execuția liniilor electrice de alimentare;

- amplasarea castelelor de apă în rețea se realizează în etapele ulterioare ale amplificării, pentru a contribui la micșorarea consumului energetic de vîrf, pe cît este posibil la cote nu prea înalte în scopul de a nu obliga pomparea apei la presiuni prea mari;

- succesiunea unor elemente potențiale de același fel, pe o magistrală trebuie să permită menținerea eficienței energetice a elementelor din amonte, fără să influențeze funcționarea optimă a acestora;

- introducerea pe aceeași magistrală a unor elemente potențiale cu rol funcțional diferit trebuie studiată în mod coordonat, cu verificarea eficienței energetice în ansamblu a tuturor elementelor din sistem. O stație de repompare integrată nu se dispune niciodată înaintea unui castel de apă, iar stația de pompare interioară atașată unui rezervor zonal trebuie obligatoriu amplasată înaintea unei stații de pompare intermediare.

6.4.5 Exemplificări numerice ale aplicării procedeeleor de optimizare funcțională cu elemente potențiale interioare

6.4.5.1 Analiza influenței caracteristicilor potențiale ale castelelor de apă asupra bilanțului energetic al distribuției

Pornind de la o repartiție orară a consumului de apă de mare raspîndire redată în mărimi relative în tabelul 6.5, se analizează funcția compensatoare a două tipuri de castele de apă ca rezervorul tronconic optimizat, cu unghiul de înclinare a generatoarei față de orizontală de 45° cu diametrele de 36 m și respectiv 16 m și cu înălțimea maximă de 10 m și rezervorul plat cu înălțimea de 2 m, în sistemul de distribuție al unui mare centru populat industrial avînd încărcarea medie orară egală cu debitul maxim zilnic de $3,49 \text{ m}^3/\text{s}$.

Evaluarea volumului compensator de rețea al castelelor de apă

Ora	Coef. consum, [%]		Coef. pompare, [%]		Coef. compens, [%]		Vol. comp.
	α_c	$\sum \alpha_c$	α_p	$\sum \alpha_p$	α_r	$\sum \alpha_r$	α_v [%]
0	1	2	3	4	5	6	7
0-1	3,30	3,30	4,50	4,50	1,20	1,20	2,80
1-2	3,25	6,55	4,50	9,00	1,25	2,45	4,05
2-3	3,25	9,80	4,50	13,50	1,25	3,70	5,30
3-4	3,25	13,05	4,50	18,00	1,25	4,95	6,55
4-5	3,40	16,45	4,50	22,50	1,10	6,05	7,65
5-6	3,95	20,40	4,50	27,00	0,55	6,60	8,20
6-7	4,80	25,20	4,50	31,50	-0,30	6,30	7,70
7-8	5,25	30,40	2,50	34,00	-2,70	3,60	5,10
8-9	4,55	34,95	3,00	37,00	-1,55	2,05	3,55
9-10	4,55	39,50	4,50	40,50	-0,05	2,00	3,60
10-11	4,60	44,10	5,50	47,00	0,90	2,90	4,50
11-12	4,50	48,60	5,20	52,50	1,00	3,90	5,50
12-13	4,75	53,35	5,25	57,75	0,50	4,40	6,00
13-14	4,50	57,85	5,25	63,00	0,75	5,15	6,75
14-15	4,30	62,15	5,00	68,00	0,70	5,85	7,45
15-16	4,25	66,40	4,50	72,50	0,25	6,10	7,70
16-17	4,20	70,60	4,25	76,75	0,05	6,15	7,75
17-18	4,10	74,70	2,50	79,25	-1,60	4,55	6,15
18-19	4,20	78,90	2,50	81,75	-1,70	2,85	4,45
19-20	4,30	83,10	2,85	84,60	-1,45	1,40	3,15
20-21	5,00	88,20	3,00	87,75	-2,00	-0,45	1,15
21-22	4,80	93,00	3,65	91,40	-1,15	-1,60	0
22-23	3,60	96,60	4,25	95,50	0,65	-1,10	0,50
23-24	3,40	100,00	4,50	100,00	1,10	0	2,70

Programul pomparei este astfel întocmit încît în orele de vîrf ale consumului energetic alimentarea cu apă a sistemului să fie mai redusă.

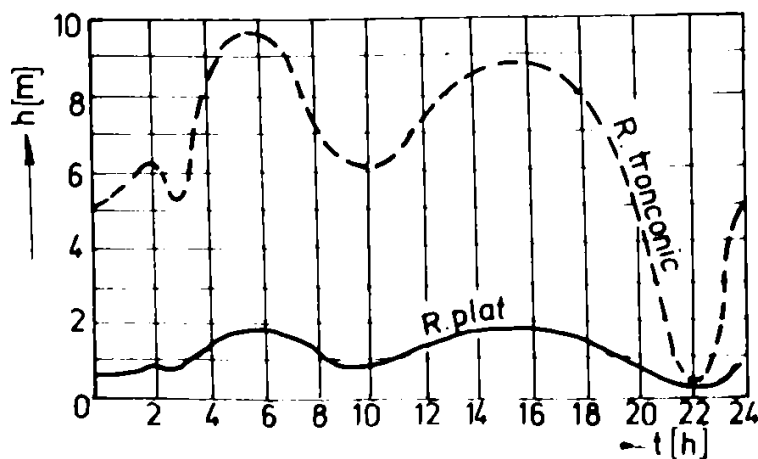


Fig. 6.15 Oscilația nivelului apei în castelele de apă înălțime a apei, realizîndu-se în cea de a doua soluție o economie de energie electrică de 2662 MWh/an, reprezentînd o micșorare a consumului energetic de 11 %.

Prin transpunerea volumelor comensatoare din rocete în mărimi absolute s-a calculat înălțimea apei în fiecare moment pentru ambele tipuri de rezervoare și s-a reprezentat grafic variația acestora în figura 6.15, pe baza căreia s-a efectuat în tabelul 6.6 calculul comparativ al consumului de energie electrică.

Din cauza oscilațiilor de nivel și a înălțimii mai mari a apei, rezultă la rezervorul tronconic un consum energetic de 67375 kWh/zi, față de numai 59980 kWh/zi în cazul rezervorului plat de mică

Calculul consumului energetic la distribuția apei folosind rezervoarele înalte

Ora	Pompare		Rezervor tronconic			Rezervor plat		
	α_p [%]	Q_p [m ³ /s]	H_p [m]	P [kW]	W_e [kWh/zi]	H_p [m]	P [kW]	W_e [kWh/zi]
0	1	2	3	4	5	6	7	8
0-1	4,50	4,25	53,6	2980	67375	43,7	2710	59980
1-2	4,50	4,25	54,4	3025		48,8	2715	
2-3	4,50	4,25	53,6	2980		48,7	2710	
3-4	4,50	4,25	56,8	3160		49,0	2725	
4-5	4,50	4,25	57,2	3180		49,5	2750	
5-6	4,50	4,25	57,7	3205		49,8	2770	
6-7	4,50	4,25	56,8	3155		49,8	2770	
7-8	2,50	2,36	56,4	1740		49,3	1520	
8-9	3,00	2,83	56,3	2085		48,9	1810	
9-10	4,50	4,25	54,0	3000		48,8	2710	
10-11	5,50	5,20	54,5	3705		49,0	3330	
11-12	5,20	4,91	55,7	3580		49,2	3160	
12-13	5,25	4,96	56,2	3645		49,3	3200	
13-14	5,25	4,96	56,7	3680		49,4	3205	
14-15	5,00	4,73	56,8	3515		49,5	3060	
15-16	4,50	4,25	56,9	3160		49,9	2775	
16-17	4,25	4,02	56,8	2985		49,7	2615	
17-18	2,50	2,36	56,5	1745		49,6	1530	
18-19	2,50	2,36	55,3	1705		49,3	1520	
19-20	2,85	2,03	54,2	1440		48,9	1300	
20-21	3,00	2,83	53,8	1990		48,4	1790	
21-22	3,50	3,30	49,4	2130		48,1	2075	
22-23	4,25	4,02	50,4	2650		48,1	2530	
23-24	4,50	4,25	52,8	2935		46,8	2700	
<i>Economia de energie, ΔW_e</i>		[MWh/an]			2662			
		[%]			11			

În general, pentru centre populate industriale cu alte caracteristici tehnologice, valorile absolute variază între limite foarte largi, însă proporțiile, la nivelul parametrilor comparabili, se mențin și în principiu rezultatele calculelor comparative își păstrează valabilitatea.

Micșorarea consumului energetic în mod absolut la rezervoarele înalte plate de mică înălțime a apei impune aceste structuri ca soluții raționale în tehnica distribuției apei.

6.4.5.2 Analiza energetică-economică comparativă a soluțiilor de optimizare cu elemente potențiale interioare a unui sistem mare de distribuție

Se efectuează analiza comparativă a mai multor soluții structurale cu elemente potențiale interioare, considerînd un centru populat industrial avînd rețeaua de distribuție de mare extindere, cu schema din figura 6.16.

Se propun pentru analiză patru soluții de distribuție a apei:

a) *prima soluție* reprezintă varianta clasică de referință, cu stație de pompare exterioară, la uzina de apă, asigurîndu-se debitul $Q_{\text{orar max}} = 4,30 \text{ m}^3/\text{s}$ și sarcina medie de pompare $H_{pe} = 60 \text{ m CA}$. Ținînd seama de graficul variației orare a debitului pompat (fig. 6.17), se determină energia electrică consumată zilnic W_{ee} , cu relația:

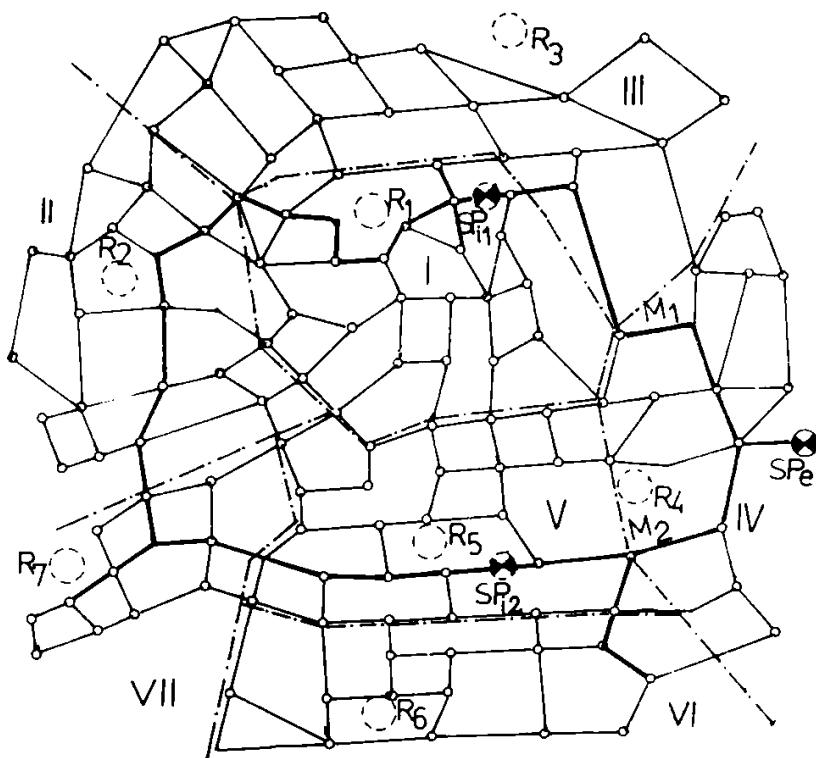


Fig. 6.16 Schema rețelei de distribuție analizate

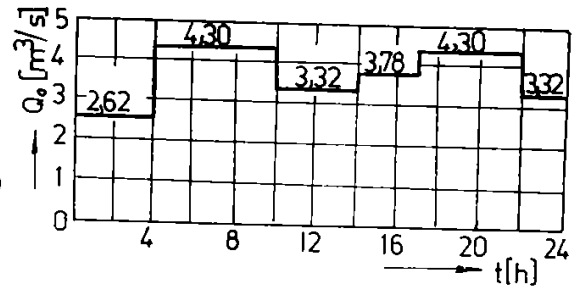


Fig. 6.17 Graficul de pompare al SP_e în soluția de referință

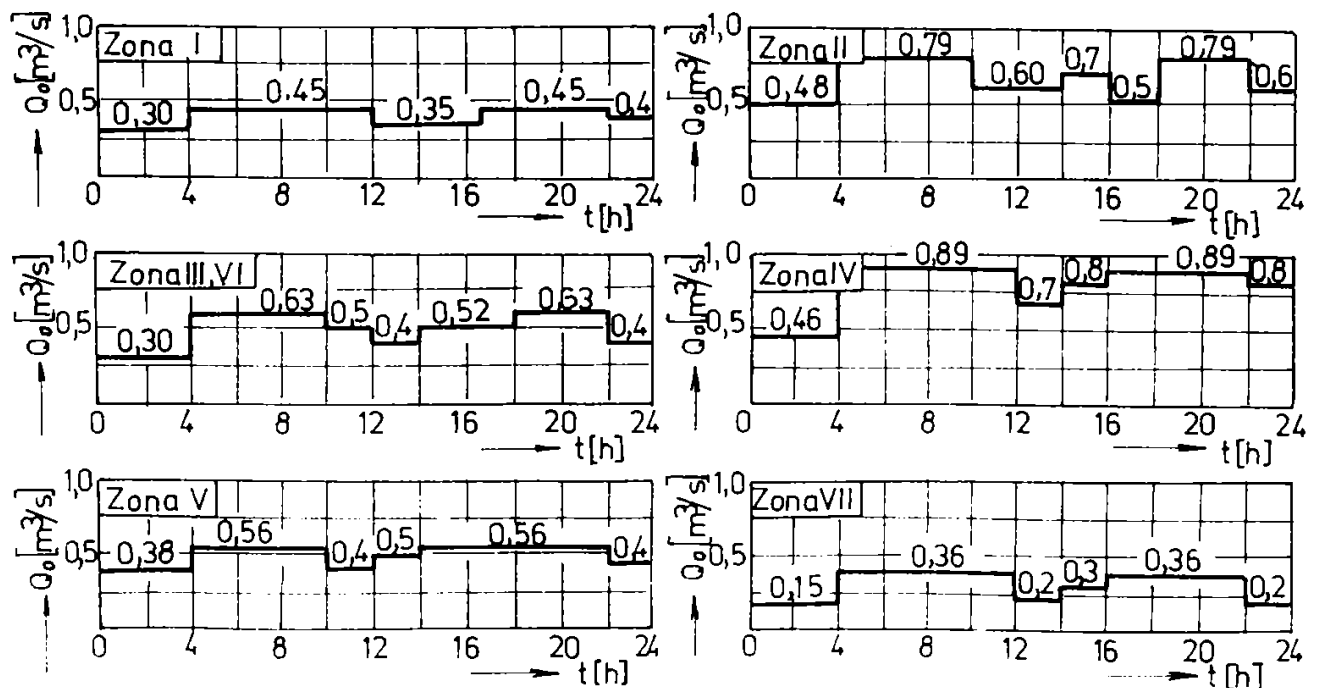


Fig. 6.18 Graficul de pompare din rezervoarele zonale

$$W_{\infty} = \frac{\gamma}{\eta} H_{pe} \sum_i Q_{oi} t_i \quad (6.56)$$

în care: γ este greutatea specifică a apei; η - randamentul global al instalației de pompare; Q_{oi} - debitul orar corespunzător perioadei de timp t_i din zi.

b) soluția a doua presupune o zonare a localității, funcție de gradul de dotare al clădirilor, densitatea populației, consumatorii industriali existenți, rezultând NR=7 zone de consum distincte în a căror centre de greutate se amplasează rezervoare subterane. Din rezervoarele zonale, prin intermediul unor stații de pompare interioare, se asigură debitul orar Q_0 conform graficelor din figura 6.18 și presiunea necesară pentru zonele de consum. Stația de pompare exterioră SP_e, printr-o rețea inelară de conducte de mică presiune (fig. 6.19), alimentează rezervoarele R_k (k=1,...,7), asigurând în mod continuu în afara orelor de vîrf ale consumului energetic debitul $Q_{zimax} = 3,94 \text{ m}^3/\text{s}$ și sarcina medie $h_{pe} = 15 \text{ m CA}$ pentru învingerea pierderilor de energie în conducte și a diferenței maxime între cota nivelului apei în bazinul de aspirație al pompelor și a nivelului maxim al apei în rezervoare.

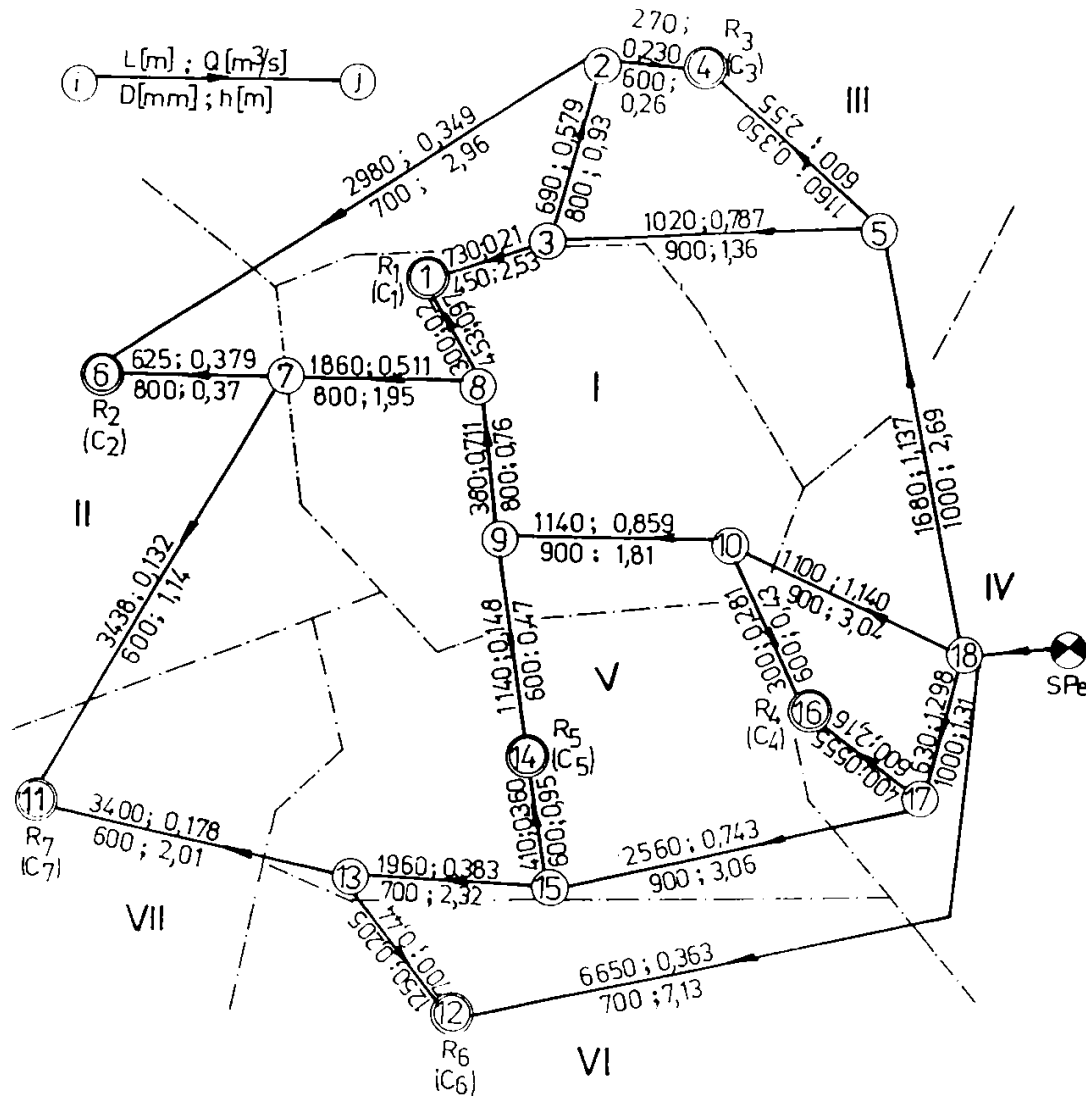


Fig. 6.19 Schema rețelei de alimentare a rezervoarelor zonale

Energia totală consumată zilnic în această soluție W_e se determină cu relația:

$$W_e = W_{ec} + W_{ei} \quad (6.57)$$

unde:

$$W_{ec} = \frac{\gamma}{\eta} h_{pe} Q_{zimax} t \quad (6.58)$$

$$W_{ei} = \frac{\gamma}{\eta} \sum_{k=1}^{NR} H_{p,k} \sum_i Q_{0i,k} t_{i,k} \quad (6.59)$$

în care: W_{ec} este energia consumată pentru pomparea apei în rețeaua de alimentare a rezervoarelor interioare; W_{ei} - energia consumată pentru pomparea apei din rezervoare în rețelele zonale; t -

numărul orelor de pompare pe zi; $H_{pi,k}$ - înălțimile medii de pompare corespunzătoare zonelor de consum k , avînd respectiv valorile, în m, de: 30,2; 40,8; 33,7; 43,6; 31,1; 37,5; 29,6.

c) *soluția a treia* înlocuiește rezervoarele subterane cu castelele de apă C_k ($k=1,\dots,7$) cu oscilații mici de nivel (fig. 6.19), care asigură în zonele respective distribuția gravitațională. De la stația de pompare exterioară se pompează la sarcina medie $h_{pe} = 49$ m CA, debitul $Q_{zimax} = 3,94$ m³/s, conform programului din tabelul 6.6 care prevede pompări reduse în orele de vîrf ale consumului energetic.

d) *soluția a patra* presupune repomparea directă a apei prin stațiile intermediare SP_{i1} și SP_{i2} (fig. 6.16) în ipoteza racordării conductelor de serviciu imediat aval de acestea. Stația de pompare exterioară livrează debitul $Q_{orar\ max} = 4,30$ m³/s, la înălțimea medie de pompare $h_{pe} = 40,5$ m CA, iar stațiile de pompare integrate dotate cu două și respectiv trei agregate, funcționează cu debite de 0,94 m³/s și respectiv 1,78 m³/s la sarcinile medii de refulare $H_{pi,1} = 13,0$ m CA și $H_{pi,2} = 11,4$ m CA, astfel încît energia electrică consumată zilnic se poate determina cu relația de forma (6.57).

Regimul debitelor și al presiunilor în rețea pentru toate soluțiile analizate s-a determinat cu ajutorul programului ANOREC, iar dimensionarea rețelei de alimentare a rezervoarelor zonale s-a efectuat folosind programul DIOPREDA.

În tabelul 6.7 se prezintă rezultatele numerice ale studiului energetic-economic comparativ pentru soluțiile de optimizare analizate, obținute în principal pe baza relațiilor (6.47) ... (6.59), considerînd randamentul global al stațiilor de pompare $\eta = 0,75$, tariful energiei electrice pentru consumul curent $e = 0,27$ lei/kWh, iar pentru consumul la vîrf $e = 1,40$ lei/kWh și cota medie de amortizare, reparații și întreținere pentru elementele sistemului $p = 0,02$.

Tabelul 6.7

Indicatori economico-energetici ai soluțiilor de optimizare

Nr. crt.	Indicatorul	Soluția			
		(a)	(b)	(c)	(d)
0	1	2	3	4	5
1	<i>Investiția suplimentară, ΔI [mii lei]</i>				
	-aducții	-	50000	50000	-
	-rezervoare	-	6300	25000	-
	-stații de pompare	-	2100	-	2500
	<i>Total</i>	-	58400	75000	2500
2	<i>Înălțimea medie de pompare, H_p [m]</i>				
	-stție de pompare exterioară	60	15	49	40,5
	-stații de pompare interioare	-	35	-	12
3	<i>Energia consumată, W_e [MWh/an]</i>				
	-stție de pompare exterioară	25300	6600	21600	19600
	-stații de pompare interioare	-	13400	-	3600
	<i>Total</i>	25300	20000	21600	23200
	<i>Vîrf</i>	7300	2700	3400	5400
4	<i>Cheltuieli de exploatare, C_w [mii lei/an]</i>				
	-diferență cost energie, ΔC_w	-	6800	5400	2700
	-cote de amortizare, $p\Delta I$	-	1100	1500	50
	<i>Diferență cheltuieli, $\Delta C_w - p\Delta I$</i>	-	5700	3900	2650
5	<i>Timpul de recuperare, T_r [ani]</i>	-	10	19	1
6	<i>Economia de energie, ΔW_e [MWh/an]</i>	-	5300	3700	2100
	[%]	-	21	15	8

Deși eficiența economică este la limită ($T_r=10$ ani), distribuția cu rezervoare subterane zonale are avantajul important al reducerii consumului energetic cu 5300 MWh/an, din care 4600 MWh/an în orele de vîrf.

Soluția de repompare cu stații intermediare, necesită cele mai mici investiții suplimentare, însă conduce la un consum mic de energie numai în ipoteza alimentării conductelor de serviciu din zona de mare presiune din avalul stațiilor de pompă integrate. Dacă această condiție nu este realizabilă din motive de ordin constructiv, linia de presiune trebuie ridicată cu 9 m, pentru a se asigura presiunea de serviciu, astfel încât consumul de energie crește, iar soluția își pierde eficiența energetică, ori cum mai mică decât a soluției cu rezervoare subterane.

În această concepție se consideră ca soluție optimă varianta (b), cu cea mai mare economie de energie, de 21 % în raport cu consumul energetic în rețeaua referențială nezonată și cu timpul de recuperare diferențial acceptabil, de 10 ani.

Introducerea în sistemul de distribuție a unor rezervoare zonale cuplate cu stații de pompă interioare și integrarea pe unele artere a stațiilor de pompă intermediare asigură o uniformizare și o mai mare stabilitate a liniilor de presiune, cu efecte energetico-economice favorabile.

6.5 Optimizarea condițiilor energetice ale distribuției apei calde în sistemele centralizate de alimentare cu apă [210]

6.5.1 Generalități

Sistemele centralizate de distribuție a apei trebuie să asigure atât apa rece, pentru acoperirea întregului necesar al centrului populat, cât și apa caldă pregătită în centrale termoelectrice, centrale termice și puncte termice.

Creșterea continuă a necesarului de apă în localități și industrii a condus la sporirea ponderii apei calde la 30 ... 40 % din necesarul zilnic, iar debitul de apă prelevat din rețea de către punctele și centralele termice în orele de pregătire și distribuție a apei calde reprezintă 55 ... 65 % din debitul maxim orar, astfel încât parametrii distribuției apei calde influențează puternic bilanțul energetic al acestui proces complex.

La nivelul actual de dotare, în majoritatea centrelor populate se menține concepția amenajării în centralele și punctele termice, a rezervoarelor tampon deschise, în care se pierde presiunea apei, urmată de repomparea apei calde menajere cu hidrofoare la mare presiune. Acest procedeu conduce la o pierdere mare de energie investită la pomparea apei în sistemul de distribuție, impunându-se adoptarea unei concepții noi, care să permită optimizarea energetică a distribuției apei calde în sistem.

În acest sens, se efectuează analiza energetică comparativă a unei soluții propuse pentru optimizare prin zonare a distribuției apei reci și calde în ansamblurile de clădiri cu procedeu uzual, punându-se în evidență eficiența acestora și se prezintă unele procedee pentru reducerea consumului de energie în instalațiile tehnico-sanitare din interiorul clădirilor de locuit.

6.5.2 Evaluarea consumului de energie pentru procesul complet al distribuției apei la utilizatori

Considerând procesul complet al distribuției, până la nivelul instalațiilor din ansamblurile de clădiri, energia consumată pentru pomparea apei la utilizatori depinde în mare măsură de procedeu distribuției în instalațiile interioare.

O primă componentă a consumului energetic se realizează la locul instalațiilor de pompă de treapta a II-a a sistemului, iar o altă componentă a acestuia se înregistrează la utilizatorii de apă.

La procedeu uzual de recepție a apei în rezervoare tampon, cu nivel liber, este necesară o putere mai mare a stațiilor de pompă interioare pentru etajele superioare, respectiv mai redusă

pentru etajele inferioare (pînă la P+4E), atît pentru apa rece cît și pentru apa caldă de consum menajer.

Pentru a asigura o valoare minimă a energiei specifice de pompare într-un anumit domeniu de variație a debitului, potrivit relației (6.1), este necesar ca:

- să se folosească pompe de mare randament, iar domeniul de funcționare al acestora să se plaseze în apropierea optimului energiei specifice;

- să se micșoreze înălțimea de pompare H_p a rețelei de distribuție a apei în interiorul ansamblurilor de clădiri, prin recuperarea presiunii disponibile H_d din rețeaua publică de alimentare.

În scopul al doilea se propune folosirea distribuției directe a apei la utilizatori, care nu mai necesită pomparea pentru etajele inferioare, iar pompele pentru asigurarea presiunii la etajele superioare funcționează numai la diferența de sarcină pentru presiunea locală.

La o asemenea situație se poate ajunge prin prevederea unor stații de hidrofor echipate cu rezervoare tampon închise. În cazul în care pompele stației de hidrofor aspiră apa din rețeaua exterioară de alimentare prin intermediul rezervoarelor închise, în relația (6.1) în loc de H_p se introduce $H_p - H_d$, iar în consecință această relație devine:

$$w_{ph} = 0,00272 \frac{H_p - H_d}{\eta_h} \quad (6.60)$$

în care η_h este randamentul mediu al pompelor stației de hidrofor.

Pentru a se pune în evidență economia de energie electrică posibilă de realizat prin utilizarea acestui procedeu se face raportul dintre energiile specifice corespunzătoare în ipotezele că pompele stației de hidrofor aspiră din rețeaua de alimentare prin intermediul rezervorului tampon închis (w_{ph}) și deschis (w_p):

$$\frac{w_{ph}}{w_p} = \frac{\eta(H_p - H_d)}{\eta_h H_p} \quad (6.61)$$

Dacă se consideră $\eta_h = 0,8$, se obține expresia economiei de energie ΔW_e , în %, sub forma:

$$\Delta W_e = 100 \left(1 - \frac{w_{ph}}{w_p}\right) = 25 \left(5 \frac{H_d}{H_p} - 1\right), \quad (6.62)$$

pe baza căreia s-a reprezentat în figura 6.20 graficul de variație $\Delta W_e = f(H_d/H_p)$, de unde rezultă că raportul presiunilor H_d/H_p trebuie să aibă o valoare minimă mai mare decît 0,2 pentru a putea economisi energie de pompare folosind rezervoare închise.

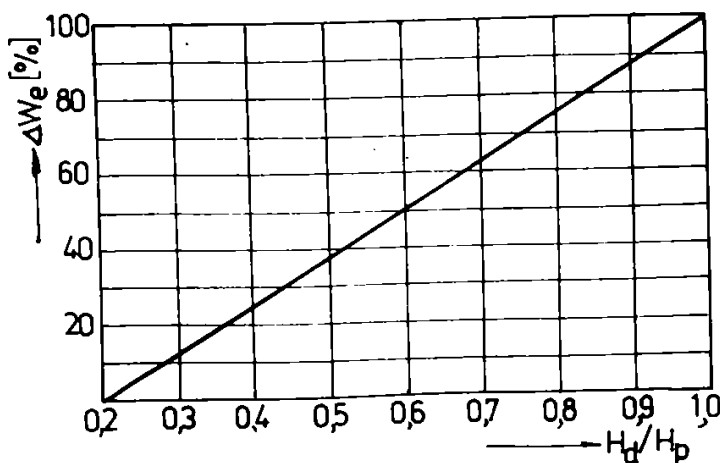


Fig. 6.20 Graficul de variație $\Delta W_e = f(H_d/H_p)$

Cunoscînd, spre exemplu, că $H_p = 55$ m CA și $H_d = 25$ m CA rezultă că s-ar realiza o economie de energie electrică de 32 % prin recuperarea presiunii disponibile din rețeaua publică de alimentare.

În tabelul 6.8 se calculează consumul de energie electrică pentru distribuția debitului mediu orar egal cu unitatea ($1 \text{ m}^3/\text{s}$), în cazul celor două procedee menționate.

Se constată că la utilizatori consumul energetic pentru pomparea apei este de același ordin de mărime ca și la stația de pompare a sistemului centralizat.

Determinarea consumului de energie electrică la distribuția apei

Nr. crt.	Soluția	Debitul pompat	Nr. de ore	Volum zilnic	Înălț. de pompare	Puterea absorb.	Energia consumată	
		Q_p [m ³ /s]		V [m ³]	H_p [m]	P [kW]	W_e [kWh/zi]	
0	1	2	3	4	5	6	7	
1	<i>Distribuție cu rezerv. tampon deschise</i> - sistem centralizat	0,80	6	17200	45	505	14920	
		1,00	10	36000	48	673		
		1,15	8	33200	40	645		
	- etaje inferioare	0,40	6	8600	30	168	14140	
		0,50	10	18000	35	245		
		0,58	8	16600	30	244		
	- etaje superioare	0,40	6	8600	50	280		
		0,50	10	18000	55	385		
		0,57	8	16600	50	400		
	<i>Total</i>							29060
2	<i>Distribuție directă și rezerv. tampon închise</i> - sistem centralizat	0,80	6	17200	45	505	14920	
		1,00	10	36000	48	673		
		1,15	8	33200	40	645		
	- etaje superioare	0,40	6	8600	25	140	4620	
		0,50	10	18000	30	210		
		0,58	8	16600	25	210		
	<i>Total</i>							19540
	<i>Economia de energie, ΔW_e</i>		<i>[kWh/zi]</i>		9520			
	- întreg sistemul		<i>[%]</i>		33			
	- stații pomp. ansambl. clăd.		<i>[%]</i>		67			

În cazul soluției de distribuție cu rezervoare tampon deschise, consumul total de energie electrică este de 29060 kWh/zi, revenind 0,336 kWh/m³, iar la soluția distribuției directe și rezervoare tampon închise, consumul energetic scade la 19540 kWh/zi, revenind numai 0,226 kWh/m³, și deci economisindu-se 9520 kWh/zi, ceea ce pe ansamblu reprezintă 33 %, iar numai la stațiile de pompare ale ansablurilor de clădiri reprezintă 67 %.

6.5.3 Descrierea soluției de distribuție optimizată

Calculul energetic efectuat în condiții medii de distribuție confirmă oportunitatea amenajării optimizate a instalațiilor ansablurilor de clădiri cu alimentarea directă pentru etajele inferioare, utilizând energia de presiune din sistemul centralizat de distribuție a apei și amplasarea în serie a unor stații de pompare cu recipiente hidropneumatice pentru alimentarea etajelor superioare. În figura 6.21 se prezintă schema de principiu a acestei soluții.

Interconectarea instalațiilor potențiale interioare depinde de modul de preparare a apei calde menajere și de înzestrarea rețelelor de serviciu ale sistemului la locul amenajării:

- în zone dotate cu rețele de termoficare, de la conducta de serviciu cu apă rece (R) se racordează un punct de distribuție cu alimentare directă a etajelor inferioare și printr-o stație de hidrofor (P_1, H) cu rezervor tampon închis, se ridică presiunea în coloanele de distribuție a etajelor superioare. În sistemele de distribuție cu castele de apă se recomandă să se prevadă și o linie directă

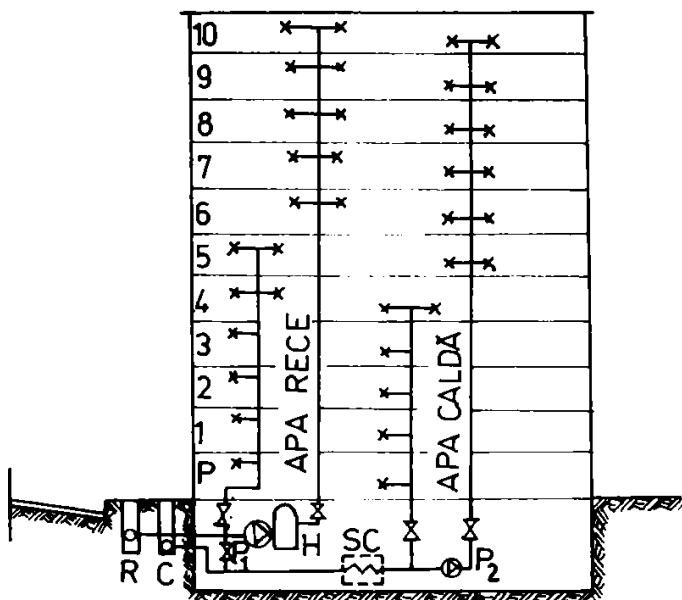


Fig. 6.21 Schema de principiu a distribuției optimizate

(fig. 6.21) se racordează instalația de preparare a apei calde (SC), care livrează apa într-o coloană de mică presiune, iar agregatele de pompare de presiune mai înaltă livrează apa caldă în coloana de alimentare a etajelor superioare.

6.5.4 Soluții pentru reducerea consumului de energie în instalațiile tehnico-sanitare din interiorul clădirilor de locuit

Din punct de vedere energetic instalațiile tehnico-sanitare intervin în bilanțul global atât în mod direct, prin necesarul de energie termică pentru prepararea apei calde de consum, cât și indirect prin energia necesară pomparei, determinată de mărimea și simultaneitatea consumurilor de apă, precum și de valoarea pierderilor de presiune prin frecare.

Un aspect colateral îl reprezintă pierderile necontrolate de apă din instalațiile de utilizare.

Soluțiile pentru reducerea consumului de energie în cadrul acestei categorii de instalații trebuie să aibă în vedere următoarele posibilități:

- raționalizarea consumurilor prin revizuirea normelor specifice și a parametrilor calitativi în raport cu natura folosinței, precum și prin contorizarea acestora la utilizatori;
- perfecționarea armăturilor obiectelor sanitare în scopul diminuării debitelor specifice și a pierderilor locale de sarcină, în condiții funcționale echivalente, precum și pentru creșterea fiabilității și reducerea pierderilor necontrolate de apă.
- folosirea unor procedee locale pentru prepararea apei calde de consum menajer;

6.5.4.1 Raționalizarea consumurilor de apă

În condiții energetice restrictive, prezintă interes adoptarea unor norme specifice de consum pentru satisfacerea nevoilor igienico-sanitare și gospodărești cât mai apropiate de valorile reale, înregistrate în funcție de gradul de dotare.

Comparativ cu norme de consum din alte țări, necesarul specific de apă caldă la temperatura de 60 °C prevăzut prin STAS-ul 1478-90 este de peste două ori mai mare.

de alimentare a etajelor superioare de la p. ț.l. p.b.c., c. număr de 10 ... 14 ore/zi, în perioadele de umplere, presiunea în rețea este suficient de ridicată pentru a alimenta direct aceste etaje. De la conducta cu apă caldă (C) din zonă se racordează similar rețeaua interioară de apă caldă, cu pompă de circulație (P₂) pentru etajele superioare;

- la ansamblurile de clădiri deservite de centrale termice se aplică o schemă similară a instalațiilor interioare. Alimentarea cu apă rece se asigură direct până la nivelurile P+5E, iar alimentarea directă cu apă caldă până la nivelurile P+4E;

- în cazul ansamblurilor de clădiri p. ț.l. p.b.c., c. apă caldă intervin modificări față de situațiile precedente. De la bransament

Astfel, în literatura tehnică franceză se precizează pentru diferitele obiecte sanitare în mod diferențiat temperaturile de utilizare și debitele specifice de apă caldă (tab. 6.9). De asemenea, în tabelul 6.10 sînt prezentate valorile necesarului de apă corespunzător diferitelor obiecte sanitare în raport cu structura apartamentelor și pentru o temperatură echivalentă de 50 °C.

Tabelul 6.9

Temperaturile de utilizare și debitele specifice de apă caldă ale obiectelor sanitare

Nr. crt.	Obiect sanitar	Temperatură [°C]	Debit specific [dm ³ /zi]
0	1	2	3
1	Spălător	65	30
2	Lavoar	35	10
3	Duș	42	45
4	Bideu	40	5

Tabelul 6.10

Necesarul zilnic de apă caldă al obiectelor sanitare, în dm³/zi

Nr. crt.	Obiect sanitar	Nr. camere/Nr. persoane				
		1/(1-2)	2/(2-3)	3/(3-5)	4/(4-7)	5/(5-9)
0	1	2	3	4	5	6
1	Spălător	20	30	40	50	60
2	Lavoar	8	12	16	20	40
3	Duș	20	20	40	40	60
4	Bideu	5	5	5	10	10
5	Cadă baie	110	110	110	225	225
6	Mașină spălat rufe	50	50	70	90	120
7	Mașină spălat vase	16	24	40	50	65

Aplicarea acestor norme pentru un apartament mediu convențional cu 3 camere, conduce la un consum specific de cca 60 dm³/(om.zi) apă caldă (cu temperatura de 60 °C) față de consumul prevăzut în STAS-ul 1478, de 110 dm³/(om.zi). Valori similare, de ordinul a 40 dm³/(om.zi), sînt folosite și în Italia.

Aceste norme reflectă desigur și gradul de perfecționare a armăturilor utilizate, însă analiza datelor prezentate evidențiază posibilitatea unor importante economii de energie, prin reducerea normelor globale de consum.

În același scop se apreciază ca oportună diferențierea temperaturilor de livrare în raport cu natura folosinței, la valori de: 35 ... 40 °C - pentru nevoi igienico-sanitare; 55 ... 60 °C - pentru spălat manual; 65 ... 70 °C - pentru spălat mecanic.

Comparînd energia necesară pentru prepararea volumului zilnic de apă caldă menajeră pentru un apartament mediu convențional, deservit centralizat, în condițiile prevederilor actuale ale STAS-ului 1478 (110 dm³/(om.zi) la 60 °C) și cu diferențierea regimului de temperaturi (35 % la 60 °C și 65 % la 45 °C) rezultă că numai prin reconsiderarea temperaturilor de livrare s-ar putea obține o reducere a consumului de energie de cca 35 % de la 23,4 kWh/ap la 17,3 kWh/ap.

Luînd în calcul și posibilitatea reconsiderării normelor de consum în sensul reducerii lor de la 110 dm³/(om.zi) pînă la 60 dm³/(om.zi), cît prevedea chiar ediția mai veche, din 1958 a STAS-ului 1478, consumul de energie scade de la 23,4 kWh/ap la 9,27 kWh/ap, indicînd o economie potențială de energie față de condițiile actuale de pînă la 60 %, ceea ce nu este deloc de neglijat.

De asemenea, aplicarea unor măsuri de contorizare locală a consumului de apă caldă poate stimula interesul pentru economii suplimentare.

6.5.4.2 Perfecționarea armăturilor obiectelor sanitare

Economia de apă și implicit de energie în exploatarea instalațiilor tehnico-sanitare se poate realiza prin perfecționarea armăturilor.

Atașarea unor simple dispozitive perlatoare are ca efect diminuarea debitelor de apă cu 50 ... 70 %, în condiții de eficiență de spălare echivalentă.

Se propune realizarea de noi armături pentru obiectele sanitare cu dimensiunea racordurilor mai mică de 1/2 ", cum ar fi de 3/8 " sau 1/4 ", având în vedere că în multe țări europene se produc baterii de amestec și robinete pentru lavoare de 1/4 ". Studiind caracteristica funcțională presiune-debit specific a armăturilor de dimensiuni diferite (fig. 6.22) de constată că, la aceeași presiune de utilizare H_u , debitul specific de apă q_s scade cu micșorarea diametrului interior d_i al armăturii făcând să se câștige un surplus de presiune în instalația interioară, care determină ridicarea apei și la punctele superioare deficitare ale clădirilor.

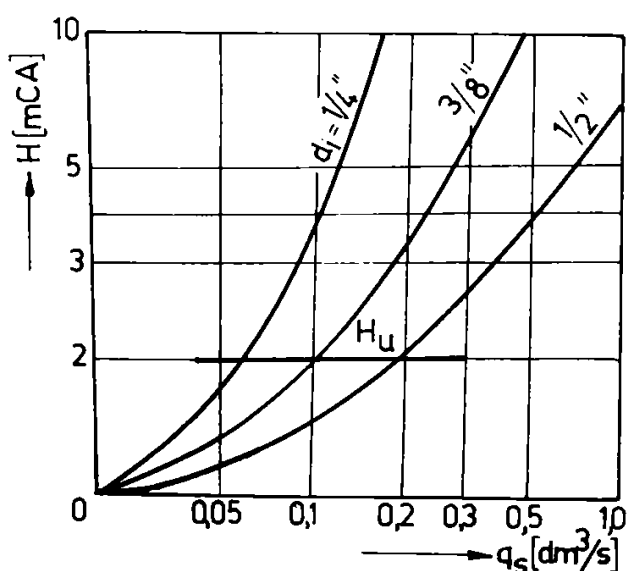


Fig. 6.22 Caracteristica funcțională a unei armături la diametre diferite

... 40% din necesarul zilnic al unui apartament mediu convențional, se impune ameliorarea funcțională a acestora și folosirea unor rezervoare de spălare sub presiune [167], [244].

6.5.4.3 Promovarea procedeeleor de preparare locală a apei calde de consum menajer

În directă corelare cu măsura de furnizare a apei calde la temperaturi reduse, în regim de bază 40 °C, se impune adoptarea unor procedee de preparare locală, utilizând surse clasice sau neconvenționale de energie pentru supraîncălzire la temperatura de consum.

Pornind de la premisele stabilite asupra normelor de consum și temperaturii de livrare a apei calde, analiza a fost extinsă asupra oportunității unor procedee de preparare locală, care elimină dezavantajele sistemelor centralizate și conferă totodată o mai mare autonomie a consumatorilor, condiții favorabile pentru utilizarea rațională a tuturor resurselor energetice disponibile și posibilitatea reducerii risipei de apă și energie. Se prezintă, într-un cadru fundamentat energetic și economic, unele procedee posibile pentru prepararea locală a apei calde de consum.

6.5.4.3.1 Prepararea locală colectivă la nivel de bloc sau de clădiri de locuit comune

Instalația pentru prepararea locală colectivă a apei calde de consum la nivel de bloc sau tronson de bloc utilizează schimbătoare de căldură de tip recuperativ alimentate cu agent primar (apă caldă 95/75 °C) din rețeaua termică care servește blocul.

Regimul de temperatură al apei calde, 10/45 °C, impune echiparea obiectelor sanitare cu încălzitoare electrice instantanee care să asigure supraîncălzirea, după caz, pînă la temperaturile cerute de folosință.

Acest procedeu permite adoptarea instalațiilor solare pentru prepararea apei calde, eliminînd necesitatea funcționării sursei clasice în sezonul cald. În perioadele de deficit solar, prepararea apei calde se asigură integral cu ajutorul aparatelor electrice.

În cazul clădirilor racordate la sisteme de termoficare, la care este asigurată continuitatea funcțională în regim de vară, instalația solară poate să lipsească.

Procedeul prezintă următoarele avantaje:

- elimină rețelele exterioare pentru distribuția apei calde de consum;
- asigură alimentarea cu apă caldă în regim continuu, în perioada rece concomitent cu încălzirea, reducînd valoarea debitelor simultane;
- realizează îmbunătățirea gradului de utilizare a rețelelor termice exterioare prin extinderea perioadei de folosire a acestora pe întreaga durată a anului;
- facilitează economii de energie în exploatare prin cuplarea instalației solare în sezonul cald și supraîncălzirea apei la consumator, în directă dependență de cerințele acestuia;
- permite contorizarea consumului de apă și energie termică la utilizatori și stabilirea corectă a ponderii cheltuielilor în raport direct cu consumul.

Ca dezavantaj se menționează necesitatea unui număr mare de schimbătoare de căldură de capacități mici și dispersarea punctelor de întreținere și exploatare corespunzător numărului de unități deservite.

Trebuie subliniat faptul că această variantă de realizare a instalațiilor de preparare a apei calde poate fi adoptată cu un volum minim de intervenții și la clădirile existente.

6.5.4.3.2 Prepararea locală individuală centralizată la nivel de apartament

Utilizînd ca agent primar apa caldă la temperaturile 95/75 °C din instalația interioară de încălzire, în schimbătoare de căldură de tip cu acumulare, dimensionate corespunzător necesarului unui apartament pentru temperatura de livrare de 60 °C sau 45 °C se asigură deservirea locală, direct sau, după caz, cu supraîncălzire finală folosind încălzitoare electrice instantanee.

Schimbătorul de căldură poate fi racordat alternativ și la o instalație solară sau electrosolară, capabilă să asigure prepararea apei calde de consum menajer în afara intervalului de încălzire.

Procedeul se pretează în special pentru echiparea construcțiilor noi, fiind mai greu adaptabil pentru clădiri existente, dar nu exclus.

6.5.4.3.3 Prepararea locală individuală la nivel de apartament folosind energia electrică sau gazele naturale

În funcție de disponibilitățile energetice, prepararea locală a apei calde la nivel de apartament poate fi realizată utilizînd energia electrică sau gazele naturale.

În cazul folosirii energiei electrice, se poate aplica soluția cu încălzitoare de tip instantaneu adaptate la armăturile sanitare, sau cu boilere electrice, termoreglabile.

Dacă este posibilă utilizarea gazelor naturale, prepararea apei calde se poate face cu încălzitoare instantanee la bucătărie și cu cazane la băi.

Este indicată organizarea funcțională a locuinței astfel încât punctele de consum de apă caldă să fie pe cât posibil grupate, în scopul reducerii lungimii traseelor de instalații și în favoarea unor rezolvări estetice.

În cazul utilizării încălzitoarelor cu gaze naturale, apare în mod suplimentar necesitatea prevederii coșurilor pentru evacuarea gazelor arse.

În raport cu posibilitățile energetice, procedeul poate fi aplicat, cu intervenții minime și la construcțiile actuale.

6.5.4.3.4 Eficiența economico-energetică a procedeelelor

Pentru procedeele descrise s-au determinat principalii indicatori tehnico-economici și s-a întocmit bilanțul energetic comparativ cu procedeul clasic, luând în considerare atât energia înglobată în rețelele de transport cât și energia de exploatare (pierderi de căldură, energie utilă, energie de pompare). Rezultatele calculului sint prezentate sintetic în tabelele 6.11 și 6.12.

Tabelul 6.11

Indicatori tehnico-economici ai procedeelelor de preparare a apei calde de consum menajer

Nr. crt.	Indicator specific	UM	Cantități necesare			
			Preparare centraliz.	Preparare locală		
				Proced.1	Proced.2	Proced.3
0	1	2	3	4	5	6
1	Consum de metal	kg/m				
	- rețea termică		14,8	14,8	14,8	14,8
	- rețea distribuție a.c.		3,5	-	-	-
	- rețea distribuție a.r.		4,6	4,6	4,6	6,0
	Total		22,9	19,4	19,4	20,8
2	Consum Izolație	kg/m				
	-rețea termică		12,2	12,2	12,2	12,2
	- rețea distribuție a.c.		2,5	-	-	-
	- rețea distribuție a.r.		1,5	1,5	1,5	1,5
	Total		16,2	13,7	13,7	13,7
3	Energie înglobată	kg cc/m				
	- rețea termică		31,6	31,6	31,6	31,6
	- rețea distribuție a.c.		7,5	-	-	-
	- rețea distribuție a.r.		9,7	9,7	9,7	9,7
	Total		48,8	41,3	41,3	41,3
4	Pierderi de căldură	W/m				
	- rețea termică		90,2	85,6	90,2	90,2
	- rețea distribuție a.c.		25,2	-	-	-
	Total		115,4	85,6	90,2	90,2
5	Energie utilă pt prep ac	kWh/an				
	- termică		1,55.10 ⁸	1,09.10 ⁸	1,25.10 ⁸	-
	- solară		-	-	0,46.10 ⁸	-
	- electrică		-	0,16.10 ⁸	0,16.10 ⁸	-
	- gaze naturale		-	-	-	1,10
	Total		1,55.10 ⁸	1,25.10 ⁸	1,25.10 ⁸	1,10
6	Energie de pompare	mm CA/m				
	- rețea termică		3,2	13,4	22,0	3,2
	- rețea distribuție a.c.		23,0	-	-	-
	- rețea distribuție a.r.		8,0	15,0	14,0	15,0
	Total		34,2	28,4	36,0	18,2

**Bilanțul energetic al procedeelor de preparare locală
a apei calde de consum menajer**

Nr. crt.	Indicator energetic	Economie de energie, ΔW [kWh/an]		
		Procedeu 1	Procedeu 2	Procedeu 3
0	1	2	3	4
1	<i>Energie înglobată în rețele de transport</i>	21,1	21,1	21,1
2	<i>Pierderi de căldură în rețele de transport</i>	11544,9	-2730,3	907,3
3	<i>Energie utilă</i>			
	- termică	12837,0	24943,7	12837,0
	- electrică	-13202,2	-13202,2	-
	- gaze naturale	-	-	-4859,5
	<i>Total</i>	-365,2	11741,5	7977,5
4	<i>Energie de pompare</i>	8,4	14,0	5,6
	Total general	11209,2	9046,3	8911,5

Pentru comparație s-au luat în considerare consumurile aferente unei scări dintr-un bloc P+4E cu 12 apartamente de 3 camere și 4 apartamente de 4 camere, în ipoteza distribuției continue a agenților energetici, 155 zile/an pentru încălzire și 365 zile/an pentru alimentarea cu apă rece și caldă.

În procedeul clasic al preparării centralizate a apei calde de consum menajer s-a prevăzut, conform STAS-ului 1478-90, un consum specific de apă caldă cu temperatura de 60 °C de 110 dm³/(om.zi), iar pentru variantele alternative s-au aplicat parametrii modificați, cu diferențierea temperaturii de livrare (pentru 65 % din necesar, apă caldă cu temperatura de 45 °C, iar pentru diferența de 35 %, cu temperatura de 60 °C).

Energia pentru pompare s-a calculat considerând suplimentarea corespunzătoare a debitelor, fără modificarea diametrelor rețelelor de apă rece și de termoficare necesare în procedeul clasic.

Analiza comparativă evidențiază eficiența în ansamblu a procedeelor de preparare locală a apei calde de consum care conduc pe lângă reducerea consumului de energie primară și la diminuarea energiei de pompare în rețelele de distribuție.

6.6 Concluzii parțiale

Din punct de vedere energetic reglajul pompelor în sistemele de distribuție a apei prin vana de refulare este recomandabil numai pentru porțiunea din caracteristica pompei cuprinsă sub punctul optim corespunzător energiei specifice de pompare minime.

La stațiile de pompare existente ce se înscriu în condițiile menționate, reglajul prin vana de refulare reprezintă un procedeu simplu și eficient de optimizare energetică. De aceea se impune ca firmele constructoare să furnizeze în prospectele pompelor și curbele de energie specifică pe 1 m³ pompat.

Reglajul prin modificarea turației însă este cel mai avantajos procedeu de optimizare funcțională din punct de vedere energetic, iar introducerea și generalizarea sistemului de automatizare propus asigură corelarea debitului pompat cu consumul de apă real și conduce la economie de energie electrică de pînă la 30 %. Din acest motiv ar trebui ca prospectele pompelor să conțină și indicații clare privind posibilitățile de funcționare cu turație variabilă.

Deși separarea rețelelor de distribuție a apei pe zone de presiune este mai costisitoare ca investiție prin faptul că necesită mai multe stații de pompare, rezervoare sau camere de rupere a presiunii, aceasta este mai economică în exploatare prin reducerea consumului de energie cu 25 ... 35 % față de cel corespunzător rețelelor nezonate. Indirect, prin exploatarea rețelelor la presiuni mai mici se obțin economii apreciabile de pe urma lucrărilor de reparații și întreținere de volum mai mic. De asemenea, pierderile de apă în rețelele zonate sînt mai reduse întrucît exploatarea conductelor și mai ales a instalațiilor interioare se face la presiuni scăzute.

Folosirea elementelor potențiale interioare în rețeaua de distribuție a apei creează condiții mai bune de funcționare pentru întregul sistem, înlocuiește soluțiile costisitoare ale dedublării arterelor sau ale majorării diametrelor la arterele magistrale și conduce la micșorarea consumului energetic în sistem.

Studiile efectuate au confirmat caracteristicile energetico-economice favorabile ale procedurii amplasării optime a rezervoarelor subterane zonale în rețea, echipate cu stații de pompare interioare, care conduce la micșorarea cu 20 ... 30 % a consumului de energie electrică și oferă posibilitatea dozării în trepte a clorului pentru dezinfectarea apei, acceptînd o doză mai redusă la rezervoarele uzinale

La rețelele de distribuție dotate cu castele de apă, în mod curent nu se obține o reducere absolută a consumului de energie electrică, ci dimpotrivă poate avea loc o creștere a acestuia, însă costul energiei în ansamblu se micșorează, prin programarea unor pompări mai intense în afara orelor de vîrf ale consumului energetic, atunci cînd tariful energiei este mai redus.

Procedeul integrării stațiilor de repompare intermediare are avantajul uniformizării presiunilor în cazul rețelelor extinse, evitînd zone cu presiuni exagerat de mari. Apar în schimb unele zone de presiuni mai reduse, la nodul inițial al arterei pe care se montează stația de repompare, deficiență ce se poate însă elimina complet prin racordarea conductelor de serviciu întotdeauna aval de pompă.

Astfel, asigurarea presiunii de serviciu în rețea se realizează în condiții energetice favorabile dacă stațiile de pompare exterioare alimentează zonele joase, care în sistemul clasic au o presiune disponibilă mai mare, urmînd ca zonele de pe terasa mai înaltă să fie alimentate prin stații de repompare în serie.

Calculul energetico-economic efectuat confirmă oportunitatea amenajării optimizate a instalațiilor ansamblurilor de clădiri cu alimentarea directă pentru etajele inferioare, utilizînd energia de presiune din rețeaua publică de distribuție a sistemului centralizat și amplasarea în serie a unor stații de ridicare a presiunii cu recipiente hidropneumatice pentru alimentarea etajelor superioare, soluție ce conduce la o economie de energie electrică de 10 ... 35 % pe ansamblul sistemului.

Soluțiile pentru reducerea consumului de energie în instalațiile tehnico-sanitare din interiorul clădirilor trebuie să aibă în vedere raționalizarea consumurilor de apă prin revizuirea normelor specifice, folosirea unor procedee locale pentru prepararea apei calde de consum și perfecționarea armăturilor sanitare în scopul micșorării debitelor specifice și al reducerii pierderilor necontrolate de apă.

7. STUDIU PRIVIND AVARIILE ȘI PIERDERILE DE APĂ IN SISTEMELE DE DISTRIBUȚIE ALE MARILOR CENTRE POPULATE [212,], [213]

7.1 Considerații preliminare

Pierderile de apă în instalațiile centralizate de alimentare a centrelor populate pot apare la captare, stația de tratare, instalațiile de pompare și mai cu seamă în ansamblul aducțiunilor și rețelelor de distribuție a apei spre utilizatori.

Conform normelor în vigoare se admite că pierderile de apă ar putea ajunge la 20 % în rețelele cu conducte vechi și la 10 % în cazul rețelelor noi, însă în majoritatea rețelelor de alimentare a marilor centre populate din țara noastră acestea depășesc cifrele respective ajungând în numeroase cazuri la 30 ... 40 %, cele mai mari valori constatându-se la ansamblurile de clădiri înalte.

Pierderile și risipa de apă constituie pagube importante aduse gospodăriei comunale a centrelor populate și economiei industriilor, atât prin micșorarea cantității de apă distribuită util consumatorilor și reducerea presiunilor disponibile în rețea, ceea ce, pe lângă un consum însemnat de energie, conduce și la un efort suplimentar de investiție în instalațiile de alimentare cu apă, cât și prin pericolul eroziunilor subterane ce conduc la prăbușirea terenului, cu efecte grave asupra construcțiilor și clădirilor învecinate, impunându-se luarea de măsuri pentru ca aceste pierderi să scadă substanțial în următorii ani.

În acest capitol se efectuează, pe baza unor observații făcute pe instalații aflate în funcțiune, și a unor date din literatura tehnică sau furnizate de întreprinderi de exploatare și de cercetare [256], [260], [264], [265], un studiu privind pierderile și risipa de apă în sistemele de distribuție ale marilor centre populate, având ca obiective principale analiza avariilor ce apar la conductele rețelelor exterioare, sistematizându-se cauzele acestora și întocmindu-se o clasificare a lor în funcție de natura materialului de confecționare a conductelor, elaborarea unui model analitic pentru determinarea momentului optim de înlocuire a conductelor avariate, analiza și evaluarea mărimii pierderilor de apă în instalațiile interioare destinate alimentării populației, precum și examinarea unor posibilități de micșorare a consumului de apă clasificate în mai multe categorii, care conduc la reducerea pierderilor și risipei din sistemul de alimentare cu apă, și implicit la economisirea energiei electrice.

7.2 Analiza și clasificarea avariilor ce apar la conductele rețelelor exterioare de distribuție a apei

Realizarea sistemelor centralizate de alimentare cu apă s-a făcut, cu mici excepții, având în vedere orientarea greșită în ansamblu a economiei naționale, în condițiile unor fonduri destinate gospodăririi comunale mult sub nivelul cerințelor acestui secol.

Se asistă astfel la o degradare a conductelor și instalațiilor și la un procent ridicat al pierderilor de apă în instalații, în special la sistemele de distribuție prin neetanșeitățile îmbinărilor, prin rupturi, fisurare sau pori la tuburi, prin neetanșeități ale armăturilor, precum și în special prin neetanșeitățile instalației interioare a consumatorilor, care conduc la mărirea consumurilor energetice în sistem.

Cauzele principale care produc avarierea rețelelor de distribuție se pot grupa în:

- *greșeli de proiectare* (amplasarea conductelor în terenuri alunecătoare sau cu tasări importante, lipsa măsurilor împotriva agresivității solului și a apei, lipsa dispozitivelor de eliminare a presiunilor maxime, etc.);

- *execuție necorespunzătoare* (alcătuire defectuoasă a îmbinărilor, rezemare incorectă a conductelor, defecte de fabricație, manoperă deficientă);

- *exploatare nerațională*, în timpul căreia se produc fenomene hidraulice, coroziuni și uzură.

Primii ani de exploatare a rețelei (cca 1 ... 2 ani) pun în evidență majoritatea defectelor de proiectare și de execuție a conductelor.

Se efectuează o analiză a avariilor ce produc pierderi de apă în rețelele de transport și distribuție în primii ani de exploatare, sistematizându-se cauzele acestora și întocmindu-se o clasificare a lor în funcție de natura materialului de confecționare a conductelor.

7.2.1 Avarii la conductele din fontă de presiune

Tuburile din fontă au capetele modelate pentru îmbinare cu mufă sau flanșe, primele folosindu-se la execuția conductelor îngropate, iar cele cu flanșe la realizarea conductelor montate aparent sau în canale vizibile.

Îmbinarea tuburilor cu mufă se face prin etanșare cu frînghie îndesată pe 2/3 din adâncimea mufei, restul mufei fiind umplut cu plumb, pastă de azbociment și mai rar cu ciment, întrucât îmbinarea devine prea rigidă.

Cele mai frecvente avarii ce apar la tuburile din fontă de presiune sînt:

1) *expulzarea umpluturii mufelor*, datorată în principal următoarelor cauze și deficiențe:

a) lovituri hidraulice;

b) presiuni disponibile peste cele admisibile;

c) defecte de fabricație a mufelor și de execuție a îmbinărilor.

Se știe că lovitură hidraulică (de berbec) este un fenomen care se produce în cazul mișcării nepermanente a apei în conducte și apare în special la oprirea pompelor, pe conductele de refulare. În cazul unei opriri bruște viteza apei scade de la viteza de regim la zero și deci, la o viteză de regim de 1 m/s și o valoare a vitezei de propagare a sunetului de cca 1000 m/s, se obține o variație a presiunii potrivit formulei lui Jukovski de aproximativ ± 10 at, înțelegîndu-se că la asemenea presiuni suplimentare conductele din fontă și în special îmbinările acestora nu pot rezista decît în mod excepțional.

Presiuni disponibile peste cele admisibile pot apare ca urmare a extinderii sistemului de distribuție sau din cauza unor presiuni de exploatare mai mari decît cele stabilite prin calcul.

Defectele de fabricație a mufelor împiedică îmbinarea corectă a mufelor.

2) *fisurarea sau ruperea tuburilor*, poate fi provocată de numeroase cauze și deficiențe:

a) rezemarea defectuoasă a tuburilor;

b) coroziunea;

c) defectele de fabricație a tuburilor;

d) suprapresiunile din loviturile hidraulice;

e) sarcinile mobile accidentale.

Rezemarea necorespunzătoare a conductelor provine din diferite situații:

- amplasarea conductelor pe terenuri alunecătoare;

- tasarea pămînturilor macroporice prin înmuierea acestora datorită pierderilor de apă;

- neregistrarea corectă a fundului tranșeei în pământuri tari.

Toate aceste cauze măresc distanța de rezemare, conducând la creșterea eforturilor efective în tuburi peste cele admise de materiale și deci la fisurarea și distrugerea tuburilor.

Coroziunea poate fi interioară, ca urmare a calității apei sau exterioară, provocată de cantitatea și calitatea apei din sol, de natura solului și de alte cauze locale. Coroziunea exterioară este cea mai periculoasă, iar în influențarea ei un rol esențial îl are umiditatea.

Defectele de fabricație constând din fisuri ascunse (pori, goluri) se accentuează cu ivirea altor cauze, cum ar fi loviturile hidraulice.

7.2.2 Avarii la conductele de oțel

Țevile din oțel se uzinează de obicei cu capete drepte, iar îmbinarea acestora se face pe scară largă prin sudură, recomandându-se utilizarea sudurii electrice și mai rar cu mufă ștemuită, ca la tuburile din fontă, sau cu flanșe.

Pentru a se stabili tehnologia corespunzătoare sudurii unui tip oarecare de conductă trebuie determinate sudabilitatea conductei, calitatea electrozilor, procedeul de sudură și probele necesare. S-au reamintit aceste elemente întrucât, în multe cazuri nu se dă suficientă importanță problemelor de sudură în timpul proiectării și controlului execuției lucrărilor, din care cauză pot apare deficiențe în exploatare.

Fisurarea și ruperea țevilor este principala avarie la conductele din oțel sudate, putându-se produce datorită unor cauze și deficiențe ca:

a) stabilirea necorespunzătoare a procesului de sudare și a electrozilor, care duce la tensiuni remanente mari din contracția proprie a sudurii (până la 1000 ... 2000 daN/cm²);

b) tensiunile suplimentare datorate contracțiilor provocate de variația de temperatură a apei, la alimentarea cu apă de suprafață (500 ... 600 daN/cm² la o variație de 25 ... 30 °C);

c) tensiunile rezultate din scăderea bruscă a temperaturii apei față de temperatura terenului înconjurător (cca 150 ... 200 daN/cm²);

d) tensiunile provocate de pozarea greșită a conductei în tranșee;

e) loviturile hidraulice.

O problemă specială ce trebuie luată în considerare la conductele de oțel sudate este variația temperaturii apei care circulă prin conductă, procedeul cel mai eficient pentru micșorarea tensiunilor provocate de aceste variații de temperatură fiind așezarea și acoperirea țevilor la o temperatură cât mai scăzută.

7.2.3 Avarii la conductele din azbociment

Îmbinarea cea mai frecvent utilizată la aceste conducte este cea cu manșon de azbociment și garnituri de cauciuc, dar există și posibilitatea îmbinării cu manșon și flanșe metalice solidarizate cu buloane și garnituri de cauciuc, denumite Gibault.

În acest caz se constată două feluri principale de avarii:

1) *deranjarea îmbinărilor cap la cap*, din cauza montării incorecte a garniturilor de cauciuc;

2) *fisurarea și ruperea tuburilor*, datorită unor cauze și deficiențe:

a) deranjarea îmbinărilor;

b) manipularea neatentă a tuburilor;

c) pregătirea necorespunzătoare a fundului tranșeei sau umplerea neatentă a acesteia;

d) agresivitatea față de cimenturi a unor ape subterane.

7.2.4 Avarii la conductele din beton armat precomprimat

Tuburile din beton armat precomprimat se execută de obicei prin centrifugare sau vibrovacumare cu un miez tubular de beton armat precomprimat în sens transversal după întărire

prin înfășurarea unei armături elicoidale, care se protejează cu un strat de torcret din mortar de ciment.

Tuburile din beton armat precomprimat se fabrică cu mufă la unul din capete, iar la capătul drept tubul are un prag inelar care servește pentru fixarea garniturii de cauciuc.

Deși cea mai mare parte a defecțiunilor ce apar la aceste tuburi pot fi depistate în fabrică prin încercare la presiune hidraulică mai mare cu 3 ... 4 bar decât presiunea maximă admisă, atât la execuție cât și în exploatare apar unele *defecte*, care se clasifică astfel:

A) Defecte de fabricație:

- defecte de etanșeitate;
- defecte de aderență între torcret și tubul-miez;
- abateri dimensionale nepermise la geometria capătului drept sau a mufei.

Primele două defecte pot să nu se evidențieze la proba de etanșeitate a conductei, deoarece este știut că presiunile de probă sînt mai mici decât cele de verificare în fabrică, însă pot avea consecințe ulterioare în timp.

Abaterile dimensionale nepermise la geometria capătului drept sau ale mufei se evidențiază în parte la probarea conductei, deoarece ele conduc la insuficiența presare a garniturii inelare de cauciuc și deci la expulzarea acesteea cînd presiunea crește.

B) Defecte datorate manipulării și depozitării greșite:

- știrbituri la capetele de îmbinare;
- desprinderi ale torcretului pe unele zone de pe suprafața tubului;
- micșorarea caracteristicilor de rezistență datorită unei păstrări îndelungate (peste 6 luni) sub acțiunea intemperiilor (expunere solară, cu umiditate redusă, cicluri repetate de îngheț-dezghet).

Tuburile care prezintă știrbituri la capetele de îmbinare sau zone de neaderență a torcretului nu trebuie montate deoarece ele vor constitui în mod sigur o cauză de avarie pe conductele respective.

Efectele păstrării îndelungate a tuburilor sub acțiunea intemperiilor sînt multiple.

După cum este cunoscut, curgerea lentă a betonului precomprimat este condiționată direct de gradul de umiditate a acestuia. Astfel, conform STAS-ului 10107/0-76, valoarea maximă a caracteristicii deformației în timp a betonului poate crește cu 30 % în cazul cînd tuburile sînt păstrate la o umiditate medie relativă de 40 % în loc de 60 % cît se prevede în calcul. Această creștere a curgerii lente, conducînd la mărirea pierderilor de tensiuni în armătură, atrage după sine scăderea rezistenței tuburilor.

Tot păstrării în timp îndelungat în condiții necorespunzătoare se datorește și microfisurarea atât transversală cît și longitudinală a torcretului care, după cum se cunoaște, nu este precomprimat. Această microfisurare se datorește eforturilor ce apar în pereții tubului din cauza diferenței de temperatură dintre exterior și interior, care este foarte mare mai ales cînd tubul este expus razelor solare.

Pe de altă parte, o păstrare îndelungată în condiții uscate conduce la efecte defavorabile privind însăși etanșeitatea tubului-miez.

Chiar dacă o conductă cu asemenea defecte poate trece în mod acceptabil proba de presiune, durabilitatea ei rămîne afectată de transformările ireversibile produse în structura pereților, iar tuburile la care fisurările au fost mai puternice sînt potențiale surse de avarii.

C) deficiențe la montarea tuburilor:

- amenajarea defecuoasă a patului de rezemare pe teren a tubului;
- neuniformitatea patului de rezemare în lungul tubului;
- poziționarea incorectă a garniturii de cauciuc la îmbinare;

În actele normative se precizează că tubul trebuie să se reazeme pe un pat de nisip amenajat cu unghiul la centru α de 90° (fig. 7.1), condiție care nu se respectă în toate cazurile și de multe ori, patul fie că nu este amenajat deloc, fie că este insuficient amenajat ca mărime și continuitate a suprafeței de rezemare.

Avarierea prin ruperea tuburilor de beton precomprimat se produce de obicei în zonele în care armătura de precomprimare este corodată, după linia celor mai pronunțate fisuri și poate fi însoțită sau nu de ruperea armăturilor.

Principalele avarii care apar la conductele rețelelor de distribuție a apei au fost sistematizate și prezentate sintetic în tabelul 7.2, împreună cu deficiențele și cauzele care le generează.

Tabelul 7.2

Avarii ce apar la conductele rețelelor de distribuție

Nr. crt.	Materialul conductei	Avaria	Cauze și deficiențe
0	1	2	3
1	Fontă	<i>Expulzarea umpluturii mufelor</i>	<ul style="list-style-type: none"> - lovituri hidraulice - presiuni disponibile peste cele admisibile - defecte de fabricație a mufelor - defecte de execuție a îmbinărilor
		<i>Fisurarea și ruperea tuburilor</i>	<ul style="list-style-type: none"> - lovituri hidraulice - coroziunea materialului - rezemare defectuoasă a tuburilor - defecte de fabricație a tuburilor - sarcini mobile accidentale
2	Oțel	<i>Fisurarea și ruperea tuburilor</i>	<ul style="list-style-type: none"> - lovituri hidraulice - pozarea greșită a conductelor - stabilirea necorespunzătoare a procesului de sudare și a electrozilor - variația temperaturii apei - scăderea bruscă a temperaturii apei față de cea a solului
3	Azbociment	<i>Deranjarea îmbinării</i>	<ul style="list-style-type: none"> - montarea incorectă a garniturilor
		<i>Fisurarea și ruperea tuburilor</i>	<ul style="list-style-type: none"> - deranjarea îmbinărilor - pregătirea necorespunzătoare a fundului tranșeei sau umplerea neatentă a acesteea - agresivitatea față de cimenturi a unor ape subterane
4	Beton armat precomprimat	<i>Expulzarea garniturii de cauciuc</i>	<ul style="list-style-type: none"> - lovituri hidraulice - presiuni disponibile peste cele admise - abateri dimensionale nepermise la geometria capătului drept sau a mufei
		<i>Desprinderea torcretului</i>	<ul style="list-style-type: none"> - defecte de fabricație - manipulare și depozitare greșită
		<i>Microfisurarea torcretului</i>	<ul style="list-style-type: none"> - păstrarea tuburilor timp îndelungat sub acțiunea intemperțiilor
		<i>Fisurarea și ruperea tuburilor</i>	<ul style="list-style-type: none"> - amenajarea necorespunzătoare a patului de rezemare în sens transversal și longitudinal - depășirea încărcărilor estimate la alegerea clasei tuburilor - montarea tuburilor în soluri agresive, fără luarea de măsuri pentru protecție - poziționarea incorectă a garniturii

7.3 Model analitic pentru determinarea momentului optim de înlocuire a conductelor avariate

Soluționarea problemei avarierii unei conducte în funcțiune poate fi efectuată prin două căi: reparare sau înlocuire, iar luarea unei decizii raționale în acest sens implică o analiză economică de comparare a celor două alternative.

Se prezintă un model general pentru determinarea momentului optim de înlocuire a conductelor avariate, care nu necesită cunoașterea cauzei avariei ci numai estimarea evoluției avariilor în timp.

Caracteristica esențială a modelului de calcul o reprezintă necesitatea estimării realiste a datelor viitoare de avariere și se bazează pe următoarele elemente: numărul estimativ de avarii pe o conductă nouă ca funcție de timp din momentul instalării acesteia; numărul estimativ de avarii pe o conductă existentă; cheltuielile necesare pentru repararea și pentru înlocuirea unei conducte existente cu alta nouă; stabilirea cheltuielilor viitoare la o valoare actualizată.

La înlocuirea unei porțiuni dintr-o conductă avariata cu alta nouă, noua conductă, poate avea aceeași calitate ca și cea veche, așteptându-se de la ea același istoric al avariilor sau poate avea o calitate superioară, adică să nu apară avarii pe ea. Un mod convenabil de măsurare a avariilor este exprimarea acestora în avarii pe an sau pe metru liniar de conductă.

Se consideră ecuația de evoluție a avariilor de forma exponentială:

$$F(t) = F(t_0)e^{A(t-t_0)} \quad (7.1)$$

în care: t este timpul exprimat în ani; t_0 - timpul de bază al analizei; A - coeficientul de creștere a numărului de avarii; $F(t_0)$ - numărul de avarii pe an.

Cheltuielile de reparație pentru t ani sînt date de relația:

$$c_r = c_a F(t) \quad (7.2)$$

în care c_a reprezintă cheltuielile de reparație a unei avarii.

Valoarea actualizată a cheltuielilor pentru reparație C_r și pentru înlocuirea conductei C_i se determină cu relațiile:

$$C_r = \sum_{t=t_*}^{t_i} \frac{c_r}{(1+\beta_0)^{t-t_*}} \quad (7.3) \quad C_i = \frac{c_i}{(1+\beta_0)^{t_i-t_*}} \quad (7.4)$$

în care: t_* este anul de referință; t_i - anul cînd conducta va fi înlocuită; β_0 - rata de inflație; c_i - costul înlocuirii conductei.

Momentul optim de înlocuire este acel an pentru care cheltuielile totale sînt minime:

$$C_T = \sum_{t=t_*}^{t_i} \frac{c_a F(t_0)e^{A(t-t_0)}}{(1+\beta_0)^{t-t_*}} + \frac{c_i}{(1+\beta_0)^{t_i-t_*}} \rightarrow \min \quad (7.5)$$

Prin derivare în raport cu t_i , anulare și rezolvare se obține expresia timpului optim de înlocuire:

$$t_i^0 = t_0 + \frac{1}{A} \ln \left[\frac{\ln(1+\beta_0)c_i}{F(t_0)c_a} \right] \quad (7.6)$$

Se observă că anul de bază t_0 utilizat în dezvoltarea ecuației (7.1) nu influențează asupra soluției optime.

Dacă pentru ecuația de evoluție a avariilor se adoptă forma liniară:

$$F(t) = F(t_0)A(t - t_0) \quad (7.7)$$

atunci rezultă pentru momentul optim de înlocuire a conductei expresia:

$$t_i^0 = t_0 + \frac{\ln(1 + \beta_0)c_i}{AF(t_0)c_a} \quad (7.8)$$

Soluțiile optime astfel obținute corespund cazului când conducta nouă nu mai poate fi avariata. De aceea se studiază și situația când noua conductă poate fi atinsă de avarii, însă începând cu o valoare inițială mai mică decât cea corespunzătoare coeficientului de creștere caracteristic conductei existente, întrucât altfel nu ar exista nici un motiv pentru înlocuire.

Se consideră că noua conductă este de același tip cu cea existentă și după montare are același istoric al avariilor, iar numărul de avarii crește după același coeficient ca în ecuația (7.1).

Conducta avariata aflată în funcțiune se înlocuiește în anul t_i la un cost c_i , iar odată instalată noua conductă va fi supusă avariilor și se reînlocuiește după t_c ani. Mărimea optimă a ciclului de înlocuire t_c^0 este dată de relația:

$$t_c^0 = \frac{1}{A} \ln \left[\frac{\ln(1 + \beta_0)c_i}{F(t_0)c_a} \right] \quad (7.9)$$

Este necesar să se definească pentru fiecare ciclu cheltuielile de reparație și de înlocuire exprimate în valori raportate la începerea ciclului. Pentru mărimea optimă a ciclului t_c^0 acestea au respectiv expresiile:

$$C_R = \sum_{t=1}^{t_c^0} \frac{c_r}{(1 + \beta_0)^t} = \frac{[(1 + \beta_0)^{t_c^0} - 1]c_r}{\beta_0(1 + \beta_0)^{t_c^0}} \quad (7.10) \quad C_i = \frac{c_i}{(1 + \beta_0)^{t_c^0}} \quad (7.11)$$

Pentru explicitarea cheltuielilor totale $C_T = C_R + C_i$ se obține relația finală:

$$C_T = \sum_{t=t_0}^{t_i} \frac{c_a F(t_0) e^{A(t-t_0)}}{(1 + \beta_0)^{t-t_0}} + \frac{(C_R + c_i)B + c_i}{(1 + \beta_0)^{t_i-t_0}} \quad (7.12)$$

unde:

$$B = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(1 + \beta_0)^{nt_c^0}} = \frac{1}{(1 + \beta_0)^{t_c^0 - 1}} \quad (7.13)$$

Minimizând cheltuielile totale se obține, în urma efectuării calculului, pentru momentul optim de înlocuire o expresie similară cu (7.6):

$$t_i^0 = t_0 + \frac{1}{A} \ln \left[\frac{\ln(1 + \beta_0)(C_R + c_i)B + c_i}{F(t_0)c_a} \right] \quad (7.14)$$

care conține în cel de-al doilea termen produsul $(C_R + c_i)B$ ce ține seama de ciclurile viitoare de înlocuire și reparație.

Modelul analitic expus, necesitînd doar cunoașterea unor date referitoare la cheltuielile de reparație și de înlocuire, a coeficientului creșterii numărului de avarii și a ratei de inflație, oferă posibilitatea de calcul a momentului optim de înlocuire a conductelor avariate, asigurîndu-se astfel luarea unor decizii importante în mod corect și cu cheltuieli minime.

7.4 Analiza și evaluarea pierderilor și risipei de apă în rețelele exterioare de distribuție și instalațiile interioare ale utilizatorilor

Pierderile de apă apar ca o consecință a avarierii atât a rețelelor de distribuție cât și a instalațiilor interioare destinate alimentării populației și industriilor, iar risipa de apă rezultă din utilizarea nerațională a apei la punctele de consum. Se consideră drept pierderi de apă în rețeaua de distribuție diferența dintre cantitatea totală de apă trimisă în rețea în cursul unui an și cantitatea de apă livrată util consumatorilor, exprimându-se procentual.

Din observațiile asupra unor lucrări executate în mai multe localități din țară, a rezultat că pierderile de apă și risipa în utilizare, conduc la valori de până la 50 % din cantitatea de apă distribuită.

Cauzele care conduc la risipă sînt cele legate de utilizarea bateriilor și robinetelor neeconomice, utilizarea unor obiecte sanitare cu formă și dimensiuni ce conduc la consumuri specifice mari, acumularea apei în obiectele sanitare sau recipiente din cauza regimului de funcționare cu intermitență și evacuarea apei la canal cînd reîncepe alimentarea cu apă, costul ridicat al înlocuirii armăturilor defecte, etc.

În cazul centrelor urbane mari o parte însemnată din industriile acestora utilizează apă din sistemul centralizat de alimentare cu apă potabilă, așa cum reiese din analiza situației existente în anul 1990 în șapte centre urbane ale țării, prezentate în tabelul 7.3.

Tabelul 7.3

Debitul de apă distribuit populației și industriilor în sistemul centralizat al unor mari centre urbane

Nr. crt.	Centrul urban	Debitul orar maxim [m ³ /s]				Apă pt. industrii din total general [%]	
		Apă potabilă pt. populație	Apă pentru industrii				Total general
			potab	industr.	total		
0	1	2	3	4	5	6	7
1	Arad	1,03	1,49	0,89	2,38	3,41	69
2	Craiova	1,16	2,33	26,40	28,73	29,89	88
3	Oradea	1,68	0,46	-	0,46	2,14	21
4	Satu-Mare	0,57	0,52	0,18	0,70	1,27	55
5	Sibiu	0,94	0,41	0,52	0,93	1,87	49
6	Timișoara	1,62	2,42	1,03	3,45	5,07	68
7	Țirgu-Mureș	1,07	0,53	-	0,53	1,60	33

Avînd în vedere că alimentarea centralizată cu apă a centrelor populate mari se realizează de obicei prin sisteme unitare de distribuție și că o mare parte din pierderile de apă din aceste sisteme se produc în instalațiile interioare se impun pe lîngă măsurile privind raționalizarea apei la consumatori și măsuri vizînd restrîngerea la minimum a pierderilor în instalațiile interioare ale consumatorilor casnici și industriali.

În acest sens, pe baza unor sondaje întreprinse de GIGCL Timișoara în anul 1988, la un număr de cca 900 apartamente din minicipiul Timișoara, autorul a evaluat și estimat mărimea pierderilor de apă în instalațiile interioare ale consumatorilor casnici din municipiu, a căror micșorare substanțială constituie o măsură eficientă de reducere a consumului de apă potabilă, date

fiind condițiile destul de dificile în care se realizează alimentarea centralizată cu apă potabilă în municipiu, cerința de apă depășind capacitățile instalate ale surselor existente.

S-au luat în studiu 895 apartamente însumind un număr de 2512 locatari și fiind dotate cu 1040 instalații de WC, 2405 baterii de amestec și 93 robinete de apă rece, precum și 4 cămine studențești cu 1451 persoane, 112 instalații de WC, 589 baterii de amestec și 140 robinete de apă rece, situate în 5 cartiere importante ale municipiului, la care s-au observat pierderile de apă la armăturile obiectelor sanitare principale (ventile cu plutitor de la instalația WC-urilor, baterii de amestec de la băi, lavoare, spălătoare, bideuri, dușuri izolate, robinete de apă rece), clasificându-se în două categorii:

- pierderi reduse și pierderi importante, la instalațiile WC-urilor;
- pierderi prin picurare și scurgeri continue, la baterii și robinete.

Aceste pierderi de apă au fost simulate pe o instalație experimentală, cu ajutorul căreia s-a putut aproxima mărimea lor, după cum urmează: 0,003 dm³/s - pierdere redusă; 0,006 dm³/s - pierdere importantă; 0,0005 dm³/s - pierdere prin picurare; 0,0024 dm³/s - scurgere continuă.

Rezultatele studiului s-au sintetizat în tabelul 7.4 și s-au extrapolat și pentru cele 90000 de apartamente și cei cca 19000 locatari ai căminelor studențești din municipiu, rezultând o pierdere totală de apă de aproximativ 247 dm³/s, ceea ce reprezintă 19 % din debitul de apă distribuită populației prin instalațiile centralizate de alimentare.

Tabelul 7.4

Evaluarea pierderilor de apă din instalațiile interioare de alimentare a populației din 895 apartamente și 4 cămine ale municipiului Timișoara, la nivelul anului 1988

Nr. crt.	Cartierul	Nr. ap.	Nr. pers.	Nr. pierderi constatate				Debit pierdut [dm ³ /s]			Pierd. specif. med.	
				WC-uri		Baterii		WC -uri	Baterii	Total	dm ³ / (ap. zi)	dm ³ / (om zi)
				red.	impor.	picur.	scurg.					
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Fabric	235	611	87	24	122	36	0,405	0,147	0,552	203	78
2	Cetate	182	531	58	35	76	35	0,364	0,122	0,506	240	82
3	Mehala	196	471	65	36	131	49	0,411	0,184	0,595	262	109
4	Bălcescu	188	594	68	16	130	26	0,300	0,127	0,427	196	62
5	Fratelia	94	305	10	39	22	19	0,264	0,057	0,321	295	91
6	Cămine	-	1451	14	57	54	22	0,384	0,080	0,464	-	28
Total		895	3963	302	509	535	187	2,148	0,717	2,865	240	85

Repartizarea acestor pierderi de apă, pe categorii de armături defecte din instalațiile sanitare ale blocurilor de locuit și ale căminelor studențești din întreg municipiul se prezintă în tabelul 7.5.

Tabelul 7.5

Repartizarea pierderilor de apă pe categorii de armături defecte

Pierderi de apă în:												Pierderi totale	
Inst. sanit. ale blocurilor de locuit						Inst. sanitare ale căminelor						[dm ³ /s]	[%]
WC-uri		Baterii/robin.		Total		WC-uri		Baterii/robin.		Total			
[dm ³ /s]	[%]	[dm ³ /s]	[%]	[dm ³ /s]	[%]	[dm ³ /s]	[%]	[dm ³ /s]	[%]	[dm ³ /s]	[%]		
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
190,4	79	47,0 3,6	19,5 1,5	241	100	4,8	79	0,9 0,4	0,7 0,3	6	100	247	100

Analizând repartizarea pierderilor de apă pe categorii de armături defecte se constată că ponderea principală, de 79 %, o dețin *pierderile înregistrate la instalațiile de la WC* ale apartamentelor sau căminelor. Aceste scurgeri se produc, în general, din următoarele cauze:

- defectarea garniturilor de la scaunul ventilului cu plutitor;
- defectarea garniturilor de la clopotul sifonului;
- uzarea scaunului de la ventilul cu plutitor;
- distrugerea brațului plutitorului.

O altă categorie de pierderi de apă cu o pondere mai redusă de numai 19,5 % din totalul pierderilor pentru apartamente și 14 % pentru cămine, o reprezintă *scurgerile de la bateriile de amestec* ce echipează căzile de baie, lavoarele sau spălătoarele de vase din bucătării, producându-se în majoritatea cazurilor din cauzele:

- uzarea garniturilor de la scaunul bateriilor;
- uzarea și ovalizarea scaunului supapei de închidere;
- uzarea axului filetat al bateriei.

A treia categorie de pierderi de apă, care însă prezintă o pondere de numai 15 % din total pentru apartamente și de 7 % pentru cămine, o reprezintă *pierderile de la robinetele individuale de la bideuri sau dușuri izolate*, la care cauzele defecțiunilor sînt de obicei aceleași ca și la bateriile de amestec.

Tot în scopul evidențierii și evaluării pierderilor de apă în instalațiile interioare s-au efectuat măsurători ale consumului de apă pe perioada a 15 zile într-un bloc cu 80 apartamente avînd patru scări, din cartierul Fratelia Timișoara. Rezultatele măsurătorilor efectuate în situația inițială și după executarea remedierilor sînt prezentate în tabelul 7.6, de unde se constată că debitul specific mediu pentru întregul bloc este mai ridicat decît prevederile STAS-ului 1343/1-91 ($280 \text{ dm}^3/(\text{om.zi})$ în zone cu clădiri avînd instalații interioare de apă și canalizare și cu instalații centrale de preparare a apei calde) și că după executarea remedierilor, reducerea consumului de apă a fost de 24 %. Debitul de apă caldă reprezintă 35 ... 40 % din debitul specific total.

Tabelul 7.6

Consumul de apă la un bloc cu 80 apartamente

Nr. crt.	Specificația	Situația inițială				După remedieri			
		Sc.A	Sc.B	Sc.C	Sc.D	Sc.A	Sc.B	Sc.C	Sc.D
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Nr. consumatori [pers]	66	62	69	65	68	60	65	69
2	Volume de apă măsurate [m^3]	315	283	344	319	257	200	235	265
3	Debite specifice $\text{dm}^3/(\text{om.zi})$	318	304	332	327	252	222	241	256
4	Debit specif. med. [$\text{dm}^3/(\text{om.zi})$]	320				243			
5	Reducerea debit. specif. med. [%]	-				24,1			

Din analizele efectuate anterior, rezultă că în instalațiile interioare ale consumatorilor casnici cca 18 ... 24 % din debitul de apă distribuit populației se risipește ajungînd în rețeaua de canalizare fără a fi utilizat în mod corespunzător, datorită instalațiilor defecte și presiunilor prea mari la etajele inferioare în anumite zone.

Rezultate asemănătoare au fost obținute și prin cercetări ale unor specialiști [45], [66], [237], [257] pentru un alt mare centru populat cum este municipiul București, la nivelul anilor 1975-1981, constatîndu-se că pierderile de apă în instalațiile interioare din clădiri de locuit variază

între 55 și 285 dm³/(om.zi), constituind 14 ... 55 % din debitul de apă distribuit prin instalațiile centrale de alimentare, ceea ce reprezintă valori ridicate în comparație cu consumurile medii normate.

Este cunoscut faptul că prin aplicarea unor regimuri restrictive de alimentare cu apă rece și caldă, pe lângă înrăutățirea condițiilor de confort se favorizează condiții pentru risipa de apă și implicit de energie.

Pentru analiză în acest sens, se prezintă rezultatele verificărilor efectuate pe baza măsurătorilor directe de debite pentru un ansamblu de clădiri cu 560 apartamente în blocuri P+4E și 2000 locuitori din municipiul Timișoara.

Ansamblul de clădiri este alimentat cu apă rece și caldă prin intermediul unor instalații centralizate de preparare și de ridicare a presiunii, amplasate într-un punct termic din zona Dîmbovița. Apa rece a fost distribuită în mod continuu 24 ore/zi, iar apa caldă intermitent, 10 ore/zi în intervalul 6-11 și 17-22.

Prin prelucrarea rezultatelor măsurătorilor, efectuate în condiții de exploatare în lunile octombrie-noiembrie 1988, s-au determinat consumurile medii orare de apă rece și caldă, indicîndu-se în tabelul 7.7 valorile absolute și procentuale ale acestora și s-au stabilit cronogramele de consum reprezentate în figura 7.3

Tabelul 7.7

Valorile medii ale consumurilor orare de apă

Ora	Consum global		Consum apă rece		Consum apă caldă	
	[m ³ /h]	[%]	[m ³ /h]	[%]	[m ³ /h]	[%]
0	1	2	3	4	5	6
0-1	13,8	1,20	13,8	1,50	-	-
1-2	9,2	0,80	9,2	1,00	-	-
2-3	9,2	0,80	9,2	1,00	-	-
3-4	9,2	0,80	9,2	1,00	-	-
4-5	9,2	0,80	9,2	1,00	-	-
5-6	57,3	5,00	57,3	6,23	-	-
6-7	73,7	6,40	53,6	5,83	20,1	8,62
7-8	71,7	6,22	52,8	5,75	18,9	8,12
8-9	64,8	5,61	47,5	5,17	17,3	7,42
9-10	68,4	5,93	52,8	5,75	15,6	6,70
10-11	77,5	6,72	48,8	5,31	28,7	12,30
11-12	40,6	3,52	40,6	4,42	-	-
12-13	41,0	3,56	41,0	4,46	-	-
13-14	38,0	3,30	38,0	4,14	-	-
14-15	38,0	3,30	38,0	4,14	-	-
15-16	37,7	3,27	37,7	4,10	-	-
16-17	43,6	3,78	43,6	4,75	-	-
17-18	71,7	6,22	42,1	4,58	29,6	12,70
18-19	75,7	6,57	47,2	5,14	28,5	12,20
19-20	78,9	6,85	51,3	5,59	27,6	11,80
20-21	73,1	6,35	48,1	5,24	25,0	10,70
21-22	64,7	5,62	42,7	4,65	22,0	9,44
22-23	44,1	3,83	44,1	4,80	-	-
23-24	40,9	3,55	40,9	4,45	-	-
Total	1152,0	100,00	918,7	100,00	233,3	100,00

Alura curbei consumului global evidențiază două maxime în perioadele de distribuție a apei calde și un minim în timpul nopții, între orele 2 și 5, reprezentând aproximativ pierderile din instalațiile interioare. Se înregistrează un coeficient de neuniformitate orară cu valoarea 1,64, mai micădecît cea prevăzută în STAS-ul 1343-91.

Pe baza valorilor medii orare s-au determinat consumurile zilnice și respectiv consumurile specifice de apă rece și apă caldă menajeră. În tabelul 7.8 se prezintă indicatorii rezultați comparativ cu prescripțiile STAS-ului 1478-90.

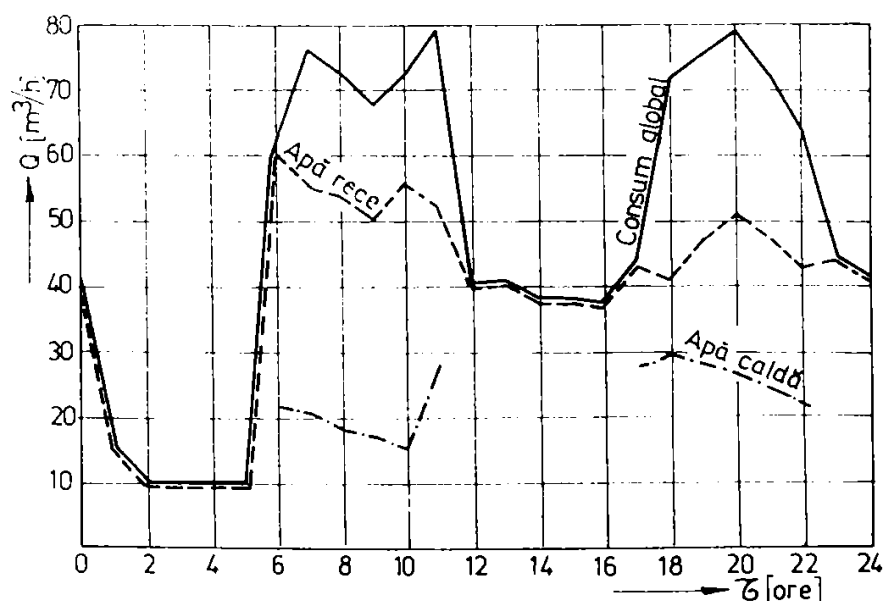


Fig. 7.3 Cronogramele de consum mediu de apă

Tabelul 7.8

Valorile consumurilor comparative de apă

Nr. crt.	Indicatorul	UM	Total	Din care apă caldă
0	1	2	3	4
1	Consum zilnic	[m ³ /zi]	1152	233,3
2	Consum specif. efectiv	[dm ³ /(om.zi)]	576	117,0
3	Consum specif. STAS 1478	[dm ³ /(om.zi)]	280	110,0
4	Diferența în plus	[%]	105	6,0

Se observă că în timp ce consumul specific de apă caldă corespunde normelor prevăzute prin STAS-ul 1478-90, consumul specific total este dublu față de consumul normat.

Pe baza acestor rezultate și a altor experimentări efectuate de specialiști în alte localități [233], s-a putut constata că regimul intermitent de distribuție conduce la mărirea consumurilor specifice de apă prin formarea stocurilor neutilizate, precum și la creșterea vîrfurilor de consum, care atrag și consumuri suplimentare de energie de pompare.

Față de ponderea însemnată a consumului de apă la utilizatorii industriali din debitul de apă potabilă distribuit în majoritatea marilor centre populate prin rețele unitare, se impune examinarea posibilităților de reducere a acestui consum concomitent cu micșorarea pierderilor de apă în instalațiile publice și interioare destinate alimentării populației, scop în care s-a efectuat o analiză privind modul de gospodărire a apei la unii utilizatori industriali, rezultînd deficiențe ca:

- pierderi de apă de cca 20 % din apa potabilă distribuită în rețeaua unitară și cea din incinta consumatorilor industriali, datorită în principal vechimii rețelei, calității slabe a armăturilor și conductelor ca și sistemelor defectuoase de îmbinări, în condițiile solicitărilor sporite ca urmare a creșterii presiunii de serviciu;

- dotarea necorespunzătoare cu mijloace de măsurare și contorizare a consumatorilor de apă atât la surse și stații de pompare cât și pe circuitele de utilizare;

- vechimea mare a bazei materiale (conducte, armături, debitmetre, etc.), care contribuie atât la mărirea pierderilor cât și la dificultăți în exploatarea și întreținerea echipamentelor;

- depășiri ale consumurilor de apă în industrie, ajungând în unele cazuri la peste 200 % față de cele reglementate prin norme de consum, datorate și inexistenței unor tarife diferențiale sporite, în caz de depășire a consumurilor normate.

7.5 Concluzii și propuneri de măsuri pentru reducerea pierderilor și risipei de apă

Studiul efectuat arată că principalii factori care influențează avariile și pierderile și risipa de apă sînt:

- schemele de distribuție și soluțiile tehnice de execuție și montaj a rețelelor exterioare și instalațiilor interioare de alimentare cu apă;

- calitatea materialelor pentru conducte, armături, utilaje și fiabilitatea acestora;

- regimul de exploatare al rețelelor exterioare și instalațiilor interioare de distribuție a apei;

- regimul de presiuni disponibile ale apei.

Experiența îndelungată din țara noastră și din alte țări, arată că avariile în rețelele de distribuție a apei nu pot fi practic evitate complet, unele dintre ele putînd fi considerate accidente normale de exploatare. Trebuie însă urmărit ca în cadrul unor condiții economice, avariile să se limiteze la un număr redus, la efecte cât mai restrînse și cu posibilități de reparare cât mai rapidă.

Prevenirea avariilor este mult mai economică decît remedierea efectelor acestora, constituind o cale directă pentru micșorarea consumului energetic și a costului de investiție al sistemului de distribuție a apei.

Consumurile specifice de apă măsurate depășesc consumurile normate de cca două ori, cu implicații financiare și sociale în legătură cu sistemul de tarificare al apei.

Pentru reducerea pierderilor și risipei de apă pînă la limitele admisibile se propun următoarele măsuri și procedee:

a) măsuri tehnice:

- optimizarea structurală și funcțională a rețelelor exterioare de distribuție existente și a extinderii acestora, astfel încît să se asigure o uniformizare cât mai bună a presiunii de lucru la toate nivelele clădirilor;

- asigurarea distribuției continue a apei (zi și noapte) atât la sistemele noi ce se proiectează, cât și la cele existente și dimensionarea agregatelor de pompare corespunzător ipotezelor reale de funcționare;

- montarea corectă a dispozitivelor și utilajelor în vederea reducerii efectului loviturilor hidraulice;

- ridicarea continuă a calității executării lucrărilor de construcții și montaj a conductelor;

- înlocuirea conductelor din rețeaua de distribuție, care au durată de serviciu epuizată, determinată conform modelului analitic descris la pct. 7.3;

- instalarea pe arterele principale a unor vane electromagnetice care se închid la scăderea de presiune provocată de o avarie, realizînd astfel sectorizarea porțiunilor avariate;

- extinderea și refacerea rețelelor de distribuție a apei în sistemul de producție a acestora în galerii edilitare, astfel încât să se reducă la minimum cazurile de avarii și să se poată efectua reparațiile într-un timp mai scurt;

- raționalizarea consumurilor prin revizuirea normelor specifice și a parametrilor calitativi, în raport cu natura folosinței;

- respectarea regimului de temperaturi ale agentului termic primar încât să fie furnizată apa caldă cu temperatura de utilizare necesară, precum și revenirea la regimul continuu de furnizare a apei calde;

- aplicarea procedeeleor de preparare locală a apei calde de consum menajer;

- perfecționarea armăturilor obiectelor sanitare;

- introducerea debitmetriei la utilizatori, scop în care s-a conceput o instalație pentru contorizarea și urmărirea centralizată a consumurilor de apă [188], care permite înregistrarea, transmiterea, afișarea și urmărirea centralizată a volumului de apă utilizat la nivelul diferiților consumatori.

Pentru contorizarea volumului de apă consumat, se utilizează în mod frecvent apometre montate pe conducte de alimentare. Aceste aparate sînt compuse dintr-o carcasă metalică în care este montat un rotor cu palete ce se rotește sub acțiunea curentului de apă și transmite această mișcare la un mecanism totalizator care indică volumul de apă consumat. Apometrele prezintă dezavantajul de a nu permite urmărirea de la distanță a mărimii măsurate.

Instalația propusă înlătură acest dezavantaj prin aceea că utilizează niște traductoare de debit, montate pe conductele de alimentare, de la care se obțin semnale electrice sub forma unor trenuri de impulsuri, a căror frecvență este proporțională cu debitul de apă, fiind transmise prin linii de legătură electrică, la niște numărătoare de impulsuri montate pe un panou central, unde se face citirea și urmărirea consumurilor.

Se dă un exemplu de realizare a instalației cu referire la figurile 7.4 și 7.5.

Traductorul de debit (fig. 7.4) are rolul de a furniza un semnal electric proporțional cu debitul de apă care circulă prin conducta de alimentare. Se compune dintr-o carcasă 1, un rotor cu palete 2 executat din material plastic, un magnet permanent 3 introdus într-o aletă a rotorului, un contragreutate 4 fixată pe paleta diametral opusă față de magnetul permanent și un sesizor inductiv 5. Prin intermediul racordurilor filetate cu care este prevăzută carcasa, se efectuează montarea traductorului pe conducta de alimentare cu apă. Jetul tangențial de apă pune în mișcare de rotație rotorul și la fiecare trecere a magnetului permanent prin dreptul sesizorului inductiv, în bobina acestuia se induc impulsuri electrice care formează un tren de impulsuri, avînd frecvența

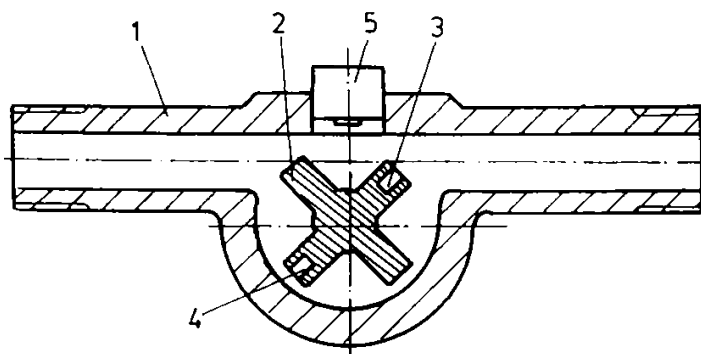


Fig. 7.4 Secțiune printr-un traductor de debit
1-carcasă; 2-rotor cu palete; 3-magnet permanent; 4-contragreutate; 5-sesizor.

proporțională cu viteza și deci cu debitul de apă ce circulă prin conductă.

Traductorul de debit se ansamblează într-o linie de măsurare prezentată schematic în figura 7.5, unde se indică: un bransament de alimentare cu apă 1, pe care se montează un traductor de debit 2 de la care impulsurile electrice se transmit la un preamplificator 3, de unde printr-o linie electrică 4 ajung la un panou central de măsurare 5. În panoul central se prevede, pentru fiecare linie de măsurare, un amplificator de linie 6, de la care se alimentează un dispozitiv electronic de demultiplicare 7 și în continuare printr-un amplificator de putere 8 se transmit impulsurile la un numărător 9.

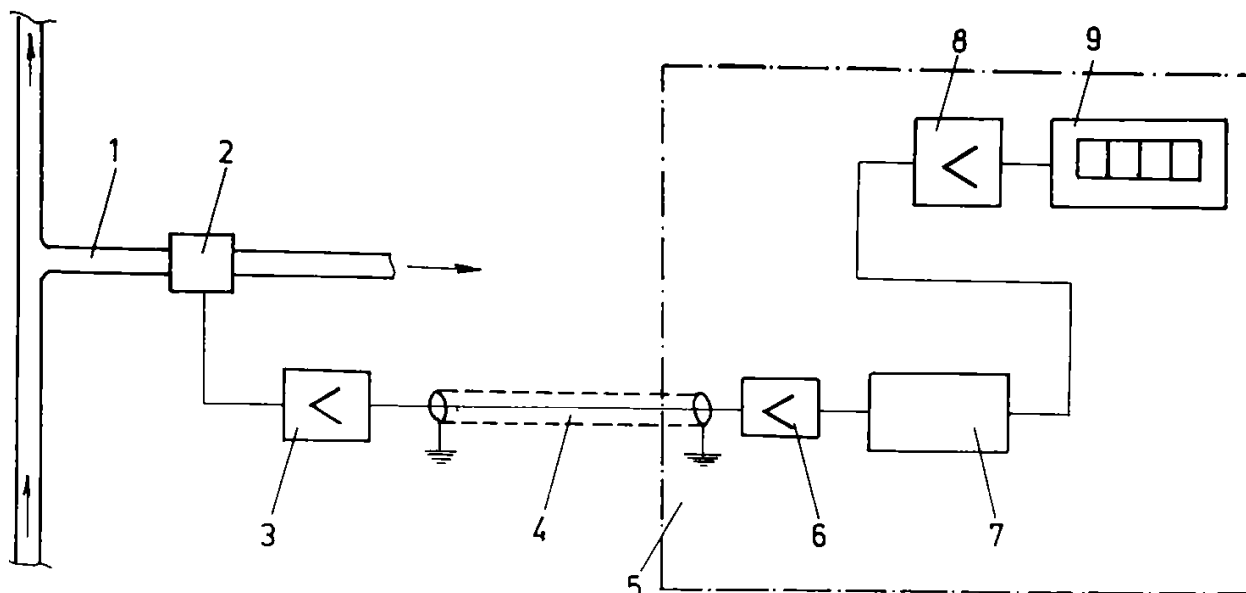


Fig. 7.5 Schema de principiu pentru o linie de măsurare
 1-bransament; 2-traductor de debit; 3-preamplificator;
 4-linie electrică; 5-panou central de măsurare;
 6-amplificator de linie; 7-dispozitiv electronic
 de demultiplicare; 8-amplificator de putere;
 9-numărător.

Realizarea și folosirea instalației descrise, aduce următoarele avantaje:

- permite supravegherea de la distanță a unor apometre montate în rețeaua de distribuție și reducerea consumului de apă la utilizatorii casnici și industriali;
- asigură urmărirea parametrilor de funcționare pentru unele utilaje tehnologice.

Pentru elaborarea unui sistem corect de tarification a apei, stimulat în utilizarea rațională a apei potabile în special la consumatorii industriali și diferențiat, cu penalizări în cazul depășirii consumurilor specifice normate, este necesară conceperea și implementarea unui sistem de contorizare a întregului sistem de alimentare cu apă, folosind aparate fiabile.

b) măsuri organizatorice:

- dezvoltarea unei industrii a apei care să asigure materiale, conducte și armături, instalații și utilaje, dispozitive de cea mai bună calitate, cu fiabilitate ridicată și eficiențe tehnologice sporite;
- înființarea unor întreprinderi de construcții și instalații specializate în realizarea lucrărilor de alimentare cu apă;
- introducerea unui sistem de tarife diferențiale;
- ridicarea gradului de întreținere a rețelelor de distribuție a apei și organizarea în cadrul regiilor autonome de apă-canal a unor echipe permanente de instalatori care să efectueze controale și operații de reparație și întreținere la instalațiile interioare, cu facturarea operațiilor în nota de plată a apei.

c) măsuri educative:

- conștientizarea cetățenilor în direcția înțelegerii gravității pe care o prezintă pierderile de apă atât în legătură cu costurile suplimentare de investiție în noi lucrări de alimentare cu apă, cât și asupra cheltuielilor de exploatare;
- folosirea mijloacelor de propagandă și influențare a opiniei publice (presă, radio, televiziune, reviste de specialitate, etc.) pentru înlăturarea risipei și a pierderilor de apă.

Măsurile și procedeele menționate presupun un efort material considerabil din partea societății.

Legislația din domeniu și activitatea organelor tehnice de specialitate poate fi eficientă și să-și atingă scopul numai în măsura în care fiecare membru al societății este sensibilizat la problemele apei și devine factor activ în evitarea pierderilor și risipei de apă.

8. PACHET DE PROGRAME ORDINATOARE

8.1 Considerații preliminare

Calculatorul electronic, instrument de calcul cu randament foarte ridicat a pătruns în numeroase domenii dintre cele mai diferite ale activității umane, aceasta concretizându-se, nu de puține ori, prin modificarea structurală a unor metodologii și chiar concepții de calcul.

Dezvoltarea continuă a tehnicilor de calcul electronic materializată prin noi generații de calculatoare cât și prin limbaje de programare de nivel tot mai înalt, precum și interacțiunea unor discipline moderne ca analiza numerică, calculul operațional și ingineria programării au condus la progrese de seamă și în domeniul cercetării și proiectării optimale a instalațiilor de alimentare cu apă. Pe această linie se înscrie și prezentul capitol, destinat descrierii unui pachet de 13 programe ordinatoare, elaborate de autor pe baza algoritmilor și modelelor de calcul expuse în capitolele 4, 5 și 6, în limbajul de programare *FORTRAN 77*, care pot fi rulate pe mai multe calculatoare, cu unele modificări neesențiale, dacă ordinatoarele respective dispun de compilatorul asociat limbajului respectiv. Ideea de bază care a stat la concepția programelor de calcul a fost aceea de a se constitui într-un instrument de lucru în activitatea de cercetare, proiectare și didactică în domeniul alimentărilor cu apă, urmărindu-se principalele deziderate:

- realizarea programelor astfel încât pe baza unui volum de informație minim, să permită prelucrarea de către calculator a tuturor operațiilor de calcul și decizie cu mare volum de muncă, ce apar în procesul de analiză sau de proiectare a sistemelor de distribuție a apei;

- adaptarea sau reformularea unor metode și procedee de calcul clasice, pentru a permite o modelare cât mai fidelă a proceselor hidraulice reale, ce au loc în rețelele de distribuție cu o topologie complexă, precum și conceperea unor modele matematice noi, performante pentru calculul rețelelor cu consum redus de energie, în rezolvarea cărora se utilizează diferite tehnici de optimizare pentru găsirea soluției optime din punct de vedere tehnic și economico-energetic;

- realizarea de programe cât mai generale și versatile, care să permită rezolvarea unei varietăți de probleme concrete ce apar în practică, putând fi utilizate pentru o gamă largă a gradului de complexitate a rețelelor și multiple criterii de optimizare;

- implementarea pachetului de programe pe microcalculatoare de tip *IBM-PC*, utilizate tot mai mult la noi în țară.

Topologia unei rețele de conducte este descrisă complet și univoc cu ajutorul matricei de incidență și a matricei ciclurilor, construite pentru graful asociat acesteea și având elementele definite de relațiile (4.59), (4.60), ce se rețin în memoria calculatorului conform metodologiei descrise la pct. 4.3.2.

Transmiterea informațiilor cu privire la caracteristicile geometrice ale sistemului de distribuție necesită o transformare a rețelei înelare într-una virtual ramificată și un mod specific de numerotare a nodurilor și tronsoanelor acesteea, astfel încât nodul final al unui tronson se ia identic numărului de ordine al său. Se începe cu 1 la un nod terminal, iar apoi dându-se la fiecare ramificație un număr nodului și tronsonului respectiv amonte, numai după ce au fost epuizate toate căile alimentate din ramificația considerată. Astfel fiecare tronson are un număr de ordine și este definit de un nod inițial și un nod final. Transformarea unei rețele inelare într-o rețea virtual ramificată se realizează cu una din metodele prezentate la pct. 5.3.4.1 și are drept scop alegerea cu ușurință a sistemului de inele teoretice independente și determinarea repartiției inițiale a debitelor de tranzit pe artere prin calcul automat. Acestea se calculează recursiv în ipoteza consumului egal repartizat la noduri, începând cu nodurile extreme ale rețelei ramificate de bază, iar pentru

tronsoanele virtual suprimate din sistemul inelar se consideră nule inițial, urmînd să fie corectate folosind proceduri de echilibrare sau de optimizare descrise la pct. 5.4.2.5, 5.4.2.6, 5.5.3.2. Pentru o variantă de extindere de rețea este obligatorie renumerotarea conductelor întregii rețele. Ca urmare aceeași conductă din rețeaua existentă va avea numere diferite în diverse variante de realizare a extinderii.

Programele elaborate rezolvă probleme de analiză și proiectare pentru rețele cu configurație maximală de 300 tronsoane, 230 noduri și 80 inele, putînd fi extinse, cu mici modificări, chiar pentru dimensiuni mai mari a acestora.

Introducerea datelor de intrare este adaptată opțional regimului de lucru cu fișiere sau de la tastatură, iar rezultatele furnizate de program se extrag fie numai pe ecran, fie pe ecran și la imprimantă. Introducerea datelor de la tastatură este recomandată în cazul în care nu sînt multe date de intrare (rețele de dimensiuni mici). Un avantaj al citirii din fișier îl constituie posibilitatea modificării comode a unor date de intrare, cu un editor de texte, pentru a urmări influența anumitor parametri asupra rezultatelor.

Fișierele de date utilizate în programele elaborate sînt sistematizate și centralizate în tabelul 8.1, iar pentru documentare referitoare la fiecare program s-a creat cîte un fișier *README.doc*.

Tabelul 8.1

Fișierele de date utilizate în programele elaborate

Nr. crt.	Nume fișier	Date conținute	Programul
0	1	2	3
1	<i>DIASTAN.dat</i>	lista diametrelor comerciale	REOPDERA, DIOPREDA, OPNELIRA, OPLIRA, ANOREC
2	<i>DATGENn.dat</i>	date generale (param. econommico-energ.)	ACIRECS, ACIREC, ACIREV, ANOREC, ANOREV, REOPDERA, DIOPREDA, OPLIRA, OPNELIRA
3	<i>DEBALI(M)n.dat</i>	debitele de alimentare pe zone de consum	Idem
4	<i>LUNPAR(T)n.dat</i>	lungimile parțiale pe zone de consum	Idem
5	<i>CARTRO(N)n.dat</i>	caracteristicile tronsoanelor	Idem
6	<i>DEBCOG(E)n.dat</i>	caracteristicile nodurilor	ACIRECS, ACIREC, ACIREV, ANOREC, ANOREV, DIOPREDA, OPNELIRA, OPLIRA
7	<i>MATRIN(E)n.dat</i>	matricea inelelor	ACIRECS, ACIREC, ACIREV, REOPDERA, DIOPREDA, OPNELIRA, OPLIRA
8	<i>MATARBn.dat</i>	matricea arborilor principali	Idem
9	<i>COPISU(R)n.dat</i>	cotele piezom. în punctele de alimentare	ACIRECS, ACIREC, ACIREV, DIOPREDA, OPLIRA
10	<i>NOBLIGN.dat</i>	nodurile obligate și cotele piezom. corespunz.	ANOREC, ANOREV, OPNELIRA
11	<i>COPIEZn.dat</i>	cotele piezometrice nodale	ANOREC, ANOREV
12	<i>VALXF.dat</i>	perechile de valori X-F ce descriu curba	APROGE
13	<i>DIAM.dat</i>	lista diametrelor luate în studiu	PARELF
14	<i>TRONSOB.dat</i>	tronsoanele obligate	ANOREC
15	<i>TROREHID.dat</i>	tronsoanele cu rezistențe hidr. cunoscute	ANOREC
16	<i>MATGRAF.dat</i>	matricea valorilor muchiilor grafului rețelei	OTREDIRA
17	<i>DEBCON.dat</i>	debitele concentrate în noduri	REOPDERA
18	<i>GAMA.dat</i>	valorile de studiu pentru exponentul γ	REOPDERA
19	<i>DEBTRANZ.dat</i>	debitele de tranzit pe tronsoane	REOPDERA
20	<i>LUNTRON.dat</i>	lung. trons. rețelelor din ansambluri de clădiri	DIOPREDA
21	<i>DEBAD.dat</i>	debitele adiționale tronsoanelor	DIOPREDA
22	<i>MATRAS.dat</i>	matricea traseelor rețelelor ramificate	DIOPREDA
23	<i>DIADEB.dat</i>	matricea diametrelor preliminare	OPNELIRA
24	<i>VITECON.dat</i>	matricea vitezelor economice	OPLIRA
25	<i>DATIN.dat</i>	date de intrare	AMPORIN

Performanțele programelor de calcul și valabilitatea considerațiilor teoretice pe baza cărora s-au elaborat au fost testate și validate prin aplicații numerice comparative cu procedee și modele uzuale sau existente în literatura de specialitate.

8.2 Programul APROGE pentru aproximarea geometrică a unei funcții prin metoda celor mai mici pătrate

Acest program conține 127 linii sursă și are la bază relațiile (5.5) și (5.6) de determinare a coeficientului b și a exponentului α ai funcției binomiale de interpolare cu forma (5.1).

Ca date de intrare se introduc numărul perechilor de valori $X-F$ ce descriu funcția ce se aproximează, coeficientul a determinat prin exptapolare grafică și perechile de valori $X-F$, iar programul furnizează valoarea coeficientului b și a exponentului α .

Cu ajutorul programului APROGE s-au calculat parametrii a , b , α ai costului specific de investiție și ai energiei specifice înglobate pentru conductele rețelelor de distribuție a apei, confecționate din diverse materiale.

8.3 Programul PARELF pentru calculul variației parametrilor hidraulici λ_* , β ai relației funcționale generale a conductelor, în domeniul turbulenței tranzitorii

Acesta este un program simplu cu 156 linii sursă, conceput pe baza relațiilor (5.15), (5.19), (5.20) ce conține o subrutină care efectuează calculul coeficientului de rezistență hidraulică liniară pentru o conductă de diametru dat, în domeniul turbulenței tranzitorii.

Se introduc ca date de intrare: date generale (numărul diametrelor considerate, temperatura apei, rugozitatea absolută inițială, numărul anilor de exploatare a conductelor, viteza de creștere a rugozității) și lista diametrelor luate în studiu.

Se obțin prin program valorile exponentului β al debitului din relația funcțională (5.21) și coeficientul λ_* de rezistență hidraulică al conductelor cu diametrele considerate.

Programul PARELF s-a utilizat la calculul variației parametrilor λ_* , β funcție de viteza de creștere a rugozității pentru conducte din diferite materiale cu durate de exploatare diferite și la temperaturi ale apei diverse.

8.4 Programele ACIRECS și ACIREC pentru analiza ciclică a rețelelor inelare în formulare clasică standard și perfecționată

8.4.1 Domeniul de aplicabilitate

Programele ordinatoare ACIRECS și ACIREC sînt aplicabile rețelelor inelare, ramificate sau mixte alimentate prin pompare sau gravitațional de la una ori mai multe surse și pot conține pompe integrate de un anumit tip pe artere.

Ambele programe realizează determinarea circulației debitelor și a distribuției presiunilor în rețele complexe de distribuție a apei, primul utilizând pentru rezolvarea ecuațiilor de inel procedeul clasic Lobacev, adaptat în mod corespunzător pentru astfel de rețele, iar cel de-al doilea folosind o variantă îmbunătățită a acestui procedeu.

Aceste programe permit analiza rețelelor inelare atât în situația în care se determină cotele piezometrice în nodurile de alimentare astfel încât să se asigure presiunile de serviciu în nodurile de consum cât și atunci când aceste cote sînt cunoscute.

Programul ACIRECS oferă posibilitatea de a calcula și valoarea criteriilor economice și energetice la dimensionarea după metoda clasică a vitezelor medii economice.

8.4.2 Structura programelor

Programele ACIRECS și ACIREC conțin câte un program principal și 6 subprograme de tip subrutină, totalizînd câte 754 și respectiv 641 linii sursă.

Ca date de intrare se introduc: date generale (NZ, NC, NCR, NI, NNI, NS, Δ , β , λ_* , A, B, C, NO, ZO, ITERM, EPS); parametrii economico-energetici (opțional și numai în cadrul programului ACIRECS); lungimile tronsoanelor pe zone de consum; debitele de alimentare pe zone de consum; caracteristicile nodurilor (debit concentrat, cotă geodezică); caracteristicile tronsoanelor (nod inițial, nod final, număr de pompe integrate, diametru); matricea inelelor; matricea arborilor principali cuprinși între punctele de alimentare și nodul obligat; cotele piezometrice în punctele de alimentare, cărora atunci când sînt necunoscute li se atribuie inițial valoarea 0.

Ca principale rezultate se obțin: caracteristicile hidraulice după echilibrare (Q, S, h, V); cotele piezometrice nodale și presiunile disponibile în noduri; consumul specific de energie pentru distribuția apei; valoarea criteriilor economico-energetice (opțional și numai la utilizarea programului ACIRECS).

În figura 8.1 se prezintă schema logică simplificată a programului ordinator ACIREC.

8.5 Programul ACIREV pentru analiza ciclică a rețelelor inelare în formulare variațională

8.5.1 Domeniul de aplicabilitate

Programul ACIREV are același domeniu de aplicabilitate ca și programele ACIREC și ACIRECS, realizînd determinarea circulației debitelor și a distribuției presiunilor în rețele complexe de distribuție a apei prin minimizarea directă a consumului energetic al rețelei cu ajutorul algoritmului specializat al gradientilor conjugați.

8.5.2 Structura programului

Programul de calcul ACIREV este un program modular compus dintr-o unitate principală și 8 proceduri de tip subrutină, totalizînd 896 linii sursă și avînd schema logică simplificată din figura 8.2. Datele de intrare și rezultatele furnizate de program sînt aceleași ca în cazul programului ACIREC.

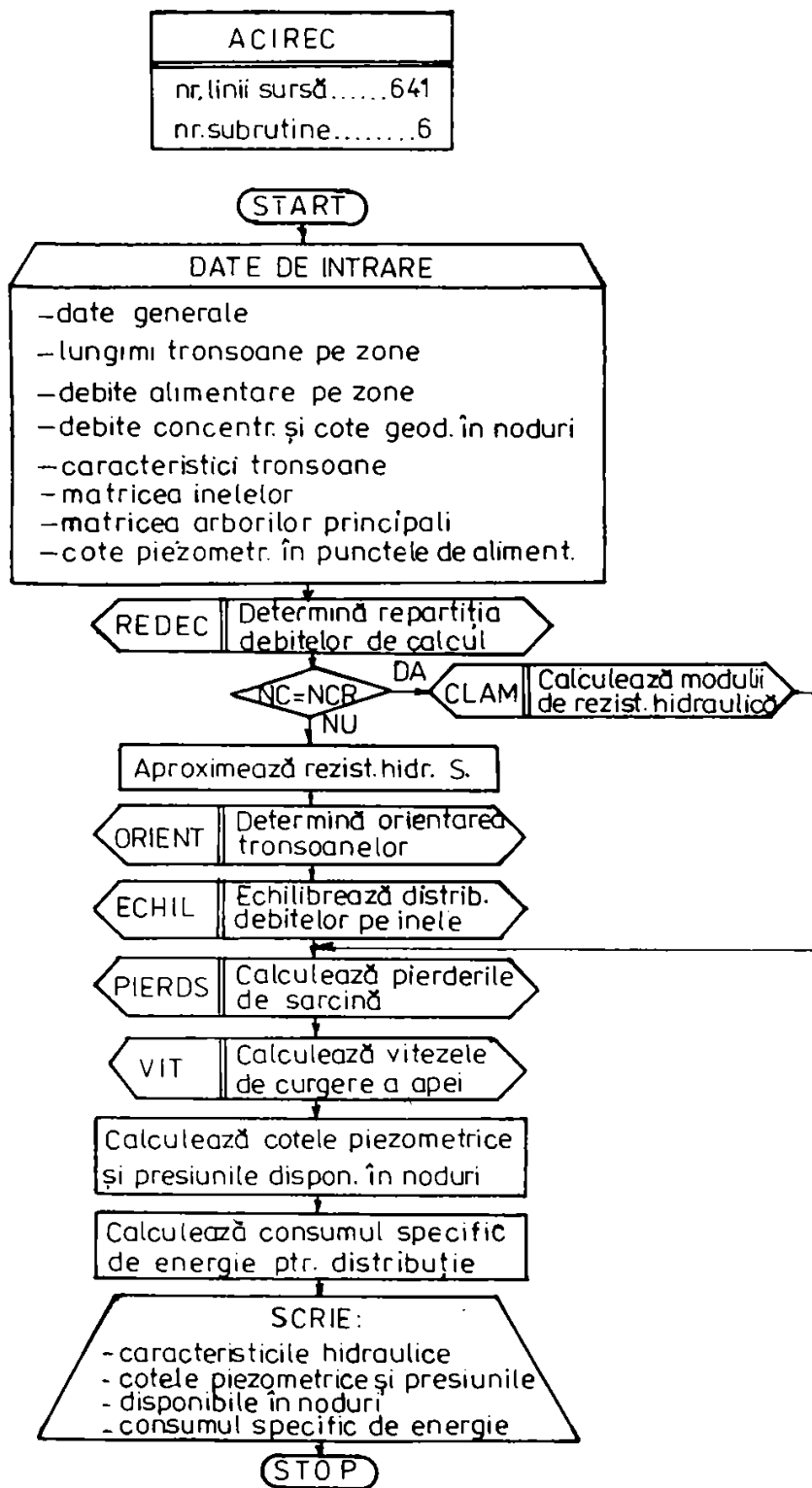


Fig. 8.1 Schema logică simplificată a programului ACIREC

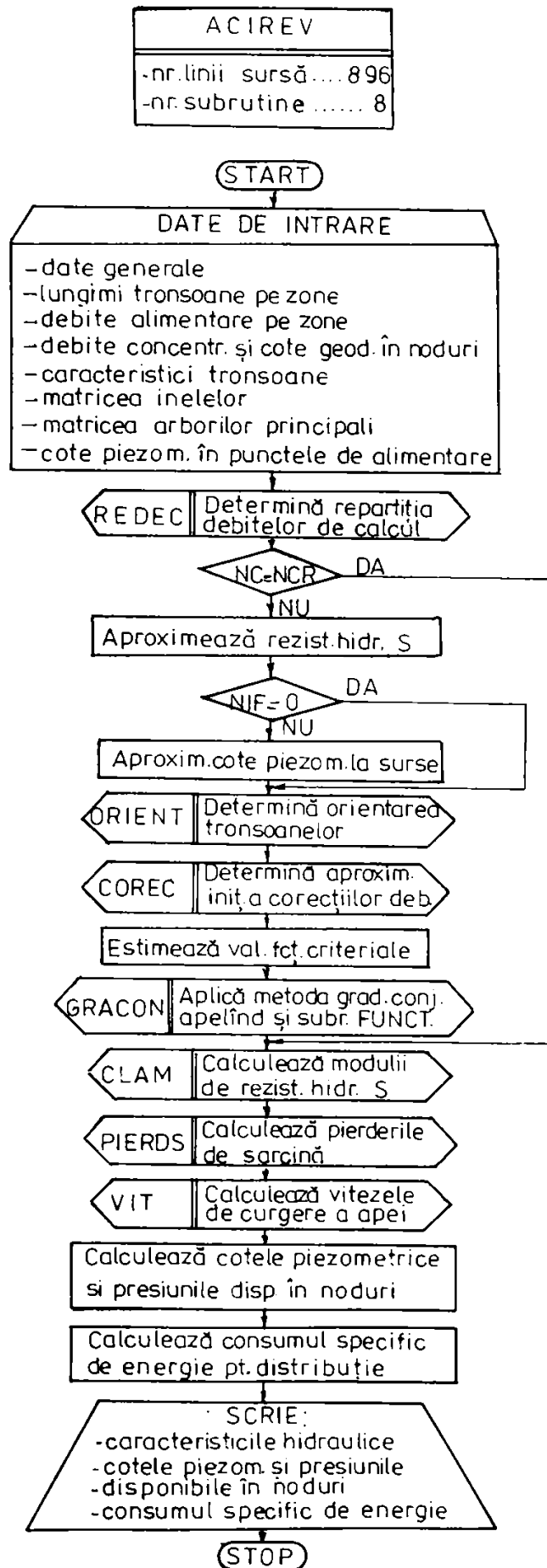


Fig. 8.2 Schema logică simplificată a programului ACIREV

8.6 Programul ANOREC pentru analiza nodală a rețelelor inelare în formulare clasică

8.6.1 Domeniul de aplicabilitate

Programul ordinator ANOREC este aplicabil rețelelor inelare alimentate prin pompare sau gravitațional de la una sau mai multe surse și pot conține pompe integrate de un anumit tip pe artere. Realizează determinarea circulației debitelor și distribuției presiunilor sau a identificării rezistențelor hidraulice ale conductelor, utilizând pentru rezolvarea ecuațiilor nodale algoritmul numeric Newton-Raphson.

Acest program permite analiza rețelelor inelare complexe atât în situația în care se determină cotele piezometrice în nodurile de alimentare astfel încât să se asigure presiunile de serviciu în nodurile de consum cât și atunci când aceste cote sînt cunoscute.

8.6.2 Structura programului

Programul modular ANOREC conține un program principal și 6 subrutine, totalizînd 795 linii sursă și avînd schema logică simplificată din figura 8.3.

Identificatorul KOD i se atribuie valoarea 0 sau NI-NS după cum apar ca necunoscute cotele piezometrice sau rezistențele hidraulice, reprezentînd în al doilea caz numărul de tronsoane cu rezistența hidraulică necesar a fi cunoscută.

Se introduc ca date de intrare: date generale (NZ, NC, NCR, NS, β , λ_* , ω , EPS, θ , ITERM, KOD); lungimile conductelor pe zone de consum; debitele de alimentare pe zone de consum; caracteristicile nodurilor (debit concentrat, cotă geodezică); caracteristicile tronsoanelor (nod inițial, nod final, număr de pompe integrate, diametru); nodurile obligate și cotele piezometrice ale acestora sau cotele piezometrice nodale; tronsoanele obligate (cînd apar ca necunoscute rezistențele hidraulice); tronsoanele cu rezistențe hidraulice cunoscute (la identificarea rezistențelor necunoscute).

Ca date de ieșire se obțin: debitele în noduri; cotele piezometrice nodale și presiunile disponibile în noduri; caracteristicile hidraulice ale conductelor (Q , S , h , V); consumul specific de energie pentru distribuția apei în rețea.

Subrutinele TELIB și TABSIS determină respectiv vectorul termenilor liberi și matricea coeficienților sistemului liniar, iar subrutina SISLIN efectuează rezolvarea acestui sistem. Subrutina REORD realizează reordonarea necunoscutelor sistemului neliniar.

8.7 Programul ANOREV pentru analiza nodală a rețelelor inelare în formulare variațională

8.7.1 Domeniul de aplicabilitate

Programul ordinator ANOREV are același domeniu de aplicabilitate ca programul ANOREC, realizînd determinarea distribuției presiunilor și a circulației debitelor în rețele complexe de distribuție a apei prin minimizarea directă a funcției criteriale cu ajutorul algoritmului specializat al gradientilor conjugați.

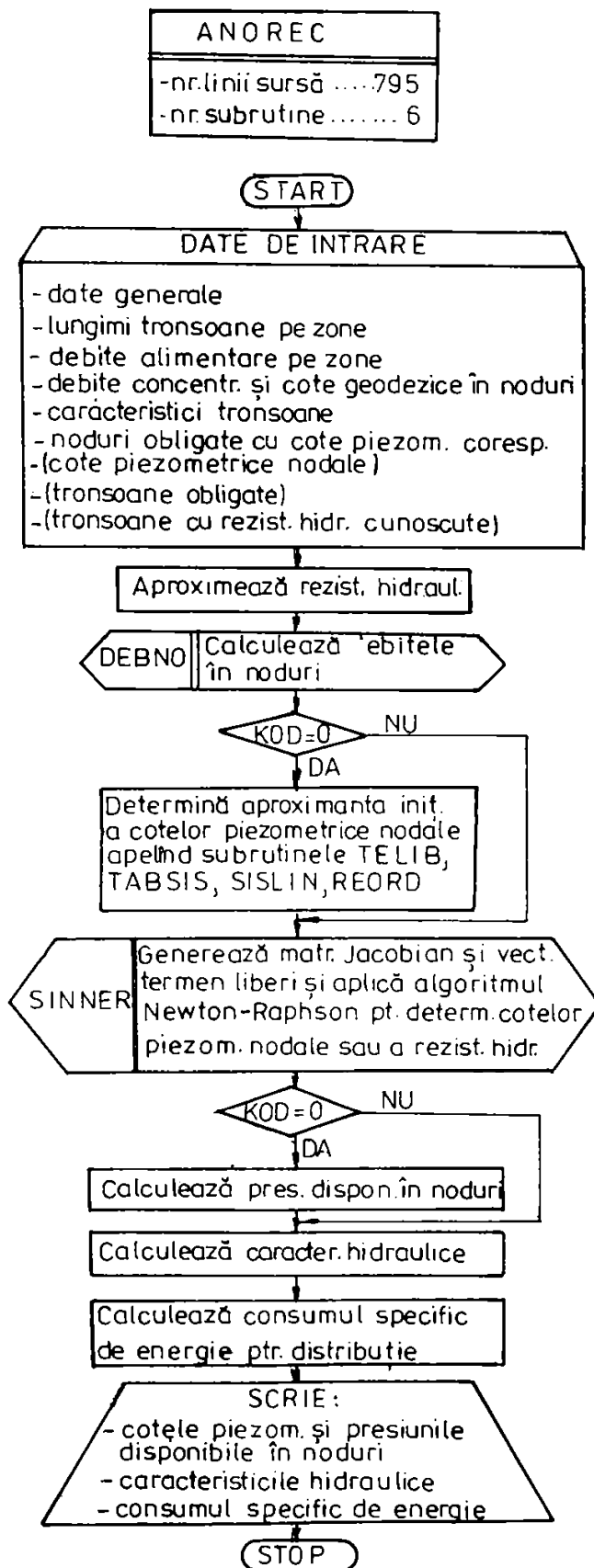


Fig. 8.3 Schema logică simplificată a programului ANOREC

8.7.2 Structura programului

Programul ANOREV este un program modular compus dintr-o unitate principală și 4 proceduri de tip subrutină, totalizând 657 linii sursă și având schema logică generală din figura 8.4

Ca date de intrare se introduc: date generale (NZ, NC, NCR, NS, Δ , β , λ_* , LIM, EPS); lungimile conductelor pe zone de consum; debitele de alimentare pe zone de consum; caracteristicile nodurilor (debit concentrat, cotă geodezică); caracteristicile tronsoanelor (nod inițial, nod final, presiune activă a stației de pompare integrate, diametru); nodurile obligate și cotele piezometrice ale acestora; aproximanta inițială a cotelor piezometrice nodale.

Rezultatele furnizate de program sînt aceleași ca în cazul programului ANOREC.

În subrutina FUNCT se calculează valoarea funcției de minimizat și componentele gradientilor acesteea.

8.8 Programul OTREDIRA pentru optimizarea traseului rețelelor ramificate

Programul ordinator OTREDIRA cu schema logică din figura 8.5, avînd 360 linii sursă, este conceput pe baza algoritmului descris la pct. 5.5.2 și permite determinarea tuturor soluțiilor optime pentru traseul unei rețele ramificate de conducte, după un anumit criteriu de optimizare adoptat.

Datele de intrare sînt ordinul grafului atașat rețelei și matricea criterială asociată acestui graf, iar ca rezultate se obțin numărul arborilor minimi, matricea M a vîrfurilor muchiilor optime și a valorilor corespunzătoare a acestora și matricea A pe a cărei coloane se găsesc indicii liniilor matricei ordonate M, ce conțin deci muchiile unuia din arborii optimi.

8.9 Programul REOPDERA pentru studiul optimizării repartiției debitelor de tranzit în rețelele inelare

8.9.1 Domeniul de aplicabilitate

La conceperea programului ordinator REOPDERA s-au avut în vedere ipotezele presupuse de modelul matematic aferent, pe baza cărora el este aplicabil:

- rețele de distribuție de tip inelar, ramificat sau mixt, alimentate prin pompare de la o singură sursă;
- sistemul nu are stații intermediare de pompare;
- regim permanent de curgere a apei în domeniul turbulenței tranzitorii sau pătratic;
- consum de debit concentrat, egal sau nu, repartizat la noduri;
- valori nominale ale diametrelor corespunzătoare celor standardizate sau celor rezultate direct din calcul;
- conducta dintre două noduri consecutive de rețea are sau va fi dimensionată cu același diametru pe toată lungimea ei.

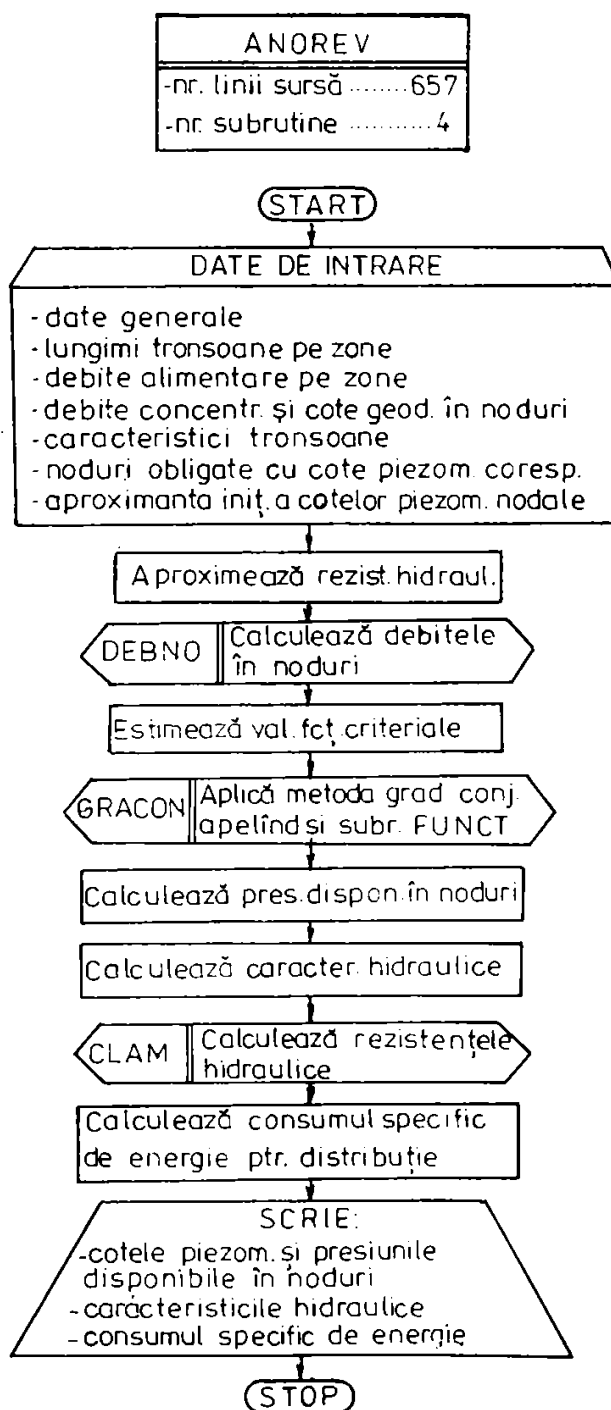


Fig. 8.4 Schema logică simplificată a programului ANOREV

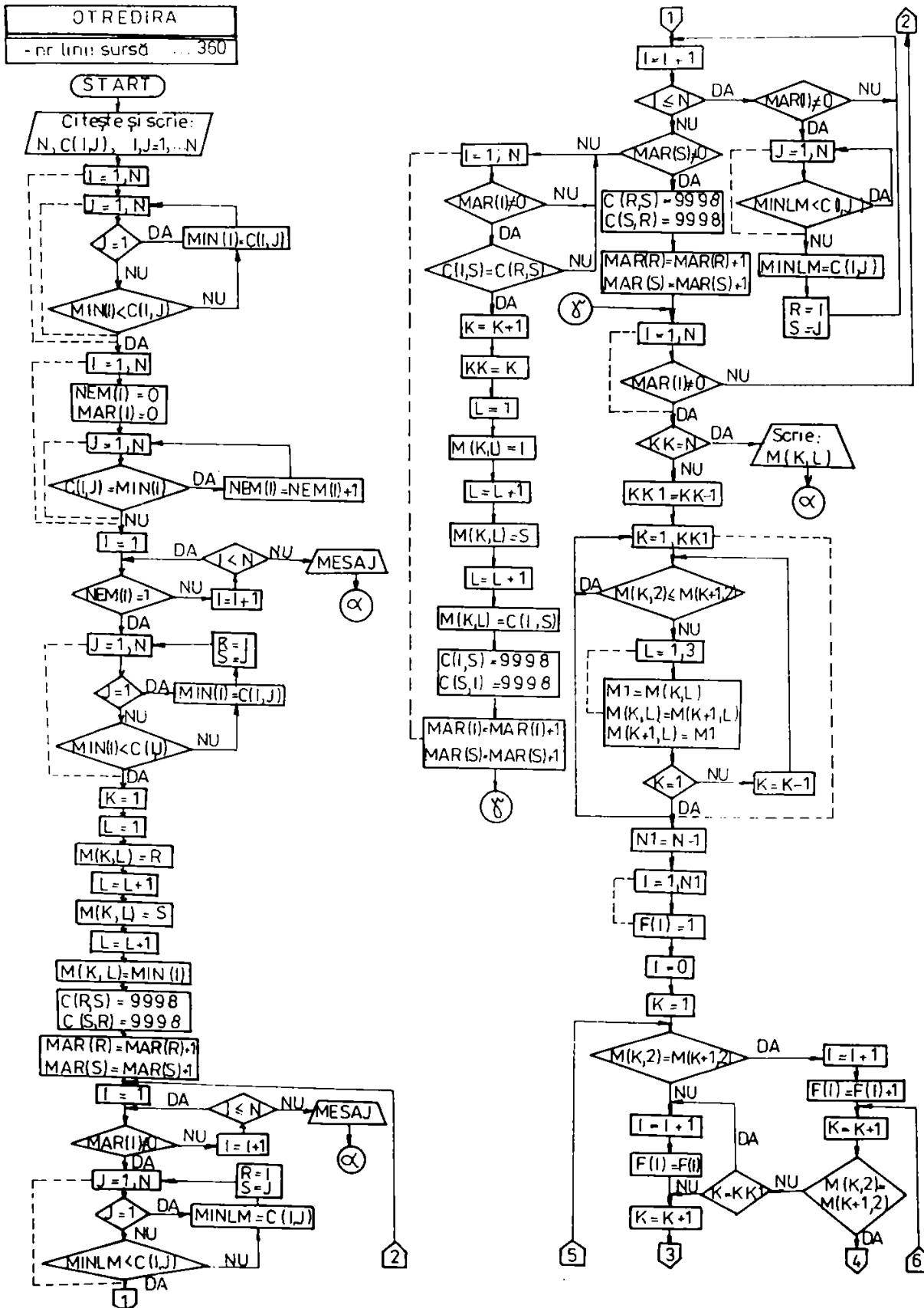


Fig. 8.5 Schema logică a programului OTREDIRA

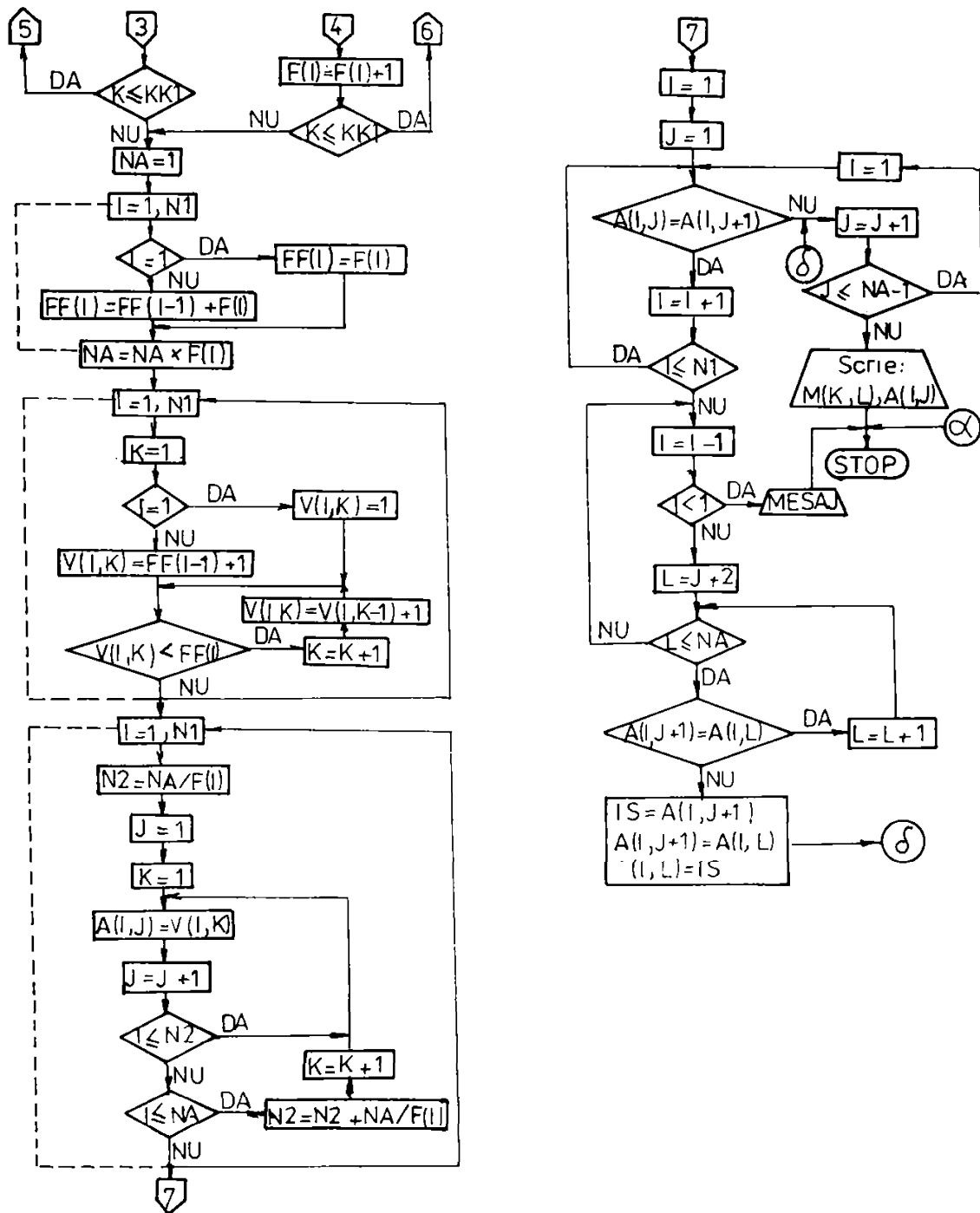


Fig. 8.5 (continuare)

Programul este destinat în principal studiului optimizării debitelor de tranzit în rețelele inelare, dar poate fi utilizat și pentru dimensionarea optimă a acestora sau a extinderilor de rețele, în situația în care trebuie determinată înălțimea de pompare.

8.9.2 Structura programului

Programul de calcul cu schema logică simplificată din figura 8.6, este compus dintr-o unitate principală care apelează 9 subrutine și totalizează 890 linii sursă.

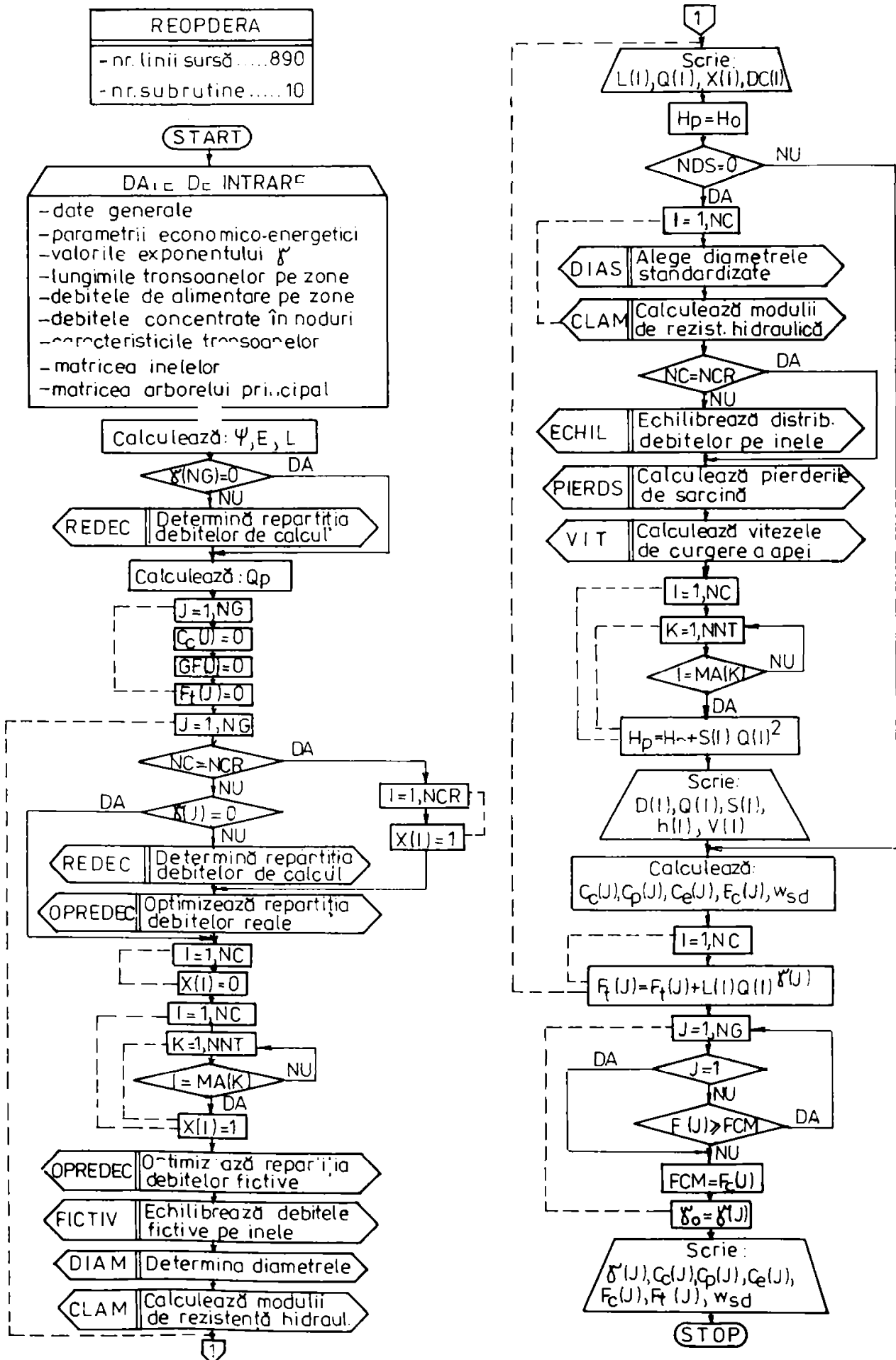


Fig. 8.6 Schema logică simplificată a programului REOPDERA

Ca date de intrare se introduc date generale (NZ, NC, NCR, NI, NNI, NNT, NDS, NG, Δ , λ_* , β , WMIN, H0, ITERM, EPS); parametrii economico-energetici (a, b, α , p_1 , p_2 , T_r , η , f, σ , τ , Φ , e, T_c); valorile exponentului γ , lungimile tronsoanelor pe zone de consum; debitele de alimentare pe zone de consum; debitele concentrate în noduri; caracteristicile tronsoanelor (nod inițial, nod final, coeficient de penalizare pentru diametru impus); matricea inelelor; matricea arborelui principal cuprins între punctul de alimentare și rezervorul de capăt sau nodul obligat.

Identificatorului NDS i se atribuie valoarea 0 atunci cînd nu se dorește alegerea diametrelor standardizate, iar identificatorului γ i se atribuie valoarea 0 dacă se cunoaște repartiția debitelor de tranzit.

Ca date de ieșire se obțin: debitele în noduri; debitele de tranzit optimizate și diametrele optime pe tronsoane; înălțimea de pompare; caracteristicile hidraulice (Q, S, h, V) după echilibrarea rețelei; valoarea criteriilor de optimizare a diametrelor și a debitelor; consumul specific de energie pentru distribuția apei; exponentul optim γ_0 .

8.10 Programul DIOPREDA pentru dimensionarea rețelelor din centre populate și ansambluri de clădiri folosind modelul de optimizare Moșnin

8.10.1 Domeniul de aplicabilitate

Limitele de aplicabilitate a acestui program complex sînt definite de următoarele ipoteze fundamentale:

- rețele de distribuție de tip inelar, ramificat sau mixt, alimentate prin pompare de la una sau mai multe surse;
- sistemul poate avea pompe integrate de un anumit tip pe artere;
- regim permanent de curgere a apei în domeniul turbulent tranzitoriu sau pătratic;
- consum de debit concentrat egal repartizat la noduri;
- valori nominale ale diametrelor corespunzătoare celor standardizate;
- tronsoanele de conducte au sau vor fi dimensionate cu același diametru pe toată lungimea lor;
- posibilitatea considerării a mai multor regimuri de funcționare.

Programul poate fi aplicat atît pentru dimensionarea optimală, după MOM, a unei noi rețele, cît și pentru extinderea optimă a unei rețele existente, în situația în care trebuie determinată înălțimea (înălțimile) de pompare, precum și atunci cînd aceasta (acestea) este cunoscută.

În urma calculelor de dimensionare propriuzisă se efectuează, pentru fiecare regim de funcționare, verificarea vitezei apei în conducte, precum și a presiunii disponibile în fiecare nod de consum. Pentru rețelele din ansambluri de clădiri, disponibilul excedentar de presiune se preia cu ajutorul diaframelor de reglare.

8.10.2 Structura programului

Programul DIOPREDA cu schema logică generală din figura 8.7 conține 1650 linii sursă și operează secvențial apelînd 21 subrutine.

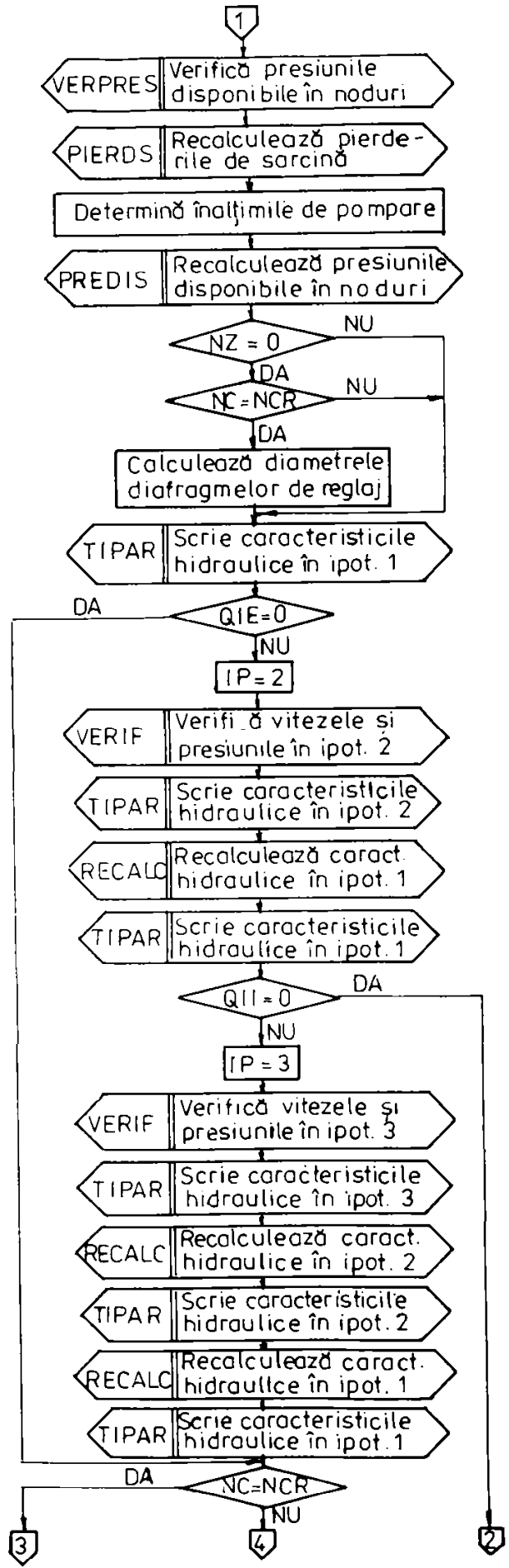
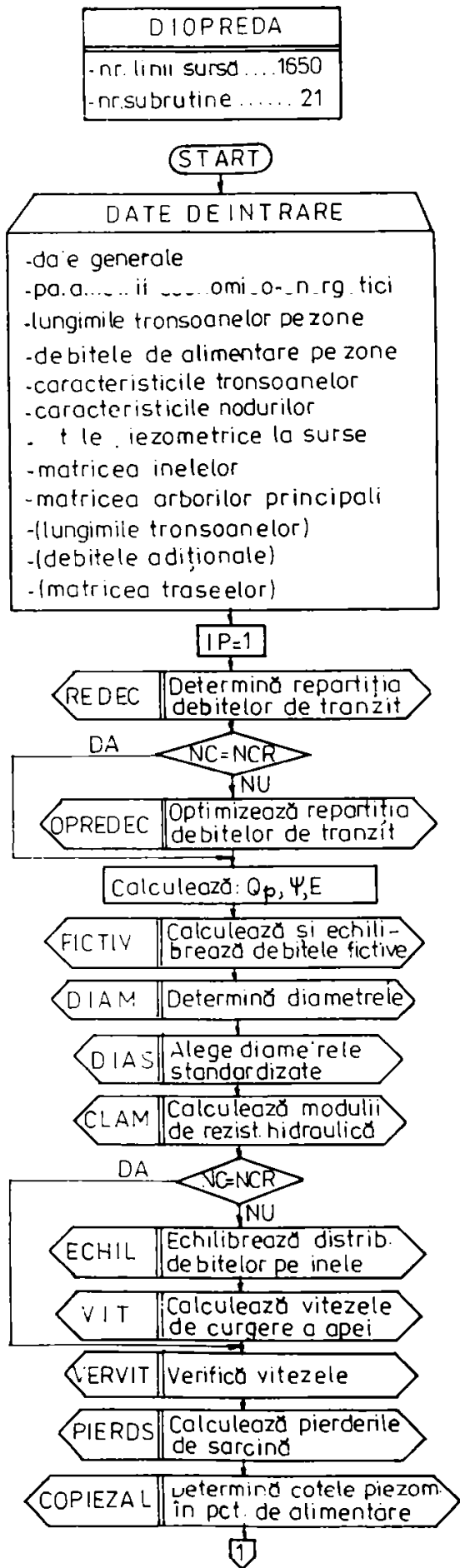


Fig. 8.7 Schema logică simplificată a programului DIOPREDA

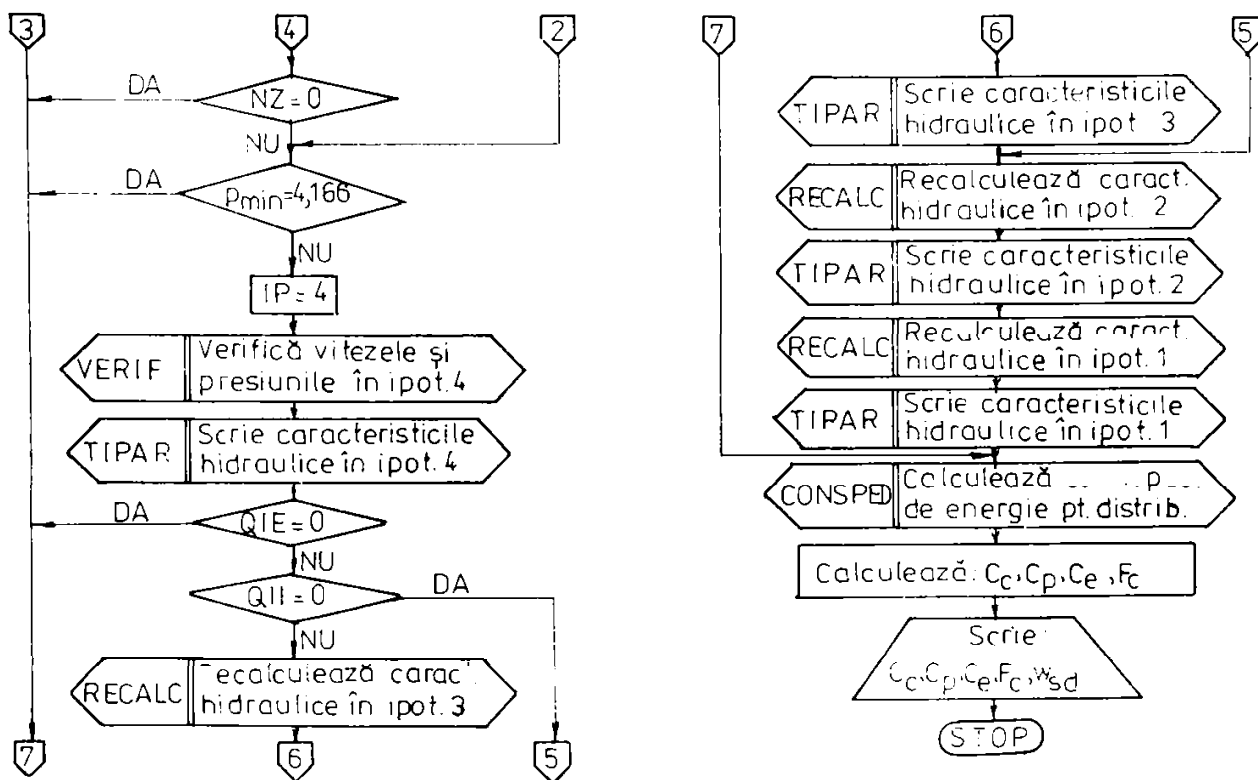


Fig. 8.7 (continuare)

Pentru o rețea dintr-un ansamblu de clădiri, indentificatorului NZ i se atribuie valoarea 0, iar atunci când cotele piezometrice în punctele de alimentare nu se cunosc acestora li se atribuie inițial de asemenea valoarea 0.

Datele de intrare sînt: date generale (NZ, NC, NCR, NI, NNI, NS, NNT, NDS, NO, QII, QIE, A0, CO, PMIN, Δ , β , λ_* , A, B, C, VMIN, VMAX1, VMAX2, NT, ZIPP, EPS); parametrii economico-energetici (a, b, α , p_1 , p_2 , T_r , η , f, σ , τ , Φ , e, T_c); lungimile parțiale ale tronsoanelor și debitele de alimentare pe zone de consum, pentru rețelele centrelor populate sau lungimile și debitele adiționale tronsoanelor care alimentează direct clădiri sau grupuri de clădiri de același fel, determinate pe baza sumei de echivalenți, pentru rețelele ansamblurilor de clădiri; caracteristicile tronsoanelor (nod inițial, nod final, număr de pompe integrate, diametru impus); caracteristicile nodurilor (cotă geodezică, presiuni necesare și debite concentrate pentru fiecare ipoteză de funcționare); cotele piezometrice în punctele de alimentare, cînd acestea se aleg apriori; matricea inelelor și matricea arborilor principali (pentru rețele inelare); matricea traseelor (pentru rețele ramificate).

Echilibrarea debitelor reale în subrutina ECHIL se efectuează pe baza metodei ciclurilor în formulare clasică perfecționată.

Subrutinele VERIF și RECALC sînt destinate verificării și respectiv recalculării caracteristicilor hidraulice pentru regimurile de funcționare considerate, iar în subrutinele REPDIS și PREDIAF se efectuează recalcularea presiunilor disponibile la consumatorii rețelelor ramificate din ansambluri de clădiri fără și respectiv cu diafragmare.

Programul furnizează: debitul pompat în rețea; înălțimile de pompare la stațiile de pompare exterioare; debitele de calcul optimizate; diametrele optime; caracteristicile hidraulice (Q, S, h, V) ale conductelor și presiunile disponibile în noduri pentru fiecare ipoteză de funcționare;

diametrele diafragmelor de reglaj; valoarea criteriilor de optimizare; consumul specific de energie pentru distribuția apei în rețea.

8.11 Programul OPNELIRA pentru dimensionarea rețelelor inelare folosind modelul de optimizare neliniară

8.11.1 Domeniul de aplicabilitate

La elaborarea programului ordinator OPNELIRA s-au avut în vedere ipotezele presupuse de modelul matematic aferent, pe baza cărora el este aplicabil:

- rețele de distribuție de tip inelar alimentate prin pompare de la una sau mai multe surse;
- sistemul poate avea pompe integrate de un anumit tip pe artere;
- regim permanent de curgere a apei în domeniul turbulenței tranzitorii sau pătratic;
- consum de debit concentrat egal repartizat la noduri;
- valori nominale ale diametrelor corespunzătoare celor standardizate;
- tronsoanele de conducte se dimensionează cu același diametru pe toată lungimea lor.

Programul poate fi aplicat la dimensionarea optimală, după MON, a unei rețele noi, în situația în care trebuie determinate cotele piezometrice în punctele de alimentare.

8.11.2 Structura programului

Programul OPNELIRA avînd schema logică simplificată din figura 8.8, conține o unitate principală și 9 subprograme de tip subrutină ce totalizează 1027 linii sursă.

Ca date de intrare se introduc: date generale (NZ, NC, NCR, NI, NNI, NS, NNT, NDS, Δ , β , λ_* , A, B, C, WMIN, ITERM, EPS); parametrii economico-energetici (a, b, α , p_1 , p_2 , T_r , η , f, σ , τ , Φ , e, T_c); lungimile tronsoanelor pe zone de consum; debitele de alimentare pe zone de consum; caracteristicile nodurilor (debit concentrat, cotă geodezică); caracteristicile tronsoanelor (nod inițial, nod final, număr de pompe integrate); matricea inelelor; matricea arborilor principali; cotele piezometrice în nodurile obligate.

Principalele rezultate furnizate de program sînt: debitele de tranzit optimizate; diametrele optime; caracteristicile hidraulice (Q, S, h, V); cotele piezometrice și presiunile disponibile în noduri; valoarea criteriilor de optimizare; energia specifică pentru distribuția apei în rețea.

8.12 Programul OPLIRA pentru dimensionarea rețelelor de distribuție folosind modelul de optimizare liniară

8.12.1 Domeniul de aplicabilitate

Limitele de aplicabilitate sînt definite de ipotezele luate în considerare la elaborare:

- rețele de distribuție de tip inelar, ramificat sau mixt alimentate prin pompare sau gravitațional de la una sau mai multe surse;

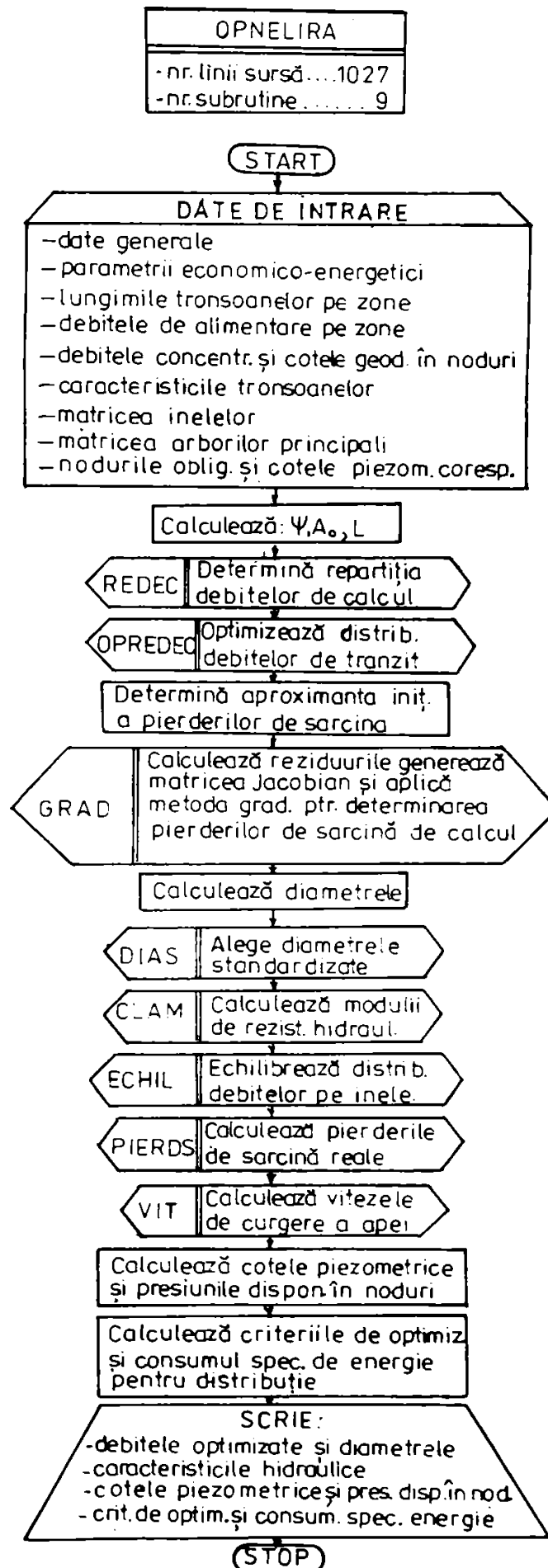


Fig. 8.8 Schema logică simplificată a programului OPNELIRA

- sistemul poate conține pompe integrate de un anumit tip pe artere;
- regim permanent de curgere a apei în domeniul turbulenței tranzitorii sau pătratic;
- valori nominale ale diametrelor corespunzătoare celor standardizate;
- conducta dintre două noduri consecutive de rețea se dimensionează cu unul sau mai multe diametre pe toată lungimea ei, putînd avea și diametru cunoscut (impus).
- cotele piezometrice în nodurile de alimentare se determină prin procesul de optimizare sau sînt cunoscute apriori;
- posibilitatea considerării a mai multor ipoteze de funcționare.

Programul poate fi aplicat atît pentru dimensionarea optimală, după MOL, a unei rețele noi cît și pentru extinderea optimă a unei rețele existente. Permite determinarea unei repartii optime a diametrelor comerciale pe fiecare tronson al rețelei și a lungimii sectoarelor de tronsoane corespunzătoare acestor diametre și oferă posibilitatea luării în considerare a consumului de debit continuu uniform distribuit, stabilindu-se mai precis pierderile de energie în sistem și parametrii stațiilor de pompare și asigurîndu-se în special o mai uniformă distribuție a energiei de pompare.

8.12.2 Structura programului

Programul OPLIRA cu schema logică simplificată din figura 8.9, oprează secvențial apelînd 17 subrutine și conține 1799 linii sursă.

Se introduc ca date de intrare: date generale (NZ, NC, NCR, NI, NNI, NIPP, NNT, NDS, Δ , β , λ_* , NO, ZO1, ZO2, A, B, C, WMIN, QII, QIE, A0, CO, PMIN, α_0); parametrii economico-energetici (a, b, α , p_1 , p_2 , T_r , η , f, σ , τ , Φ , e, T_c , E_{min} , E_{max}); lungimile tronsoanelor pe zone de consum; debitele de alimentare pe zone de consum; caracteristicile nodurilor (cotă geodezică, debit concentrat pentru fiecare ipoteză de funcționare); caracteristicile tronsoanelor (nod inițial, nod final, număr de pompe integrate, diametru impus); matricea inelelor; matricea arborilor principali; cotele piezometrice în nodurile de alimentare dacă sînt cunoscute apriori.

În subrutina PIERDS se determină pierderile de sarcină specifice, parametrul consumului Θ_i și parametrul caracteristic fiecărui sector de tronson $\Omega_{k,i}$, iar în subrutina PIERVIT se calculează pierderile de presiune și vitezele apei în conducte.

Subrutina SUMOMEJ determină suma produselor $J_{k,i} \cdot \Omega_{k,i}$ pentru cele NT tronsoane ale unui traseu, iar subrutina PREDIS efectuează calculul presiunilor disponibile în noduri.

Subrutina OBIECTIV generează coeficienții necunoscutelor din funcția obiectiv, iar subrutinele RESTRF, RESTRH, RESRC generează respectiv restricțiile de tip funcțional, hidraulic și constructiv.

Subrutina SIMPLEX conține algoritmul Simplex primal de rezolvare a programului liniar, care face apel la subrutina COLPIV pentru determinarea liniei pivot și la subrutina PIVOT pentru efectuarea operației de pivotare în cadrul fiecărei iterații.

Cu ajutorul subrutinei TIPAR de scriu rezultatele pentru fiecare ipoteză de funcționare.

Ca principale date de ieșire se obțin: debitul total introdus în rețea; debitele de tranzit optimizate; repartii optimă a diametrelor standardizate pe fiecare tronson și lungimile corespunzătoare ale sectoarelor de tronsoane astfel formate; caracteristicile hidraulice (Q, h, V) ale sectoarelor de tronsoane; cotele piezometrice și presiunile disponibile în noduri pentru fiecare ipoteză de funcționare; valoarea funcțiilor de optimizare; consumul specific de energie pentru distribuția apei în rețea.

Programul de calcul permite determinarea unei repartii optime a diametrelor comerciale pe fiecare tronson al rețelei și a lungimii sectoarelor de tronsoane corespunzătoare acestor diametre și oferă posibilitatea luării în considerare a consumului de debit continuu uniform distribuit, stabilindu-se mai precis pierderile de energie în sistem și parametrii stațiilor de pompare și asigurîndu-se o mai uniformă distribuție a energiei de pompare.

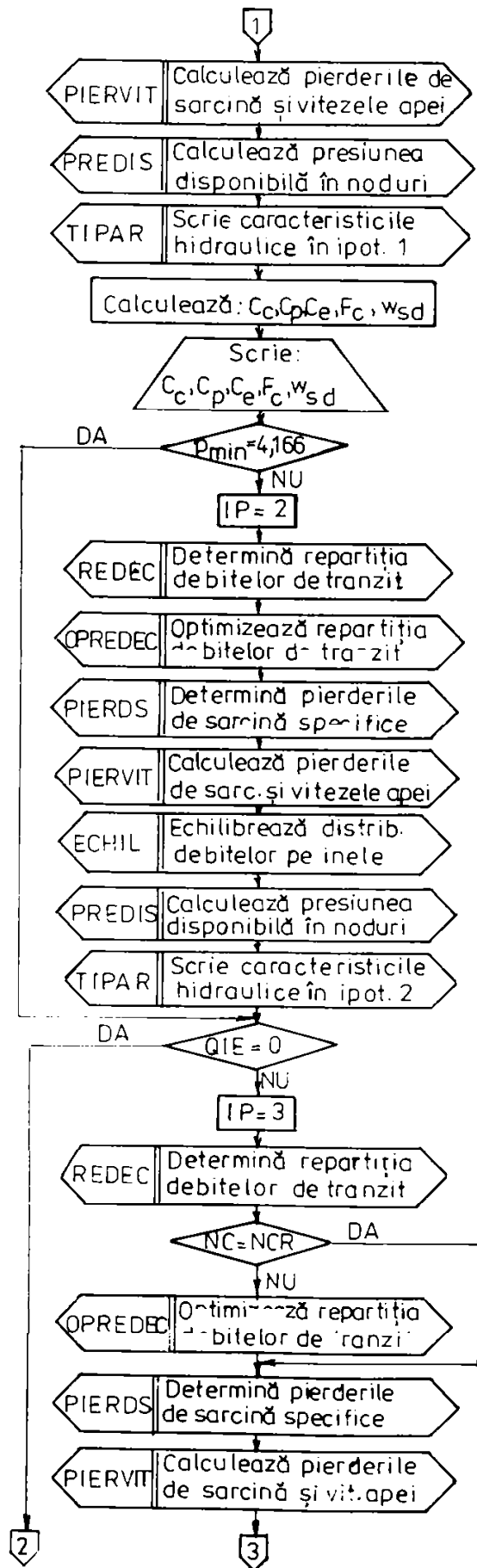
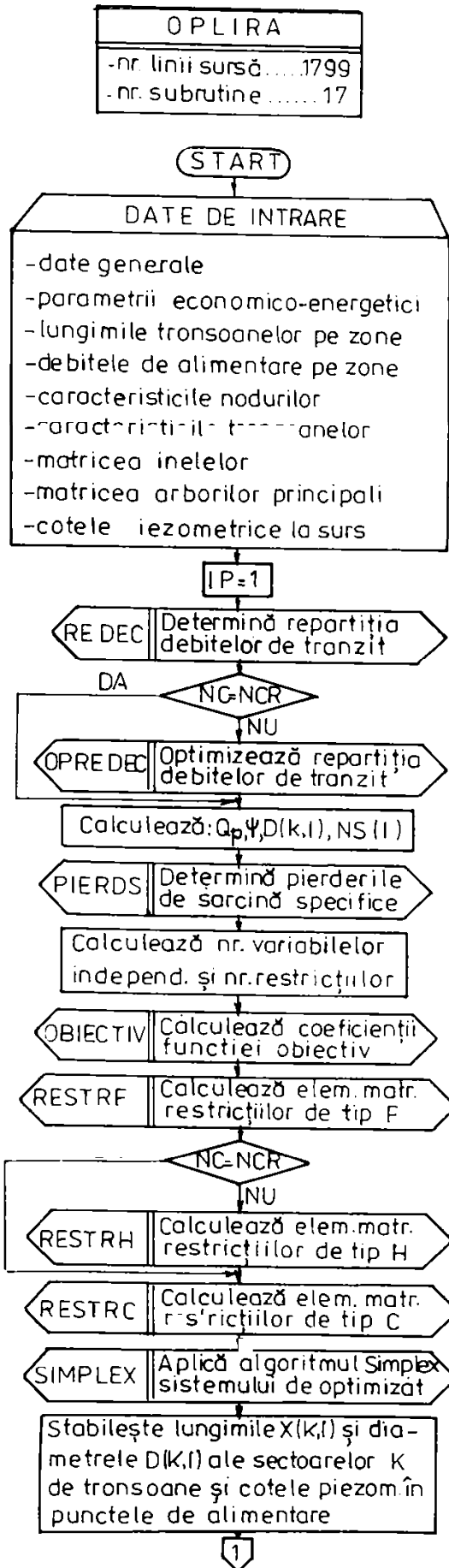


Fig. 8.9 Schema logică simplificată a programului OPLIRA

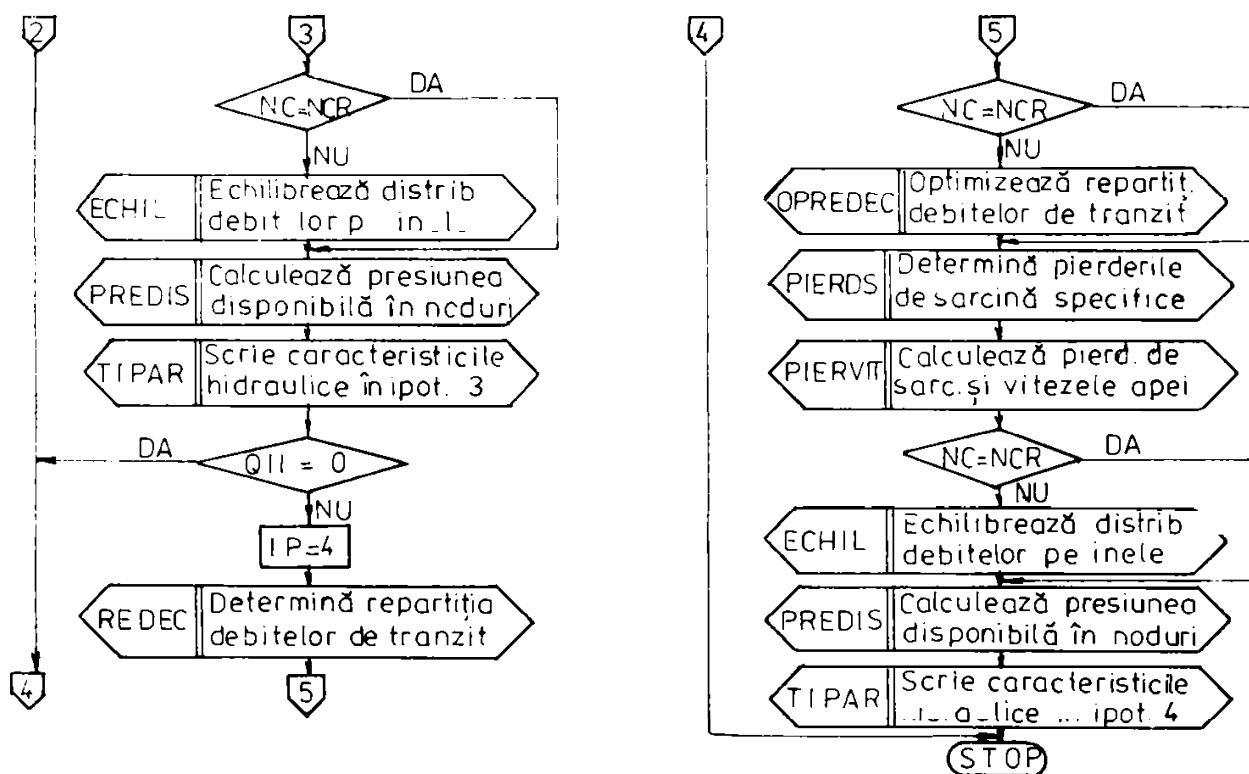


Fig. 8.9 (continuare)

8.13 Programul AMPORIN pentru determinarea amplasamentului optim al unui rezervor cuplat cu o stație de pompare interioară pe o magistrală de distribuție

Programul de calcul, cu schema logică din figura 8.10, conține 259 linii sursă și este conceput pe baza modelului matematic descris la pct. 6.4.2.1 pentru determinarea amplasamentului optim al unui rezervor subteran integrat pe o magistrală de distribuție a apei prin minimizarea sumei puterilor stațiilor de pompare exterioară și interioară a sistemului folosind algoritmul de căutare cu pas accelerat cuplat cu interpolare pătratică.

Ca date de intrare se introduc: lungimea magistralei; debitul și rezistența hidraulică specifică în secțiunea terminală a magistralei; parametrii a , b , α din relațiile de variație a debitului și rezistenței hidraulice specifice; randamentul instalațiilor de pompare; exponentul debitului în relația funcțională generală; abscisa punctului de start; coeficientul de reducere a pasului; valoarea critică de convergență.

Programul furnizează abscisa optimă de amplasare a rezervorului, raportată la extremitatea aval a magistralei și puterea totală minimă a stațiilor de pompare.

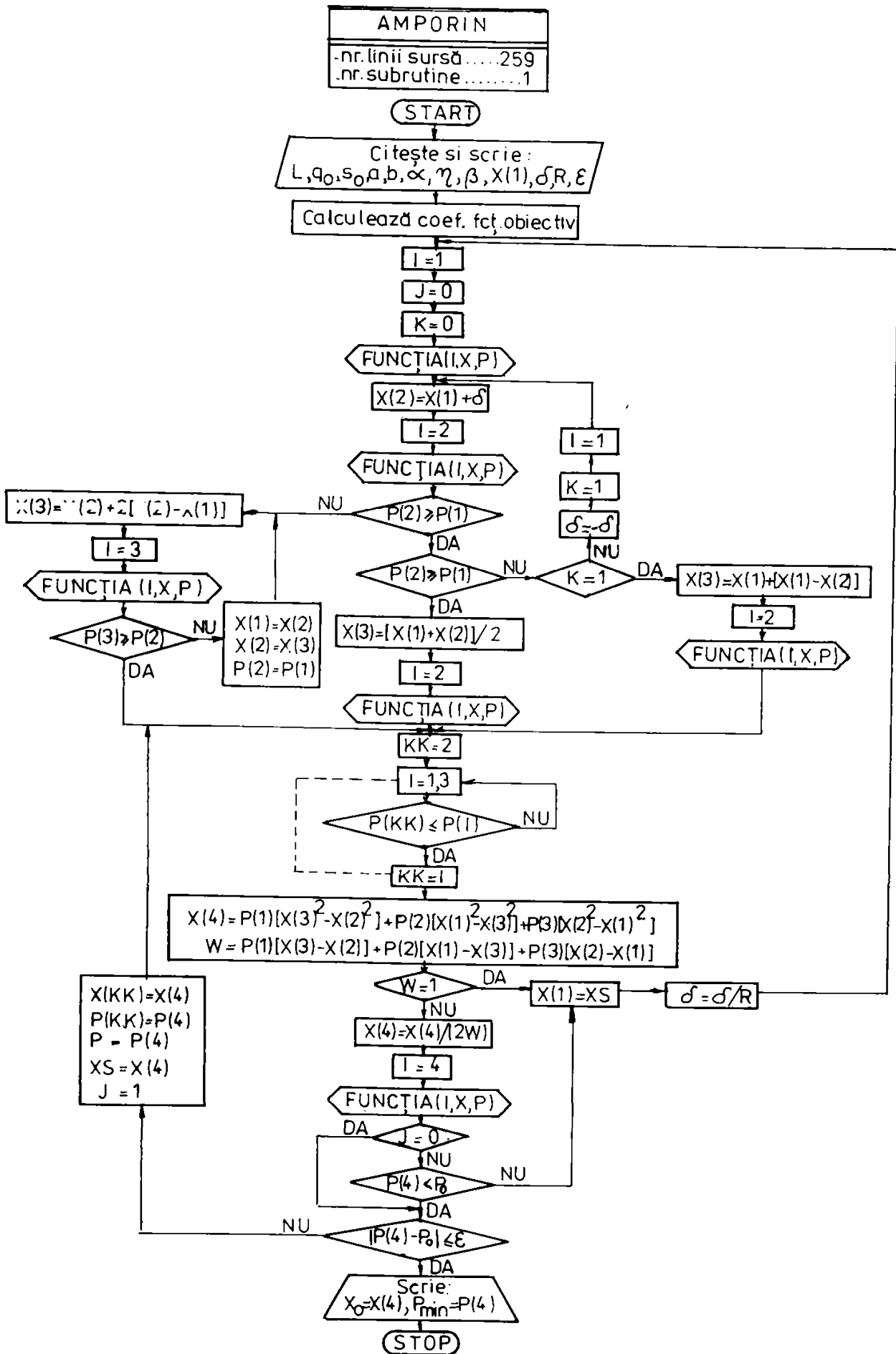


Fig 8 10 Schema logică a programului AMPORIN

9. CONCLUZII FINALE ȘI CONTRIBUȚII PERSONALE

Având în vedere că sfârșitul fiecărui capitol conține o serie de concluzii parțiale, în cele ce urmează se rezumă principalele concluzii generale privitoare la problemele și aspectele abordate în lucrarea de doctorat.

Din structura lucrării se desprind patru părți principale ale acesteea. În *prima parte* se efectuează un studiu teoretic pe baza datelor din literatura de specialitate privind evoluția concepției și realizării sistemelor centralizate de alimentare cu apă în țară și se prezintă unele direcții generale și soluții de reducere a consumului de energie electrică în aceste sisteme.

Partea a doua este destinată prezentării generale a unor metode ale calculului operațional de mare actualitate, aplicabile la optimizarea sistemelor de distribuție a apei, și în special perfecționării calculului rețelelor de distribuție. În finalul acesteea se evidențiază aspecte hidraulice ale funcționării îndelungate a conductelor cu implicații asupra consumului energetic în sistem.

Partea a treia se ocupă cu optimizarea structurală și funcțională din punct de vedere energetic a sistemelor de distribuție a apei, cu analiza avariilor ce apar pe conducte, precum și cu evaluarea pierderilor și risipei de apă în rețelele exterioare și instalațiile interioare ale utilizatorilor.

Partea a patra cuprinde un pachet de programe ordinatoare elaborate pe baza algoritmilor și modelelor de calcul dezvoltate în partea a doua și a treia, precum și considerațiile finale împreună cu contribuțiile personale.

Dintre *direcțiile generale* care trebuie avute în vedere la conceperea unui sistem de alimentare cu apă în scopul asigurării reducerii consumului de energie electrică se remarcă:

- stabilirea cerințelor specifice cantitative și calitative;
- adoptarea schemei sistemului de alimentare cu apă;
- luarea de măsuri pentru reducerea consumului energetic al stațiilor de tratare a apelor de alimentare (folosirea unor materiale și reactivi de tratare diferiți de cei clasici; adoptarea unor tehnologii de tratare sau metode de exploatare adecvate);
- gospodărirea rațională a apei la utilizatori;
- optimizarea energetică a sistemului de distribuție, care a constituit de fapt obiectivul principal al lucrării de față.

În urma studiilor și cercetărilor întreprinse s-au desprins mai multe *procedee și soluții de economisire a energiei* într-un sistem de distribuție a apei:

- a) *diminuarea pierderilor de sarcină în conducte:*
 - asigurarea unei tratări corespunzătoare a apei;
 - curățarea și spălarea periodică a conductelor;
 - acoperirea interioară a tuburilor cu materiale de protecție puțin rugoase (mortar de ciment), în cazuri justificate.
- b) *optimizarea funcționării pompelor în sistemele de distribuție:*
 - reglajul prin vana de refulare reprezintă o optimizare simplă și eficientă, dar numai pentru porțiunea din caracteristica pompei cuprinsă sub punctul optim corespunzător energiei specifice de pompare minime;

- reglajul prin modificarea turației este cel mai avantajos, conducând la economie de energie electrică de pînă la 30 %, impunîndu-se introducerea și generalizarea sistemului de automatizare la stațiile de pomparea apei în sistemele mari de distribuție.

c) *optimizarea structurală și funcțională a sistemului de distribuție*, cu respectarea unor principii de bază expuse la pct. 6.4.5, prin:

- folosirea rezervoarelor subterane zonale și a stațiilor de repompare interioare;
- integrarea stațiilor de repompare pe artere;
- amenajarea castelelor de apă;
- folosirea rezervoarelor subterane pneumatice mari;
- separarea rețelei de apă potabilă de rețeaua de apă industrială în marile centre industriale.

d) *optimizarea condițiilor energetice ale distribuției apei calde în sistemul de alimentare cu apă*:

- amenajarea instalației ansamblurilor de clădiri cu alimentare directă pentru etajele inferioare, utilizînd energia de presiune din sistemul centralizat;

- amplasarea în serie a unor stații de ridicare a presiunii cu recipiente hidropneumatice pentru alimentarea etajelor superioare.

e) *reducerea consumului de energie în instalațiile tehnico-sanitare din interiorul clădirilor de locuit*:

- raționalizarea consumurilor de apă prin revizuirea normelor specifice și diferențierea temperaturilor de livrare în raport cu natura folosinței, precum și prin contorizarea acestora la utilizatori;

- promovarea procedeele de preparare locală a apei calde de consum;

- perfecționarea armăturilor sanitare în scopul diminuării debitelor specifice și a pierderilor locale de sarcină.

f) *reducerea substanțială a pierderilor și risipei de apă*:

- prevenirea avariilor;

- măsuri tehnice (asigurarea distribuției continue a apei; înlocuirea conductelor cu durata de serviciu epuizată; instalarea pe arterele principale a unor vane electromagnetice; montarea corectă a dispozitivelor și utilajelor pentru reducerea efectului loviturilor hidraulice; introducerea debitmetriei la utilizatori);

- măsuri organizatorice (dezvoltarea unei industrii a apei; înființarea unor întreprinderi de construcții și instalații specializate; introducerea unui sistem de tarife diferențiale);

- măsuri educative (conștientizarea cetățenilor; folosirea mijloacelor de propagandă și influențarea opiniei publice);

g) *introducerea unui sistem de gestiune optimală a rețelei* prin care să se coordoneze automat principalele elemente din sistem;

h) *reducerea presiunii de distribuție a apei* (în aceeași ordine de importanță):

- separarea rețelei pe zone de presiune;
- folosirea de elemente potențiale interioare;
- aplicarea modelelor de calcul optimal propuse, la analiza și proiectarea rețelelor.

Modelele concepute pentru analiza rețelelor inelare cu configurație complexă, alimentate prin pompare sau gravitațional, oferă avantajul unui calcul operativ, cu o bună precizie tehnică, fiind programabile pe microsisteme de calcul automat.

Cele trei metode de analiză a rețelelor inelare (ciclică, nodală, de tronson) sînt echivalente teoretic, modelul matematic al tuturor constituindu-se pe baza ecuațiilor de conservare a debitelor în noduri și a energiei pe inele alături de relația funcțională pierdere de presiune-debit în elementele componente ale rețelei.

Metoda ciclurilor are avantajul că folosește cel mai mic număr de ecuații, egal cu numărul inelelor independente și este superioară metodei nodale în ceea ce privește convergența și stabilitatea numerică, însă se poate folosi, îndeosebi, pentru analiza rețelelor care utilizează ca necunoscute debitele pe tronsoane.

În cazul în care necunoscutele unei rețele inelare sînt cote piezometrice nodale, debite consumate în noduri sau rezistențe hidraulice ale conductelor, cum este cazul extinderilor sau reconsiderărilor de rețele este de preferat ca mijloc de analiză metoda nodală, datorită elasticității mai mari a acesteea.

Modelele de analiză ciclică și nodală concepute în formulare variațională sînt bazate pe tehnici de optimizare necondiționată și reduc efortul de programare și zona de memorie ocupată, putîndu-se aborda rețele de dimensiuni apreciabile.

Pentru proiectarea rețelelor cu consum redus de energie s-au elaborat unele modele matematice noi, performante, în rezolvarea cărora se utilizează diferite tehnici de optimizare pentru găsirea soluției optime din punct de vedere tehnic și energetic-economic, programabile pe micro sisteme automate. Acestea oferă posibilitatea dimensionării optimale a rețelelor complexe de alimentare cu apă folosind multiple criterii de optimizare (economice, energetice), iar calculele hidraulice se pot efectua considerînd curgerea apei în regim turbulent tranzitoriu sau pătratic, în diferite ipoteze de funcționare.

Utilizarea programelor elaborate în aplicațiile practice de analiză sau de proiectare a rețelelor de alimentare cu apă cu consum redus de energie, a dovedit eficiența lor deosebită (precizia sporită a calculelor, soluții în general, mai economice decît cele date de modelele tradiționale).

Elaborarea programelor ordinoare la un ridicat nivel de generalitate, precum și utilizarea unor modele de calcul complexe asigură perspectiva continuării cercetării unor probleme noi, sau a unor probleme deschise.

Analiza globală a nivelului rezolvărilor din modelele matematice pentru calculul rețelelor complexe de distribuție a apei, în comparație cu stadiul actual pe plan mondial, așa cum rezultă din literatura tehnică de specialitate, permite a se trage concluzia că acestea împreună cu programele corespunzătoare se găsesc la nivelul realizărilor similare cele mai avansate, unele dintre soluțiile adoptate reprezentînd chiar rezolvări ce nu au corespondent în alte țări.

În imensa cantitate de informații ce caracterizează evoluția tehnicii astăzi, în care viteza de apariție a informației se mărește continuu, este dificil a se vorbi de caracterul de noutate absolută al rezultatelor studiilor și cercetărilor în general, întrucît în fiecare moment poate apare ceva nou din punct de vedere tehnic. Cu toate acestea, în conformitate cu concepția care a stat la baza elaborării lucrării, *principalele contribuții* ale autorului se pot grupa în patru clase:

1) **contribuții la conceperea și realizarea sistemelor de alimentare cu apă:**

- efectuarea, pe baza a numeroase date din literatura de specialitate a unui studiu privind evoluția concepției și realizării sistemelor centralizate în țară;

- elaborarea unor programe de analiză și simulare numerică cu ajutorul unui sistem centralizat de urmărire pe calculator a regimului de debite și presiuni și a consumului de apă la utilizatorii tehnologici, ce au constituit obiectul a două inovații [190], [193];

- conceperea unor instalații cu un grad sporit de eficiență în tratarea apei, ce au constituit obiectul a două invenții [165], [166] și a unei inovații [187], realizate în colaborare;

- prezentarea unor direcții generale de care să se țină seama la conceperea sistemelor centralizate de alimentare cu apă în scopul reducerii consumurilor de energie electrică;

2) **contribuții la adaptarea și elaborarea unor metode și modele de calcul** care să permită analiza și proiectarea optimală a rețelelor de distribuție cu o topologie complexă, funcționînd în domeniul turbulenței tranzitorii:

- stabilirea parametrilor a , b , α ai costului specific de investiție, la nivelul anului 1990 și ai energiei specifice înglobate pentru conductele rețelelor de distribuție;

- calcularea coeficientului de rezistență λ , și a exponentului β din expresia (5.21) a relației funcționale pierdere de sarcină-debit pentru conducte confecționate din diferite materiale, funcționînd în regim tranzitoriu și la diverse temperaturi ale apei și întocmirea diagramelor de variație ale acestora;

- generalizarea relației funcționale pentru conducte cu consum continuu uniform distribuit;

- efectuarea unei sinteze documentare pe baza datelor din literatura de specialitate din țară și străinătate referitoare la metodele de analiză a rețelelor inelare, cu prezentarea unor aspecte de noutate din domeniu;

- adaptarea și perfecționarea modelelor de analiză ciclică și nodală, în formulare clasică, pentru stabilirea circulației debitelor și a stării de presiune în rețelele inelare complexe; explicitarea expresiei curbelor caracteristice prin interpolare parabolică pentru 12 tipuri de pompe centrifuge;

- formularea variațională a analizei ciclice și respectiv nodale a rețelelor inelare și elaborarea în acest sens a două modele de calcul optimal;

- conceperea unui algoritm pe baza teoriei grafurilor pentru optimizarea traseului rețelelor ramificate de conducte;

- prezentarea unor modele de calcul al repartiției optimizate a debitelor de tranzit în rețelele inelare și stabilirea unor valori optime pentru exponentul γ al funcției obiectiv de optimizare după criteriul lucrului mecanic de transport minim;

- stabilirea expresiei unei funcții obiectiv complexe de formă generală care dă posibilitatea ca prin opțiuni simple să se obțină câte o funcție criterială particulară și astfel, permițând luarea în considerare și a altor criterii de optimizare a diametrelor decât cel al costurilor, cum este consumul minim de energie ce își păstrează mai bine valabilitatea în timp și conduce la omogenizarea funcției criteriale;

- reformularea modelului Moșnin de optimizare a diametrelor pentru rețelele inelare alimentate din mai multe surse, funcționând prin pompare în domeniul turbulenței tranzitorii;

- elaborarea MON, aplicabil la dimensionarea rețelelor inelare noi, alimentate prin pompare de la una sau mai multe surse;

- elaborarea MOL, cu un grad sporit de generalitate și precizie, fiind aplicabil la dimensionarea rețelelor inelare, ramificate sau mixte, noi sau parțial extinse, alimentate fie prin pompare fie gravitațional de la una sau mai multe surse și oferind posibilitatea luării în considerare a consumului de debit continuu uniform distribuit la rețelele de serviciu;

3) contribuții la optimizarea structurală și funcțională din punct de vedere energetic a sistemelor de distribuție și la studiul pierderilor și risipei de apă în acestea:

- analiza și propunerea a două soluții pentru optimizarea funcțională a pompelor în sistemele de distribuție; prezentarea în acest scop a unui sistem de automatizare cu echipament electronic;

- propunerea, pe baza unor analize comparative, a unei noi concepții de dezvoltare structurală a sistemelor de distribuție a apei prin separarea rețelelor pe zone de presiune și folosirea elementelor potențiale interioare, care conduce la optimizarea energetică a acestora în condiții de eficiență economică;

- elaborarea unui model de calcul al amplasamentului optim al unui rezervor interior pe o magistrală de alimentare cu apă;

- formularea principiilor fundamentale care stau la baza dezvoltării structurii optime a sistemelor de distribuție;

- propunerea de soluții pentru îmbunătățirea condițiilor energetice ale distribuției apei calde menajere în sistemele de alimentare cu apă și pentru reducerea consumului de energie în instalațiile interioare din clădiri;

- analiza principalelor avarii care apar la conductele rețelelor de distribuție din centre populate, sistematizarea și clasificarea acestora în funcție de natura materialului de confecționare a conductelor și elaborarea unui model analitic pentru determinarea momentului optim de înlocuire a conductelor;

- evaluarea pierderilor și risipei de apă în instalațiile interioare ale utilizatorilor și propunerea de măsuri pentru reducerea substanțială a acestora, conceperea în acest scop a unei instalații de contorizare și urmărire centralizată a consumurilor de apă, care a constituit obiectul unei inovații [183].

4) *contribuții la elaborarea unui pachet de 13 programe de calcul automat*, prezentate în lucrare, care totalizează peste 10000 de linii sursă.

Valorificarea cercetărilor întreprinse pe problematica abordată s-a făcut prin publicarea a peste 40 articole și studii științifice, multe din ele având conținutul unor capitole și subcapitole dezvoltate în lucrare, prin obținerea a 2 brevete de invenție și 7 certificate de inovație, prin aplicarea unor rezultate în cadrul a 2 contracte de cercetare, iar în continuare se pun la dispoziția proiectării și cercetării concluziile și programele ordinatoare elaborate în lucrare.

Elaboratorul apreciază că în următorii ani optimizarea sistemelor de distribuție a apei în centre populate în scopul micșorării consumului energetic și al pierderilor de apă va primi o importanță crescândă, putându-se valorifica în acest sens rezultatele teoretice și practice ale tezei.

BIBLIOGRAFIE

1. **ABRAMOV, N.N.** *Teoria i metodica rasceta sistem podaci i raspredelenia vodí*, Stroizdat, Moskva, 1972.
2. **ABRAMOV, N.N.** ș.a. *Rascet vodoprovodnîi setei*, Stroizdat, Moskva, 1976.
3. **AGENT, R. SCHUBERT, J.** *Simplificări și sistematizări în calculul rețelelor de distribuție inelare*, Hidrotehnica, nr.1, 1957.
4. **ALTSCHUL, A.D.** *Ghidravlicheskie poteri na trenie v truboprovodah*, Gosenergoizdat, Moskva, 1964.
5. **ANDREI, R. RĂSTURNOIU, C.** *Matrici rare și aplicațiile lor*, Editura Facla, Timișoara, 1980.
6. **ANTON, V. POPOVICIU, M. FITERO, I.** *Hidraulică și mașini hidraulice*, Editura didactică și pedagogică, București, 1978.
7. **ARSENIE, M. ARSENIE, D.** *Considerații privind calculul hidraulic al conductelor cu debit uniform distribuit*, Simpozionul "Probleme actuale în gospodărirea apelor", vol I, Timișoara, 1982.
8. **ARSENIE, D.** *O formulă pentru calculul coeficientului de rezistență Darcy-Weisbach de utilizat la proiectarea conductelor sub presiune*, Hidrotehnica, nr.12, 1983.
9. **ARTINA, S.** *The use of mathematical programming techniques in designing hydraulic networkes*, Meccanica, nr.9, 1973.
10. **ASTRAHANȚEV, D. ASTRAHANȚEV, V.** *Optimizarea multicriterială a rețelelor de distribuție a apei din centre populate*, Simpozionul "Aplicații ale informaticii în proiectarea și cercetarea de construcții", Sibiu, 1986.
11. **BABITT, E.H.** *Water supply engineering*, Mc. Graw Hill, New York, 1962.
12. **BADEA, G.H.** ș.a. *Considerații economice asupra echipării stațiilor de hidrofor*, Conferința XI-a de instalații, Sinaia, 1977.
13. **BAUMANN, H.D.** *Comment reduire le bruit engendre par des vanes reglage*, Mesures, nr.10, 1969.
14. **BÂRSAN, E. IGNAT, C.** *Dimensionarea unei rețele de alimentare cu apă după criteriul costului minim de construcție*, Simpozionul "Probleme actuale în gospodărirea apelor", vol.II, Timișoara, 1982.
15. **BÂRSAN, E. IGNAT, C.** *Analiza rețelelor de distribuție a apei folosind "modelul conținut"*, Hidrotehnica, nr.8, 1986.
16. **BÂRSAN, E. IGNAT, C.** *Water supply network analysis using the nodal equations*, Buletinul I.P. Iași, 1987.
17. **BÂRSAN, E. IGNAT, C.** *Analiza tehnico-economică a rețelelor de distribuție a apei*, Hidrotehnica, nr.6, 1987.
18. **BERGE, C.** *Teoria grafurilor și aplicațiile ei*, Editura tehnică, București, 1969.
19. **BERNARDIN, F.** *Water quality criteria*, OMS, Copenhaga, 1975.
20. **BERTSEKAS, D.P.** *Constrained optimization and Lagrange multiplier methods*, Academic Press, New York, 1982.
21. **BEVERIDGE, G. SCHECHETER, R.** *Optimization: Theory and practice*, Mc. Graw Hill, New York, 1970.
22. **BIENIEK, K. GRONING, N.** *Die regelung der forderleistung von Kreiselpumper nuttels elektronischer drehzahlverstellung*, Technische Berichte, nr.6, 1987.
23. **BRATER, E.F. KING, W.H.** *Handbook of hydraulics*, Mc Graw Hill, New York, 1976.
24. **BREMOND, R. VUICHARD, R.** *Parametres de la qualite des eaux*, Environnement, Paris, 1973.
25. **BRIGAU, G. GARRICOU, M.** *La plomberie les equipements sanitaires*, Paris, 1973.
26. **BUCUR, C.** *Metode numerice*, Editura Facla, Timișoara, 1983.
27. **BURGHIU, V.** ș.a. *Stații de pompare fixe-îndrumător de proiectare*, Litografia I.A. București, 1978.

28. **BURGHIU,V. SANTĂU,I. ALEXANDRESCU,C.** *Instalații de pompare*, Editura didactică și pedagogică, București, 1982.
29. **BURTON,T.** *Pratique de la mesure et du controle dans l'industrie*, Dunod, Paris, 1965.
30. **CACEU,M.** *Dimensionarea optimă a rețelelor ramificate cu conducte sub presiune*, Hidrotehnica, nr.6, 1977.
31. **CANNON,M.D. CULUUM,C.D. POLAK,E.** *Theory of optimal control and mathematical programming*, Mc Graw Hill, New York, 1970.
32. **CARLIER,M.** *Hidraulique generale et appliquee*, Eyrolles, Paris, 1980.
33. **CAZACU,M. JUCAN,T.** *Programarea în limbaj FORTRAN*, Editura Junimea, Iași, 1978.
34. **CEMBROWICZ,R.G. HARRINGTON,J.J.** *Capital-cost minimization of hydraulic network*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr.HY3, 1973.
35. **CENEDESE,A. MELE,P.** *Optimal design of water distribution networks*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY2, 1978.
36. **CHANDRASHEKAR,M.** *Extended set of component in pipe networks*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr.HY1, 1980.
37. **CHIRIAC,V. IVANCEA,G. ROJANSCHI,V.** *Specificul lacurilor de acumulare ca sursă de alimentare cu apă. Tehnologii și scheme de tratare*, Hidrotehnica, nr.4, 1977.
38. **CIOC,D. ș.a.** *Hidraulică-culegere de probleme*, Editura didactică și pedagogică, București, 1973.
39. **CIOC,D.** *Funcționarea pompelor în rețele de conducte*, Conferința de mașini hidraulice și hidrodinamică, vol.IV, Timișoara, 1984.
40. **CIOMOCOȘ,T.** *Considerații asupra calității apei în funcție de consumatori*, Simpozionul "Probleme actuale în gospodărirea apelor", vol.III, Timișoara, 1982.
41. **CIOMOCOȘ,T.** *Contribuții la studiul separării alimentării cu apă potabilă și industrială a centrelor urbane industriale*, Teză de doctorat, I.P. Timișoara, 1983.
42. **COLLINS,M. ș.a.** *Multiple operating points in complex pump network*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY3, 1979.
43. **CREȚU,GH.** *Optimizarea sistemelor de gospodărire a apelor*, Editura Facla, Timișoara, 1980.
44. **CROSS,H.** *Analysis of flow in networks of conduit and conductors*, Univ. of Illinois, Bul. nr.286, 1936.
45. **CRUCERU,T.** *Contribuții la optimizarea rețelelor de distribuție a apei calde și reci în ansambluri de clădiri social-culturale*, Teză de doctorat, I.C. București, 1983.
46. **DANCEA,I.** *Metode de optimizare*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1976.
47. **DANCEA,I.** *Programarea calculatoarelor electronice numerice*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1973.
48. **DANTZIG,G.B.** *Linear programming and extension*, Princeton Universitties Press, London, 1972.
49. **DAVID,I.** *Hidraulică*, Litografia I.P. Timișoara, 1984.
50. **DAVID,I.** *Considerații asupra calculului hidraulic al conductelor cu debit variabil pe parcurs*, Studii și Cercetări de Mecanică Aplicată, nr.5-6, 1984.
51. **DEAC,I. ROJANSCHI,V.** *Echiparea decantorului orizontal cu module lamelare la uzina de apă Timișoara*, Simpozionul "Promovarea progresului tehnic în construcții", vol.II, Timișoara, 1986.
52. **DEB,A.K. ASCE,M. SARKAR,A.K.** *Optimization in design of hydraulic network*, Journal of the Sanitary Engineering Division, nr.4, 1971.
53. **DEMIDOVITCH,B. MARON,I.** *Elements de calcul numerique*, Mir Moscou, Paris, 1979.
54. **DINICĂ,G.** *Metode variaționale și aplicații*, Editura tehnică, București, 1980.
55. **DIVENOT,A.** *Une nouvelle methode de calcul des reseaux mailles*, La Houille Blanche, nr.6, 1980.
56. **DIXON,L.W.** *Nonlinear optimization*, English Universitties Press, London, 1972.
57. **DODESCU,GH. ș.a.** *Calculatoare electronice și sisteme de operare*, Editura didactică și pedagogică, București, 1975.
58. **DODESCU,GH.** *Metode numerice în algebră*, Editura tehnică, București, 1979.
59. **DONACHIE,R.P.** *Digital program for water network analysis*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY3, 1974.
60. **DORN,W. CRACKEN,D.** *Metode numerice*, Editura tehnică, București, 1978.
61. **DRAGOMIRESCU,M. MALIȚA,M.** *Programarea patritică*, Editura științifică, București, 1968.
62. **DRAPER,N.R. SMITH,H.** *Applied regression analysis*, John Willey, New York, 1964.
63. **DUBIN,CH.** *Calcul des reseaux mailles par calculateur digital*, Congres International de distribution d'eau, Stockholm, 1961.
64. **DUMITRAȘCU,L.** *Învățăm FORTRAN conversînd cu calculatorul*, Editura tehnică, București, 1982.

65. **DUMITRESCU, I. ș.a.** *Aplicații ingineresti ale calculatoarelor*, Editura didactică și pedagogică, București, 1976.
66. **DUMITRESCU, L.** *Contribuții la proiectarea economică a rețelelor de alimentare cu apă și a stațiilor de pompare cu recipiente pneumatice pentru ansambluri de clădiri*, Teză de doctorat, I.C. București, 1975.
67. **DUMITRESCU, L.** *Instalații sanitare pentru ansambluri de clădiri*, Editura tehnică, București, 1980.
68. **DUMITRESCU, L.** *Reforma sectorului de alimentare cu apă și canalizare din România pentru trecerea la economia de piață*, Conferința XXV-a de instalații, Sinaia, 1991.
69. **DUMITRU, V.** *Programare neliniară*, Editura Academiei, București, 1975.
70. **FILIMON, E.** *Analiza parametrilor determinanți în calculul sistemelor inelare*, Buletinul I.P. Timișoara, 1973.
71. **FILIMON, E.** *Contribuții la calculul rețelelor de apă inelare*, Teză de doctorat, I.P. Timișoara, 1976.
72. **FILIMON, E. NEGRU, A.** *Procedee iterative în calculul analitic al rețelelor inelare*, Buletinul I.P. Timișoara, 1978.
73. **FISHER, M.L.** *Optimal solution of scheduling problems using Lagrange multipliers*, Operation Research, nr.21, 1973.
74. **FLETCHER, R.** *Optimization*, Academic Press, London, 1969.
75. **FLEURY, C.** *Primal and dual method in structural optimization*, Journal of the Structural Division, nr.5, 1980.
76. **FLORESCU, A. ISTODE, V. NICULESCU, D.** *Exploatarea aducțiunilor și rețelelor de distribuție a apei*, Editura tehnică, București, 1978.
77. **FORRAY, M.J.** *Calculul variațional în știință și tehnică*, Editura tehnică, București, 1975.
78. **FOTA, S.** *Unele aspecte privind reconsiderarea instalațiilor de circulație a apei calde de consum în ansambluri de clădiri*, Conferința XI-a de instalații, Sinaia, 1977.
79. **FURON, R.** *Problema apei în lume*, Editura științifică și enciclopedică, București, 1963.
80. **GANEA, N.** *Alegerea, exploatarea, întreținerea și repararea pompelor*, Editura tehnică, București, 1981.
81. **GEORGESCU, I.** *Economii de energie prin acționarea cu turație variabilă a pompelor și ventilatoarelor în automatizarea proceselor tehnologice*, Energetica, nr.3, 1988.
82. **GILL, P.E. MURRAY, W. WRIGHT, M.H.** *Practical optimization*, Academic Press, New York, 1981.
83. **GIURCONIU, M. MIREL, I. RETEZAN, A. SÂRBU, L.** *Îndrumar pentru calculul construcțiilor și instalațiilor hidroedilitare*, Litografia I.P. Timișoara, 1982.
84. **GIURCONIU, M. MIREL, I. RETEZAN, A. SÂRBU, L.** *Hidraulica construcțiilor și instalațiilor hidroedilitare*, Editura Facla, Timișoara, 1989.
85. **GOFMAN, E. RODEH, M.** *Loop equation with unknown pipe characteristics*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY9, 1981.
86. **HAMPE, E.** *Fluussgkeitsbehalter*, VEB, Berlin, 1979.
87. **HARARY, I. ș.a.** *Structural models and introduction of the theory of directed graph*, John Willey, 1965.
88. **HIMMELBLAU, D.M.** *Applied nonlinear programming*, Mc Graw Hill, New York, 1972.
89. **HORTOPAN, L. STEGĂROIU, P.** *Probleme ale resurselor de apă din România*, Hidrotehnica, nr.3/4, 1991.
90. **IAMANDI, C. ș.a.** *Hidraulica instalațiilor*, Editura tehnică, București, 1987.
91. **IDELCIK, I.E.** *Îndrumător pentru calculul rezistențelor hidraulice*, Editura tehnică, București, 1984.
92. **ILICI, C.** *Probleme de optimizare și algoritmi de aproximare a soluțiilor*, Editura Academiei, București, 1980.
93. **IONEL, I.** *Instalații de pompare reglabile*, Editura tehnică, București, 1976.
94. **IONESCU, C. VLĂDESCU, V.** *Automatizarea instalațiilor pentru construcții*, Editura didactică și pedagogică, București, 1981.
95. **IONESCU, T.** *Grafuri*, Editura didactică și pedagogică, București, 1973.
96. **IORGULESCU, F.** *Gospodărirea apelor*, Hidrotehnica, nr.7, 1980.
97. **IORGULESCU, I.** *Metode de calcul al rețelelor de conducte folosind formulări variaționale*, Hidrotehnica, nr.5, 1987.
98. **JACOBY, L.S.** *Design of optimal hydraulic networks*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY5, 1968.

99. **JEPPSON,R. DAWIS,A.** *Pressure reducing valves in pipe networks analysis*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY7, 1976.
100. **JEPPSON,R.** Equivalent hydraulic pipe for parallel pipes, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY1, 1982.
101. **JURA,C.** *Concepții actuale în realizarea lucrărilor hidroedilitare de capacitate mică*, Hidrotehnica, nr.10, 1968.
102. **JURA,C.** *Probleme ale ciclului de compensare în sistemele de distribuție*, Hidrotehnica, nr.4, 1976.
103. **JURA,C.** *Studii tehnico-economice pentru alimentarea cu apă a municipiului Timișoara*, Hidrotehnica, nr.1, 1976.
104. **JURA,C.** *Realizări și perspective în gospodărirea calitativă și protecția calității apelor*, Simpozionul "Probleme actuale în gospodărirea apelor", vol.III, Timișoara, 1982.
105. **JURA,C.** *Alimentări cu apă*, Litografia I.P.Timișoara, 1984.
106. **JURA,C. FILIMON,E. GIURCONIU,M.** *Optimizarea echipamentului de pompare a apei pe zone de presiune sub aspect energetic-economic*, Conferința de mașini hidraulice și hidrodinamică, vol.IV, Timișoara, 1984.
107. **JURA,C. FILIMON,E.** *Aspecte ale optimizării rețelelor inelare de alimentare cu apă prin metode numerice*, Buletinul I.P. Timișoara, 1984.
108. **JURA,C. FILIMON,E. NICOARĂ,T.** *Asupra organizării sistemelor de distribuție a apei în vederea micșorării consumului de energie electrică*, Simpozionul "Soluții noi și eficiente în proiectarea și execuția structurilor", Timișoara, 1986.
109. **JURCA,I. ș.a.** *Programarea calculatoarelor*, Litografia I.P. Timișoara, 1989.
110. **KAMSAY,J.O.** *A family of gradient methods for optimization*, The Computer Journal, nr.4, 1970.
111. **KARMELD. GADISH,V. MEYERS,S.** *Design of optimal water distribution networks*, Journal of the Pipelin Division, nr.1, 1968.
112. **KAUFMANN,A.** *Metode și modele ale cercetării operaționale*, Editura științifică, București, 1967.
113. **KESAVAN,K. CHANDRASHEKAR,M.** *Graph-teoretic models for pipe networks analisys*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY2, 1972.
114. **KILEY,ST.** *Optimizări și calculatoare în electroenergetică*, Litografia I.P. Timișoara, 1987.
115. **KISELEV,P.G.** *Îndreptar pentru calcule hidraulice*, Editura tehnică, București, 1988.
116. **KITTNER,H. ș.a.** *Wasserversorgung*, Berlin, 1977.
117. **KUESTER, J. L. MIZE,J.H.** *Optimization techniques with FORTRAN*, Mc Graw Hill, New York, 1973.
118. **LABYE,Y.** *Etude des procedes de calcul ayant pour but le rendre minimal la cout d'un reseaux de distribution d'eau sous pression*, La Houille Blanche, nr.5, 1966.
119. **LAM,C.F. WOLLA,M.L.** *Computer analysis of water distribution systems*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY2, 1972.
120. **LANCASTER,P.** *Theory of matrices*, Academic Press, New York, 1969.
121. **LASDON,S.L.** *Teoria optimizării sistemelor mari*, Editura tehnică, București, 1975.
122. **LEKANE,T.** *Modele de calcul de l'ecoulement en regim permanent dans reseau d'eau mailles*, Journal de Recherches Hydraulics, nr.2, 1979.
123. **LEMIEUX,F.** *Efficient algorithm for distribution networks*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY1, 1972.
124. **LEONTE,A. VRACIU,G.** *Elemente de calcul matriceal cu aplicații*, Editura tehnică, București, 1975.
125. **LITEANU,C. RÎCĂ,I.** *Optimizarea proceselor analitice*, Editura Academiei, București, 1985.
126. **LOBACEV,V.G.** *Novii metod rviazki kolef pri rasciote vodoprovodnih setei*, Sanitarnaia Tehnika, nr.2, 1934.
127. **LYNCH,T.** *Variable-speed drives for pumping*, World Pumps, nr.5, 1987.
128. **MAIZELS,M.P. ș.a.** *Otenc a veliciní uteac vodí v silmih zdaniah*, Vodospabjenia i Sanitarnaia Tehnica, nr.8, 1977.
129. **MARINESCU,D. TRANDAFIRESCU,M.** *Manualul cumpărătorului, utilizatorului și programatorului de PC*, Editura Teora, București, 1993.
130. **MARINESCU,L.** *Contribuții la optimizarea pomparei apei în rețelele de distribuție*, Teză de doctorat, I.C. București, 1984.

131. **MARUSCIAC, I.** *Metode de rezolvare a problemelor de programare neliniară*, Editura Dacia, Cluj-Napoca, 1973.
132. **MATEESCU, TH.** *Stație de tratare monobloc cu decantoare tubulare*, Hidrotehnica, nr.7, 1978.
133. **MATEESCU, TH.** *Soluții pentru reducerea consumului de energie în exploatarea instalațiilor funcționale pentru construcții*, Colocviul tehnico-științific "Instalații pentru construcții și economia de energie", Iași, 1991.
134. **MAUGIS, J.** *Etude de reseaux de transport et de distribution de fluide*, Recherche operationnelle, nr.2, 1977.
135. **MĂGUREANU, R. MICU, D.** *Convertizoare statice de frecvență în acționări cu motoare asincrone*, Editura tehnică, București, 1985.
136. **MĂRUȘTER, S.** *Metode numerice în rezolvarea ecuațiilor neliniare*, Editura tehnică, București, 1981.
137. **MĂRUȚĂ, A.** *Cazul general în calculul sistemelor hidraulice*, Hidrotehnica, nr.3, 1979.
138. **MICLESCU, T. BAZACLIU, G.** *Optimizări în sisteme energetice*, Editura didactică și pedagogică, București, 1977.
139. **MICU, D.** *Motoare asincrone cu rotorul în scurtcircuit standard, în acționări reglabile*, Energetica, nr.4, 1988.
140. **MIHĂILESCU, M. ș.a.** *Castel de apă integral prefabricat*, Construcții, nr.4, 1979.
141. **MIHOC, GH. URSEANU, V.** *Matematici aplicate în statistică*, Editura Academiei, București, 1962.
142. **MIHOC, GH. ȘTEFĂNESU, A.** *Programarea matematică*, Editura didactică și pedagogică, București, 1973.
143. **MIREL, I. ș.a.** *Utilizarea filtrelor rapide în straturi multiple pentru lipezirea apei de Bega*, Simpozionul "Probleme actuale în gospodărirea apelor", vol.III, Timișoara, 1982.
144. **MIREL, I. RETEZAN, A. JURA, S.** *Algoritmul de particularizare a programelor de optimizare a distribuției apei în rețele inelare*, Simpozionul "Soluții noi în proiectarea și execuția structurilor", Timișoara, 1986.
145. **MIREL, I.** *Alimentari cu apă și canalizări în agricultură*, Litografia U.T. Timișoara, 1992.
146. **MORARU, F. ATODIROAEL, M.** *Programarea microcalculatoarelor în sistemul de operare CPM*, Editura științifică și enciclopedică, București, 1989.
147. **NEVEUX, M.** *La corrosion des conduits d'eau et de gas*, Eyrolles, Paris, 1968.
148. **NICOARĂ, T.** *Hidraulică și mașini hidraulice*, Litografia I.P. Timișoara, 1985.
149. **NICOLAE, D. ș.a.** *Măsurarea parametrilor fluidelor*, Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1986.
150. **PAPADACHE, I.** *Automatizări industriale*, Editura tehnică, București, 1978.
151. **PCHENITCHNY, B. DANAILINE, Y.** *Methodes numeriques dans les problemes d'extremum*, Mir Moscou, 1977.
152. **PICARD, C.F.** *Grafhes et questionnaires*, Gauthier-Willars, Paris, 1971.
153. **PÎSLĂRAȘU, I. ROTARU, N. TEODORESCU, M.** *Alimentări cu apă*, Editura tehnică, București, 1981.
154. **PÎSLĂRAȘU, I.** *Considerații privind probleme actuale și de perspectivă în tehnica alimentărilor cu apă în România*, Buletinul de informare și documentare, ISLGC București, nr.3/4, 1988.
155. **POLAK, E.** *Computational methods in optimization*, Academic Press, New York, 1971.
156. **POPESCU, V.** *Orientări în tehnologiile de tratare a apelor și de epurare a apelor uzate*, Hidrotehnica, nr.1, 1981.
157. **PURCARU, L.** *Elemente de algebră și programare liniară*, Editura științifică și enciclopedică, București, 1982.
158. **RAIKAR, A.R.** *Junction demand distribution method for design of economic networks*, Journal of the Institution of Engineers, nr.6, 1968.
159. **RAFIROIU, M.** *Modele ale cercetării operaționale aplicate în construcții*, Editura tehnică, București, 1980.
160. **RAMSAY, J.** *A family of gradient methods for optimization*, The Computer Journal, nr.4, 1970.
161. **RANDALL, M.A.** *Lupta împotriva risipei de apă*, Conferința mondială ONU aspra apei, Mar del Plata, 1977.
162. **RĂDESCU, N. RĂDESCU, E.** *Probleme de teoria grafurilor*, Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1982.
163. **RESA, I. ș.a.** *Probleme de statistică rezolvate pe calculator*, Editura Facla, Timișoara, 1984.

164. **RETEZAN,A. SÂRBU,I. CINCA,M.** *Optimizarea funcționării pompelor în sistemele de alimentare cu apă*, Conferința de mașini hidraulice și hidrodinamică, vol.IV, Timișoara, 1984.
165. **RETEZAN,A. SÂRBU,I.** *Instalație pentru decantarea apei*, Brevet invenție, nr. 92398, OSIM București, 1987.
166. **RETEZAN,A. JURA,C. SÂRBU,I. ș.a.** *Procedeu de purificare a apei prin tratare cu ozon*, Brevet invenție, nr. 94772, OSIM București, 1987.
167. **RETEZAN,A. SÂRBU,I.** *Dispozitiv de spălare sub presiune a vaselor de closet*, Certificat inovație nr.766, MEI București, 1988.
168. **REYNOLDS,A.J.** *Curgeri turbulente în tehnică*, Editura tehnică, București, 1982.
169. **ROJANSCHI,V. ș.a.** *Contribuții la stabilirea parametrilor de proiectare și exploatare a filtrelor rapide cu debit variabil*, Studii de alimentare cu apă, vol.IX, ICPGA București, 1976.
170. **ROJANSCHI,V. ș.a.** *Posibilități de reducere a consumului de apă în municipiul București*, Hidrotehnica, nr.10, 1982.
171. **ROJANSCHI,V.** *Alimentarea cu apă în zootehnie*, Editura Ceres, București, 1986.
172. **ROJANSCHI,V.** *Probleme actuale de tratare a apei*, Hidrotehnica, nr.2, 1987.
173. **ROȘU,AL.** *Teoria grafurilor*, Editura militară, București, 1969.
174. **SAVII,G.** *Elemente de calculatoare și programare*, Litografia I.P. Timișoara, 1980.
175. **SÂRBU,I.** *Considerații privind optimizarea aducțiunilor sub presiune*, Simpozionul "Probleme actuale în gospodărirea apelor", vol.II, Timișoara, 1982.
176. **SÂRBU,I. TOBOLCEA,V.** *Aspects de l'optimisation des reseaux annulaires de distribution d'eau*, Buletinul I.P. Iași, 1983.
177. **SÂRBU,I. RETEZAN,A.** *Determination du trace optimal d'une magistrale d'adduction a l'aide de la theorie des graphes*, Buletinul I.P. Timișoara, 1984.
178. **SÂRBU,I. RETEZAN,A.** *Studiul optimizării constructive a decantoarelor tubulare utilizate pentru limpezirea apei*, Simpozionul "Promovarea progresului tehnic în construcții", vol.II, Timișoara, 1986.
179. **SÂRBU,I.** *Asupra determinării caracteristicilor hidrodinamice ale rețelelor ramificate de distribuție a apei*, Simpozionul "15 ani de gospodărirea apei în județul Caraș-Severin", Reșița, 1986.
180. **SÂRBU,I.** *Unele considerații privind stabilitatea hidrodinamică a rețelelor de alimentare cu apă industrială*, Simpozionul "15 ani de gospodărirea apei în județul Caraș-Severin", Reșița, 1986.
181. **SÂRBU,I.** *Model și program de optimizare a dimensionării rețelelor de distribuție ramificate în vederea economisirii energiei electrice de pompare a apei*, Simpozionul "Știința modernă și energia", vol.V, Cluj-Napoca, 1986.
182. **SÂRBU,I.** *Optimisation du trace des reseaux ramifies de distribution d'eau*, Buletinul I.P. Timișoara, 1986.
183. **SÂRBU,I.** *Optimizarea dimensionării rețelelor de distribuție a apei*, Hidrotehnica, nr.1, 1986.
184. **SÂRBU,I.** *Optimizarea proiectării rețelelor de distribuție în vederea reducerii consumului de energie electrică pentru pomparea apei*, Conferința de energetică, vol.V, București, 1986.
185. **SÂRBU,I. RETEZAN,A.** *Asupra unor soluții de economisire a energiei electrice de pompare a apei în rețelele de distribuție*, Conferința de energetică, vol.V, București, 1986.
186. **SÂRBU,I.** *Model de calcul al regimului hidraulic în rețele complexe de distribuție a apei*, Hidrotehnica, nr.8, 1987.
187. **SÂRBU,I.** *Instalație pentru potabilizarea apei*, Certificat inovație, nr.691, MEI București, 1987.
188. **SÂRBU,I. CIONCA,O.** *Instalație pentru contorizarea și urmărirea centralizată a consumurilor de apă*, Certificat inovație, nr.518, MEI București, 1987.
189. **SÂRBU,I. CIONCA,O.** *Metodologie de determinare a distribuției debitelor și presiunilor în rețele inelare complexe de distribuție a apei folosind calculatoarele numerice*, Certificat inovație, nr.709, MEI București, 1987.
190. **SÂRBU,I. RETEZAN,A.** *Model de analiză și optimizare a funcționării unei rețele de alimentare cu apă tehnologică recirculată*, Construcții, nr.8/9, 1987.
191. **SÂRBU,I. FEHER,A.** *Model matematic și program pentru dimensionarea optimă a rețelelor interioare de alimentare cu apă în clădiri*, Tehnic 2000, nr.4, 1988.
192. **SÂRBU,I.** *Asupra dimensionării optimale a rețelelor de distribuție a apei în sistem ramificat*, Construcții, nr.6/7, 1988.
193. **SÂRBU,I. RETEZAN,A.** *Optimizarea, prin simulare numerică pe calculator, a consumului de apă tehnologică al unei întreprinderi industriale*, Hidrotehnica, nr.9, 1988.

194. SĂRBU, I. *Metodologie și program ordinator pentru optimizarea traseului rețelelor de distribuție a apei în sistem ramificat*. Certificat inovație, nr. 754, MEI București, 1988.
195. SĂRBU, I. *Metodologie de optimizare a proiectării rețelelor de distribuție a apei folosind calculatoarele electronice*. Certificat inovație, nr. 785, MEI București, 1988.
196. SĂRBU, I. *Optimizarea repartiției debitelor de tranzit în rețelele inelare de distribuție a apei*, Referat la doctorat, nr. 1, U.T. Timișoara, 1989.
197. SĂRBU, I. RUSAN, M. *Model și program complex de optimizare a dimensionării rețelelor exterioare de distribuție a apei*, Tehnic 2000, nr. 5, 1989.
198. SĂRBU, I. DUPTA, P. *Tendințe actuale și progrese în realizarea magistralelor de alimentare cu apă*, Colocviul "Săptămîna științei și tehnicii pentru tineret", Reșița, 1989.
199. SĂRBU, I. *Metode și procedee pentru echilibrarea hidraulică a rețelelor inelare de distribuție a apei*, Referat la doctorat, nr. 2, 1990.
200. SĂRBU, I. BORZA, I. *Programe ordinatoare pentru proiectarea asistată de calculator a instalațiilor în construcții*. Sesiunea de comunicări științifice "Utilizarea calculatoarelor în domeniul învățămîntului", vol. I, Constanța, 1991.
201. SĂRBU, I. *L'optimisation de la repartition des debits de transit dans les reseaux annulaires de distribution d'eau*, Buletinul U.T. Timișoara, 1991.
202. SĂRBU, I. *Modele de optimizare a rețelelor de distribuție a apei*, Referat la doctorat, nr. 3, U.T. Timișoara, 1991.
203. SĂRBU, I. *Optimizarea energetică a funcționării pompelor în sistemele de distribuție a apei*, Hidrotehnica, nr. 8, 1993.
204. SĂRBU, I. *Model nelinier de optimizare a dimensionării rețelelor inelare complexe de distribuție a apei*, Construcții, 1991.
205. SĂRBU, I. *Optimizarea energetică a sistemelor de distribuție a apei prin separarea rețelelor pe zone de presiuune*, Conferința XXV-a de instalații, vol. I, Sinaia, 1991.
206. SĂRBU, I. *Optimizarea energetică a sistemelor de distribuție a apei folosind elemente potențiale interioare*, Hidrotehnica, nr. 10-12, 1991.
207. SĂRBU, I. *Determinarea punctului de stagnare a apei în conductele rețelelor de distribuție cu consum distribuit*, Simpozionul "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", vol. I, Timișoara, 1992.
208. SĂRBU, I. *Aspecte ale aplicării programării liniare la unele probleme de optimizare a repartiției surse-consumatori în cadrul sistemelor zonale de alimentare cu apă*, Simpozionul "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", vol. I, Timișoara, 1992.
209. SĂRBU, I. *Model de analiză a rețelelor inelare complexe de distribuție a apei*, Simpozionul "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", vol. II, Timișoara, 1992.
210. SĂRBU, I. *Optimizarea energetică a distribuției apei calde în sistemele centralizate de alimentare cu apă*, Simpozionul "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", vol. I, Timișoara, 1992.
211. SĂRBU, I. *Aspecte hidraulice ale funcționării îndelungate a conductelor cu implicații asupra economiei energetice în rețelele de alimentare cu apă*, Colocviul tehnico-științific "Instalațiile pentru construcții și economia de energie", vol. II, Iași, 1992.
212. SĂRBU, I. BORZA, I. *Considerații privind avarii la conductele rețelelor de distribuție a apei în centre populate*, Colocviul tehnico-științific "Instalațiile pentru construcții și economia de energie", vol. II, Iași, 1992.
213. SĂRBU, I. *Studiu privind pierderile și risipa de apă în instalațiile de distribuție ale sistemelor centralizate de alimentare a marilor centre populate*, Colocviul tehnico-științific "Instalațiile pentru construcții și economia de energie", vol. II, Iași, 1992.
214. SĂRBU, I. *Metode numerice și de optimizare în calculul instalațiilor pentru construcții*, Litografia U.T. Timișoara, 1993.
215. SĂRBU, I. FAUR, C. *Analiza cíclică și nodală a rețelelor inelare de distribuție a apei în alimentare variabilă*, Simpozionul "Instalațiile pentru construcții și confortul ambiental", vol. I, Timișoara, 1993.
216. SCHULTZ, F. ș.a. *Fortran 77*, Editura Mirton, Timișoara, 1992.
217. SCHWING, V. *Măsurarea rugozității rețelelor de apă ca bază pentru calculul exact al rețelelor*, Das Gas-und Wasserfach, nr. 8, 1967.
218. SETEANU, I. ș.a. *Influența îmbătrînirii conductelor asupra alegerii diametrului economic*, Hidrotehnica, nr. 4, 1979.

219. SHAMIR,U. HOWARD,C.D. *Water distribution systems analyses*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY1, 1968.
220. SIMA, V. VARGA,A. *Practica optimizării asistată de calculator*, Editura tehnică, București, 1986.
221. SIMONNARD,M. *Programmation lineaire*, Dunod, Paris, 1962.
222. SPIRCU,T. *Introducere în informatică*, Editura Teora, București, 1993.
223. STANCIU,A. *Considerații privind unele măsurători la consumul de apă caldă menajeră a unei centrale termice de cvartal*, Conferința XXV-a de instalații, Sinaia, 1991.
224. STOER,J. *Einführung in die numerische mathematik*, Springer-Werlag, Berlin, 1972.
225. STOER,J. BULIRSCH,R. *Introduction to numerical analysis*, Springer Werlag, New York, 1980.
226. SUCEVEANU,L. *Analiza posibilităților de reglare a parametrilor tehnologici prin variația turajiei agregatelor*, Energetica, nr.4, 1988.
227. SUMA,C. *Contribuții la realizarea castelelor de apă*, Teză de doctorat, I.P. Timișoara, 1983.
228. SWAMEE,P.K. KHANNE,P. *Equivalent pipe methods for optimizing water networks*, Journal of the Environmental Engineering Division, nr.2, 1974.
229. ȘANDRU,A. *Prezentarea sistemului de operare MS-DOS*, Editura Cristian, București, 1992.
230. ȘTEFĂNESCU,A. ZIDĂROIU,C. *Cercetări operaționale*, Editura didactică și pedagogică, București, 1981.
231. TEODORESCU,L. *Unele aspecte privind alimentările cu apă în România*, Hidrotehnica, nr.6, 1968.
232. THAWAT,W. *Leas-cost design of water distribution systems*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY9, 1973.
233. TOMESCU,L. *Grafuri și programare liniară*, Editura didactică și pedagogică, București, 1975.
234. TROFIN,P. PÎSLĂRAȘU,L. *Unele aspecte ale alimentărilor cu apă din România*, Hidrotehnica, nr.8, 1964.
235. TROFIN,P. *Decantarea apei*, Hidrotehnica, nr.7, 1978.
236. TROFIN,P. *Filtrarea apei*, Hidrotehnica, nr.4, 1980.
237. TROFIN,P. ș.a. *Metode și procedee pentru reducerea consumului de apă potabilă în centre populate*, Hidrotehnica, nr.10, 1982.
238. TROFIN,P. *Alimentări cu apă*, Editura didactică și pedagogică, București, 1983.
239. VERNESCU,C. VERNESCU,M. *Metode moderne de proiectare și execuție a rețelelor de distribuție a apei*, Sinteză documentară, CDCAS București, 1970.
240. VINGAN,D. *Contribuții la optimizarea rețelelor de distribuție a apei*, Teză de doctorat, I.P. Timișoara, 1987.
241. VINTILĂ,ȘT. ș.a. *Instalații sanitare și de gaze*, Editura tehnică, București, 1987.
242. VLADIMIRESCU,T. *Mașini hidraulice și stații de pompare*, Editura didactică și pedagogică, București, 1974.
243. VRACIU,GH. POPA,A. *Metode numerice cu aplicații în tehnica de calcul*, Editura Scrisul Românesc, Craiova, 1982.
244. ZAVATL,C. ș.a. *Noi tipuri de armături pentru obiecte sanitare*, Colocviul tehnico-științific "Instalațiile pentru construcții și economia de energie", vol.I, Iasi, 1991.
245. ZBEGAN,V. ș.a. *Studiul procesului de limpezire a apei în decantoare suspensionale cilindrice*, Hidrotehnica, nr.2, 1966.
246. YOUNG,M.D. *Iterative solution of large linear systems*, Academic Press, New York, 1971.
247. WALSH,G.R. *Methods of optimization*, John Wiley, London, 1975.
248. WEGGEL,L. *On a discrete version of the Newton -Raphson method*, SIAM, nr.3, 1966.
249. WOOD,D. *An analytic representation of Moody diagram*, Civil engineering, nr.731, 1966.
250. WOOD,D. CHARLES,C. *Hydraulic networks analyses using linear theory*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr.HY7, 1972.
251. WOOD,D. *Reliability of algorithms for pipe network analyses*, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, nr. HY10, 1981.
252. * * * *Normativ pentru proiectarea și executarea conductelor realizate din tuburi de beton precomprimat*, 1 22, 1970.
253. * * * *Normativ pentru proiectarea și executarea conductelor de apă din azbociment*, 1 8, 1978.
254. * * * *Normativ pentru proiectarea și executarea instalațiilor de țevi din PVC*, 1980.

255. * * * *Catalog de pompe, Uzina Aversa, București, 1975.*
256. * * * *Soluții pentru reducerea consumului de apă în clădiri, Contract nr.942, INCERC București, 1978.*
257. * * * *Instrucțiuni tehnice privind proiectarea rețelelor exterioare de distribuție a apei potabile în localități, ISLGC București, 1980.*
258. * * * *Proгноza pentru problemele gospodăririi apelor în România până în anul 2000, CNA București, 1980.*
259. * * * *Studiu privind investiția specifică și consumul specific de energie în conductele rețelelor de alimentare cu apă, IPROTIM Timișoara, 1982.*
260. * * * *Raționalizarea distribuției apei potabile în municipiul București în vederea reducerii consumului de energie, Contract nr.44, I.C. București, 1981.*
261. * * * *Studiu privind optimizarea alimentării cu apă a municipiului Timișoara și îmbunătățirea presiunii prin folosirea maximă a instalațiilor existente și mărirea capacității rezervoarelor, Contract nr.7137, I.P. Timișoara, 1985.*
262. * * * *Stabilirea cerințelor specifice cantitative de apă pentru diferite categorii de folosințe, ICPGA București, 1985.*
263. * * * *Studii și cercetări privind raționalizarea funcționării rețelelor de alimentare cu apă din incinta CP Solventul Timișoara, Contract nr.124, I.P. Timișoara, 1986.*
264. * * * *Realizarea unei anchete privind pierderile de apă în instalațiile interioare ale consumatorilor de uz casnic din Timișoara, GIGCL Timis, 1988.*
265. * * * *Buletinul de informare și documentare ISLGC București, nr.3/4, 1988.*
266. * * * *Simularea și optimizarea asistată de calculator a consumului de apă tehnologică din sistemul de alimentare al CP Solventul Timișoara, Contract nr.124, I.P. Timișoara, 1988.*
267. * * * *Conținutul total de energie înglobată în materiale, ICCPDC București, 1988.*
268. * * * *Alimentări cu apă la construcții civile și industriale, STAS 1478-1990.*
269. * * * *Determinarea cantităților de apă de alimentare pentru centre populate, STAS 1343-1991.*
270. * * * *Lucrările colocviului tehnico-științific "Instalațiile pentru construcții și economia de energie", Iaș 1992.*